

**Caracterización de la Comunidad Energética de la vereda Busaga en el Municipio de Iza
Boyacá**

Miguel Angel Piragauta Vargas

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director:

Rolando Andrés Saravia Rincón

MBA. Magister en Dirección de Empresas

Codirector:

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

PhD. en Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias Fisiomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería eléctrica

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A mi mamá, Rosario Vargas, quien hoy me enorgullece poder decirle que lo logré. Gracias por ser el motor de mi vida, por creer en mí. Tu amor y sacrificio han sido fundamentales para mí. A mi papá Carlos Piragauta, por ese apoyo que me brindaste en cada momento, A mis hermanas Brenda y Diana Piragauta, cuyo amor incondicional se ha manifestado siempre en su preocupación por mí. Siempre han estado a mi lado, brindándome su apoyo y confianza. Gracias a ellas, he tenido el impulso necesario para seguir adelante, sabiendo que siempre han creído en mí, incluso en los momentos más difíciles. Mis sobrinas Danna, con esa personalidad tranquila y reflexiva que hace ver la vida de una manera más tranquila, Alison, por esa energía y alegría que cautiva y hace estar siempre feliz, a mi novia Tatiana Mateus, por ser mi compañera de vida, por estar siempre ahí para mí, por escucharme, por aconsejarme y motivarme a salir adelante. Tu amor y apoyo han sido fundamentales. A mi Hermano Pete y mi amigo Rulos, que, aunque ya no estén con nosotros, su memoria y legado siguen vivos en mi corazón. A todos ustedes, por confiar en mí y por ser parte de este logro. Este proyecto es el resultado de su amor, apoyo y motivación.

Agradecimientos

A Dios por la sabiduría que me dio para lograrlo. A mi familia, eje fundamental en el proceso y apoyo de este logro, que siempre me apoyó y confió en mí. A mi novia, quien fue mi fortaleza en los momentos más difíciles. Gracias a su amor, apoyo y perspectiva, pude ver las cosas de otra manera y seguir adelante. Este logro no hubiera sido posible sin su constante motivación y por estar siempre a mi lado, creyendo en mí incluso cuando las circunstancias eran desafiantes. A mi cuñado Edgar Avella, quien siempre estuvo dispuesto a facilitarme las cosas, viajando largas distancias para asegurarse de que estuviera bien y con todo lo necesario. Su apoyo incondicional fue fundamental para que todo fuera más sencillo durante este proceso.

A mis compañeros Eddy y Leandro, quienes convivieron conmigo durante este proceso. A mi director Rolando Andrés Rincón Saravia, quien siempre estuvo a la disposición para aconsejarme y guiarme en este trabajo de grado. A mi codirector, Oscar Quiroga, por su apoyo y orientación en cada etapa. A la Universidad Industrial de Santander, quien me abrió las puertas para ser un profesional, y a todos sus profesores, que, con su enseñanza, forjaron hoy un profesional más. A todos mis compañeros que me apoyaron a lo largo de este camino. Y, finalmente, a la vida por poner en mi camino a mi madre, quien nunca dejó de creer en mí.

Índice

Introducción.....	13
1. Objetivos y Alcance.....	15
1.1. Alcance del Proyecto.....	15
1.2. Objetivo General.....	16
1.3. Objetivos Específicos.....	16
2. Marco Referencial.....	17
2.1. Regulación Comunidades Energéticas.....	17
2.2. Comunidades Energéticas.....	17
2.3. Comunidades Energéticas Nacionales e Internacionales.....	19
2.4. Pequeñas Comunidades Energéticas.....	20
2.5. Aspectos Sociales que Afectan la Gestión de Comunidades Energéticas.....	21
3. Caracterización de la vereda Busaga, Iza Boyacá.....	23
3.1. Ubicación.....	23
3.2. Organización de la Comunidad.....	23
3.3. Sector Social.....	24
3.4. Sector Económico.....	24
3.5. Análisis de Riesgos.....	25
3.6. Plan de Contingencia.....	26
4. Visita de Diagnóstico y Análisis Inicial sistema eléctrico.....	27
4.1. Inspección Física de la Infraestructura Eléctrica.....	28
4.2. Encuesta de Consumo Eléctrico a los Hogares.....	28

4.3. Análisis de Demanda.....	29
4.4. Fronteras Comerciales.....	30
4.5. Tarifas de Energía.....	31
5. Análisis de Viabilidad de los Recursos Energéticos FNCER.....	31
5.1. Evaluación de la Disponibilidad del Recurso Solar.....	32
5.2. Evaluación de la Disponibilidad del Recurso Eólico.....	32
5.3. Evaluación de la Disponibilidad Hidráulica.....	33
5.4. Evaluación de Disponibilidad del Recurso de Biomasa.....	33
5.5. Selección de la mejor Alternativa de Generación.....	33
5.6. Generación del Sistema.....	34
6. Dimensionamiento del Sistema de Generación.....	34
6.1. Tipo de Conexión.....	35
6.2. Método utilizado.....	35
6.3. Orientación y Angulo de inclinación.....	36
6.4. Cálculo Total de Datos del Sistema.....	36
6.5. Cálculos de Paneles.....	37
6.6. Selección del micro inversor.....	38
6.8. Ubicación del Sistema.....	38
7. Análisis Financieros.....	40
7.1. Estimación de Costos.....	40
7.2. Análisis Costo Beneficio.....	41
8. Conclusiones.....	42

CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA EN BUSAGA	6
9. Recomendaciones.....	44
Referencias.....	45

Lista de Tablas

Tabla 1. Áreas del Tipo de Amenaza (Ha).....	25
Tabla 2. Consumo promedio mes de cada casa de la comunidad.....	30
Tabla 3. Componentes del costo unitario por kWh.....	31
Tabla 4. Parámetros generales para el dimensionamiento.....	37
Tabla 5. Estimación de costos del dimensionamiento.....	41

Lista de Figuras

Figura 1. Plan de contingencia Fuente: Gestión de Riesgo.....27

Figura 2. Disposición Física de los Paneles.....39

Lista de Apéndices.

Apéndice A. Plano de Localización Vereda Busaga

Apéndice B. Inspección física de la red eléctrica en la Vereda Busaga

Apéndice C. Encuesta de consumo eléctrico a los hogares de la comunidad

Apéndice D. Análisis de disponibilidad del recurso solar

Apéndice E. Análisis de disponibilidad del recurso eólico

Apéndice F. Análisis de Disponibilidad de Generación de Energía Hidráulica

Apéndice G. Estimación de Generación Eléctrica a partir de Biomasa

Apéndice H. Dimensionamiento de sistema de generación

Apéndice I. Análisis Del Costo De costo-beneficio sistemas de generación.

