

# ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE ENERGIZACIÓN EN ZONAS NO INTERCONECTADAS



Ivan Felipe Muñoz Sarria

**Universidad del Cauca**

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Programa de Ingeniería en Automática Industrial

Popayán - Cauca

2020

# ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS DE ENERGIZACIÓN EN ZONAS NO INTERCONECTADAS

Ivan Felipe Muñoz Sarria

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el  
título de: Ingeniero en Automática Industrial

Director: Maximiliano Bueno López

**Universidad del Cauca**

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Programa de Ingeniería en Automática Industrial

Popayán - Cauca

2020

# Resumen

Actualmente en Colombia existen muchas zonas apartadas que no se encuentran conectadas eléctricamente, dichas zonas desconocen diferentes tecnologías de generación que pueden suplir sus necesidades, con esta problemática el gobierno nacional ha reestructurado las estrategias de energización y electrificación e implementado proyectos que permitan cubrir la demanda de energía en zonas apartadas, donde se torna difícil la elección de la mejor alternativa de generación que garantice el desarrollo sostenible para la región. La toma de decisiones en el sector energético se muestra compleja debido a los múltiples aspectos a considerar y las variadas opciones presentadas para la elección. Con base en lo anterior, el presente trabajo de grado propone una búsqueda y análisis de los criterios más relevantes para la elección de un tipo de recurso primario de energía, donde se establecieron aspectos técnicos, económicos, socio políticos y ambientales con el fin de considerar toda la información que permitan elegir la mejor opción.

Con estos aspectos se han identificado las diferentes barreras que han tenido las tecnologías renovables para penetrar en el sector eléctrico de Colombia y se han establecido con base a las barreras los criterios a tener en cuenta para implementar un método multicriterio que permita disminuir la subjetividad a la hora de la elección. Se recolectó información acerca de los métodos multicriterio utilizados para la toma de decisiones en proyectos energéticos, donde se estudiaron los métodos ELECTRE, PROMETHEE, AHP, MAUT, TOPSIS Y VIKOR, esto con el fin de escoger el mejor para la toma de decisiones en el caso de la elección de la mejor alternativa de generación en zonas no interconectadas. Para la elección del método a utilizar se definieron aspectos como la complejidad, antecedentes, nivel de subjetividad, aplicación y flexibilidad de los métodos para finalmente decidir que el método analítico jerárquico (AHP) es la mejor opción. Una vez escogido el método se realizó una validación a partir de un caso de estudio en el resguardo indígena Calle Santa Rosa, en Timbiquí (Cauca), donde a partir de los criterios establecidos y la implementación del método multicriterio AHP se logró identificar que la mejor solución energética es la energía solar fotovoltaica seguida de la energía por biomasa.

**Palabras clave:** Métodos multicriterio, energía renovable FNCR, zonas no interconectadas (ZIN), sostenibilidad.

# Abstract

Currently in Colombia there are many remote areas that are not electrically connected, these areas are unaware of different generation technologies that can meet their needs, with this problem the national government has restructured the energization and electrification strategies and implemented projects that allow meeting the demand for energy in remote areas, where it is difficult to choose the best generation alternative that guarantees sustainable development for the region. Decision-making in the energy sector is complex due to the many aspects to consider and the various options presented for the election. Based on the above, this degree work proposes a search and analysis of the most relevant criteria for choosing a type of primary energy resource, where technical, economic, socio-political and environmental aspects were established in order to consider all the information that allow choosing the best option.

With these aspects, the different barriers that renewable technologies have had to penetrate the Colombian electricity sector have been identified and, based on the barriers, the criteria to be taken into account have been established to implement a multi-criteria method that allows reducing the subjectivity to the Election time. Information was collected about the multi-criteria methods used for decision making in energy projects, where the ELECTRE, PROMETHEE, AHP, MAUT, TOPSIS and VIKOR methods were studied, this in order to choose the best one for decision making in the case of choosing the best generation alternative in non-interconnected areas. For the choice of the method to be used, aspects such as complexity, antecedents, level of subjectivity, application and flexibility of the methods were defined, resulting in the hierarchical analytical method (AHP) as one of the best options.

Once the method had been chosen, a validation was carried out from a case study in the indigenous reservation Calle Santa Rosa, in Timbiquí (Cauca), where, based on the established criteria and the implementation of the AHP multi-criteria method, it was possible to identify that the best The energy solution is photovoltaic solar energy followed by biomass energy.

**Keywords:** Multi-criteria methods, FNCER renewable energy, non-interconnected zones (ZIN), sustainability.

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>8</b>
1.1. Objetivos . . . . .	10
1.1.1. Objetivo General . . . . .	10
1.1.2. Objetivos Específicos . . . . .	10
1.2. Antecedentes . . . . .	11
<b>2. Generalidades sobre energías renovables en Colombia</b>	<b>14</b>
2.1. Sistema Interconectado Nacional (SIN) . . . . .	14
2.2. Zonas No Interconectadas-ZNI . . . . .	16
2.3. Desarrollo por tipo de tecnología . . . . .	16
2.3.1. Energía solar . . . . .	16
2.3.2. Energía eólica . . . . .	19
2.3.3. Energía a partir de biomasa . . . . .	20
2.3.4. Energía geotérmica . . . . .	21
2.4. Normatividad . . . . .	23
<b>3. Dificultades para el acceso a la energía en Colombia</b>	<b>25</b>
3.1. Energía solar fotovoltaica . . . . .	26
3.2. Energía eólica . . . . .	28
3.3. Generación por biomasa . . . . .	29
3.4. Energía geotérmica . . . . .	31
<b>4. Métodos multicriterio</b>	<b>33</b>
4.1. Métodos de sobre clasificación o superioridad . . . . .	33
4.1.1. Método ELECTRE . . . . .	33
4.1.2. Método PROMETHEE . . . . .	36
4.2. Métodos de medición de valor o ranking . . . . .	38
4.2.1. Método AHP . . . . .	38
4.2.2. Método MAUT . . . . .	42
4.3. Métodos de nivel de preferencias o distancias . . . . .	42
4.3.1. Método TOPSIS . . . . .	42
4.3.2. Método VIKOR . . . . .	44
<b>5. Resultados</b>	<b>46</b>
5.1. Selección del método a utilizar . . . . .	46
5.2. Análisis de criterios y datos técnicos de la región . . . . .	48
5.3. Análisis de criterios y datos económicos . . . . .	48
5.4. Análisis de criterios y datos sociopolíticos . . . . .	49
5.5. Análisis de criterios y datos culturales . . . . .	49
5.6. Implementación de método multicriterio AHP . . . . .	50
5.6.1. Construcción de jerarquía . . . . .	50
5.6.2. Establecimiento de prioridades . . . . .	50
5.6.3. Consistencia lógica . . . . .	52

5.6.4. Ranking de prioridad Global . . . . .	56
<b>6. Conclusiones y análisis de resultados</b>	<b>59</b>
6.1. Contribuciones del trabajo de grado . . . . .	59
6.2. Conclusiones . . . . .	59
6.3. Trabajo futuro . . . . .	60

## Índice de tablas

1.	Barreras generales para el acceso universal a la energía. Fuente propia .	25
2.	Barreras Energía solar FV. Fuente propia . . . . .	26
3.	Barreras energía eólica. Fuente propia . . . . .	28
4.	Barreras generación por biomasa. Fuente propia . . . . .	30
5.	Barreras energía geotérmica. Fuente propia . . . . .	31
6.	Comparación de pares . . . . .	40
7.	Comparación de métodos multicriterio. Fuente propia . . . . .	46
8.	Criterios que dificultan el acceso a sistemas de energía en Colombia . .	47
9.	Expertos consultados para la selección de criterios . . . . .	51
10.	Comparación pareada entre criterios . . . . .	52
11.	Matriz normalizada . . . . .	53
12.	Vector de prioridades inicial . . . . .	53
13.	Matriz para ponderación final . . . . .	56
14.	Ponderación final caso de estudio . . . . .	56

## Índice de figuras

1.	Sistema de transmisión nacional 2019. Fuente UPME. . . . .	15
2.	Zonas no interconectadas. Fuente IPSE. . . . .	17
3.	Irradiación solar Colombia. Fuente Atlas energía solar IDEAM . . . . .	18
4.	Velocidad del viento Colombia. Fuente Atlas de viento IDEAM . . . . .	19
5.	Potencial Biomasa. Fuente atlas biomasa UPME . . . . .	21
6.	Potencial geotérmico. Fuente atlas biomasa UPME . . . . .	22
7.	Normatividad. Fuente [1]. . . . .	24
8.	Proceso de toma de decisiones. Fuente propia . . . . .	33
9.	Matriz de decisión. Fuente [2] . . . . .	34
10.	Construcción de jerarquías. Fuente [3] . . . . .	39
11.	Esquema jerárquico caso de estudio real . . . . .	50
12.	Inicio de plataforma . . . . .	57
13.	Aplicación interfaz gráfica . . . . .	57
14.	Resultado . . . . .	58



## Agradecimientos

Primero quiero agradecer a Dios y la virgen María por llenarme de salud, por permitirme vivir y guiar cada uno de mis pasos en mi formación académica, la cual me ha permitido mejorar tanto profesional como personalmente. Quiero agradecer a mi familia en especial a mis padres y a mi hermano por su amor, su comprensión y su apoyo incondicional en este proceso de formación. Quiero agradecer a mis compañeros que fueron parte de este proceso, a mi tutor Maximiliano Bueno López por otórgame su confianza y permitirme desarrollar este trabajo de investigación, por compartir sus conocimientos y experiencias, por su entendimiento, paciencia y por sus aportes que permitieron que esta investigación se desarrollara satisfactoriamente.

Por último, quiero agradecer a la Universidad del Cauca por permitirme ser parte de su institución y a mis maestros por su esfuerzo tiempo y dedicación en el transcurso de mi formación.

# 1. Introducción

Contar con el acceso al servicio energético hoy en día se ha convertido en una necesidad prioritaria, debido a que contribuye a mejorar las condiciones y la calidad de vida con servicios esenciales tales como agua potable, iluminación, telecomunicaciones y conservación de alimentos. También contribuye en el mejoramiento de sistemas de salud, aumento en la productividad del trabajo y generación de empleo. En Colombia el 97 % de la población tiene acceso a energía eléctrica según datos del sistema de información Minero Energético Colombiano, sin embargo, el gobierno Nacional y La Unidad de Planeación Minero Energético estiman que son más de 460.000 hogares que carecen de electricidad en Colombia [4].

La mayoría de estos hogares sin electricidad están ubicados en zonas rurales donde la pobreza afecta al 38,6 % de la población, debido a la carencia de infraestructura energética. Se han presentado dificultades para llevar energía a zonas rurales como por ejemplo el costo que se le atribuye a la expansión del Sistema Interconectado Nacional (SIN) hasta dichas zonas, las cuales presentan dificultades de acceso por motivos topográficos y en algunas ocasiones por orden público [5]. El desconocimiento de fuentes alternativas de energía ha motivado que se continúen utilizando algunas metodologías basadas en combustibles fósiles las cuales son costosas y generan contaminación en el medio ambiente [6]. Sin embargo, existen fuentes de energía renovable que se caracterizan por tener un menor impacto ambiental, una vez que estén en operación, las cuales pueden suplir necesidades básicas en zonas no interconectadas.

Recientemente se han desarrollado proyectos que buscan implementar sistemas de generación de naturaleza renovable, este es el caso de la energía solar fotovoltaica [7], energía eólica [8], energía biomasa [9] y energía geotérmica [10], donde se hace necesario seleccionar la tecnología más acorde para la región o la zona que no se encuentre conectada eléctricamente con el objetivo de evitar inconformidades y fallas en el sistema de generación renovable como en el servicio energético que se presta. Para realizar la correcta elección del sistema de generación con base a una planificación energética es vital contar con una metodología de selección que disminuya la subjetividad y aleatoriedad al momento de tomar una decisión, debido a que se deben considerar diferentes aspectos o criterios como económicos, técnicos, socio políticos y ambientales de modo que se garantice el desarrollo sostenible. Por tal motivo se aborda una metodología multicriterio, la cual ha surgido como una herramienta sustentada en elementos científicos, que aporta mejoras distintivas para asumir una decisión, considerando múltiples criterios (cuantitativos y cualitativos), lo cual permite tomar a consideración los múltiples aspectos involucrados para elegir un sistema de generación idóneo para zonas no interconectadas [11].

Con base a lo anterior el presente trabajo de grado se dividió en 6 capítulos, donde en el capítulo 2 se exponen las generalidades sobre energías renovables en Colombia, en

el capítulo 3 se exponen las dificultades para el acceso a la energía en Colombia, en el capítulo 4 se exponen los métodos multicriterio y finalmente en el capítulo 5 se exponen los resultados con un estudio real.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo General**

Proponer una metodología basada en análisis multicriterio que permita identificar la fuente de generación que más se adapte para una población en una zona no interconectada.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Especificar los criterios que han dificultado el acceso a sistemas de energía en Colombia que aporten en la selección de la fuente de energía más recomendable.
- Identificar la viabilidad de los métodos de decisión multicriterio empleados para el uso de sistemas de energías renovables.
- Formular un criterio de evaluación para el desarrollo del método de toma de decisiones a partir de estudios de caso.

## 1.2. Antecedentes

Los métodos multicriterio han permitido agilizar y mejorar el proceso de toma de decisiones en empresas e instituciones [12], actualmente se han desarrollado varias aplicaciones en diferentes ámbitos y están siendo muy utilizados para situaciones en las que es necesario tomar a consideración más de un requerimiento. Algunas aplicaciones donde actualmente los métodos multicriterio han ayudado en la toma de decisiones son la selección de carteras [13], licitación pública [14], determinación del impacto ambiental [15], remplazo de equipos industriales [16], selección de personal [17] y de proveedores [18]. En los últimos años la toma de decisiones en muchos ámbitos tienen una serie de interrelaciones muy complejas para ser comprendidas como un solo proceso, por tal motivo en la actualidad para problemas en los que se consideran múltiples aspectos para tomar una decisión se hace uso de métodos multicriterio, donde dentro de la literatura se ha mencionado que los métodos más utilizados para este tipo de problemas son ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) y PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), métodos de medición de valor o ranking como AHP (Analytic Hierarchy Process) y MAUT (Multiple Attribute Utility Theory) y métodos de nivel de preferencias o distancias como TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) y VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) [3]. Los métodos anteriormente mencionados han tenido gran aplicabilidad en muchos sectores de la economía y una de las áreas en donde se está iniciando a apoyar la toma de decisiones es el sector energético dado que los sistemas de suministro de energía son un problema multidimensional con múltiples criterios [19], [20].

Han sido múltiples las aplicaciones de MCDM (toma de decisiones con múltiples criterios) en el sector eléctrico para facilitar la toma de decisiones. En el sistema interconectado nacional de Colombia se ha propuesto una metodología basada en métodos multicriterio para la asignación de generación de electricidad, donde menciona el autor que la asignación basada en criterios de eficiencia utilizando MCDM resulta más eficaz debido a que se consideran aspectos diferentes a solo los precios de oferta [21].

Otra investigación ha hecho uso de métodos multicriterio para la jerarquización de energías renovables comparando diferentes técnicas de ponderación de criterios considerando solo aspectos técnicos y haciendo uso de métodos como TOPSIS para toma de decisiones [22]. Otra de las aplicaciones de los métodos multicriterio en el sector energético se ha desarrollado para evaluar el ciclo de vida de energías renovables donde debido al alto grado de incertidumbre se presenta compleja la comparación de resultados. En este tipo de análisis se demuestra que la aplicación de MCDM mejora significativamente el proceso de toma de decisiones [23]. En la actualidad los métodos de decisión multicriterio están siendo utilizados para determinar la alternativa energética más recomendable para zonas rurales no interconectadas. Desde el contexto internacional en investigaciones cómo las realizadas en Ecuador se ha identificado como estas herramientas de decisión reducen la subjetividad en la toma de decisiones mediante la creación de una serie de filtros de selección permitiendo elegir alternativas más acordes a la zona o región [24]. El principal reto de la electrificación es llevar energía a zonas

apartadas no interconectadas debido a que los sistemas de generación actualmente más utilizados como el hidráulico no cubren muchas zonas rurales, por tal motivo en los últimos años se han desarrollado proyectos de generación con fuentes de energía renovables que además de cubrir la demanda y de permitir el desarrollo de economías emergentes, pueden también ayudar a erradicar los problemas asociados con la pobreza mundial, la producción de alimentos, mejora de la salud pública, educación y mejor saneamiento [25], [26].

Investigaciones señalan que los proyectos de electrificación rural se presentan complejos debido a la variedad de factores a considerar [27] por tal motivo en el artículo [28] el autor menciona que el éxito de la electrificación rural basada en energías renovables depende de una planificación adecuada y eficiente que permita el aprovechamiento de los recursos disponibles localmente. Para la planificación eléctrica durante los últimos años se han evaluado alternativas e investigado en la literatura modelos matemáticos para localidades remotas en configuraciones descentralizadas [27], donde se evidencia las ventajas y las aplicaciones de los métodos multicriterio MCDM para la selección de la alternativa de energía en zonas rurales. Debido a las limitaciones topográficas relacionadas con los sistemas de energía renovable que se distribuyen principalmente en la naturaleza, la planificación energética se vuelve más complicada y es por esto que la herramienta de toma de decisiones multicriterio se está volviendo popular en el campo de la planificación energética debido a la flexibilidad que brinda para tomar decisiones mientras se consideran todos los criterios y objetivos simultáneamente.