Apéndice J. Análisis de Perfectabilidad

Apéndice K. Perfil de Carga

Resumen

Título: Caracterización de la Comunidad Energética de la vereda Busaga en el Municipio de Iza Boyacá*

Autor: Miguel Angel Piragauta Vargas *****

Palabras Claves: Caracterización, Comunidad energética, sistemas fotovoltaicos.

Descripción:

La caracterización energética de la Vereda Busaga, ubicada en Iza, Boyacá, tiene como fin la creación de una comunidad energética. Este enfoque implica una gestión colaborativa de la generación y consumo de energía renovable, lo cual generará beneficios económicos, sociales y ambientales para la región. Para lograrlo, se realizaron evaluaciones de los recursos energéticos disponibles en la zona, como la energía solar, hídrica y eólica, Además, se consideraron las principales actividades productivas del área, como las agropecuarias, educativas, y medicas para obtener una comprensión más clara de las necesidades de la comunidad. Este diagnóstico se alinea con políticas nacionales como el Plan de Desarrollo 2022—2026 y propone una estrategia de transición energética centrada en la adopción de fuentes renovables y el uso de tecnologías limpias. El objetivo es establecer un modelo energético sostenible y eficiente, que no solo mejore la calidad de vida de los habitantes, sino que también dinamice la economía local y fomente un desarrollo integral para la comunidad.

***** Trabajo de Grado

***** Facultad de Ciencias Fisiomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

Abstract

Title: Characterization of the Energy Community of the Busaga River in the Municipality of Iza Boyacá*

Author: Miguel Angel Piragauta Vargas *****

Key Words: Characterization, Energy Community, Photovoltaic Systems.

Description:

The energy characterization of the Busaga Village, located in Iza, Boyacá, aims to create an energy community. This approach involves collaborative management of renewable energy generation and consumption, which will generate economic, social, and environmental benefits for the region. To achieve this, assessments were conducted of the energy resources available in the area, such as solar, hydroelectric, and wind energy. In addition, the main productive activities in the area, such as agriculture, education, and medicine, were considered to gain a clearer understanding of the community's needs. This assessment is aligned with national policies such as the 2022—2026 Development Plan and proposes an energy transition strategy focused on the adoption of renewable sources and the use of clean technologies. The goal is to establish a sustainable and efficient energy model that not only improves residents' quality of life but also boosts the local economy and fosters comprehensive development for the community.

***** Bachelor Thesis

***** Faculty of Physical and Mechanical Sciences. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director: Rolando Andrés Saravia Rincón. Co-director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Glosario

Comunidad energética: grupo de personas o entidades que gestionan de forma colectiva la producción, distribución y consumo de energía, generalmente a partir de fuentes renovables, para satisfacer sus necesidades energéticas de manera sostenible.

Energías limpias: fuentes de energía que no emiten contaminantes o gases de efecto invernadero durante su producción, como la energía solar, eólica, hidroeléctrica y geotérmica.

Fuentes convencionales de energía no renovables (FNCER): fuentes de energía que provienen de recursos naturales limitados, como el petróleo, gas natural y carbón, los cuales se agotan con el tiempo y generan emisiones contaminantes durante su uso.

Fuentes no convencionales de energía (FNCE): fuentes de energía que no están basadas en los recursos tradicionales como el petróleo, gas o carbón. Incluyen energías renovables como solar, eólica, biomasa, geotérmica y otras fuentes emergentes.

Transición energética: proceso de cambio hacia un modelo energético más sostenible, que reemplaza las fuentes de energía convencionales (como los combustibles fósiles) por fuentes renovables y limpias, reduciendo la dependencia de recursos no renovables y mejorando la eficiencia energética.

Zona no interconectada (ZNI): área geográfica que no está conectada a la red eléctrica principal del país o región, lo que significa que no tiene acceso directo a la infraestructura del sistema eléctrico nacional. Estas zonas dependen de fuentes de energía locales, como generadores diésel o sistemas fotovoltaicos, para abastecerse de electricidad.

Introducción

El modelo energético colombiano se encuentra en un proceso de transición hacia sistemas más eficientes y sostenibles, impulsado por la necesidad de incorporar fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) (Ministerio de Minas y Energía 2014), y mejorar la calidad del servicio eléctrico, ya que el acceso a energía limpia, eficiente y asequible es crucial para el desarrollo sostenible del país. Las leyes y normativas actuales promueven la autogeneración y la generación distribuida, permitiendo que comunidades y usuarios participen activamente en la producción y gestión de su energía, reduciendo la dependencia de fuentes tradicionales y avanzando hacia una mayor autosuficiencia energética. El propósito de este proyecto es desarrollar una comunidad energética en la Vereda Busaga, ubicada en el municipio de Iza, Boyacá, con el fin de caracterizar sus necesidades energéticas y proponer un sistema de autogeneración eficiente. La propuesta no solo busca mejorar la calidad de vida de las 15 familias que la conforman, sino también establecer un modelo replicable en otras comunidades rurales de Colombia, en conformidad con los objetivos de la transición energética justa planteada en las normativas vigentes (Amigos de la tierra 2021). En este contexto, el Ministerio de Minas y Energía (2023) proporciona directrices esenciales para el desarrollo de comunidades energéticas en Colombia. Estas normativas facilitan la integración de FNCER, fomentando la eficiencia energética y promoviendo el uso responsable y sostenible de la electricidad dentro del marco regulatorio establecido. El Registro Único de Comunidades Energéticas (RUCE) (Ministerio de Minas y Energía 2024), es un paso clave para formalizar las iniciativas comunitarias en el ámbito energético, permitiéndoles operar bajo un marco legal claro y obtener beneficios asociados a la generación distribuida y la autogeneración. colectivo. El enfoque principal de este proyecto es

caracterizar la comunidad energética en la Vereda Busaga, alineando la propuesta con los requisitos normativos establecidos y sentando las bases para la implementación de tecnologías de energías renovables. Este proceso permitirá a la comunidad ser parte activa de la transición energética impulsada por el gobierno y contribuir activamente a la sostenibilidad energética del país.

1. Objetivos y Alcance

A continuación, se describe el alcance del trabajo de grado, detallando las acciones previstas para desarrollar en la comunidad energética vereda Busaga.

1.1. Alcance del Proyecto

El proyecto buscará evaluar las necesidades energéticas de las familias que conforman la comunidad. Para ello, se llevará a cabo una encuesta detallada sobre los patrones de consumo energético y se identificarán los problemas y deficiencias en la infraestructura eléctrica existente. Esta información permitirá ajustar la propuesta de manera que responda a las necesidades específicas de la comunidad.

Se realizará un estudio de los recursos renovables disponibles en la zona, especialmente la radiación solar y el viento, para determinar la viabilidad de las tecnologías a implementar. A partir de este análisis, se diseñará un sistema adecuado de generación de energía, que incluirá la selección de tecnologías como paneles solares, aerogeneradores y sistemas de almacenamiento, y se planificará la infraestructura necesaria para su integración a la red eléctrica local.

El proyecto también impulsará la participación activa de la comunidad, promoviendo la educación energética y la gestión responsable de los recursos, con el fin de garantizar una transición energética justa. El diseño se alinearán con las normativas colombianas, asegurando que la comunidad pueda operar bajo el marco legal adecuado y aprovechar los beneficios de la autogeneración.

Aunque se realizará el diseño y análisis de viabilidad del sistema, la implementación física del proyecto no será parte de esta fase. El modelo propuesto es replicable, por lo que se podrá aplicar en otras comunidades rurales del país.

1.2. Objetivo General

Caracterizar la comunidad energética en la vereda Busaga del municipio de Iza, Boyacá.

1.3. Objetivos Específicos

- Realizar una visita al sitio para recopilar información sobre la disponibilidad de recursos renovables, explorar las opciones de generación de energía y analizar el estado general de la red eléctrica, incorporando actividades de sensibilización y participación comunitaria para garantizar la sostenibilidad del proyecto.
- Comparar las diferentes alternativas de solución propuestas considerando aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales en la vereda Busaga.
- Realizar el diseño detallado de la solución de generación, la red de reparto y las instalaciones de uso final de los usuarios, considerando la mejor alternativa seleccionada (memorias de cálculo, planos, presupuesto y especificaciones técnicas).

2. Marco Referencial

En este capítulo se investiga sobre experiencias de comunidades energéticas, nacionales e internacionales y pequeñas comunidades y aspectos sociales que afectan la misma para fundamentar la propuesta de solución a la problemática energética de la vereda Busaga.

2.1. Regulación Comunidades Energéticas

Decreto 2236 del 22 de diciembre de 2023: por el cual se adicionó al decreto 1073 de 2015 con el fin de reglamentar parcialmente el artículo 235 de la ley 2294 de 2023 del plan nacional de desarrollo 2022—2026 en lo relacionado con comunidades energéticas en el marco de la transición energética en Colombia (Ministerio de Minas y Energía 2024).

Resolución 40509 del 21 de noviembre 2024: Mediante la cual se reglamenta el registro de comunidades energéticas-RCE y se define los criterios de focalización y priorización para orientación de recursos públicos con destino a comunidades energéticas y, otras disposiciones (Ministerio de Minas y Energía 2024).

Resolución 501 del 28 de junio 2024: por la cual se establecen los límites máximos de potencia y dispersión de auto generador colectivo y generador distribuido colectivo (Ministerio de Minas y Energía 2024).

2.2. Comunidades Energéticas

Las comunidades energéticas son agrupaciones de personas naturales, jurídicas, autoridades locales o pequeñas empresas que se organizan con el fin de producir, gestionar y consumir su propia energía, principalmente a partir de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) (Ministerio de Minas y Energía 2014). Estas comunidades promueven la participación activa de la ciudadanía en el sistema energético, con el propósito de generar beneficios sociales, económicos y ambientales en sus territorios (Amigos de la tierra 2021).

En el contexto colombiano, el concepto de comunidad energética está estrechamente relacionado con la Transición Energética Justa, promovida en el *Plan Energético Nacional 2022-2052*, que enfatiza la necesidad de democratizar el acceso a la energía y garantizar la participación social vinculante. Bajo esta visión, las comunidades energéticas se presentan como una estrategia para aprovechar las características culturales, étnicas, productivas y territoriales específicas, permitiendo a los ciudadanos involucrarse directamente en la cadena de valor de la electricidad. Desde el punto de vista normativo, las comunidades energéticas en Colombia fueron formalmente definidas mediante el Decreto 2236 de 2023 del Ministerio de Minas y Energía, como “grupos organizados de usuarios naturales o jurídicos que pueden asociarse para generar, comercializar y/o usar eficientemente la energía mediante fuentes renovables, combustibles renovables y recursos distribuidos”. Este decreto también establece mecanismos clave para su funcionamiento (Ministerio de Minas y Energía 2023).

Autogeneración Colectiva (AGRC): Es la actividad mediante la cual una comunidad energética produce energía para cubrir principalmente su propia demanda. Si hay excedentes de energía, estos pueden ser entregados a la red eléctrica bajo las condiciones definidas por la .

Autogenerador Colectivo (AC): Son los usuarios o potenciales usuarios que, organizados como comunidad energética, desarrollan la actividad de autogeneración colectiva. En otras palabras, es el grupo humano o entidad que realiza la AGRC (Ministerio de Minas y Energía 2023).

Generación Distribuida Colectiva (GDC): Es la producción de energía eléctrica por parte de una comunidad energética, cercana al lugar donde se consume, conectada a una red de

distribución local o Microred. Esta actividad también debe cumplir con la regulación definida por la CREG (Ministerio de Minas y Energía 2023).

2.3. Comunidades Energéticas Nacionales e Internacionales

Las comunidades energéticas a nivel internacional están ganando relevancia como modelos de transición energética, impulsados por el deseo de alcanzar una mayor autonomía energética, sostenibilidad y eficiencia. Estos proyectos permiten a comunidades locales producir, consumir y gestionar su propia energía, generalmente a partir de fuentes renovables como la solar, eólica, y biomasa, reduciendo su dependencia de fuentes energéticas centralizadas y tradicionales.

El desarrollo de las comunidades energéticas en muchos países está respaldado por marcos regulatorios que reconocen a los ciudadanos y comunidades como actores clave en el sector energético. La legislación, como la Directiva (UE) 2018/2001 de la Unión Europea, establece directrices para la creación de comunidades de energía renovable y comunidades ciudadanas de energía, permitiendo su participación activa en la producción y distribución de energía (Parlamento Europeo 2025).

Además, muchos países han adoptado políticas para integrar las comunidades energéticas en sus estrategias climáticas y de sostenibilidad. Por ejemplo, en América Latina, proyectos como RevoluSolar en Brasil y la Comuna Energética de Licantén en Chile están alineados con los objetivos de carbono-neutralidad y promueven la generación descentralizada y el autoconsumo colectivo.

2.4. Pequeñas Comunidades Energéticas

La energía es más que solo una necesidad básica; es fundamental para el desarrollo de las personas y las comunidades. Sin embargo, en las zonas rurales o en aquellas con poca población en Colombia, el acceso a energía sigue siendo un gran desafío. Aunque ha habido esfuerzos por mejorar la infraestructura energética, muchas comunidades todavía enfrentan problemas importantes relacionados con el acceso a la energía, lo que afecta directamente su calidad de vida.

Uno de los mayores problemas en estas comunidades es la falta de energía confiable y sostenible. A pesar de los avances, una parte significativa de la población en áreas rurales no tiene acceso a servicios de electricidad adecuados. Esto se debe, en gran parte, a la falta de infraestructura eléctrica o a la ineficiencia de las redes que distribuyen la energía. Como resultado, muchas personas siguen viviendo en pobreza energética, es decir, no tienen la cantidad de energía que necesitan para cubrir sus necesidades básicas, lo cual afecta su bienestar en aspectos tan importantes como la educación, la salud y las actividades productivas.