Estudios como el realizado en Cuba muestran cómo estos métodos permiten evaluar diferentes soluciones tecnológicas de energías renovables para el aprovechamiento y las potencialidades del territorio, permitiendo garantizar la toma de decisión mostrando más atractivos los sistemas de generación solar fotovoltaica y la bioenergética [29], el autor también señala y concluye que la técnica multicriterio "Proceso Analítico Jerárquico" se presenta como una de las mejores alternativas para este tipo de problemas y de toma de decisiones. Otra de las aplicaciones de los MCDM ha sido revisada y detallada por varios autores en investigaciones como [11], [20], donde se señala que en los últimos años se ha presentado la aparición de nuevos entornos a considerar por lo cual el análisis de decisión sirve como base para los escenarios más competitivos. Para la selección de alternativas energéticas se han utilizado herramientas de análisis de decisión múltiples MCDA coincidiendo con otras investigaciones que el proceso analítico jerárquico se presenta como una de las herramientas más eficientes debido a que se puede determinar los pesos de los criterios [20]. En el artículo [3] se hace una revisión detallada de los métodos más utilizados en el sector energético para la selección de energías renovables mostrando las diferentes ventajas y desventajas de cada método MCDM y concluyendo que no existe una opción mejor de forma general, debido a que se pueden considerar varios métodos permitiendo aplicarlos de manera complementaria dependiendo el problema o situación, pero también se expresa en el artículo [3] que la tendencia en el sector eléctrico es el método AHP, principalmente por su facilidad de comprensión y su adaptabilidad a trabajar combinado con otros métodos, ya que AHP involucra todos los aspectos de toma de decisiones y es capaz de desarrollar completamente el proceso.

En los artículos e investigaciones anteriormente expuestos se expresa la necesidad e

importancia de la utilización de herramientas de decisión, pero dentro de la literatura también se ha encontrado que la eficiencia de dichos métodos depende de la consideración de criterios y aspectos ajenos a los técnicos y económicos, debido a que la mayoría de métodos de planificación energética rural disponibles han descuidado aspectos relevantes como el ambiental y social, reportándose muchas fallas de proyectos [30], [31], [32], [33], [34].

La irrupción de nuevas fuentes de energía y la importancia de llevar energía a zonas rurales ha provocado englobar aspectos ambientales, sociales, técnicos y económicos, debido a que hoy en día se debe garantizar la sostenibilidad, con esto se logra considerar todas las soluciones posibles y se evalúan todos los criterios que puedan afectar a la selección, ponderando de forma adecuada la importancia relativa de los mismos en cada proyecto y garantizando una solución sostenible, aquella que produce menores costes sociales, menores molestias a los usuarios de las infraestructuras y permitiendo la dualidad de usos [33], [35]. En la actualidad se han desarrollado proyectos para elegir el tipo de energía más sostenible para una determinada zona no interconectada, desde el contexto regional en Cauca - Colombia se desarrolló en el último año un proyecto considerando 10 criterios que englobaba aspectos económicos, técnicos, sociales y ambientales siendo ampliamente discutidas la energía eólica, solar, gas natural, energía a partir de biomasa, biodigestión y planta eléctrica diésel. Dentro de la investigación se hizo uso de métodos multicriterio para la selección, concluyendo que la elección de una buena herramienta de decisión junto con la consideración de todos los criterios involucrados en la situación mejora la toma de decisiones [36].

Con el objetivo acceder a la información necesaria que permita tomar a consideración múltiples criterios muchos países en desarrollo cuentan con varias fuentes de información. En Colombia actualmente se cuenta con un atlas de radiación solar [37], velocidad del viento [38], y generación con biomasa que permite tomar a consideración aspectos técnicos los cuales permiten estimar el potencial de generación. Para aspectos gubernamentales actualmente se cuenta con fuentes de información como la UPME (Unidad Administrativa Especial del Orden Nacional) y el IPSE (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas).

Por otro lado los métodos multicriterio también están teniendo gran aplicabilidad en áreas de la automatización, hoy en día la revolución industrial busca transformar de forma digital la industria de manera que abra nuevos caminos para la interacción entre personas, productos, servicios entre otros, donde se puede tener diferentes alternativas y criterios teniendo datos cualitativos y cuantitativos los cuales pueden evaluarse con métodos multicriterio como en la investigación [39], donde se busca una estrategia de implementación tecnológica entorno a la Industria 4.0 para el laboratorio de sistemas integrados de manufactura de la Fundación Universitaria los Libertadores. En esta investigación se hizo uso del método AHP y el autor concluyó que se presenta como una muy buena herramienta para tomar la mejor decisión. Se han desarrollado otras aplicaciones de los MCDM en esta área para la automatización de una planta de potabilización de agua piloto que permitiera identificar la mejor alternativa en el uso de coagulantes naturales, donde estos métodos facilitan y optimizan el proceso [40].

## 2. Generalidades sobre energías renovables en Colombia

La posición geográfica de Colombia en la zona ecuatorial permite que el país cuente con un gran potencial para el aprovechamiento de recursos que promueven el desarrollo de energías renovables no convencionales, por ejemplo, la energía solar fotovoltaica, eólica y de biomasa. La energía renovable se presenta como una alternativa para favorecer a los consumidores y atender la demanda ante la posibilidad de sequías provocadas por los cambios climáticos en relación al fenómeno del niño, además contribuye a tener una matriz energética diversificada, donde no solo se aprovechen los recursos fósiles propios como el gas, carbón y el petróleo o sistemas de generación tradicionales como la hidroeléctrica [41].

En el sector energético de Colombia, la mayor parte de la demanda de energía es cubierta por la participación del recurso hídrico con un 70.96 % seguido por termoeléctricas a gas con un 16.7 %, carbón con un 8,2 %, ACPM con un 2 % y casi un 1 % de recursos renovables no convencionales [42]. La expansión basada solo en energía proveniente de fuentes hídricas puede presentarse riesgosa, debido a los cambios climáticos y costos de construcción de las infraestructuras necesarias, por lo cual se deben tomar a consideración otras fuentes de energía y tecnologías como forma de adaptación a los cambios climáticos, y es de esta manera que las FNCER (Fuentes no convencionales de energía renovable) se convierten en un recurso primordial. Colombia presenta un alto potencial energético que es aprovechable cuando los entes gubernamentales proporcionan los diferentes instrumentos que permitan el desarrollo de las diferentes tecnologías como Eólica, Solar, Geotérmica, Biomasa, entre otras [43]. El desarrollo de estas tecnologías en Colombia se remota al año 2001 (según antecedentes regulatorios), donde se publicó la ley 697 que impulsó el uso racional y eficiente de la energía, esta ley permitió establecer la promoción de las fuentes no convencionales de energía en el país como también fomentar la investigación en materia de generación a partir de tecnologías renovables [42], pero solamente a partir de la ley 1715 del 2014, se consagra por primera vez en la regulación nacional, mecanismos y estímulos concretos de introducción en el mercado de las tecnologías de generación renovable, tanto en el sistema interconectado nacional, como su promoción en zonas no interconectadas [42], [44].

En términos de cobertura en el sector eléctrico de Colombia existen dos tipos de sistemas: el Sistema Interconectado Nacional (SIN) y las Zonas No Interconectadas (ZNI

### 2.1. Sistema Interconectado Nacional (SIN)

Está conformado por plantas de generación extendidas hacia el territorio nacional y cuenta con redes de transmisión conectadas entre sí que permiten llevar y distribuir la energía que se produce a gran parte del territorio nacional. El sistema interconectado nacional cubre aproximadamente 34 % del territorio nacional en el cual habita aproximadamente el 96 % de la población del país, con una cobertura de 95,54 %, a nivel urbano cubre aproximadamente el 99,35 % y a nivel rural presenta una cobertura



del 83,39%. En la Figura 1 se muestra la cobertura actual del sistema de transmisión nacional.

Las zonas que cuentan con el servicio energético que les ofrece el sistema interconectado nacional se denominan zonas interconectadas (ZI), por otro lado, las zonas que no cuentan con el acceso al servicio se denominan zonas no interconectadas (ZNI) [41].



Figura 1: Sistema de transmisión nacional 2019. Fuente UPME.

## 2.2. Zonas No Interconectadas-ZNI

Las ZNI no cuentan con la disponibilidad del servicio eléctrico a través del SIN, debido a que son áreas geográficas de difícil acceso. Dentro de las características se consideran como zonas de baja densidad poblacional, con distancias considerables con respecto a zonas urbanas, con riquezas de recursos naturales y con deficiencias en cuanto infraestructura física y vías inapropiadas. Las zonas no interconectadas en Colombia son aproximadamente el 51 % del territorio nacional, con 18 departamentos, 5 capitales departamentales, 36 cabeceras municipales, 95 municipios y 1.798 localidades [41]. Para suplir las necesidades y abastecerse de energía, dichas zonas utilizan en gran parte plantas de generación a diésel. Estas plantas son ampliamente utilizadas en el mundo debido a su alta eficiencia, pero son plantas de generación que afectan directamente el medio ambiente debido a su emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y otros contaminantes, que impactan directamente la atmósfera [45]. En la Figura 2 se evidencian las zonas que no se encuentran interconectadas con sus respectivos municipios y cabeceras. Los costos para integrar dichas zonas al SIN son bastante elevados por lo cual debido a la riqueza de recursos naturales se busca generar a partir de FNCER.

## 2.3. Desarrollo por tipo de tecnología

A continuación, se explican de forma general las tecnologías FNCER y se mencionan algunos proyectos desarrollados en el sector eléctrico de Colombia con estas tecnologías.

### 2.3.1. Energía solar

La energía solar proviene de los rayos solares que se consideran como una fuente inagotable de energía, por medio de la radiación y ondas electromagnéticas emitidas por el sol como principal fuente se puede generar electricidad. Colombia es un país que cuenta con un gran potencial de recurso solar con un promedio aproximado diario multianual de irradiación de  $4,5 \text{ kWh}/\text{m}^2$ , donde se destaca departamentos como la Guajira para el desarrollo de proyectos con este tipo de tecnología, este departamento se ha considerado con mayor potencial de irradiación con un promedio de  $6 \text{ kWh}/\text{m}^2$  [46]. En la Figura 3 se evidencia el potencial del recurso solar en Colombia y sus departamentos.

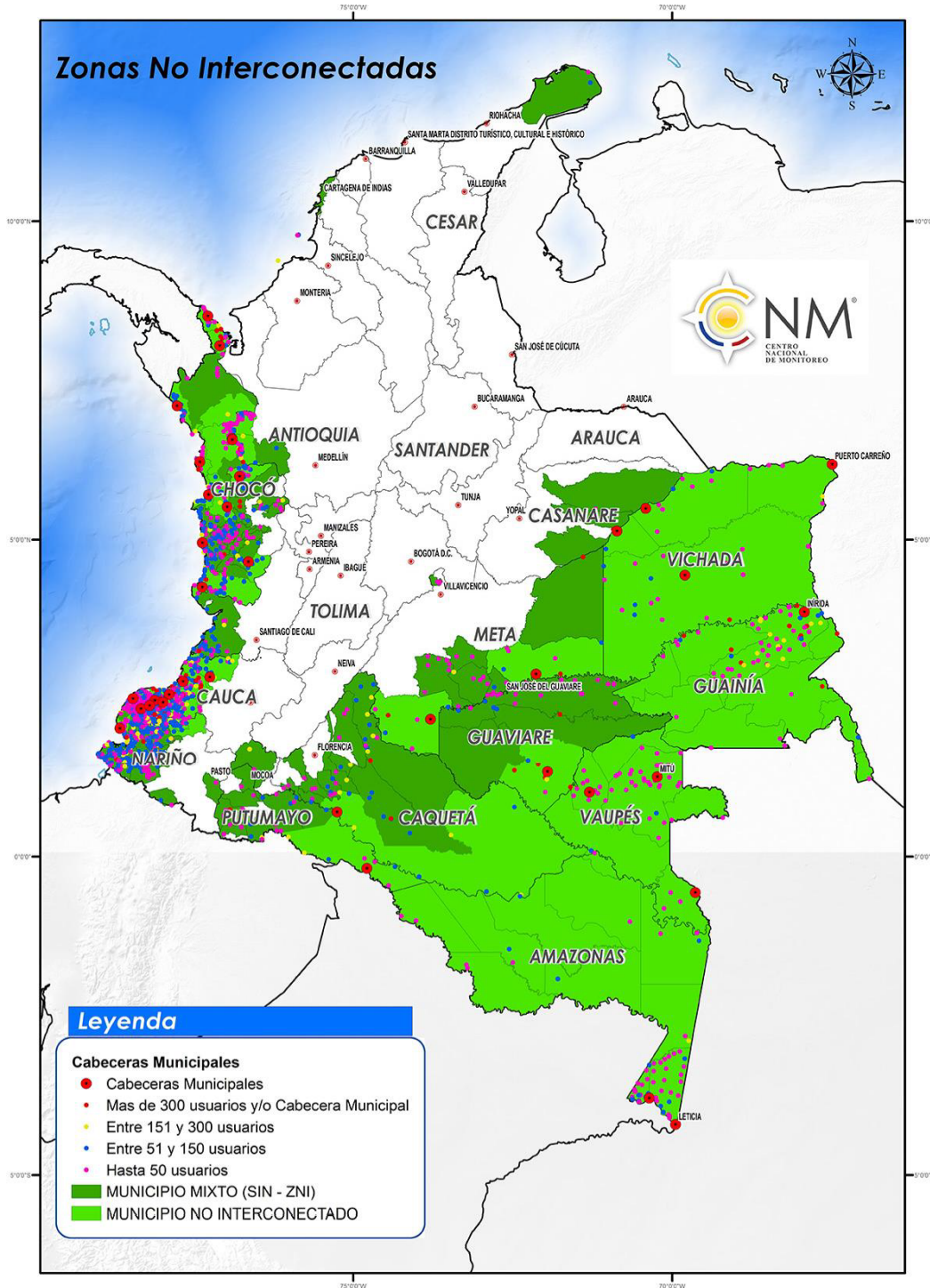


Figura 2: Zonas no interconectadas. Fuente IPSE.

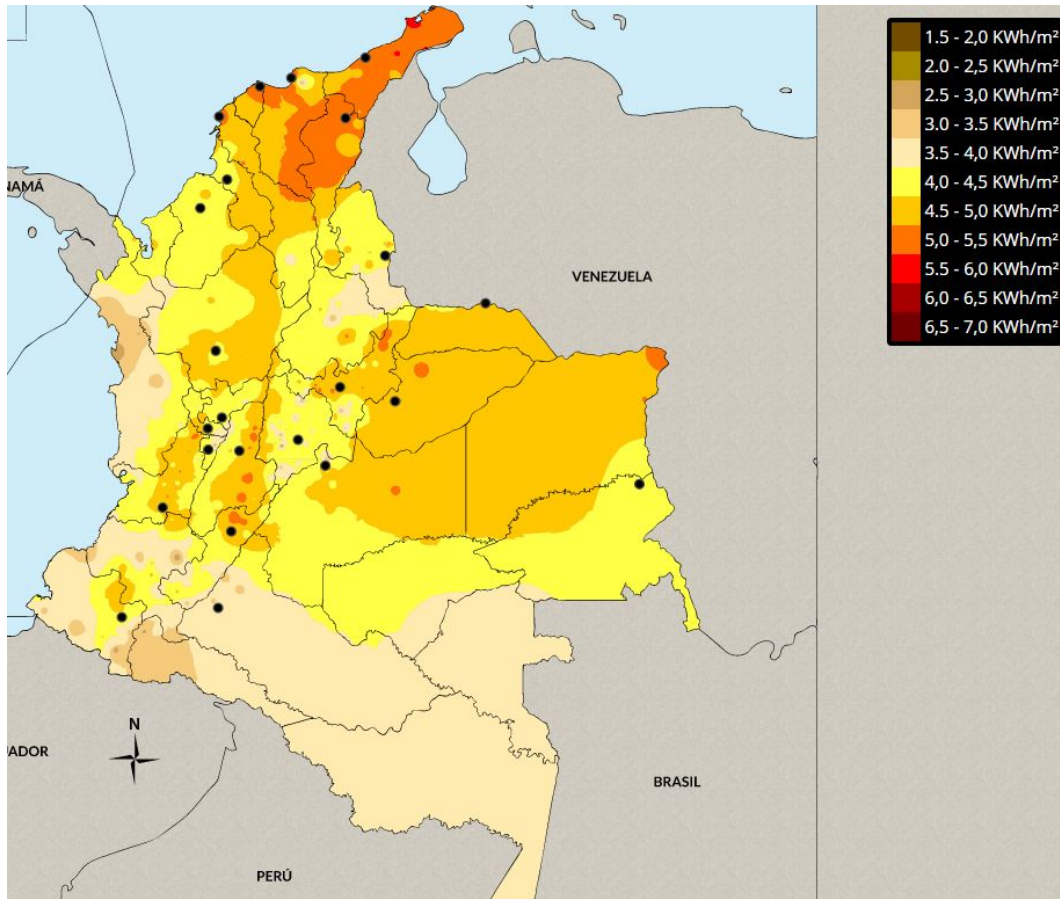


Figura 3: Irradiación solar Colombia. Fuente Atlas energía solar IDEAM

Actualmente el IPSE (Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas) ha reportado que existen más de 15.000 sistemas instalados para estas aplicaciones, pero, aunque en la actualidad ha incrementado el uso de energía solar, aún esta tecnología no presenta un desarrollo considerable en el país, las necesidades energéticas siguen siendo suplidas por fuentes tradicionales de energía como el petróleo y las hidroeléctricas [1].

La energía solar es una de las fuentes no convencionales de energía con mayor número de aplicación de proyectos en el país debido a su facilidad de implementación, en los últimos seis años se ha logrado un número representativo de instalaciones a nivel nacional, ha tenido gran aplicabilidad en el sector privado, destacándose proyectos como la granja solar Celsia en Yumbo y la planta Bosi en Itagüí Antioquía, proyectos ejecutados en el año 2017, el cual ha sido el año más representativo en cuanto a instalación de energía solar en el sector privado [47]. En el sector público también se han destacado proyectos como el Laboratorio de Ciencias de la Energía, INGEOMINAS Robledo, Sierra Nevada de Santa Marta, Magdalena entre otros [47].

### 2.3.2. Energía eólica

Es un tipo de energía renovable que aprovecha el movimiento del viento el cual es producido por la circulación del aire a diferentes temperaturas en las zonas geográficas. En Colombia, en la zona norte se cuenta con un gran potencial del recurso del viento para la generación eólica, principalmente en la alta Guajira, donde se encuentran unas de las mejores velocidades de viento de América Latina [48], estimándose una densidad de energía media de  $1530 \text{ W/m}^2$  medidos a 50 metros de altura. También se han identificado otras zonas como el departamento de Arauca y los altiplanos de la cordillera con potencial para la generación eólica. En la Figura 4 se evidencia el potencial del recurso del viento en Colombia y sus departamentos.

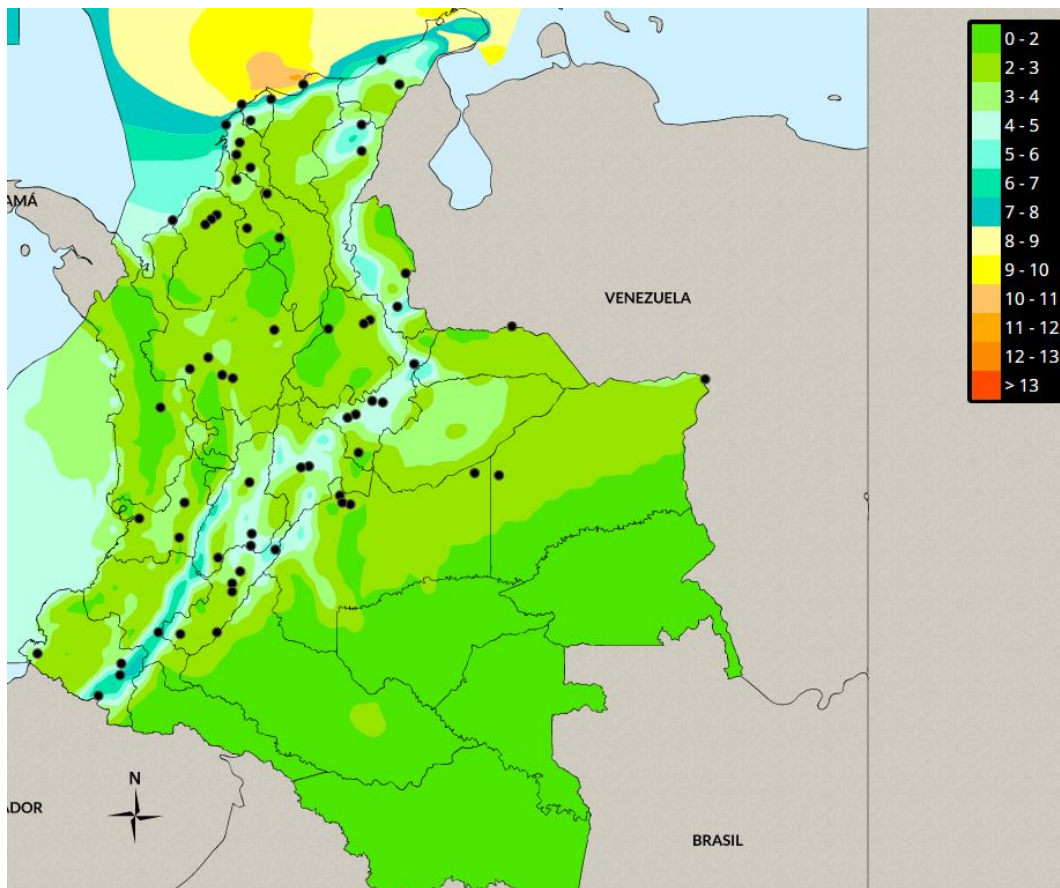


Figura 4: Velocidad del viento Colombia. Fuente Atlas de viento IDEAM

Uno de los proyectos más relevantes de energización a partir de energía eólica se encuentra ubicado en la Guajira y es conocido como el único parque eólico en la actualidad llamado Jepirachi, tiene una capacidad instalada de 19,5 MW el cual corresponde al 0,12% de la capacidad efectiva neta instalada en el SIN [46]. La energía eólica en Colombia representa menos del 1% de la capacidad instalada nacional, debido a que los proyectos están rodeados de grandes incertidumbres que abarcan desde el comportamiento de los vientos hasta los precios de la electricidad; además, requieren grandes

inversiones iniciales [49].

### 2.3.3. Energía a partir de biomasa

El recurso principal para este tipo de generación deriva de los residuos forestales y agrícolas como la caña, el banano, el arroz, el café, entre otros. También los desechos urbanos y de animales conforman lo que es conocido como biomasa [50]. En Colombia, la fuente de energía a partir de biomasa es considerada como el tipo de generación más desarrollado dentro de las FNCER, registrándose en los últimos años el uso de 124 cogeneradores estos están ubicados en Risaralda, Valle del Cauca y Cauca produciendo 589,1 Gwh de excedentes al Sistema Interconectado Nacional (SIN). El aprovechamiento de residuos obtenidos del bagazo de la caña de azúcar, la cual es producida especialmente en la región sur occidental del país asciende a la posibilidad de generar 450 PJ/año (Petajulios/año) que equivale al 41 % de la demanda energética nacional [1]. En la Figura 5 se evidencia el potencial de biomasa anual.

Se han desarrollado proyectos como la planta ubicada en el Cauca dedicada a la producción de biogás a partir de gallinaza, esta dinámica de la agroindustria es una oportunidad para los empresarios, así como nuevos proyectos alrededor del tema. Colombia presenta un gran potencial en cuanto a recursos de poda que supera el 78 % destacándose los residuos vegetales [51]. En el departamento de Santander se han ejecutado proyectos para el aprovechamiento de este potencial energético como el fique generando 15.000 toneladas de residuo (bagazo)/ha sembrada, así mismo, la cascarilla y el tamo. El sector arrocero también presenta un gran potencial, estimándose en Colombia de gran importancia como fuente constante de recursos agrícolas [51].

La generación a partir de biomasa disminuye los gases de efecto invernadero y se presenta como un sustituto para generación con recursos fósiles.

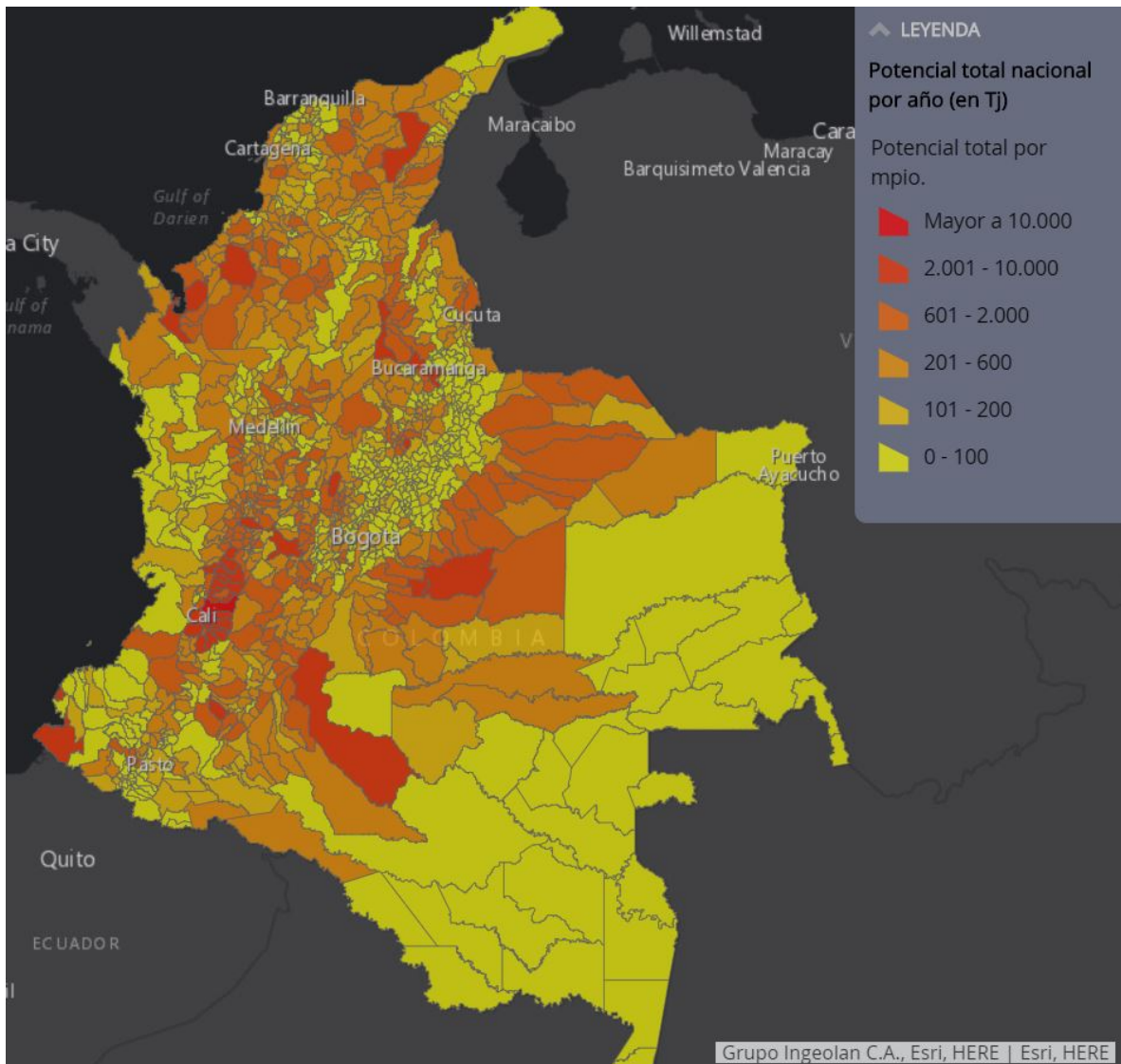


Figura 5: Potencial Biomasa. Fuente atlas biomasa UPME

#### 2.3.4. Energía geotérmica

La energía geotérmica es considerada como una fuente de generación renovable que es obtenida gracias al aprovechamiento del calor natural del interior de la tierra, la cual se trasmite por medio de los cuerpos de roca caliente o reservorios, por lo general este recurso geotérmico se encuentra cerca a los volcanes. Colombia al estar ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico y con actividad volcánica a lo largo de las cordilleras occidental y central hacen denotar un potencial de generación de energía con base a la geotérmica, cuenta con 55 volcanes (considerando 15 de ellos como activos) [52]. En la Figura 6 se muestra el potencial geotérmico del país.

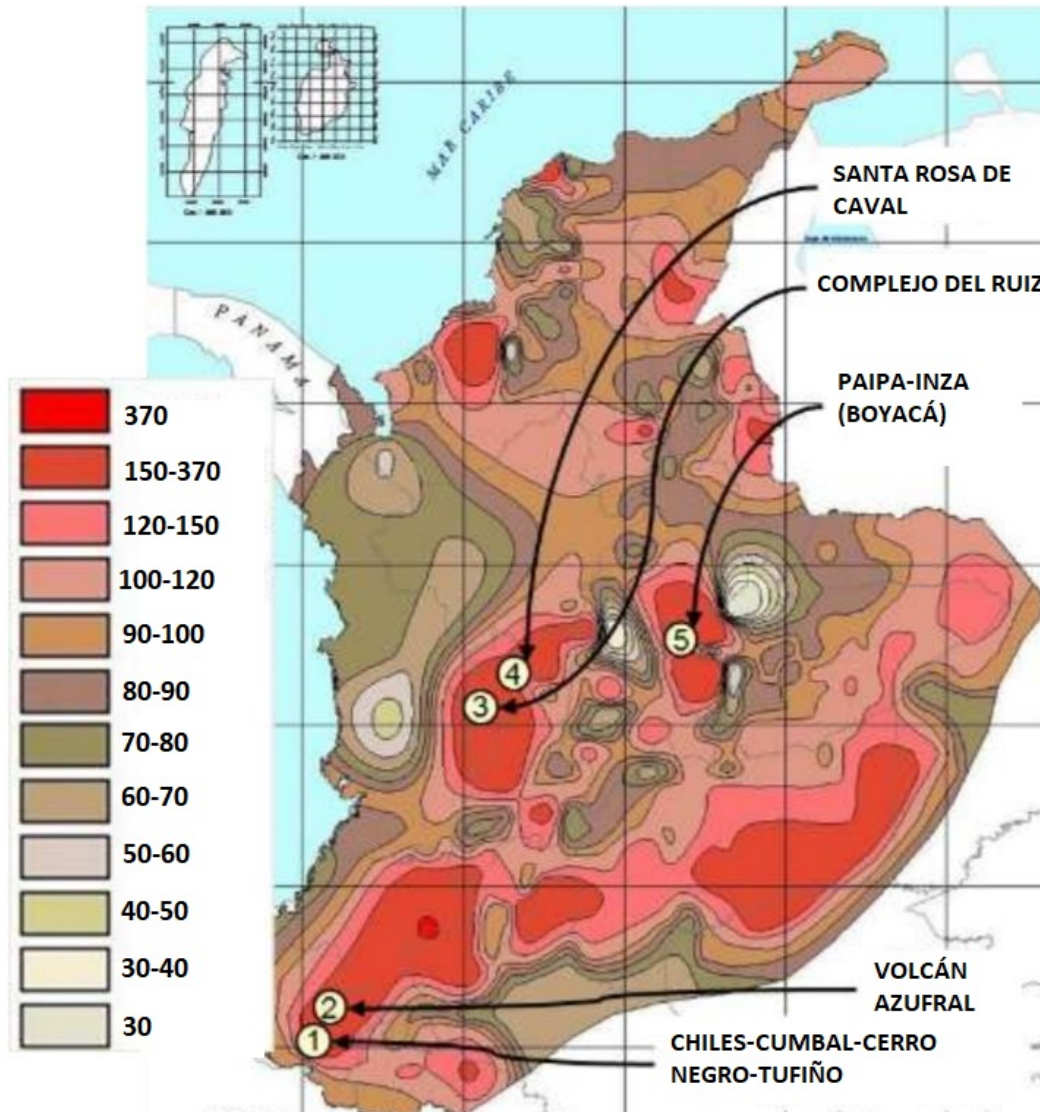


Figura 6: Potencial geotérmico. Fuente atlas biomasa UPME

Actualmente existen dos proyectos geotérmicos ubicados en el macizo Volcánico del Ruíz (MVR) y en la zona de influencia de los volcanes Tufiño, Chiles y Cerro negro, en la frontera con el Ecuador con alto potencial [1]. También se han desarrollado diferentes proyectos binacionales entre Colombia y Ecuador como lo es el Chiles – Cerro Negro, ubicado en la zona de Tufiño, por la cercanía de los pozos y la Alta Entalpía que permite generar energía. Por otro lado se denotan proyectos como el Azufral, uno ubicado en la Cordillera Oriental, Paipa (Boyacá), otro ubicado en la base del Volcán Nevado del Ruíz, que se encuentra en la fase de factibilidad para la generación de energía eléctrica [53].



## 2.4. Normatividad

En el transcurso del tiempo se ha promulgado el uso racional de energía y el direccionamiento del avance en pequeñas escalas, así como el incentivo de nuevas investigaciones aplicadas y básicas en cuanto a las FNCER como la generación geotérmica, biomasa, solar y eólica. En cuanto a la normatividad existen varias leyes para la regulación de energías renovables [54], las cuales son:

Ley 697 del 2001: Se crea el programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales como asunto de interés social. Este programa está encargado de velar por la aplicación gradual en toda la cadena energética de niveles mínimos de eficiencia y de buscar la incorporación de FNCE en la generación de energía eléctrica, estudiando su viabilidad tecnológica, económica y ambiental [42].

Decreto 3683 de 2003: Reglamentando la Ley 697 de 2001, esta entidad es responsable de asesorar y apoyar al Ministerio de Minas y Energía en la coordinación de políticas sobre uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales, tanto en el SIN como en las ZNI [42].

Resolución 180919 de 2010 del Ministerio de Minas y Energía: se establecen metas concretas de participación de las energías renovables en el SIN y en las ZNI.

Ley 1715 2014: Se regula la inclusión de las energías renovables no convencionales al sistema energético no convencional, se definen incentivos, tanto financieros como de mercado, para impulsar proyectos de generación basados en FNCER. El objetivo central de la ley está enfocado en el desarrollo de fuentes de generación renovable en el sistema energético nacional, mediante su integración en el mercado eléctrico y su participación en las zonas no interconectadas [44].

Resolución CREG 024 del 2015: Esta resolución tiene el objetivo de regular la actividad de auto generación a gran escala en el SIN [55].

Resolución UPME 045 de 2016: Se establecen los procedimientos y requisitos para emitir certificación y avalar los proyectos no convencionales de energía.

Decreto 0570 de 23 de marzo de 2018: Se establece los lineamientos para contratar a largo plazo proyectos de generación de energía renovables que complementen a los actuales. En este decreto se plantean un listado de objetivos que pretenden ser alcanzados a través de la contratación a largo plazo junto al mercado mayorista de energía. Los objetivos mencionados son, por ejemplo, mejorar la resiliencia de la matriz energética, mitigar efectos de cambio climático, reducir emisiones atmosféricas y fomento del desarrollo sostenible [42]. En la Figura 7 se presenta un breve resumen del marco normativo con las leyes de mayor importancia que regula la participación de energías renovables en el sector eléctrico colombiano.