Además, muchas comunidades aún dependen de fuentes de energía no renovables, como la leña, para cocinar y calentarse. Esto no solo trae graves problemas de salud, como enfermedades respiratorias, sino que también daña el medio ambiente, ya que la quema de leña contribuye al cambio climático. Al mismo tiempo, esta dependencia de fuentes contaminantes limita las oportunidades económicas y afecta el desarrollo de las actividades sociales, educativas y laborales de las personas. Sin acceso a energía confiable, es difícil que las comunidades puedan avanzar en proyectos de desarrollo o mejorar sus condiciones de vida.

Una solución que está ganando fuerza es el modelo de comunidades energéticas, donde las propias comunidades gestionan y generan su propia energía a partir de fuentes renovables como el sol, el viento o la biomasa. Estas comunidades no solo se convierten en productoras de su propia energía, sino que también tienen el control sobre cómo se distribuye y se utiliza. Esto les permite reducir su dependencia de las grandes redes de energía y mejorar su acceso a servicios básicos, como iluminación, educación y salud.

Lo más importante de todo es que las comunidades energéticas no solo ofrecen una solución energética limpia y sostenible, sino que también fomentan el desarrollo económico local. Al generar su propia energía, estas comunidades pueden crear empleos verdes, impulsar proyectos productivos y, en general, mejorar la calidad de vida de todos sus miembros. Este modelo ha demostrado ser una herramienta poderosa para reducir la pobreza energética y promover una transición energética justa, especialmente en las zonas más necesitadas.

2.5. Aspectos Sociales que Afectan la Gestión de Comunidades Energéticas

Los aspectos sociales son fundamentales para el buen funcionamiento de las comunidades energéticas en zonas rurales o con baja población. La participación activa de la comunidad es crucial para que los proyectos sean exitosos, pero cuando la comunidad no está bien organizada o carece de experiencia, la gestión puede volverse más difícil. Además, la educación energética es clave; muchas comunidades no tienen suficiente conocimiento sobre energías renovables, lo que puede hacer que sea complicado adoptar o mantener las nuevas tecnologías.

También existen desigualdades sociales que pueden afectar la distribución de los beneficios del proyecto. Por ejemplo, los grupos vulnerables, como las mujeres y los jóvenes, a menudo son excluidos de la toma de decisiones. A su vez, las costumbres locales y la resistencia al cambio pueden dificultar que la comunidad acepte las nuevas tecnologías. Es importante que los proyectos sean adaptados a las necesidades culturales de la comunidad para asegurar su éxito.

Las relaciones sociales dentro de la comunidad, como la confianza y la cooperación, son fundamentales para evitar conflictos internos y garantizar que la gestión sea eficiente. Por último, las condiciones económicas y la falta de recursos financieros pueden ser barreras significativas. En estos casos, buscar apoyo externo o comenzar con proyectos más pequeños puede ser una buena manera de avanzar.

En resumen, para que las comunidades energéticas sean exitosas y sostenibles, es esencial superar los desafíos sociales relacionados con la participación, la educación, la inclusión, las costumbres locales, las relaciones internas y el acceso a recursos. Con el enfoque adecuado, estos obstáculos pueden ser superados y los beneficios de la energía renovable pueden llegar a todas las personas de la comunidad.

3. Caracterización de la vereda Busaga, Iza Boyacá

La caracterización de la comunidad en la Vereda Busaga es esencial para entender las condiciones actuales y las necesidades energéticas de la zona. Este análisis nos permitirá identificar los recursos energéticos disponibles y evaluar las necesidades específicas de la comunidad, para diseñar soluciones energéticas adecuadas. A través de un diálogo cercano con

los habitantes y representantes locales, se construirá una relación de confianza que ayudará a obtener una visión integral de la comunidad.

3.1. Ubicación

La Vereda Busaga se encuentra en el municipio de Iza, en el departamento de Boyacá, Colombia, en la región Andina, al suroeste de la capital del departamento, Tunja. Geográficamente, la vereda está ubicada a aproximadamente 5.6218 grados al norte del ecuador y -72.930 grados al oeste del meridiano de Greenwich. Se encuentra a unos 15 kilómetros, aproximadamente 40 minutos esta distancia varía según la ruta y el tipo de transporte, En términos de clima, la región es de tipo montañoso o páramo, con temperaturas promedio que varían entre los 12°C y 20°C a lo largo del año, se sitúa a unos 2.700 metros sobre el nivel del mar (msnm). en el *Anexo A* podemos encontrar la localización de cada una de las casas de la comunidad.

3.2. Organización de la Comunidad

La Vereda Busaga está organizada bajo una Junta de Acción Comunal, que cuenta con una estructura básica conformada por un presidente, vicepresidente y tesorero. Sin embargo, esta junta no está formalmente constituida ante los entes correspondientes, lo que limita su capacidad para gestionar ciertos proyectos de manera oficial y recibir el apoyo institucional necesario.

3.3. Sector Social

La Vereda Busaga está compuesta por aproximadamente 15 familias, lo que equivale a alrededor de 45—50 personas. En cuanto a los servicios básicos, el acceso al agua potable se

realiza mediante carrotanque, ya que no cuentan con un sistema de distribución estable, no cuenta con sistema de alcantarillado, Respecto a la energía, no disponen de gas natural, y algunas familias aún utilizan carbón y leña para cocinar. En términos de gestión de residuos, la vereda tiene recolección de residuos, únicamente para los residuos peligrosos de uso agrícola. En el ámbito de salud, la atención básica se ofrece en el puesto de salud del municipio de Iza, mientras que, para emergencias, las personas deben trasladarse al municipio cercano de Sogamoso, ubicado a unos 60 minutos. En cuanto a educación, la vereda ofrece educación primaria en una vereda aledaña, y la educación secundaria básica está disponible en el municipio de Iza. Lo que representa una limitación en las infraestructuras de servicios.

3.4. Sector Económico

En la Vereda Busaga, el sector económico se basa principalmente en actividades agrícolas y ganaderas. En cuanto a la ganadería, los habitantes se dedican principalmente a la venta de leche, y algunos elaboran queso y cuajadas que comercializan en los mercados campesinos cercanos. En el ámbito agrícola, la mayoría de las casas tienen huertas pequeñas que se destinan al autoconsumo de las familias, cubriendo así las necesidades alimenticias básicas. Además, algunas personas de la comunidad están involucradas en la minería de carbón, aprovechando los recursos naturales de la zona. También existen dos tiendas pequeñas dedicadas a la venta de utensilios básicos y a la venta de licores. Este panorama económico refleja un estilo de vida basado en actividades productivas locales, con un enfoque en el autoconsumo y la comercialización local.