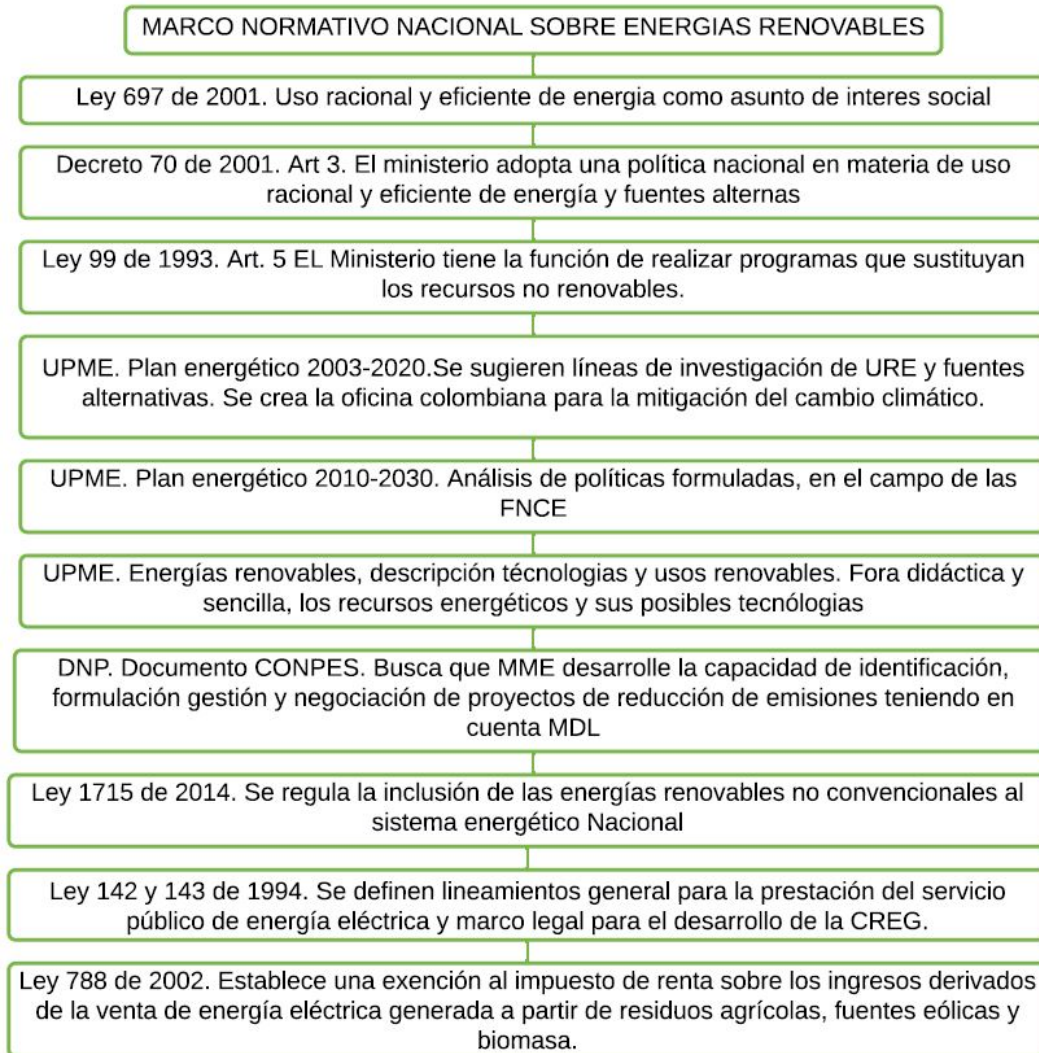


Figura 7: Normatividad. Fuente [1].

### 3. Dificultades para el acceso a la energía en Colombia

La energía eléctrica es esencial para el desarrollo de cualquier país, ya que impulsa los sectores industrial y comercial, además que proporciona bienestar y comodidad a la población. Para la producción de esta energía eléctrica se podrían utilizar variadas fuentes de energía primaria donde se deben considerar múltiples criterios. El acceso a sistemas de energía eléctrica hoy en día se ha convertido en un reto para los países en desarrollo, los cuales quieren ampliar la cobertura del sistema energético con el fin de cubrir la demanda de varias ZNI. Con este propósito han sido muchos los aspectos que han dificultado el acceso a sistemas de energía, en Colombia brindar soporte eléctrico es un reto de orden técnico, económico, social y ambiental, se evidencian grandes barreras donde el gobierno Nacional y la Unidad de Planeación Minero Energético estiman que son más de 460.000 hogares que carecen de electricidad [4].

La gran mayoría de las zonas que carecen de electricidad se encuentran alejadas de la ciudad, dichas zonas no interconectadas utilizan plantas de combustión interna con diésel para el suministro de fluido eléctrico, el cual no es constante presentándose dificultad para las comunidades rurales de acceso confiable de suministro de energía que representa limitaciones en el acceso de combustible para cocinar, la refrigeración de alimentos, iluminación, comunicaciones, agua potable para los hogares y alternativas económicas viables [56]. Las condiciones geográficas, socio-culturales y la vulnerabilidad del territorio colombiano debido al conflicto armado se presentan como grandes barreras donde las ZNI plantean grandes retos para la superación de las inequidades y las brechas entre el campo y la ciudad [57]. En Colombia se han presentado barreras que han dificultado un despliegue representativo de fuentes de generación alternativa de manera general [58], para las FNCER se denotan las siguientes (Tabla 1):

DIMENSIÓN	INDICADORES	BARRERAS
Técnicas	I1	Prejuicio tecnológico
Económico	I2	Costos y financiamiento
	I3	Barreras de mercado
	I4	Externalidades
	I5	Costos Transaccionales
Sociopolítico	I6	Incentivos erróneos
	I7	Competencia imperfecta
	I8	Información
	I9	Capital Humano
	I10	Orden público
	I11	Factores regulatorios e institucionales

Tabla 1: Barreras generales para el acceso universal a la energía. Fuente propia

Una vez mencionados los criterios que han dificultado de manera general la penetración de fuentes de energía alternativa y por ende el acceso al servicio, se realizó una búsqueda

para recopilar información de artículos y fuentes de información gubernamentales que permitieran reconocer las barreras por tipo de tecnología, entre las cuales tenemos energía solar fotovoltaica (FV), energía eólica, cogeneración por biomasa y energía geotérmica.

### 3.1. Energía solar fotovoltaica

A continuación, se presentan los aspectos que han dificultado el acceso a sistemas de generación a partir de energía solar FV, para los cuales se desarrolló una clasificación por tipo de dimensión seleccionando barreras técnicas, económicas, sociopolíticas y ambientales (Tabla 2).

DIMENSIÓN	INDICADOR	BARRERAS
Técnicas	BES1	Recursos humanos
	BES2	Ausencia de normatividad
	BES3	Disponibilidad del recurso
	BES4	Variación de la carga
	BES5	Información de Potenciales
Económicas	BES6	Financiación
Sociopolíticas	BES7	Transporte
	BES8	Política energética
	BES9	Venta de excedentes
Ambientales	BES10	Extenso uso de área
	BES11	Afectaciones de la vida salvaje y el hábitat

Tabla 2: Barreras Energía solar FV. Fuente propia

**Recursos humanos:** Implementar un sistema de generación Fotovoltaico en una ZNI requiere de personal capacitado tanto en operación y mantenimiento como también con habilidades técnicas para atender las necesidades de múltiples ZIN que requieren de un sistema de generación de electricidad, donde la carencia de personal capacitado ha provocado que se presenten fallas y se disminuya la calidad del servicio y la confiabilidad por parte del usuario final [59].

**Ausencia de normatividad:** Para desarrollar un proyecto de generación es imprescindible contar con un reglamento y requerimientos técnicos que permitan regular la participación de desarrolladores de proyectos de generación con base a FNCER. Actualmente aún existe carencia de normas o estándares para asegurar el cumplimiento de requisitos técnicos necesarios para implementar un sistema de generación [58].

**Disponibilidad del recurso primario:** La disponibilidad del recurso primario para la generación a partir de energías renovables naturales está condicionada por variables espaciales y temporales. Depende de aspectos tales como la ubicación del proyecto, la altura sobre el nivel del mar, el nivel de nubosidad, la temperatura, el nivel de humedad, la topografía del terreno entre otros. La baja disponibilidad del recurso natural en

diferentes zonas impide la ejecución de varios proyectos de energía alternativa para ZIN [60].

**Variación de la carga:** En comunidades aisladas la variación de carga es un tema que debe considerarse aunque su impacto es menor que en áreas urbanas. Las personas que residen en las denominadas ZNI normalmente tienen un aumento pequeño de la carga el cual se ve reflejado en la adquisición de electrodomésticos. Para este trabajo de grado se ha incluido este criterio basado en encuestas realizadas a la comunidad en la zona donde se desarrolló el caso de estudio.

**Información de potenciales:** La información de potenciales que sirva como base para identificar y cuantificar los posibles impactos sobre las redes de distribución no se presenta con certeza [61].

**Financiación:** Las FNCER como la energía solar fotovoltaica al no encontrarse muy desarrolladas en el país no cuentan con suficientes fuentes de financiación por parte del sector público para su instalación y mantenimiento en ZNI, además se presentan diversos factores que afectan la implementación de esquemas de financiación [62].

**Transporte:** La mayoría de ZNI se caracterizan por ser lugares de difícil acceso, donde el transporte de equipos y estructuras necesarios para implementación de energía solar fotovoltaica y energías renovables se ve muy limitado, debido a la capacidad de la red vial. [63].

**Política Energética:** El desarrollo de proyectos como la generación a menor escala haciendo uso de FNCER se ve limitada, debido a la ausencia de normatividad que permita la participación de usuarios medianos y pequeños [64].

**Venta de excedentes:** Las FNCER aún están presentando dificultades para interconectarse como también para vender la energía sobrante a la red de distribución [58].

**Extenso uso de área:** En algunas ZNI se requiere generar grandes cantidades de energía haciendo uso de tecnologías FNCER, algunas de ellas como fuentes fotovoltaicas requieren de un extenso arreglo de paneles solares que demandan un gran uso de área. Esto ha provocado cambios en la vegetación si el arreglo de equipos, estructuras y elementos de generación se encuentran sobre el suelo. [65].

**Afectaciones de la vida salvaje y el hábitat:** Para la generación solar fotovoltaica es necesario contar con estructuras de soporte y protección para el arreglo solar, lo cual se identifica como una barrera que puede afectar la vida salvaje y el hábitat debido a que limita el movimiento de especies animales, alterando factores como puntos de refugio, ciclo predador presa, disponibilidad de alimento etc. [65].

Por otro lado, la implementación de la tecnología solar fotovoltaica trae consigo muchos beneficios para la calidad ambiental, los cuales se ven reflejados en la salud y bienestar de las personas. Las emisiones de contaminantes atmosféricos como de  $NO_x$ ,  $SO_2$ , material particulado se ven notoriamente reducidos en comparación con la generación tradicional, teniendo un gran impacto en la salud de las personas. simultáneamente, también se identifica una considerable reducción en la emisión de otros gases como CO

y  $CO_2$ , convirtiéndose en una alternativa para luchar contra el cambio climático.

### 3.2. Energía eólica

A continuación, se presentan los aspectos que han dificultado el acceso a sistemas de generación a partir de energía eólica, para los cuales también se desarrolló una clasificación por tipo de dimensión seleccionando barreras técnicas, económicas, sociopolíticas y ambientales (Tabla 3).

DIMENSIÓN	INDICADOR	BARRERAS
Técnicas	BEE1	Ausencia de normatividad
	BEE2	Infraestructura
	BEE3	Eficiencia energética
Económicas	BEE4	Financiación
	BEE5	Costos de operación
Sociopolíticas	BEE6	Licenciamiento
	BEE7	Desconocimiento
	BEE8	Política energética
Ambientales	BEE9	Ruido
	BEE10	Impacto aves migratorias

Tabla 3: Barreras energía eólica. Fuente propia

**Infraestructura:** Las ZNI por lo general son zonas de difícil acceso y se encuentran alejadas de las subestaciones y de redes de transmisión del SIN, lo cual no permite la interconexión de zonas con fuentes de mayor potencial del viento que podría resultar viable para la economía del proyecto. Por otro lado en cuento la a infraestructura resulta complejo transportar y manipular equipos como aspas y grandes componentes [66].

**Eficiencia energética:** Esta barrera se refiere a la relación entre el recurso utilizado para la generación y el resultado entregado, donde la energía debe tener la capacidad de ser entregada en cualquier instante de tiempo, por esta razón se presenta como una barrera debido a que la generación con FNCER de carácter variable como la generación eólica dependen de las condiciones climatológicas y del momento del día, del mes o del año [67].

**Financiación:** La generación eólica al no encontrarse muy desarrollada en el país presenta dificultades para acceder a fuentes de financiación para ejecución de proyectos que permitan el aprovechamiento del viento como principal recurso de generación [67].

**Costos de operación:** Se identifica como una barrera debido a que los costos asociados a la operación pueden resultar elevados, debido a la variabilidad del recurso primario para la generación [58], [68]. Estos costos se dividen en tres (3) componentes:

- Costos de funcionamiento del proyecto según su tamaño.
- Costos que se atribuyen a la energía producida.

- Costos de mantenimiento y otros

**Licenciamiento:** Para desarrollar un proyecto de generación eólica u otros proyectos de generación con FNCER en ZNI es necesario llevar a cabo procesos de licenciamiento que podrían retrasar la ejecución del proyecto, donde se deben realizar consultas previas mediante encuestas, negociaciones con comunidades y reubicaciones de personas que habitan la zona de implementación de la tecnología que además tienen derechos sobre los terrenos [58].

**Desconocimiento:** Existen fuente de información gubernamentales que brindan datos de tecnologías renovables como por ejemplo del recurso eólico que son de interés para desarrolladores de proyectos de generación a menor escala, pero el acceso a la información por parte de ZNI es muy limitada por factores como su lejanía con respecto a zonas urbanas, medios de comunicación e información limitados y además existe carencia de fuentes públicas que brinden datos suficientes del recurso. Por otro lado, la disponibilidad de información con respecto a datos técnicos y económicos de las tecnologías son restrictivas.

**Ruido:** Las energías FNCER a pesar de que utilizan recursos naturales para su generación también tienen ciertas repercusiones sobre el medio ambiente como por ejemplo el ruido que se le atribuye a la operación de la tecnología y además se ha evidenciado que el ruido generado por la construcción y operación de estas instalaciones puede afectar directamente algunas especies animales [65].

**Impacto aves migratorias:** Esta barrera se presenta debido a que la instalación de estructuras y equipos necesarios para la generación eólica se encuentran a una altura considerable con respecto al suelo, donde los molinos de viento o aerogeneradores pueden tener impacto sobre aves migratorias dependiendo de la configuración de los sistema costa adentro o costa afuera [65].

### 3.3. Generación por biomasa

La generación por biomasa que se realiza principalmente en el sector industrial efectúa aportes en la canasta energética nacional debido a que ha sido un tipo de generación con mayor grado de madurez con respecto a su implementación, aun así, se han identificado algunos aspectos que han dificultado su desarrollo. A continuación, se presentan los aspectos o barreras para la generación por biomasa.

DIMENSIÓN	INDICADOR	BARRERAS
Técnicas	BEB1	Requisitos técnicos
Económicas	BEB2	Respaldo
	BEB3	Costos
Sociopolíticas	BEB4	Figura cogenerador
	BEB5	Política energética
	BEB6	Ausencia de conocimiento
Ambientales	BEB7	Cambio en la micro flora y fauna

Tabla 4: Barreras generación por biomasa. Fuente propia

**Requisitos técnicos:** La generación por biomasa tiene grandes ventajas para aspectos económicos y ambientales de diferentes proyectos, debido a su alto potencial del recurso primario que no ha sido explotado lo suficiente, pero para ZNI acceder a la figura de cogenerador resulta complejo porque la regulación exige un mínimo rendimiento eléctrico [69].

**Respaldo:** El proceso de valoración y negociación de contratos de respaldo puede ser complejo presentándose como una barrera por los altos cargos atribuidos a tal servicio que la regulación establece como mandatorio y que pueden hacer inviables algunos proyectos de cogeneración [58].

**Costos:** Las fuentes de financiación en torno a las tecnologías FNCER como por ejemplo la generación por biomasa se tornan muy limitadas, debido a que no se encuentran muy desarrolladas en el país. Por otro, lado para ejecutar proyectos de cogeneración la inversión inicial y costos de operación resultan elevados [70].

**Figura Cogenerador:** Se refiere al aprovechamiento de energía que resulta de los residuos del proceso de producción o fabricación para generar electricidad que cumplen con requisitos técnicos como el mínimo rendimiento eléctrico y además venden la energía sobrante al SIN, identificándose como una barrera o aspecto que impide su desarrollo en ZNI evitando así la participación en esta actividad de terceros o de personas que no desarrollan una actividad productiva a gran escala [58].

**Ausencia de conocimiento:** Los sectores agroindustriales y agropecuarios cuentan con una gran cantidad de residuos que pueden ser utilizados como material para el aprovechamiento energético, pero no todos conocen este tipo de fuentes de generación identificándose como una barrera donde no se aprovecha la oportunidad de generar energía eléctrica a partir de algunos recursos naturales que se encuentran disponibles en áreas rurales no interconectadas o con deficiente provisión del servicio eléctrico [71].

**Cambio en la micro flora y fauna:** El mal aprovechamiento de residuos tanto agrícolas como forestales para la generación por biomasa en ZNI puede tener repercusiones en el medio ambiente, presentándose varios impactos los cuales dependen de la procedencia del material de generación. Por otro lado, cuando la biomasa es de origen forestal y no se aprovecha correctamente puede provocar emisión de gases de efecto invernadero [65].



### 3.4. Energía geotérmica

La energía geotérmica fuera de considerarse como un tipo de energía limpia ha presentado dificultades o barreras que han impedido su desarrollo igualmente que los demás sistemas de generación alternativa. A continuación, se describen los aspectos que han impedido su realización clasificados por tipo de dimensión (Tabla 5).

DIMENSIÓN	INDICADOR	BARRERAS
Técnicas	EG1	Conocimientos Técnicos
	EG2	Madurez de alternativa de generación
Económicas	EG3	Alto costo de exploración
	EG4	Inversión inicial
Sociopolíticas	EG5	Licenciamiento
	EG6	Inflexibilidad y desviaciones
Ambientales	EG7	Emisiones
	EG8	Contaminación en aguas

Tabla 5: Barreras energía geotérmica. Fuente propia

**Conocimientos Técnicos:** En Colombia no se cuenta con la experiencia local suficiente o capacidad para la realización de proyectos a partir de energía geotérmica, donde para la implementación de este tipo de tecnología en ZNI que cuentan con la disponibilidad del recurso geotérmico se debe contar con personal técnico capacitado con habilidades de exploración, implementación, operación y mantenimiento de esta tecnología [72].

**Madurez de la alternativa de generación:** Para tecnologías con poca madurez tecnológica la inclusión en la matriz energética no es previsible en el corto plazo, además la escasa madurez del mercado en diferentes tecnologías FNCER pueden arrojar altos costos para el desarrollo de los distintos sistemas [68].

**Altos costos de exploración:** Se presentan complicaciones para desarrollar este tipo de tecnologías debido a los elevados costos en su fase de exploración, además en esta fase existe ausencia de fuentes que financien estos proyectos lo que complica su desarrollo e implementación en ZNI.

**Inversión inicial:** Se presenta como una barrera debido a los altos costos de inversión en estos recursos de generación, donde las FNCER en Colombia no solo están expuestas a la volatilidad de los precios en el mercado de electricidad, sino también a la intermitencia del recurso (la cual disminuye su eficiencia) y la inexperiencia en el uso de estas tecnologías en el país [68].

**Licenciamiento:** Para desarrollar un proyecto de generación que requiere de una exploración del recurso primario como en la tecnología Geotérmica se debe desarrollar un proceso de licenciamiento para identificar el potencial del área, y el diseño de las perforaciones. Por otro lado, es necesarios contar con un proceso de licenciamiento para identificar el recurso donde se tengan en cuenta etapas y riesgos de inversión. [73].

**Inflexibilidad:** Los proyectos de generación con energía geotérmica tienen capacidades mayores a 20 MW, esto debido a los costos asociados a su exploración, lo cual puede exponerlos a penalizaciones por desviaciones a este tipo de plantas que puede afectar su participación en el mercado [58].

**Emisiones:** La contaminación ambiental producida por la utilización del recurso Geotérmico se debe al tipo de tecnología a utilizar para la exploración del recurso eléctrico, también se debe a la gestión de los recursos y a pesar de que se considera como una energía limpia también se pueden generar impactos ambientales si se hace mal uso del recurso Geotérmico. Se pueden generar emisión de gases como el ácido sulfúrico que puede afectar la flora y la fauna. [65].

**Contaminación de aguas:** Se pueden producir fugas de sustancias peligrosas utilizadas durante la exploración que pueden contaminar el terreno y aguas superficiales y subterráneas cercanas [65].

## 4. Métodos multicriterio

El análisis de toma de decisiones desempeña un papel importante en el diseño de sistemas, al considerar varios criterios y objetivos. La toma de decisiones de criterios múltiples es una rama de la investigación operativa que trata de encontrar resultados óptimos en escenarios complejos que incluyen varios indicadores, objetivos y criterios en conflicto [3]; además se considera una estructura de evaluación para resolver las barreras ambientales, sociopolíticas, técnicas y económicas involucradas en la planificación energética. Las técnicas de toma de decisión multicriterio se han hecho populares en la planificación de la energía, ya que la valoración multicriterio se basa en modelos matemáticos que permiten al tomador de decisiones, prestar atención a todos los criterios disponibles y tomar la decisión adecuada según la prioridad seleccionada, como también disminuir la subjetividad [74]. En la Figura 8 se muestra el proceso a seguir para la toma de decisiones.

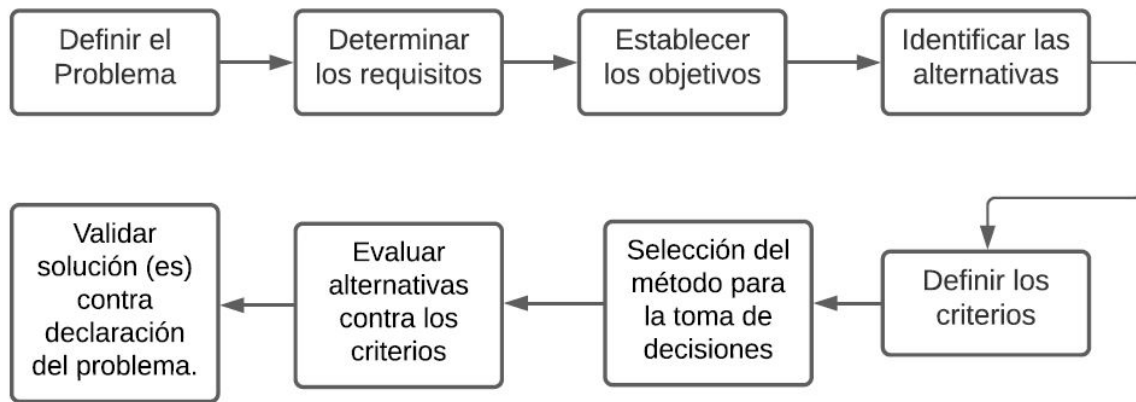


Figura 8: Proceso de toma de decisiones. Fuente propia

A continuación, se explican los métodos de decisión multicriterio más utilizados y algunas de las aplicaciones en sistemas de energías renovables, entre los cuales cabe destacar: métodos de sobre clasificación o superioridad como ELECTRE y PROMETHEE, métodos de medición de valor o ranking como AHP y MAUT y métodos de nivel de preferencias o distancias como TOPSIS y VIKOR.

### 4.1. Métodos de sobre clasificación o superioridad

Estos métodos se caracterizan por establecer relaciones de sobre clasificación entre las diferentes alternativas, las cuales son comparadas en forma de pares, donde se selecciona cuál alternativa es mejor respecto a cada criterio. Dichos métodos se basan en conceptos de concordancia y discordancia [3].

#### 4.1.1. Método ELECTRE

El método ELECTRE es un método de decisión multicriterio que se basa en la superación o sobre clasificación (una alternativa puede ser mejor que otra, aunque no en

todos los criterios), fue propuesto por Bernard Roy en 1965, es un método que permite incorporar una gran cantidad de criterios cualitativos y cuantitativos a los responsables de la toma de decisiones. Este método a partir de un conjunto de soluciones, desarrolla un subconjunto de las mejores soluciones, donde a partir del subconjunto el decisor escoge la mejor alternativa a implementar [3], [75].

El método menciona que una alternativa tiene una relación de mejor rango cuando el decisor escoge preferiblemente una alternativa  $A_i$  con respecto a una alternativa  $A_k$  y no prefiere escoger una alternativa  $A_k$  con respecto a una alternativa  $A_i$ . Este método se basa en el concepto de concordancia y discordancia que se utilizan para hallar la relación de mejor rango de una alternativa [76].

Concordancia: Mide hasta qué punto para un número elevado de criterios una alternativa  $A_i$  es mayormente o igualmente preferida que una alternativa  $A_k$ , esto se calcularía sumando los pesos asociados en los que una alternativa es mejor que otra.

Discordancia: Mide hasta qué punto no existe ningún criterio para el que una alternativa  $A_i$  es preferida que una alternativa  $A_k$ , esto se calcularía obteniendo el máximo de las diferencias entre criterios.

Para implementar el método ELECTRE inicialmente se crea la matriz de decisión con la información de cada criterio y sus respectivos pesos Figura 9, donde  $C_n$  son los criterios,  $A_n$  las alternativas,  $W_n$  los pesos y  $X_n$  los atributos [2].

	$C_1$	$C_2$	...	$C_j$	...	$C_n$
	$w_1$	$w_2$	...	$w_j$	...	$w_n$
$A_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1j}$	...	$x_{1n}$
$A_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2j}$	...	$x_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$A_i$	$x_{i1}$	$x_{i2}$	...	$x_{ij}$	...	$x_{in}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$A_m$	$x_{m1}$	$x_{m2}$	...	$x_{mj}$	...	$x_{mn}$

Figura 9: Matriz de decisión. Fuente [2]

Luego para poder establecer los índices de concordancia y discordancia se debe desa-

rollar una matriz normalizada, donde ELECTRE utiliza el procedimiento de normalización conocido como proporción de mejor rango, si se quiere maximizar el criterio se utiliza la Ecuación (1) y si se quiere minimizar el criterio se utiliza la Ecuación (2). Los valores normalizados quedarán comprendidos entre 0 - 1, donde  $V_i$  y  $V_j$  serán los valores normalizados.

$$V_i = \frac{\max x_i - x_i}{\max x_i - \min x_i} \quad (1)$$

$$V_j = \frac{x_j - \min x_j}{\max x_j - \min x_j} \quad (2)$$

Después se calcula la matriz normalizada ponderada, la cual resulta de multiplicar cada valor normalizado por el valor del peso asignado a cada criterio haciendo uso de la Ecuación (3).

$$P_{ij} = x_{ij} * w_i \quad (3)$$

Una vez hallada la matriz normalizada ponderada se procede hallar los índices de concordancia  $C_{ik}$  a partir de la Ecuación (4) y los índices de discordancia  $D_{ik}$  a partir de la Ecuación (5), con los cuales se crean la matrices de concordancia y discordancia.

$$C_{ik} = \sum_{j; C_j(A_i) > C_j(A_k)} w_j + \frac{1}{2} \sum_{j; C_j(A_i) = C_j(A_k)} w_j \quad (4)$$

$$D_{ik} = \frac{\max_{j; C_j(A_i) > C_j(A_k)} |C_j A_i - C_j A_k|}{\max_j |C_j A_i - C_j A_k|} \quad (5)$$

Como siguiente paso se procede hallar las matrices de dominancia concordante y discordante, donde para construir la matriz de dominancia concordante inicialmente se establece:

*Umbral de concordancia UC = 0.50*

*Umbral de discordancia UD = Promedio simple de los índices de discordancia*

$$D_{ik} = \begin{matrix} 0 & \forall & C_{ik} < UC \\ 1 & \forall & C_{ik} > UC \end{matrix} \quad (6)$$

$$DD_{ik} = \begin{matrix} 0 & \forall & D_{ik} < UD \\ 1 & \forall & D_{ik} > UD \end{matrix} \quad (7)$$

Finalmente se construye la matriz de dominancia agregada, la cual nos permite identificar cual es la mejor alternativa o solución. La matriz de dominancia agregada se calcula

multiplicando los elementos homologos de la matriz de dominancia concordante por los de la matriz de dominancia discordante [77].

Para la planificación energética existen situaciones en las cuales los expertos deben elegir dentro de un conjunto de alternativas evaluadas bajo ciertos criterios en conflicto, un subconjunto de ellas con mejores características para el problema, donde el método ELECTRE ha sido uno de los más aplicados para la selección de una alternativa energética con criterios en conflicto [76].

#### 4.1.2. Método PROMETHEE

El método PROMETHEE es un método de decisión multicriterio que se basa en la superación o sobre clasificación (una alternativa puede ser mejor que otra, aunque no en todos los criterios), fue propuesto por Brans y Vincke en el 1985 y mejorado por Brans y Mareschal en 2005, este método plantea el uso de criterios y pseudocriterios para establecer relaciones de superación entre las alternativas [74]. Principalmente en el método PROMETHEE se define la matriz de decisión con la información de cada criterio y sus respectivos pesos [76].

Una vez realizada la matriz, el método propone determinar el desempeño de las alternativas para cada uno de los criterios, realizando una diferencia entre el valor de dos alternativas comparándolas por pares como se muestra en la Ecuación (8):

$$d_j(A_i, A_k) = C_j(A_i) - C_j(A_k) \quad (8)$$

A partir de la diferencia se obtiene un desvío, donde el decisor establecerá una preferencia de alternativas utilizando funciones de preferencia, si se requiere la maximización del criterio se utiliza la Ecuación (9), por el contrario, si se requiere la minimización del criterio solo basta multiplicar la distancia por -1 mostrado en la Ecuación (10).

$$P_j(A_i, A_k) = F[d_j(A_i, A_k)] \quad \nu A_i \in A \quad (9)$$

$$P_j(A_i, A_k) = F[-d_j(A_i, A_k)] \quad \nu A_i \in A \quad (10)$$

Después de hallar las diferencias de cada criterio se debe asociar una función de preferencia para cada criterio. Estas funciones permiten cambiar las desviaciones de cada criterio en grados de preferencia, para escoger la función de preferencia el método propone un conjunto de criterios generalizados mostrados en la Figura 10. Estos criterios son definidos a partir de la determinación de los parámetros p (umbral de preferencia estricta), q (umbral de indiferencia) y/o s (un valor intermedio entre q y p). Después se realiza un cálculo de los índices de preferencia agregados, donde con la Ecuación (11)

se expresa el grado de preferencia con que  $A_i$  supera a  $A_k$  y la Ecuación (12) expresa el grado de preferencia con que  $A_k$  supera a  $A_i$  [77].

$$\pi(A_i, A_k) = \sum_{j=1}^n P_j(A_i, A_k)w_j \quad (11)$$

$$\pi(A_k, A_i) = \sum_{j=1}^n P_j(A_k, A_i)w_j \quad (12)$$

Para obtener un pre-ordenamiento parcial de las alternativas, en el que adicionalmente se puede observar cuales alternativas son incomparables entre sí, se calculan flujos de superación o sobre clasificación positivos  $\phi^+(A_i)$  y negativos  $\phi^-(A_i)$ , los cuales sirven para obtener en primera instancia la mejor alternativa. En los flujos de superación positivo mostrados en la Ecuación (13), el mayor de los flujos es la mejor alternativa y en los flujos de superación negativo mostrado en la Ecuación (14) el menor de los flujos es la mejor alternativa.

$$\phi^+(A_i) = \frac{1}{m-1} \sum \pi(A_k, A_i) \text{ con } k = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

$$\phi^-(A_i) = \frac{1}{m-1} \sum \pi(A_i, A_k) \text{ con } k = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

Hasta este punto el método se conoce como PROMETHEE I. Al combinar los flujos de superación positivos y negativos de cada una de las alternativas, se obtiene lo llamado flujo de superación neto, el cual se utiliza para obtener un pre-ordenamiento total de las alternativas, que es el producto que se obtiene al aplicar PROMETHEE II. El flujo de superación neto se define con la diferencia entre los flujos de superación positivo y los flujos de superación negativo mostrado en la Ecuación (15).

$$\phi(A_i) = \phi^+(A_i) - \phi^-(A_i) \quad (15)$$

De esta forma se obtiene la mejor alternativa en función de  $\phi$ . Si al comparar las alternativas el flujo de superación neto de alguna de ellas es mayor se considera como la mejor alternativa, por otro lado, si son iguales se considera indiferente.

Entonces, PROMETHEE I permite obtener un pre-ordenamiento parcial de las alternativas con información sobre las incomparabilidades entre éstas. Mientras que PROMETHEE II permite obtener una jerarquización completa de las alternativas, pero no se observa información con respecto a las posibles incomparabilidades. Por esta razón,

se recomiendan aplicar ambas versiones del PROMETHEE a los problemas de decisión multicriterio considerados [78].

El método PROMETHEE ha tenido aplicabilidad en el sector energético para la definición de alternativas energéticas con fuentes renovables para una región, el método permite encontrar las alternativas energéticas de mayor rango, lo cual facilita la elección de una alternativa si se trabaja en conjunto con otro método de toma de decisión como el AHP [76], [78]. Tanto el método ELECTRE como el PROMETHEE son técnicas de decisión que usan relaciones denominadas de mejor rango, dichos métodos pueden tener una amplia aplicación para la selección de tecnologías o alternativas ordenándolas según el nivel de jerarquía determinado por el decisor, pero se presenta una desventaja a la hora de realizar la asignación conveniente de los recursos a los usuarios finales.

## **4.2. Métodos de medición de valor o ranking**

Estos métodos se basan en la asignación de pesos a los criterios, de modo que a cada atributo se le asigna un peso que contribuye parcialmente al problema propuesto y permite asignar a cada alternativa un valor numérico para poder determinar el orden de preferencia [3].

### **4.2.1. Método AHP**

AHP es un método de decisión multicriterio discreto basado en clasificación de alternativas, fue propuesto por Thomas Saaty en 1980. El método consiste en descomponer un problema complejo y construir un orden jerárquico como primer principio, donde se ubique en la cima de la jerarquía una meta y en sus niveles y subniveles se ubiquen los subcriterios y criterios, mientras que las alternativas de decisión estarán ubicadas en la parte inferior de la jerarquía [3]. En la Figura 11 se muestra cómo construir una jerarquía en el método AHP.