3.5. Análisis de Riesgos

El análisis de riesgos naturales es una herramienta clave para la planificación y prevención de desastres en comunidades rurales. En este estudio, se evalúan algunos de los principales riesgos naturales ver tabla 1, que podrían afectar a la Vereda Busaga: sismos, erosión e inundaciones, deslizamientos. Estos fenómenos representan amenazas que, si no se gestionan adecuadamente, pueden tener un impacto significativo en la infraestructura y el bienestar de la comunidad. El propósito de este análisis es proporcionar una visión detallada de los riesgos presentes, así como de las medidas preventivas y mitigadoras que podrían implementarse para garantizar la seguridad y la sostenibilidad del proyecto en la región. En el a *Anexo J* encontramos un estudio de estos riesgos.

Tabla 1

Áreas del Tipo de Amenaza (Ha)

Amenaza	Vereda						
	Agua Caliente	Busaga	Carichana	Chiguata	San Miguel	Toquilla	Usamena
Alta Erosión	125.7038	70.9788		333.5970	4.9488	163.0428	107.3358
Baja Erosión	190.7711				55.2687	43.6863	344.5209
Deslizamientos					86.5511	2.1724	

Amenaza	Vereda						
Inundacion	4.1156				2.6632	26.1095	84.7312
Media	413.2335	370.2660	280.6050	235.6133	141.1447	36.9840	298.4280
Erosión							

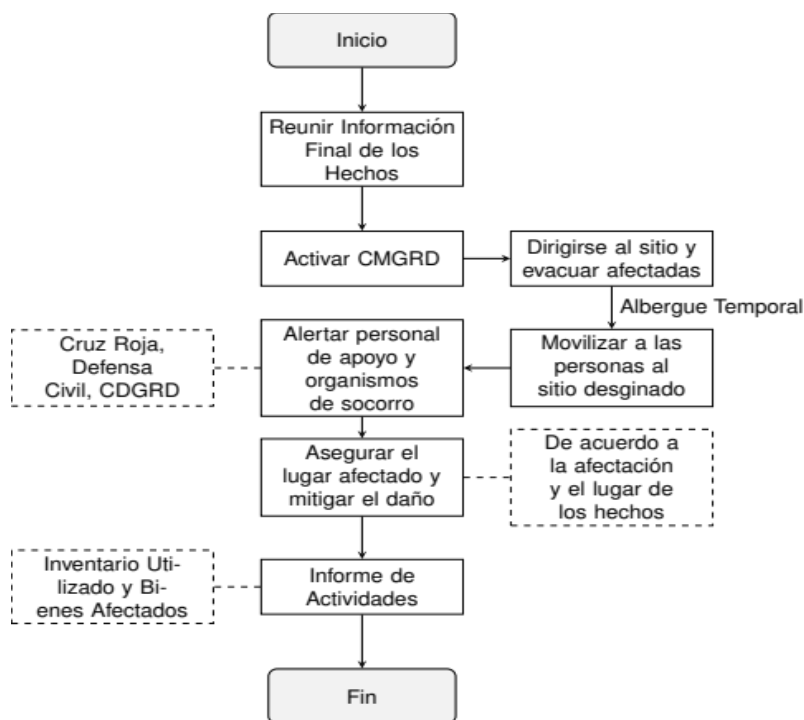
3.6. Plan de Contingencia

El plan de contingencia de la Figura 1 ha sido elaborado para garantizar una respuesta organizada, eficiente y oportuna ante cualquier tipo de emergencia que pudiera afectar a la vereda Busaga, considerando riesgos naturales específicos en la zona como erosión, deslizamientos e inundaciones.

Figura 1

Plan de contingencia

Fuente: Gestión de Riesgo



4. Visita de Diagnóstico y Análisis Inicial sistema eléctrico

En el marco de la Visita de Diagnóstico y Análisis Inicial, se llevará a cabo un proceso detallado para evaluar la situación actual de la infraestructura eléctrica y el consumo de energía en la Vereda Busaga. Este análisis tiene como propósito identificar las condiciones y necesidades específicas de la comunidad en relación con el suministro eléctrico, con el fin de diseñar soluciones energéticas que sean adecuadas y sostenibles.

4.1. Inspección Física de la Infraestructura Eléctrica

La inspección física realizada en la Vereda Busaga permitió identificar varios aspectos clave sobre el estado de la infraestructura eléctrica en la comunidad. En general, la red eléctrica presenta condiciones aceptables, pero se observó que existen fallas recurrentes debido a factores climáticos, como las tormentas, que provocan interrupciones frecuentes en el servicio. Para detalles más específicos sobre la inspección, se puede consultar en el *Anexo B*.

4.2. Encuesta de Consumo Eléctrico a los Hogares

La encuesta realizada a los hogares de la Vereda Busaga proporcionó información clave sobre los patrones de consumo eléctrico, el uso de la infraestructura energética existente y las preferencias de la comunidad respecto a la adopción de tecnologías de energía renovable.

Uno de los hallazgos más importantes es que todas las viviendas de la vereda utilizan energía eléctrica principalmente para actividades domésticas como cocina y limpieza, además de realizar actividades agropecuarias que también requieren energía, como la ganadería y riego. Esto demuestra que la electricidad es fundamental tanto para las necesidades domésticas como productivas de la comunidad. El análisis de los dispositivos eléctricos utilizados mostró que todos los hogares cuentan con un televisor, nevera y planta de corriente, lo que refleja un consumo energético moderado. La duración de uso de estos dispositivos varía, lo que es crucial para dimensionar un sistema de autogeneración de energía que pueda cubrir tanto los consumos continuos como los picos de demanda. Respecto al costo de la electricidad, muchos hogares reportan dificultades con facturas elevadas. Esto, junto con el hecho de que el 91.7% de los hogares experimenta interrupciones frecuentes en el suministro eléctrico, resalta la necesidad

urgente de soluciones energéticas más confiables y autosuficientes. En general, los resultados de la encuesta indican que la comunidad de la Vereda Busaga busca soluciones energéticas sostenibles que ofrezcan ahorros económicos a largo plazo, estabilidad en el suministro y la posibilidad de reducir su dependencia de la red eléctrica. Estos datos son fundamentales para ajustar el diseño del proyecto de energía renovable, garantizando que las soluciones sean socialmente aceptadas y económicamente viables. Para detalles completos de la encuesta, los resultados están disponibles en el *Anexo C*.

4.3. Análisis de Demanda

Para el análisis de la demanda del consumo energético de la Vereda Busaga tabla 1, se utilizó como base el promedio mensual de las facturas eléctricas de cada uno de los habitantes de la comunidad. Según este análisis, el consumo aproximado diario de la vereda es de **19,233 kWh/día**, lo que equivale a un consumo mensual de **577,000 kWh/mes**. Estos valores proporcionan una estimación clara de la demanda energética de la comunidad, lo que permite dimensionar adecuadamente el sistema de generación eléctrica necesaria para cubrir sus necesidades.