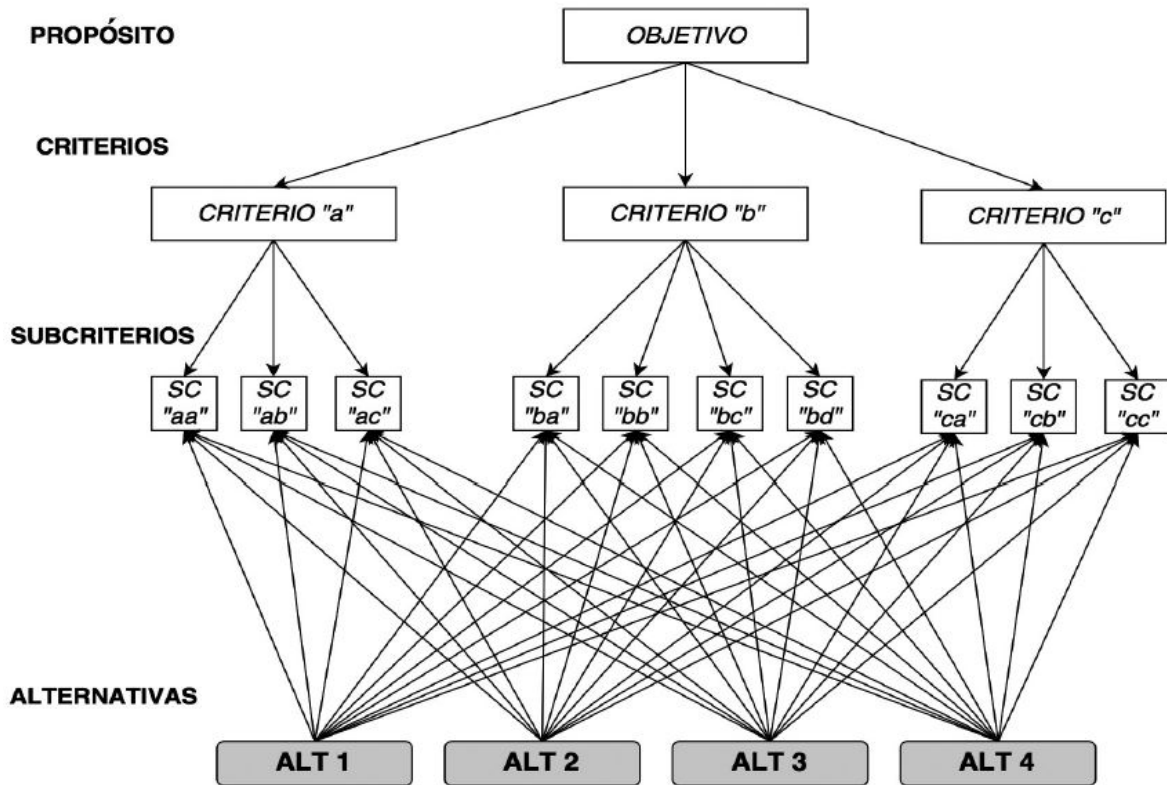


Figura 10: Construcción de jerarquías. Fuente [3]

Una vez construido el orden jerárquico, los elementos de la jerarquía se comparan en pares y se organizan en una matriz como segundo principio (cada elemento en un nivel superior se usa para comparar los elementos en el nivel inmediatamente inferior con respecto a él) Figura donde se valora numéricamente la importancia relativa de cada alternativa en función de cada uno de los criterios a considerar, para la valoración, el método presenta una escala mostrada en la Tabla 6 [79].

Escala numérica	Escala verbal	Interpretación
1	Igual importancia de ambos criterios	Los dos criterios contribuyen de la misma forma al objetivo
3	Moderada importancia de un criterio sobre otro	Uno de los criterios es levemente favorecido
5	Fuerte importancia de un criterio sobre otro	Uno de los criterios es fuertemente favorecido
7	Muy fuerte importancia de un criterio sobre otro	Uno de los criterios es fuertemente dominante
9	Extrema importancia de un criterio sobre otro	Uno de los criterios domina al otro con el mayor orden de magnitud posible
2 / 4 / 6 / 8	Valores intermedios	Para juicios intermedios

Tabla 6: Comparación de pares

Primero se realiza una comparación pareada entre criterios, donde  $C_{ij}$  será el valor numérico asignado a la comparación. La comparación se representa de la siguiente manera [13]:

$$\begin{bmatrix} 1 & C_{12} & \cdots & C_{1j} \\ 1/C_{12} & 1 & \cdots & C_{2j} \\ \cdots & \cdots & 1 & \cdots \\ C_{21} & \cdots & 1/C_{2j} & 1 \end{bmatrix}$$

El número 1 ubicado en la diagonal representa la comparación pareada entre los mismos criterios lo que se refiere a igual importancia según la escala de Saaty, para la comparación pareada entre diferentes criterios uno de los principales axiomas que posee la metodología AHP es que el elemento menor tiene el valor inverso al mayor. Por ejemplo, si “c” es el número de dominancia de un elemento sobre otro y será “1/c” como es dominada la contraria sobre el otro [13].

Una vez realizada la matriz de comparación pareada entre criterios se procede a normalizarla dividiendo cada componente por la suma de la parte final de la fila haciendo uso de la Ecuación (16),

$$V_i = \frac{c_i}{\sum c_i} \quad (16)$$

Después se procede a determinar los pesos relativos de cada criterio, donde se calcula el promedio de las filas de la matriz normalizada y se encuentra el vector de prioridades de los criterios.

Como tercer principio el método AHP propone realizar la consistencia lógica debido a que las comparaciones del vector de prioridades encontrado que obtendremos de la ma-

triz de comparación entre criterios no representan la realidad y la inconsistencia de una matriz hace que no se pueda realizar la metodología de manera correcta. por tal motivo se debe verificar si los pesos para la comparación fueron asignados correctamente.

La consistencia tiene relación con el grado de dispersión de los juicios del actor” los juicios consistentes imponen 2 propiedades en forma simultánea:

- A) Transitividad de las preferencias: Si  $C_1$  es mejor que  $C_2$  y  $C_2$  es mejor que  $C_3$  entonces se espera que  $C_1$  sea mejor que  $C_3$ .
- B) Proporcionalidad de las preferencias: Si  $C_1$  es 3 veces mejor que  $C_2$  y  $C_2$  es 2 veces mejor que  $C_3$  entonces se espera que  $C_1$  sea 6 veces mejor que  $C_3$ .

Con esto se busca evitar que la decisión se base en juicios de consistencia tan baja que parezcan aleatorios. El AHP mide la inconsistencia global de los juicios mediante la proporción de consistencia. El valor de esta proporción de consistencia no debe superar el 10 %. Esto dependerá del tamaño de la matriz de comparación a pares. Para hallar la consistencia se debe primero para cada columna de la matriz de comparación, calcular una suma ponderada, luego cada prioridad del criterio correspondiente en la matriz de comparación se divide por la suma ponderada de cada columna y luego se calcula la media de cada fila de la matriz resultante denominada matriz normalizada para hallar la ponderación. Una vez calculada la ponderación se procede a multiplicarla por la matriz de comparación y se realiza una suma ponderada del vector resultante para hallar el máximo valor propio. El índice de consistencia que nos permite verificar si se estipularon de manera correcta los pesos se calcula haciendo uso de la Ecuación (17), donde  $\lambda_{max}$  es el máximo valor propio y  $n$  el número de criterios [13].

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (17)$$

Una vez calculado el índice de consistencia de la comparación pareada entre criterios se procede a realizar la comparación pareada entre alternativas para cada criterio formando una matriz donde sus valores son llenados de acuerdo a la escala de saaty y se encuentra la matriz normalizada y su vector de prioridades para cada matriz. Al encontrar todos los vectores de prioridad de la comparación de alternativas para cada criterio se procede a formar la matriz de ponderación uniendo todos los vectores de prioridad de la comparación de alternativas y la comparación de criterios [76]. Por consiguiente, se debe comparar la consistencia de los juicios del decisor, si se identifica que los juicios son consistentes y se ha realizado la comparación en todo el orden jerárquico contando todos los criterios y alternativas se procede a determinar el orden global de prioridades definiendo el *ranking* de las alternativas.

El método analítico jerárquico está siendo muy utilizado en proyectos del sector eléctrico y en tecnologías renovables, teniendo aplicabilidad en proyectos para el dimensionamiento de sistemas renovables, selección de sitios idóneos para implementación de estas tecnologías, planificación energética, determinación de la mejor alternativa de generación para zonas no interconectadas, para evaluar sostenibilidad de tecnologías, entre otras [35], [80], [81].

### 4.2.2. Método MAUT

El método MAUT consiste en el desarrollo de una función de utilidad de acuerdo con las preferencias del tomador de decisiones. Tuvo su origen en la teoría de Von Neumann y Morgenstern 1994 [82].

Los métodos multicriterio MAUT se basan en el uso de funciones de utilidad. Las funciones de utilidad se pueden aplicar para transformar los valores de rendimiento de las alternativas frente a diversos criterios a una escala común, sin dimensiones, permitiendo el ordenamiento completo del conjunto de alternativas. Su objetivo es lograr una medida conjunta de la utilidad de cada resultado para un conjunto de alternativas. Para ello, MAUT descompone la atracción total sobre cada alternativa en un conjunto de atributos, que son los indicadores. El método requiere información elevada para proporcionar una base común para llegar a la decisión [83].

Este método se ha utilizado en aplicaciones como estudios transversales, para desarrollar un índice de evaluación del impacto ambiental de las empresas eléctricas canadienses como también en el campo de planeación energética [3].

## 4.3. Métodos de nivel de preferencias o distancias

Son métodos de nivel de preferencia o de la distancia a la alternativa ideal, donde alternativa ideal se comprende como aquella que supera al resto en todos los criterios [3].

### 4.3.1. Método TOPSIS

El método TOPSIS es una técnica para ordenar preferencias por similitud a la solución ideal, fue desarrollado por Hwang y Yoon en 1981 [3]. En el método TOPSIS la alternativa que se seleccionada debe tener la distancia más corta desde la solución ideal negativa en el sentido geométrico: si presenta una distancia menor con respecto a una alternativa ideal se considera la mejor y si presenta una distancia mayor con respecto a una alternativa anti-ideal se considera la peor [74]. Identificar las soluciones ideales e ideales negativas se presenta fácil debido a que el método establece que cada criterio tiene un incremento cada vez mayor o de disminución. El orden de preferencias de alternativas resulta de comparar las distancias euclidianas.

Una alternativa ideal se halla con los mejores valores del conjunto de alternativas y una alternativa anti-ideal se halla con los peores valores del conjunto de alternativas

Para implementar el método TOPSIS inicialmente se define la matriz de decisión con la información de cada criterio y sus respectivos pesos [76].

Una vez definida la matriz de decisión se procede a normalizarla de forma vectorial dividiendo cada componente por la norma del vector columna haciendo uso de la Ecuación (18).

$$V_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (X_{ij})^2}} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (18)$$

Como siguiente paso se debe calcular la matriz de decisión normalizada ponderada, la cual se obtiene ponderando cada valor por el peso de cada criterio como se muestra en la Ecuación (19).

$$P_{ij} = V_{ij} * w_j \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (19)$$

Una vez calculada la matriz de decisión normalizada ponderada se procede hallar la solución o alternativa ideal positiva y la alternativa ideal negativa o anti-ideal, para la determinación se selecciona entre los valores dados para los criterios el peor para la alternativa anti-ideal y el mejor para la alternativa ideal. Por consiguiente, se calcula las medidas de distancia haciendo uso de las Ecuaciones 20 y 21 que representan las distancias euclidianas, donde  $\bar{D}_i^+$  es la distancia a la alternativa ideal y  $\bar{D}_i^-$  es la distancia a la alternativa anti-ideal [76].

$$\bar{D}_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (P_{ij} - \bar{A}_j^+)^2} \quad (20)$$

$$\bar{D}_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (P_{ij} - \bar{A}_j^-)^2} \quad (21)$$

Luego se procede al cálculo de la proximidad relativa a la alternativa ideal  $\overline{RS}_i$  con la Ecuación (22).

$$\overline{RS}_i = \frac{\bar{D}_i^-}{\bar{D}_i^+ + \bar{D}_i^-} \quad (22)$$

Finalmente se ordena las preferencias de las alternativas empezando con el valor más positivo llegando hasta el menor.

El método multicriterio TOPSIS se ha utilizado en proyectos para la jerarquización de tecnologías de energías renovables para la producción de electricidad y en planificación energética como apoyo a la toma de decisiones especialmente para comprensión de elementos difusos [22].

### 4.3.2. Método VIKOR

El método VIKOR es una solución por compromiso para la optimización multicriterio, la cual fue propuesta por Serafim Opricovic en 1998 [3]. Este método permite la consideración de la proximidad a las alternativas ideales y anti-ideales optimizando problemas discretos complejos con criterios en conflicto, donde se determina una lista ordenada de las alternativas en función de la distancia a la solución ideal, la solución compromiso y los intervalos de estabilidad de acuerdo con los pesos establecidos.

Para implementar el método VIKOR inicialmente se define la matriz de decisión con la información de cada criterio y sus respectivos pesos [76].

Una vez definida la matriz de decisión se procede a normalizarla linealmente haciendo uso de la ecuación (23).

$$f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (23)$$

Luego se calculan los mejores y los peores valores en las evaluaciones de cada criterio

$$f_*^j = \max_j f_*^j \quad (24)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (25)$$

$$f_-^j = \max_j f_-^j \quad (26)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (27)$$

Una vez obtenidos los valores se calcula la distancia desde cada valor a la solución ideal positiva  $S_j$  y la distancia desde cada valor a la solución ideal negativa  $R_j$ , como también el valor de  $Q_j$ . Estos valores se representan de forma vectorial y se hallan haciendo uso de las ecuaciones (28), (29) y (30).

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \frac{(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad (28)$$

$$R_j = \text{Max}_j \frac{(f_i^* - f_{ij})}{(f_i^* - f_i^-)} \quad (29)$$

Para hallar  $Q_j$  se define:

$$\begin{aligned} S^* &= \min_j S_j & S^- &= \max_j S_j \\ R^* &= \min_j R_j & R^- &= \max_j R_j \end{aligned}$$

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1 - v)(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (30)$$

En la Ecuación (30)  $v$  es una referencia de ponderación que representa la distancia de la solución ideal negativa. Finalmente se definen las soluciones compromiso determinando el *ranking*, donde el valor más alto es la mejor alternativa [76].

Para desarrollar una planeación energética se suelen combinar el método AHP y el analítico jerárquico para ponderar los criterios y VIKOR para establecer las prioridades.

## 5. Resultados

Uno de los principales problemas de la electrificación en zonas aisladas radica en escoger la alternativa de generación conveniente y que garantice la sostenibilidad de los proyectos. Históricamente se han seleccionado diferentes tipos de generación basados en FNCER, y además se han considerado un conjunto de criterios para la respectiva comparación entre las diferentes alternativas.

### 5.1. Selección del método a utilizar

Para elegir la mejor alternativa de generación se ha seleccionado de los métodos multicriterio expuestos en el capítulo 4 el método AHP, debido a que involucra todos los aspectos de toma de decisiones y permite considerar criterios tanto cualitativos como cuantitativos, además es capaz de desarrollar completamente el proceso de toma de decisión, por otro lado, permite al agente decisor realizar comparaciones, atribuyendo un valor numérico para cada alternativa, esto facilita la comprensión incorporando la participación de diferentes personas.

En la Tabla 7 se muestra un análisis comparativo entre los diferentes métodos el cual soporta la selección del método AHP.

CRITERIOS	MÉTODOS MULTICRITERIO					
	ELECTRE	PROMETHEE	AHP	MAUT	TOPSIS	VIKOR
Complejidad	Media	Baja	Baja	Alta	Baja	Media
Antecedentes	Alta	Alta	Alta	Baja	Media	Media
Nivel de subjetividad	Media	Media	Baja	Alta	Media	Media
Aplicación	Media	Media	Alta	Baja	Media	Media
Flexibilidad	Baja	Media	Media	Baja	Media	Baja

Tabla 7: Comparación de métodos multicriterio. Fuente propia

Después de analizar la Tabla 7 y revisando algunos antecedentes de la temática bajo estudio [35], [13], se puede concluir que las ventajas del método AHP frente a los demás son:

- Presenta un sustento matemático a partir de la formulación que involucra a los factores de decisión.
- Permite desglosar y analizar un problema por partes.
- Permite medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común.
- Incluye la participación de diferentes personas o grupos de interés y genera un consenso.
- Permite verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es del caso.
- Genera una síntesis y da la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.



- Es de fácil uso y permite que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

Una vez seleccionado el método multicriterio para escoger la mejor alternativa de generación, se procedió a implementarlo en un caso de estudio real.

Con la identificación de las barreras que presentan las FNCER, además de las dificultades para acceder al servicio de energía en Colombia, se lograron recoger e identificar los criterios y subcriterios que al implementar el método AHP permitan determinar la mejor solución energética. Para esta identificación se seleccionaron los siguientes 4 criterios iniciales:

- Aspectos técnicos
- Económicos
- Sociopolíticos
- Ambientales.

A partir de estos criterios se eligieron las barreras y los aspectos más relevantes para la selección del tipo de generación pertinente para una zona no interconectada, los cuales fueron considerados para este procedimiento como subcriterios. En la Tabla 8 se presentan los diferentes criterios y subcriterios con su respectivo indicador.

CRITERIOS	INDICADOR	SUBCRITERIOS
Técnicas	DR	Disponibilidad del recurso
	VC	Variación de la carga
	AN	Ausencia de normatividad
	I	Infraestructura
	EE	Eficiencia energética
Económicas	MA	Madurez de alternativa de generación
	F	Financiación
	II	Inversión inicial
	CO	Costos de operación
Sociopolíticas	IC	Información y conocimiento
	L	Licenciamiento
	PE	Política energética
	AA	Aceptación de alternativa
Ambientales	EA	Extenso uso de área
	AB	Afectación en la biodiversidad
	CC	Cambio climático

Tabla 8: Criterios que dificultan el acceso a sistemas de energía en Colombia

Teniendo en cuenta las diferentes barreras o criterios que dificultan el acceso al servicio de energía a partir de energías renovables, se desarrolló una búsqueda de información acerca de un estudio real donde fuera posible validar la metodología propuesta. Se

utilizó como caso de estudio un proyecto en el resguardo indígena Calle Santa Rosa (Timbiquí, Cauca) cuya región goza de un gran potencial de recursos energéticos, en el cual se puede implementar un sistema de generación basado en energías renovables y donde se puede realizar un análisis comparativo entre alternativas. La región requiere cubrir las necesidades básicas de orden energético como refrigeración de alimentos, iluminación, bombeo de agua, electrificación para la escuela y la comunidad de manera que se garantice el desarrollo sostenible. Con el objetivo de escoger la mejor solución energética para esta región se procedió a hacer un análisis teniendo en cuenta los diferentes aspectos y entornos con base a las barreras o criterios estipulados en la Tabla 8. Las alternativas a tener en cuenta en este proyecto son: La Energía Solar Fotovoltaica, Energía por Biomasa, Energía Eólica y Energía Geotérmica.

## 5.2. Análisis de criterios y datos técnicos de la región

Como primera medida se desarrolló una recopilación de información de criterios técnicos de la región para las diferentes soluciones energéticas, se utilizaron las siguientes bases de datos:

- UPME: mapas solares, de viento, y de biomasa [84] [37].
- IRENA [85]
- NASA: permite encontrar datos de los diferentes potenciales en la región de interés [86].

En cuanto a la disponibilidad del recurso se encontraron datos para la zona de interés como los expuestos a continuación:

- Radiación solar promedio anual  $4,214kw/m^2$  [86].
- Velocidad del viento promedio anual  $2,1133m/s$  a  $50m$  de altura [84].
- Biomasa residual: Plátano 10 - 40 mil ton/año ó 20 - 50 TJ/año [87].
- Caudal del río Saija:  $166m^3/s$  máxima altura cercana 17 m [88].

Con base en la información anteriormente expuesta de los datos técnicos de la región, se tiene que la disponibilidad del viento no es muy favorable, en cuanto al río se logró identificar que presenta un muy buen caudal, pero no tiene alturas considerables lo que lo hace poco viable desde una perspectiva técnica, y además la comunidad fue consultada sobre la utilización de este recurso para la generación de electricidad y no estuvo de acuerdo, esto debido a sus creencias religiosas las cuales consideran el agua como un recurso sagrado. En cuanto a los potenciales de radiación solar y biomasa residual sus datos arrojan la riqueza de disponibilidad del recurso.

## 5.3. Análisis de criterios y datos económicos

La comunidad de la región Indígena Calle Santa Rosa basa su economía en la agricultura, artesanía, caza, pesca y aprovechamiento forestal, lo cual los favorecería para

adquirir nuevos conocimientos de aprovechamiento y manejo del recurso de biomasa como de la operación y mantenimiento de sistemas energéticos con base a este potencial que pueden ser replicados a otras comunidades similares. Por otro lado, los sistemas solares se presentan en cuanto a inversión inicial y costos de operación como una de las mejores alternativas después de la biomasa, debido a que no requiere tanta inversión en comparación a otras tecnologías de generación. Los sistemas solares permitirían cubrir algunas de las necesidades básicas insatisfechas y mejorar el bienestar en la comunidad al ofrecer energía para la escuela, la refrigeración de alimentos, y las comunicaciones, con los cuales se espera contribuir con el desarrollo del resguardo al disponer de mejores condiciones de estudio, conservación y comercialización de pescado.

#### **5.4. Análisis de criterios y datos sociopolíticos**

El nivel educativo de la población es bajo, por lo cual se debe considerar que la solución energética para la región debe contar con un sistema de generación cuya transferencia tecnológica para la operación y mantenimiento de los equipos asociados al aprovechamiento no sea compleja y no requiera de una experiencia alta, haciendo posible que en un tiempo no mayor a un año se logre capacitar a las personas de la comunidad para la operación y mantenimiento básico de los equipos y sistemas que se deseen instalar. También se debe tener en cuenta que el territorio es plano con alta afluencia hídrica, cuyas vías de acceso y comunicación se realiza de forma exclusiva por los ríos, por lo que en el caso del uso del recurso agua para el sistema hidráulico se hace restrictivo.

#### **5.5. Análisis de criterios y datos culturales**

La región goza de una zona rica tanto en disponibilidad de recursos como en biodiversidad, con abundancia de agua, presencia de flora y fauna típicas del bosque húmedo tropical con presencia de manglares, y condiciones climatológicas de alta humedad, nivel de salinidad medio y temperatura media.

Con el objetivo de identificar el nivel de impacto ambiental de cada tecnología renovable para la región se realizó un análisis de la disponibilidad de fuentes energéticas de la zona, donde se encontró que el tipo de generación solar no presentaría afectaciones importantes al ambiente ya que la intervención para su instalación es mínima y en caso de operación y mantenimiento se tendría un plan de manejo para las baterías principalmente. Por otro lado, para la fuente de generación hídrica, el manejo ambiental durante implementación y en operación y mantenimiento sería mucho más complejo que el solar, dada la presencia de peces y el uso del agua para consumo y transporte, por lo que el impacto ambiental podría ser medio alto al tener que desviar parte del río o intervenir directamente en el caudal del mismo. En cuanto a sistemas de generación con biomasa residual proveniente de leña o los aserríos cercanos, y de los cultivos de plátano y maíz, principalmente, para este recurso el impacto ambiental se consideró medio ya que si bien requiere de planes de manejo ambiental específicos, la disponibilidad del recurso es alta y permite trazar programas de mitigación para no tener afectaciones negativas en la zona por deforestación y/o erosión, lo cual va en línea con las zonas

de restricción ambiental que tiene considerada la comunidad. La generación a partir de sistemas eólicos en esta región se considera medio alto debido a la diversidad de la zona la cual goza de gran variedad de diferentes especies de aves, donde estos sistemas podrían generar impactos que incluyen la mortalidad de las aves por colisión con los aerogeneradores, el desplazamiento de especies por modificación del hábitat y podría impedir el paso de aves migratorias.

## 5.6. Implementación de método multicriterio AHP

Teniendo en cuenta el análisis de criterios en la región Indígena de Santa Rosa y las diferentes ventajas de las alternativas una con respecto a la otra se procedió a implementar el método multicriterio AHP que permitiera identificar la mejor solución energética para dicha región.

### 5.6.1. Construcción de jerarquía

Como primera medida se analizó el problema separando los aspectos más relevantes y se definió el objetivo, el cual es identificar la mejor alternativa o solución energética, después se identificaron los criterios, donde para este caso real se establecieron aspectos Técnicos, Económicos, Sociopolíticos y Ambientales. Luego se establecieron los subcriterios tomados de las barreras que dificultan el acceso a sistemas de energía en Colombia expuestos en la Tabla 8, para finalmente establecer las alternativas de generación FN-CER.

Con lo mencionado anteriormente se construyó el orden jerárquico mostrado en la Figura 14 cumpliendo con el primer principio del método AHP.

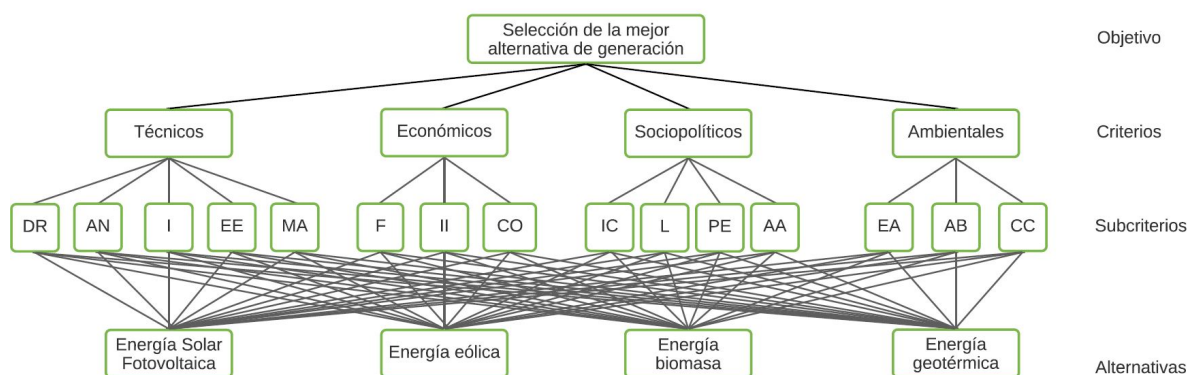


Figura 11: Esquema jerárquico caso de estudio real

### 5.6.2. Establecimiento de prioridades

Como segundo principio el método AHP inicialmente propone realizar una comparación pareada entre subcriterios, para lo cual se deben estipular valores de acuerdo a la escala de Saaty presentada en la Tabla 6, la cual busca encontrar el nivel de importancia de

un subcriterio frente al otro. Para esta comparación se formó una matriz con el fin de establecer cuánto supera un subcriterio al otro.

Las comparaciones entre diferentes criterios o subcriterios se realiza filas con respecto a columnas, por ejemplo, si un subcriterio tiene un nivel de importancia más alto con respecto a otro se agrega un valor de 1 a 9 dependiendo el nivel de importancia según la escala de Saaty. Para llenar la matriz de comparación pareada entre criterios, el método propone que, si se agrega un valor  $x$  al realizar la comparación entre un subcriterio 1 y un subcriterio 2, la comparación inversa es decir subcriterio 2 con respecto a subcriterio 1 tendrá el valor de  $1/x$ .

La comparación pareada entre subcriterios de manera que pudiera identificarse su nivel de importancia fue obtenida de acuerdo a los siguientes items:

- Bases de datos gubernamentales entregadas por instituciones como el IPSE, UP-ME y el Ministerio de Minas y Energía: se realizaron consultas de históricos sobre proyectos de energización rural que estas instituciones han liderado en todo el país [89], [90], [91].
- Conocimiento de expertos sobre proyectos de energización rural: en la Tabla 9 se mencionan los nombres de expertos que fueron consultados en el caso de estudio para asignar los pesos a cada uno de los criterios establecidos. Cada una de estas personas ha participado en diferentes proyectos de energización rural y tienen la experiencia certificada sobre su conocimiento de la temática, gracias a esto se han incluido elementos diferentes a los técnicos que garantizan la sostenibilidad de proyectos de este tipo.
- Análisis de condiciones climatológicas (datos tomados del IDEAM [37],[38]) e información y datos recopilados por medio de encuestas realizadas en la zona del caso de estudio: En el Anexo A se muestran las encuestas que fueron realizadas a la comunidad Indígena Calle Santa Rosa, estas son fundamentales para definir los criterios de tipo social empleados en la comparación pareada. En el Anexo B se presentan los resultados de las encuestas realizadas a expertos que permitieron definir la comparación pareada entre subcriterios.

<b>NOMBRE PROFESIONAL</b>	<b>INSTITUCIÓN</b>
Maximiliano Bueno López	Universidad de La Salle
Sandra Yomary Garzón Lemos	Universidad de La Salle-IPSE
Pedro Jaime Pineda Parra	PNUD
Jairo Alberto Valencia Llanos	IPSE
Carlos Adrian Correa Florez	Pontificia Universidad Javeriana

Tabla 9: Expertos consultados para la selección de criterios

En la Tabla 10 se evidencia la comparación pareada entre subcriterios, la cual puede ser utilizada para cualquier estudio de caso real.

	DR	VC	AN	I	EE	MA	F	II	CO	IC	L	PE	AA	EA	AB	CC
DR	1	8	9	7	6	4	3	4	3	3	7	9	3	7	4	4
VC	0,125	1	1	4	1	0,17	0,17	0,2	0,2	0,143	1	3	0,2	3	0,33	0,33
AN	0,111	1	1	0,3	0,2	0,2	0,14	0,33	0,2	0,143	1	0,5	0,2	1	0,2	0,2
I	0,143	0,25	3	1	0,333	0,2	0,14	0,25	0,33	0,2	1	3	0,3	1	0,2	0,33
EE	0,167	1	5	3	1	0,33	0,2	0,5	0,5	0,25	3	3	0,2	3	0,2	0,33
MA	0,25	6	5	5	3	1	0,33	3	0,33	0,25	4	5	0,3	4	0,2	0,33
F	0,333	6	7	7	5	3	1	3	3	0,333	7	7	1	7	3	3
II	0,25	5	3	4	2	0,33	0,33	1	0,33	0,2	3	5	0,3	3	0,5	0,33
CO	0,333	5	5	3	2	3	0,33	3	1	0,333	4	4	0,3	4	3	4
IC	0,333	7	7	5	4	4	3	5	3	1	7	7	3	7	3	3
L	0,143	1	1	1	0,333	0,25	0,14	0,33	0,25	0,143	1	2	0,2	2	0,33	0,25
PE	0,111	0,33	2	0,3	0,333	0,2	0,14	0,2	0,25	0,143	0,5	1	0,1	0,333	0,33	0,2
AA	0,333	5	5	7	5	4	1	3	3	0,333	5	7	1	7	3	3
EA	0,143	0,33	1	1	0,333	0,25	0,14	0,33	0,25	0,143	0,5	3	0,1	1	0,33	0,33
AB	0,25	3	5	5	5	5	0,33	2	0,33	0,333	3	3	0,3	3	1	1
CC	0,25	3	5	3	3	3	0,33	3	0,25	0,333	4	5	0,3	3	1	1

Tabla 10: Comparación pareada entre criterios

Como se evidencia en la Tabla 10 la diagonal de la matriz de comparación pareada tiene como valor la unidad, esto debido a que se está realizando una comparación entre el mismo subcriterio lo que en referencia a la escala de Saaty equivale a igual importancia.

En el caso de la comparación del subcriterio disponibilidad del recurso con respecto varios subcriterios se evidencia que el nivel de importancia es muy alto, esto debido a que si no se cuenta con el recurso primario para desarrollar una tecnología de generación no se podría ejecutar algún proyecto, calificándose este subcriterio técnico como muy importante, por otro lado subcriterios ambientales y sociales también tienen un alto nivel de importancia, debido a que se mide la aceptación de la alternativa.

### 5.6.3. Consistencia lógica

Haciendo uso del software Matlab se tomó la matriz de comparación pareada entre subcriterios ya desarrollada y se ejecutó el tercer principio del método, el cual consiste en identificar si los valores según la escala de Saaty fueron estipulados correctamente para dicha comparación, es decir si la calificación es correcta de modo que no se presenten inconsistencias. Se calculó una suma ponderada para cada columna de la matriz de comparación pareada que permitiera encontrar el peso total por columna mostrado en la Tabla 9. Luego se dividió punto a punto cada peso de la matriz de comparación pareada entre el peso total por columna con el objetivo de normalizar la matriz. Para hallar la matriz normalizada se utilizó la Ecuación (16) propuesta por el método AHP. Los resultados de normalización de la matriz de comparación pareada para el caso de estudio se evidencian en la Tabla 11.

0,23	0,151	0,138	0,1235	0,16	0,1382	0,28	0,14	0,1848	0,412	0,13	0,133	0,27	0,12	0,19	0,18
0,03	0,019	0,015	0,0706	0,03	0,0058	0,02	0,01	0,0123	0,02	0,02	0,044	0,02	0,05	0,02	0,02
0,03	0,019	0,015	0,0059	0,01	0,0069	0,01	0,01	0,0123	0,02	0,02	0,007	0,02	0,02	0,01	0,01
0,03	0,005	0,046	0,0176	0,01	0,0069	0,01	0,01	0,0205	0,027	0,02	0,044	0,03	0,02	0,01	0,02
0,04	0,019	0,077	0,0529	0,03	0,0115	0,02	0,02	0,0308	0,034	0,06	0,044	0,02	0,05	0,01	0,02
0,06	0,113	0,077	0,0882	0,08	0,0346	0,03	0,1	0,0205	0,034	0,08	0,074	0,02	0,07	0,01	0,02
0,08	0,113	0,108	0,1235	0,13	0,1037	0,09	0,1	0,1848	0,046	0,13	0,104	0,09	0,12	0,15	0,14
0,06	0,094	0,046	0,0706	0,05	0,0115	0,03	0,03	0,0205	0,027	0,06	0,074	0,03	0,05	0,02	0,02
0,08	0,094	0,077	0,0529	0,05	0,1037	0,03	0,1	0,0616	0,046	0,08	0,059	0,03	0,07	0,15	0,18
0,08	0,132	0,108	0,0882	0,1	0,1382	0,28	0,17	0,1848	0,137	0,13	0,104	0,27	0,12	0,15	0,14
0,03	0,019	0,015	0,0176	0,01	0,0086	0,01	0,01	0,0154	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,01
0,03	0,006	0,031	0,0059	0,01	0,0069	0,01	0,01	0,0154	0,02	0,01	0,015	0,01	0,01	0,02	0,01
0,08	0,094	0,077	0,1235	0,13	0,1382	0,09	0,1	0,1848	0,046	0,1	0,104	0,09	0,12	0,15	0,14
0,03	0,006	0,015	0,0176	0,01	0,0086	0,01	0,01	0,0154	0,02	0,01	0,044	0,01	0,02	0,02	0,02
0,06	0,057	0,077	0,0882	0,13	0,1728	0,03	0,07	0,0205	0,046	0,06	0,044	0,03	0,05	0,05	0,05
0,06	0,057	0,077	0,0529	0,08	0,1037	0,03	0,1	0,0154	0,046	0,08	0,074	0,03	0,05	0,05	0,05

Tabla 11: Matriz normalizada

Después se calculó el promedio de cada fila de la matriz normalizada para obtener la ponderación de los subcriterios estipulados y con ello hallar el vector de prioridades inicial. En la Tabla 12 se muestra el vector de prioridades resultante para la comparación entre subcriterios, donde al observar inicialmente sus valores se identifica que la disponibilidad del recurso es el criterio más importante.

SUBCRITERIO	PONDERACIÓN
Disponibilidad del recurso	0,187356
Variación de la carga	0,024174
Ausencia de normatividad	0,013526
Infraestructura	0,020261
Eficiencia energética	0,032798
Madurez de alternativa de generación	0,056753
Financiación	0,113749
Inversión inicial	0,043837
Costos de operación	0,079178
Información y conocimiento	0,146265
Licenciamiento	0,018289
Política energética	0,013025
Aceptación de alternativa	0,110401
Extenso uso de área	0,016633
Afectación en la biodiversidad	0,064323
Cambio climático	0,05943

Tabla 12: Vector de prioridades inicial

Para que este proceso de comparación por pares de criterios entregue datos correctos es necesario que se hayan realizado las valoraciones detenidamente ya que un error de incoherencia puede entregar una matriz donde el autovalor sea poco representativo.