Tabla 2*Consumo promedio mes de cada casa de la comunidad*

Casa	Usuario	Consumo Promedio
1	Orlando Montaña	52
2	Misael Preciado	46
3	Dorely Riveros	46
4	Leonor Rodríguez	53
5	María Del Carmen Pérez	49
6	Jesús Rojas	45
7	Martin Patiño	50
8	Héctor Cárdenas	48
9	Elizabeth Cepeda	47
10	Sandra Carrillo	47
11	Carlos Preciado	46
12	Hernán Africano	48

4.4. Fronteras Comerciales

La frontera comercial de la Vereda Busaga está definida por el transformador de 15 KVA, que forma parte del circuito 14860 nodo de conexión 21118 operador de red EBSA, ubicado en la zona central de la vereda. Este transformador es el encargado de abastecer la demanda

eléctrica de la comunidad, distribuyendo la energía a través de una red de distribución que conecta las viviendas de la vereda.

4.5. Tarifas de Energía

Actualmente el operador de red maneja un costo de tarifas para cada uno de los agentes involucrados, dado como costo unitario de \$ 972.72 kWh, Valores de tarifas detallados en la siguiente Tabla 3:

Tabla 3

Componentes del costo unitario por kWh

Componente	Costo Unitario (Pesos)
Generación (G)	\$ 400.04
Transmisión (T)	\$ 49.85
Distribución (D)	\$ 272.98
Comercialización (C)	\$ 154.76
Perdidas (P)	\$ 84.42
Restricciones (R)	\$ 10.68

5. Análisis de Viabilidad de los Recursos Energéticos FNCER

La vereda de Busaga tiene acceso a diversas fuentes de energía no convencionales, como el agua, el sol, el viento y los residuos orgánicos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la disponibilidad de estas fuentes también conlleva ciertas limitaciones para el desarrollo de

sistemas de generación energética basados en ellas. Por lo tanto, se ha realizado un análisis de todos los factores relacionados con la utilización de estas fuentes energéticas.

5.1. Evaluación de la Disponibilidad del Recurso Solar

La energía solar es una fuente limpia y sostenible que proviene directamente del Sol en forma de luz y calor. Se puede aprovechar mediante dos tecnologías principales: la fotovoltaica, que convierte la luz en electricidad, y la térmica, que captura el calor. Los principales beneficios de la energía solar incluyen su carácter renovable, su capacidad de descentralización, su bajo impacto ambiental y su rentabilidad. Sin embargo, también presenta ciertas desventajas, como la dependencia de las condiciones climáticas y la necesidad de contar con espacio suficiente para la instalación de paneles solares.

Este trabajo se enfoca específicamente en el uso de energía solar fotovoltaica. Para ello, se llevó a cabo un análisis utilizando diversas plataformas, como el software Power Data Access Viewer (NASA 2024), PVGIS (Comisión Europea 2024) y METEOBLUE (Metoblue 2025). Los detalles completos sobre el estudio de la irradiación solar están disponibles en el *Anexo D*.

5.2. Evaluación de la Disponibilidad del Recurso Eólico

La energía eólica, proveniente del viento, se captura mediante aerogeneradores que transforman la energía cinética del viento en electricidad. Esta fuente de energía es limpia, renovable y descentralizada, con la ventaja de no generar emisiones contaminantes. No obstante, para que el sistema de generación eólica sea eficiente, es necesario que la velocidad del viento en la zona donde se implementará la tecnología alcance ciertos niveles mínimos. El análisis de

viabilidad para la implementación de la energía eólica en la vereda Busaga se llevó a cabo utilizando el software Power Data Access Viewer (NASA 2024). Los resultados detallados de este estudio se encuentran en el **Anexo E**.

5.3. Evaluación de la Disponibilidad Hidráulica

La energía hidráulica se obtiene aprovechando el flujo de agua para mover una turbina que convierte la energía mecánica en electricidad. Este recurso depende de la disponibilidad de agua (caudal y presión) y de la infraestructura necesaria para transportar y aprovechar dicha agua. Se considera el estudio de la UPME (2022) para el análisis del recurso hídrico, el cual se encuentra detallado en el *Anexo F*.

5.4. Evaluación de Disponibilidad del Recurso de Biomasa

La generación de energía mediante biomasa es un proceso que utiliza materia orgánica, como residuos agrícolas, forestales o industriales, para producir energía en forma de calor, electricidad o biocombustibles. Según datos de la UPME (2022) se realizaron análisis para la generación a partir de biomasa, este análisis se encuentra en el *Anexo G*.

5.5. Selección de la mejor Alternativa de Generación

Después de evaluar diferentes opciones de generación eléctrica para la Vereda Busaga, se concluyó que la **energía fotovoltaica** es la más viable y eficiente. Esta decisión se basa en varios factores clave. Primero, la radiación solar disponible en la región es suficiente para generar energía de manera efectiva. Además, la disponibilidad de espacio en la vereda permite instalar los paneles solares sin interferir con otras actividades.

Otro factor importante es que los sistemas fotovoltaicos requieren poco mantenimiento, lo que los hace ideales para comunidades rurales. También, la energía solar es una fuente limpia que no genera emisiones contaminantes, lo que contribuye a la sostenibilidad ambiental. Finalmente, la demanda energética de la comunidad se ajusta adecuadamente a la capacidad de los sistemas fotovoltaicos, permitiendo cubrir gran parte de sus necesidades sin necesidad energéticas.

5.6. Generación del Sistema

La Generación Distribuida Colectiva (AGC) es la opción ideal para la Vereda Busaga porque permite a la comunidad generar su propia energía, reduciendo la dependencia de la red eléctrica y aumentando la autonomía energética. Al basarse en energía solar fotovoltaica, este modelo es limpio y sostenible. Además, genera beneficios económicos, ya que los usuarios pueden reducir sus costos de energía y vender el excedente. La AGC es flexible y se adapta bien a las características locales, haciendo de ella la solución energética más eficiente para la comunidad.

6. Dimensionamiento del Sistema de Generación

El dimensionamiento del SFV se realiza con el objetivo de establecer la capacidad instalada necesaria para cubrir la demanda energética de la comunidad de la vereda. En esta investigación, se llevó a cabo el dimensionamiento del sistema AGC, con el fin de asegurar que cumpla con los requisitos energéticos. Los detalles específicos de los cálculos y configuraciones del sistema AGC se encuentran documentados en el *Anexo H*. En dicho anexo, se analiza la

capacidad del sistema para satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad, tomando en cuenta factores como la disponibilidad de irradiación solar, la demanda diaria, la eficiencia del sistema propuesto y cada uno de los componentes del sistema.

6.1. Tipo de Conexión

La conexión para el sistema fotovoltaico es “on-grid”, lo que significa que está conectado a la red eléctrica convencional. Este tipo de sistema fotovoltaico permite que la energía generada por los paneles solares se utilice directamente para cubrir las necesidades de la comunidad, y cualquier exceso de energía se inyecte a la red eléctrica. Esto permite que las familias en la Vereda Busaga puedan beneficiarse tanto de la energía solar generada como de la energía suministrada por la red en momentos de baja irradiación o alta demanda.

Este tipo de instalación es adecuado para áreas que ya cuentan con infraestructura eléctrica, y facilita la integración de fuentes renovables en el sistema energético local, promoviendo la sostenibilidad y el ahorro energético a largo plazo.

6.2. Método utilizado

Este método basado en el consumo mensual de las facturas proporciona un cálculo realista y directo para dimensionar el sistema fotovoltaico, asegurando que cubra adecuadamente las necesidades energéticas de la Vereda Busaga, mientras se aprovecha al máximo la capacidad del sistema solar.

6.3. Orientación y Angulo de inclinación

La orientación sur-norte con un ángulo de inclinación de 15 grados se utiliza para maximizar la captación de radiación solar. Esta disposición permite que los paneles solares aprovechen de manera óptima la energía solar disponible durante todo el año, teniendo en cuenta las variaciones estacionales y geográficas de la irradiación.

6.4. Cálculo Total de Datos del Sistema

En la tabla 4 se presentan los datos obtenidos de energía, potencia y las horas pico solares (HSP) tanto reales como ajustadas, que fueron utilizados para el dimensionamiento del sistema. Estos datos son fundamentales para determinar la capacidad exacta del sistema fotovoltaico y garantizar que pueda satisfacer las demandas energéticas de la comunidad de manera eficiente.

Esta información es clave para optimizar el rendimiento del sistema y asegurar que la instalación fotovoltaica pueda generar suficiente energía para cubrir las necesidades de la comunidad, incluso en condiciones climáticas desfavorables o en periodos de baja radiación solar.

Tabla 4*Parámetros generales para el dimensionamiento*

Parámetro	Consumo
Energía total consumida	19.233 kWh/día
Consumo ajustado	24.811 kWh/día
Potencia De generación	10.78 kW
Potencia instalada DC	7.500 Kw
Potencia instalada AC	6.000kW
Irradiancia solar peor mes	2.3 kWh/m ² /día
Horas solar pico (HSP)	2.3

6.5. Cálculos de Paneles

El panel seleccionado para este sistema fotovoltaico tiene una potencia nominal de 625 W. Para calcular el número de paneles necesarios, se comenzó con la potencia instalada del sistema, que fue de 7.500 kW.

Una vez obtenida esta potencia instalada, se dividió entre la capacidad de cada panel (625 W). Como resultado, se determinó que 12 paneles solares son necesarios para abastecer adecuadamente la demanda de energía que se desea cubrir. Este cálculo garantiza que el sistema fotovoltaico seleccionado proporcionará la cantidad de energía requerida, teniendo en cuenta las pérdidas del sistema y las variaciones de la radiación solar.

6.6. Selección del micro inversor

La potencia disponible de 7.5 kW no cumple con el tamaño mínimo requerido para la instalación de un inversor central convencional, lo que limita la capacidad de integración del sistema. Por esta razón, se opta por una configuración con tres micro inversores en serie, cada uno con una capacidad nominal de 2.000 W, alcanzando así una potencia total instalada de 6.0 kW.

El uso de micro inversores ofrece varias ventajas frente a los inversores centrales, entre ellas: mayor flexibilidad en la instalación, mejor desempeño en condiciones de sombras parciales o diferencias de orientación de los paneles, y una mayor eficiencia en la conversión de energía, al trabajar de manera independiente con cada grupo de módulos. Esta solución permite optimizar la capacidad disponible en el transformador y garantizar una generación estable de energía dentro de las restricciones normativas establecidas por la CREG 174.

6.7. perfil de carga

El perfil de carga refleja el comportamiento típico del consumo y autoconsumo energético de la comunidad, mostrando la distribución de la demanda a lo largo del día. Un análisis más detallado de este perfil se presenta en el Anexo K.

6.8. Ubicación del Sistema

El sistema fotovoltaico se instalará en un predio propiedad del municipio de Iza, con un área aproximada de 1,800 m² y un perímetro de 175 metros, como se muestra en la figura 2.

Según el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio (POT), no existen restricciones para su implementación, lo que permite una mayor flexibilidad en su diseño y ubicación.

El terreno seleccionado tiene características ideales para la instalación, ya que no presenta obstrucciones significativas, lo que facilita la disposición de los paneles solares de manera estratégica. Además, se pueden ubicar los paneles de forma tal que se evite la sombra y se maximice la captación de radiación solar durante todo el día, optimizando así el aprovechamiento energético del sistema fotovoltaico.

Figura 2

Disposición Física de los Paneles



7. Análisis Financieros

El análisis financiero permite visualizar la viabilidad económica del proyecto, proporcionando una visión clara de los costos involucrados y los beneficios potenciales. Este análisis se realiza con el objetivo de evaluar el costo del dimensionamiento propuesto y analizar el comportamiento del retorno de inversión (ROI). A través de este proceso, se busca determinar la rentabilidad a largo plazo del proyecto, teniendo en cuenta tanto los costos iniciales de implementación como los ingresos generados a lo largo de su vida útil.

El análisis financiero también considera variables clave como los costos operativos y de mantenimiento, los posibles ahorros en energía y las fluctuaciones en los precios de los insumos. Además, se evalúan los plazos de recuperación de la inversión y se realiza una proyección a futuro para asegurar que el proyecto sea financieramente viable y sostenible. Esto permite tomar decisiones informadas sobre la viabilidad del proyecto y su capacidad para generar beneficios económicos a la comunidad o empresa a largo plazo.

7.1. Estimación de Costos

La estimación de gastos para el Sistema AGC incluye dos componentes principales: el CAPEX (gasto de capital), que es la inversión inicial necesaria para la instalación del sistema, y el OPEX (gasto operativo anual), que cubre los costos de mantenimiento y operación a lo largo de la vida útil del sistema.

El costo total del proyecto es la suma de estos dos componentes, lo que representa la inversión global en el sistema fotovoltaico.

El ROI (Retorno de Inversión) se calcula para determinar el tiempo que tomará recuperar la inversión inicial. Este valor es fundamental para evaluar la viabilidad económica del proyecto y su capacidad para generar ahorros a largo plazo una vez que la inversión haya sido recuperada.

Toda esta información detallada sobre los costos, el ROI y otros elementos relacionados se encuentra en la Tabla 5 siguiente, donde se presentan los valores completos de manera desglosada. Además, todo el análisis detallado, incluyendo cálculos y desgloses completos, se encuentra documentado en el *Anexo I*, proporcionando un respaldo completo para la evaluación financiera del proyecto.

Tabla 5

Estimación de costos del dimensionamiento

Sistema AGC	Costo o Duración
CAPEX	\$ 91,768,960.00
OPEX	\$ 8,000,000.00
TOTAL	\$ 99,768,960.00
ROI	14 Años

7.2. Análisis Costo Beneficio

Para comprender adecuadamente este análisis, es fundamental tener en cuenta diversos factores clave que afectan tanto el costo como el beneficio económico del proyecto. En primer lugar, se debe considerar el consumo de los usuarios, ya que esto determina la cantidad de energía que se necesitará generar para cubrir la demanda de la comunidad.

Es importante también revisar las tarifas de energía que maneja la electrificadora, pues estas tarifas impactan directamente en el costo total de la energía para los usuarios. Además, se debe tomar en cuenta el descuento por subsidio de subsistencia, que se le otorga a los usuarios, lo que puede influir en el valor final de la factura energética y en el ahorro generado por el sistema fotovoltaico.

Otro factor relevante es el costo del mercado de energía, que varía según la oferta y demanda de electricidad en la región (XM 2019). Este costo debe ser comparado con el costo de producción de energía mediante el sistema fotovoltaico, para evaluar la viabilidad y los beneficios del proyecto a largo plazo.

Finalmente, es crucial tener presente la generación de energía mensual que proporciona el sistema fotovoltaico, así como el consumo que se pretende cubrir con este sistema. El balance entre ambos factores permitirá determinar la eficiencia y rentabilidad del sistema. Toda esta información, con los detalles específicos de los cálculos y proyecciones, se encuentra documentada en el *Anexo I*, proporcionando una base sólida para el análisis financiero y la toma de decisiones estratégicas sobre la implementación del sistema.

8. Conclusiones

Después de un análisis detallado de las fuentes de energía disponibles, se concluyó que la energía solar fotovoltaica es la opción más adecuada para cubrir la demanda energética de la Vereda Busaga. La energía solar ofrece ventajas significativas como la sostenibilidad, el bajo impacto ambiental, y la descentralización, lo que la convierte en una solución ideal para

comunidades rurales. A pesar de los desafíos relacionados con la dependencia de las condiciones climáticas, como la variabilidad de la radiación solar, el sistema fotovoltaico sigue siendo el más eficiente para este proyecto.

La adopción de un sistema fotovoltaico no solo tiene un impacto positivo en la reducción de los costos energéticos, sino que también ofrece beneficios significativos para la comunidad. La autonomía energética lograda mediante el uso de energía solar permite que la Vereda Busaga dependa menos de la red eléctrica convencional, lo cual es crucial en una zona rural donde el servicio de electricidad puede ser inestable. Además, el sistema puede servir como un motor de desarrollo local, mejorando la calidad de vida de los habitantes.

El sistema fotovoltaico proyectado no solo proporciona una solución energética viable para la Vereda Busaga, sino que también permite a la comunidad mantenerse a la vanguardia de las tendencias en energías renovables. A lo largo del tiempo, el sistema fotovoltaico puede ser ampliado según las necesidades de la comunidad, ofreciendo una infraestructura flexible y escalable. Además, la inversión en este tipo de tecnología favorece la sostenibilidad a largo plazo, contribuyendo a la preservación del medio ambiente.

Las comunidades juegan un papel fundamental en la transición hacia energías sostenibles. En la Vereda Busaga, la implementación de un sistema fotovoltaico no solo satisface la demanda energética local, sino que promueve la autonomía energética y contribuye a la sostenibilidad. Al involucrarse activamente, las comunidades pueden reducir su dependencia de fuentes de energía fósiles, generando ahorros económicos y contribuyendo a la reducción de la huella de carbono.

Es clave que los miembros de la comunidad se eduquen y participen en el proceso, asegurando que la transición energética sea un proceso inclusivo y beneficioso para todos.

9. Recomendaciones

Se recomienda que la comunidad explore posibles subsidios o incentivos ofrecidos por el gobierno o entidades privadas para la instalación de sistemas de energía renovable. Esto podría reducir significativamente los costos iniciales y acelerar el retorno de inversión.

Es importante llevar a cabo programas de educación y sensibilización sobre el uso y los beneficios de las energías renovables, especialmente en una comunidad rurales como la de Busaga. Esto ayudará a que los habitantes comprendan mejor la tecnología y participen activamente en su gestión.

Aunque la energía solar es una opción viable, es esencial realizar una planificación que contemple las variaciones en la radiación solar debidas a factores climáticos, como las nubes o la estacionalidad. Implementar sistemas híbridos con baterías permitirá asegurar el suministro de energía incluso en días nublados o durante la temporada de baja irradiación.

Si la demanda de energía en la comunidad crece o si se desea aumentar el porcentaje de cobertura con energías renovables, se puede considerar la expansión del sistema fotovoltaico. Esto implicaría instalar más paneles y posiblemente integración de almacenamiento en baterías.

Referencias

- Amigos de la tierra. (2021). *Comunidades energéticas: una guía práctica para impulsar la energía comunitaria*. Comunidades energéticas. <https://www.tierra.org/comunidades-energeticas/wp-content/uploads/2021/03/guia-comunidades-energeticas.pdf>
- Comisión Europea. (2024). *JRC photovoltaic geographical information system (PVGIS)*. [re.jrc.ec.europa.eu. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR)
- Metoblue. (2025). *Mapas meteorológicos*. meteoblue. <https://www.meteoblue.com/es/tiempo/mapas/index#coords=4/5.63/-72.95&map=windAnimation~rainbow~auto~10%20m%20above%20gnd~none>
- Ministerio de Minas y Energía. (2014). *Fuentes no convencionales de energía renovable - FNCER*. Minenergia.gov.co. <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable-fncer/>
- Ministerio de Minas y Energía. (2023). *Decreto 2236 de 2023: Relacionado con las comunidades energéticas en el marco de la transición energética justa en Colombia*. Sistema de Información Normativa del Ministerio de Minas y Energía. <https://normativame.minenergia.gov.co/normatividad/6821/norma/>
- Ministerio de Minas y Energía. (2024). ABC: Comunidades energéticas. *Gobierno de Colombia*. <https://www.minenergia.gov.co/documents/11069/ABC-ComunidadesEnergeticas-2023.pdf>

NASA. (2024). *ArcGIS web application*. Nasa.gov. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Parlamento Europeo. (2025). Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj/eng>

UPME. (2022). Resumen ejecutivo: Plan energético nacional (PEN) 2022-2025. *República de Colombia: Ministerio de Minas y Energía*. https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2022_2052/Resumen_ejecutivo_PEN_2022_2052.pdf

XM. (2019). *Sinergox oferta y generación*. Xm.com.co. <https://sinergox.xm.com.co/oferta/Paginas/Informes/GeneracionSIN.aspx>