Para asegurarse de que la ponderación ha sido correcta y de evitarse inconsistencias de modo que no parezca aleatorio se calculó la relación de consistencia con los siguientes pasos:

Primero se multiplicó inicialmente la matriz de comparación pareada entre subcriterios por el vector de prioridades inicial encontrado mediante la Ecuación (31). El vector resultante con sus respectivos valores numéricos se muestra a continuación:

$$\lambda w = matriz * Vp \tag{31}$$

Matriz Comparación x Ponderación
3,44893675
0,41947278
0,2390399
0,34225885
0,55495058
1,01344279
2,12709889
0,76990934
1,50423148
2,76819051
0,31738325
0,22748427
2,09604728
0,2871585
1,24118703
1,10313978

Luego se realizó una suma ponderada de los valores del vector resultante que permitió encontrar el máximo valor propio mediante la Ecuación (32).

$$\lambda_{max} = \sum \lambda w = 18,4599 \tag{32}$$

Una vez calculado el máximo valor propio se procedió a encontrar el índice de consistencia (CI), donde al máximo valor propio se le sustrajo el tamaño de las columnas de la matriz y se dividió entre el tamaño de las columnas de la matriz menos 1. En la Ecuación (32) se identifica el proceso que arrojó un valor equivalente a 0.1639.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - c}{c - 1} = \frac{18,4599 - 16}{16 - 1} = 0,1639 \tag{33}$$



Segundo se calculó la consistencia aleatoria multiplicando un valor aleatorio propuesto por autores del método por la división del tamaño de la matriz de comparación pareada menos 2 entre el mismo tamaño de la matriz. El resultado de la consistencia aleatoria se muestra a continuación:

$$CA = 1,98 * \frac{c - 2}{c} = 1,98 * \frac{16 - 2}{16} = 1,7325 \quad (34)$$

Tercero y por último, se calculó la relación de consistencia que nos permitió identificar si la valoración en la comparación pareada entre subcriterios se realizó correctamente. En la Ecuación (35) se evidencia el resultado obtenido, el cual es del 9 % lo que quiere decir que la asignación de valores según la escala de Saaty se realizó correctamente porque está por debajo del 10 %.

$$CR = \frac{CI}{CA} = \frac{0,1639}{1,7325} = 0,09 \quad (35)$$

Con la verificación de la asignación de valores de manera satisfactoria se procedió a realizar la comparación pareada entre alternativas para cada criterio. En la Tabla 9 se evidencia que son 16 los criterios que se establecieron para encontrar la mejor alternativa de generación para zonas no interconectadas, por lo cual se generaron 16 matrices a las cuales se le asignaron valores según la escala de Saaty efectuando la comparación pareada entre alternativas para cada criterio. La asignación de los pesos para estas matrices se realizó con base a levantamiento de información de la región indígena de Santa Rosa Timbiquí y gracias al conocimiento de expertos por medio de encuestas realizadas en la zona de Timbiquí.

Una vez se obtuvieron las matrices de comparación entre alternativas se calculó la matriz normalizada para cada una de ellas y se encontró el vector de prioridades para cada criterio de igual forma como se calculó el vector de prioridades inicial. Para la comparación entre alternativas por cada criterio también se calculó la relación de consistencia con el fin de verificar que la comparación efectuada entre alternativas se realizó correctamente asignando pesos consistentes. El programa desarrollado en Matlab el cual cuenta con las anteriores ecuaciones expuestas arrojó 16 vectores los cuales se organizaron en un arreglo junto con el vector encontrado de prioridades inicial y se denominó matriz de ponderación final mostrada en la Tabla 13, la cual contiene los diferentes pesos y nivel de importancia de cada alternativa para cada criterio, en la última fila de la matriz se ubicó el vector de prioridades inicial donde se encuentran los pesos y nivel de importancia de cada criterio.

SUBCRITERIO/ ALTERNATIVA	DR	VC	AN	I	EE	MA	F	II	CO	IC	L	PE	AA	EA	AB	CC
Energía Eólica	0,024	0,049	0,049	0,028	0,155	0,062	0,027	0,027	0,011	0,063	0,031	0,066	0,031	0,030	0,033	0,033
Energía solar fotovoltaica	0,15	0,160	0,160	0,146	0,023	0,150	0,150	0,062	0,146	0,136	0,130	0,139	0,136	0,152	0,135	0,135
Energía por biomasa	0,059	0,025	0,025	0,063	0,059	0,027	0,062	0,150	0,059	0,036	0,076	0,033	0,071	0,057	0,070	0,070
Energía Geotérmica	0,009	0,013	0,013	0,011	0,011	0,009	0,010	0,009	0,031	0,012	0,011	0,010	0,010	0,009	0,009	0,009
PONDERACIÓN	0,187	0,024	0,013	0,020	0,032	0,056	0,113	0,043	0,079	0,146	0,018	0,013	0,110	0,016	0,064	0,059

Tabla 13: Matriz para ponderación final

#### 5.6.4. Ranking de prioridad Global

Para la ponderación final se tomó la matriz de ponderación final y se multiplicó cada valor de la primera fila por la última fila es decir por el vector de prioridades de criterios y se sumaron sus respectivos valores, de igual forma se realizó con la segunda fila y con las demás filas, lo cual nos entregó el vector de ponderación final para cada alternativa, los valores arrojados por el programa se muestran a continuación:

ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN	PONDERACIÓN FINAL
Energía Eólica	0.0397
Energía Solar Fotovoltaica	0.1379
Energía por Biomasa	0.0600
Energía Geotérmica	0.0124

Tabla 14: Ponderación final caso de estudio

Los datos expuestos en la Tabla 14 muestran que la mejor alternativa de generación para el resguardo indígena Calle Santa Rosa es la generación a partir de la energía solar fotovoltaica con un 14% seguida de la energía por biomasa con un 6%. Según la consulta bibliográfica realizada [35], este es un porcentaje común para seleccionar la fuente adecuada, esto se debe a que se utilizaron una gran cantidad de criterios y los porcentajes se dividen en todas las posibles fuentes no convencionales a seleccionar.

Con el objetivo de utilizar el programa desarrollado en Matlab en otros proyectos o casos de estudio que requieran identificar la mejor alternativa de generación para una zona no interconectada, se desarrolló una interfaz con la herramienta guide de Matlab donde se debe ingresar el nombre de la base de datos que contenga la calificación o ponderación por alternativa para cada criterio, la cual fue definida con base a las encuestas realizadas y el levantamiento de información de la zona. El programa entregara la mejor solución energética teniendo en cuenta la calificación dada según la escala de Saaty para cada criterio. En la Figura 15 se muestra el inicio de la plataforma.



Figura 12: Inicio de plataforma

Cuando se selecciona INICIAR en la interfaz el programa desplegará una ventana donde se debe ingresar el nombre de la base de datos. Para comprobar su funcionamiento se realizó con el caso de estudio de la zona de Santa Rosa anteriormente expuesto Figura 16.

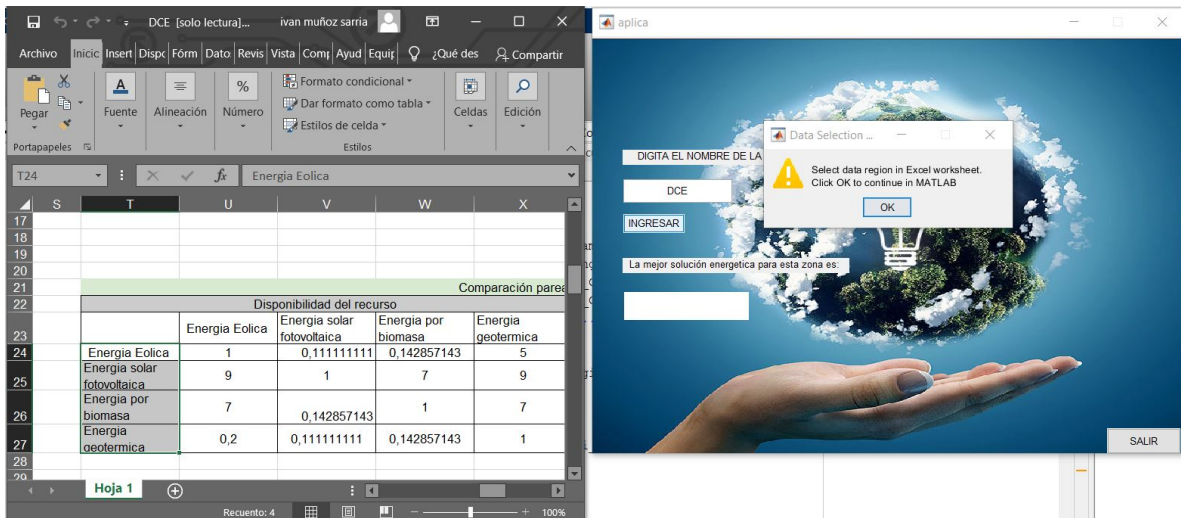


Figura 13: Aplicación interfaz gráfica

Para el proyecto de la zona de Timbiquí se utilizó una base de datos, donde se realizó la calificación pertinente según la escala de Saaty y se elaboraron las diferentes matrices, la base de datos se denominó "DCE". El programa se desarrolló para que se le entregue el nombre de la base de datos donde está la calificación y por consiguiente se ejecuten los respectivos cálculos del método AHP y entregue la mejor solución energética para la zona. Cuando se ingresa el nombre de la base de datos el programa pide seleccionar las alternativas a evaluar y entrega el resultado. En la Figura 17 se muestra el resultado final donde se evidencia la mejor alternativa para la zona Santa Rosa de Timbiquí.



Figura 14: Resultado

## 6. Conclusiones y análisis de resultados

En el presente capítulo se realizará un análisis de los resultados obtenidos y se mencionarán las principales contribuciones del trabajo de grado.

### 6.1. Contribuciones del trabajo de grado

El desarrollo de este trabajo de grado ha generado un documento que contiene un diagnóstico del estado actual de los sistemas de energías renovables en Colombia y además una revisión teórica de los principales tipos de tecnologías empleados para la conversión de energía. Se ha realizado una revisión teórica de algunos de los denominados métodos multicriterio y se ha presentado un análisis comparativo que permite entender cuál es la estrategia más adecuada para utilizar en proyectos de energización en zonas aisladas.

El proyecto de grado ha permitido generar una interfaz de usuario que a partir de la utilización del AHP determina la mejor solución de generación basada en fuentes no convencionales de energía que puede implementarse en una región determinada.

### 6.2. Conclusiones

- Con la realización de este trabajo de grado se han actualizado las barreras que dificultan la aplicación e instalación de FNCER en zonas no interconectadas en Colombia y a partir de estas se han definido algunos criterios, los cuales toman a consideración todos los aspectos que intervienen en la elección de la mejor tecnología y de esta manera es posible garantizar el desarrollo sostenible para este tipo de proyectos.
- Se ha logrado identificar que el método AHP gracias a su facilidad de implementación, la consideración de datos cuantitativos como cualitativos y al permitir las participaciones de expertos por medio de la escala de Saaty logra identificar la mejor alternativa de implementación disminuyendo la subjetividad y aleatoriedad a la hora de la toma de decisión.
- Teniendo en cuenta todos los criterios definidos y al implementar el método analítico jerárquico en una herramienta computacional como Matlab se logra automatizar y optimizar el proceso de elección de una fuente de generación para un estudio de caso
- El estudio de caso presentado para validar la metodología propuesta ha permitido demostrar la influencia de múltiples criterios en la selección de una solución energética.
- El método AHP permite incorporar factores que no son cuantificables en modelos matemáticos, pero son de alta importancia en la sostenibilidad de proyectos de energización rural.

- La inclusión de factores diferentes a los técnicos en la selección de una solución energética permite garantizar la sostenibilidad del proyecto. Los factores sociales son difíciles de modelar y gracias a la propuesta presentada en este proyecto estos se incluyen en la toma de decisiones.
- La utilización de energías renovables es la única alternativa que tienen muchos habitantes en zonas aisladas para tener servicios básicos domiciliarios, la realización de este proyecto permitirá viabilizar soluciones que en algunas ocasiones solo consideran factores técnicos, los cuales son de altamente relevantes, pero no toman en cuenta las necesidades reales de las comunidades.
- El método AHP es altamente sensible al conocimiento de expertos, claramente es una estrategia heurística y esto queda reflejado en los cambios que se presentan al incluir los resultados de las encuestas realizadas a expertos. A medida que se añaden nuevas respuestas de las encuestas el resultado final se va ajustando a las prioridades asignadas.

### **6.3. Trabajo futuro**

Este trabajo de grado se articula con la línea de investigación en sistemas de energía del Grupo de Investigación en Automática de la Universidad del Cauca. El grupo ha venido explorando esta línea desde hace algunos años con diferentes trabajos de grado enfocados hacia el tema de calidad de potencia y energías renovables. Con la propuesta presentada en este documento se busca demostrar la viabilidad que tienen las energías renovables en la región y se espera que la herramienta sea utilizada en diferentes proyectos. La metodología implementada será probada en diferentes casos de estudio y aplicaciones con el fin de validar su eficiencia y además se incluirán más variables en el modelo con el fin de aumentar la efectividad del algoritmo utilizado.

Se explorará también la posibilidad de implementar la herramienta computacional presentada en software libre, esto con el fin de que sea competitiva frente a otras ya disponibles en el mercado.

## Referencias

- [1] O. E. Lopez Hurtado *et al.*, “Energías renovables como estrategia para la diversificación de la matriz energética de Colombia,” 2019.
- [2] D. F. Niño Sanabria, S. Bernal Romero *et al.*, “Modelo multicriterio aplicado a la toma de decisiones representables en diagramas de Ishikawa.”
- [3] R. P. Saldaña, J. P. Bonrostro *et al.*, “Los métodos de decisión multicriterio discretos. un punto de vista racional aplicado a la toma de decisiones,” *The Anáhuac Journal*, vol. 16, no. 1, pp. ág–47, 2016.
- [4] SIMEC, “Sistema información energético,” [urlhttp://www.siel.gov.co/Inicio/CoberturadelSistemaInterconectadoNacional/ConsultasEstadisticas/tabid/81/Default.aspx](http://www.siel.gov.co/Inicio/CoberturadelSistemaInterconectadoNacional/ConsultasEstadisticas/tabid/81/Default.aspx), 2018.
- [5] F. L. Paime, “Desafíos contemporáneos en el desarrollo del sector eléctrico colombiano,” *Revista En-contexto/ISSN: 2346-3279*, vol. 7, no. 11, pp. 87–111, 2019.
- [6] L. M. Terrazos Ungaro, “Análisis del impacto ambiental producido por las centrales de generación eléctrica,” 2019.
- [7] J. I. Becerra Peña, F. E. Hoyos Mesa, J. D. Correa Bermeo, D. A. Jiménez Reina *et al.*, “Modelo aplicado en poblaciones de zni de Colombia para el suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico,” 2020.
- [8] R. C. Siabato Benavides, “Identificación de proyectos con potencial de generación de energía eólica como complemento a otras fuentes de generación eléctrica en el departamento de boyacá,” *Instituto de Sistemas y Ciencias de la Decisión*, 2018.
- [9] X. F. Galán Riveros, “Potencial energético de la biomasa residual agrícola en Colombia,” B.S. thesis, Fundación Universidad de América, 2016.
- [10] J. W. Grimaldo Guerrero, M. A. Mendoza Becerra, and W. P. Reyes Calle, “Modelo para pronosticar la demanda de energía eléctrica utilizando los producto interno brutos sectoriales: Caso de Colombia,” 2017.
- [11] E. Strantzali and K. Aravossis, “Decision making in renewable energy investments: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, pp. 885–898, 2016.
- [12] G. F. Barberis and M. d. C. E. Ródenas, “La ayuda a la decisión multicriterio: orígenes, evolución y situación actual,” in *VI Congreso Internacional de Historia de la Estadística y de la Probabilidad*, 2011.
- [13] P. Casabán Planells, “Aplicación de la técnica proceso analítico jerárquico (ahp) de análisis de decisión multicriterio a la selección de carteras de proyectos de una empresa del sector de las energías renovables,” Ph.D. dissertation, 2020.

- [14] J. Mayor, S. Botero, and J. D. González-Ruiz, “Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: caso Colombia,” *Obras y proyectos*, no. 20, pp. 56–74, 2016.
- [15] A. I. Neira Cosavalente, “Eficiencia del método de la matriz de leopold y el método multicriterio en la evaluación del impacto ambiental en la carretera granja porcon (tramo emp. pe.-1nf-granja porcon, cp. porcon alto), cajamarca 2018,” 2019.
- [16] N. Sam González, “Análisis comparativo de métodos multicriterio para la selección de una máquina industrial en la empresa integrada de servicios automotores,” Ph.D. dissertation, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería . . . , 2019.
- [17] M. E. Peña Llanos *et al.*, “Prototipo de un sistema de soporte a las decisiones multicriterio para la selección de personal usando las metodologías tophis y ahp,” Ph.D. dissertation, 2016.
- [18] C. Bermejo Azkue, “Toma de decisiones multicriterio: aplicación del proceso analítico jerárquico a la selección proveedores,” 2020.
- [19] C.-H. Wang, D. Zhao, A. Tsutsumi, and S. You, “Sustainable energy technologies for energy saving and carbon emission reduction,” *Applied Energy*, vol. 194, pp. 223–224, 2017.
- [20] A. Kumar, B. Sah, A. R. Singh, Y. Deng, X. He, P. Kumar, and R. Bansal, “A review of multi criteria decision making (mcdm) towards sustainable renewable energy development,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 596–609, 2017.
- [21] D. A. García Álvarez *et al.*, “Metodología para la asignación de electricidad basada en criterios de eficiencia multicriterio,” Master’s thesis, Universidad de La Sabana, 2012.
- [22] C. A. Y. Ramírez, “Comparación de técnicas de ponderación de criterios en metodologías de toma de decisiones multicriterio aplicadas a la jerarquización de tecnologías renovables.” *Revista Tecnológica-ESPOL*, vol. 29, no. 2, 2016.
- [23] V. Campos Guzmán, G. C. Guerrero Liquez, L. Serrano Luján, N. Espinosa, J. M. Sánchez Lozano, and M. S. García Cascales, “Análisis de integración de métodos de decisión multicriterio en el análisis de ciclo de vida enmarcado en las energías renovables,” 2016.
- [24] Ó. Sigüencia, L. Neves, and R. Sempértegui, “Metodologías de decisión multicriterio para planeación energética en zonas rurales del ecuador,” *Maskana*, vol. 8, pp. 289–299, 2017.
- [25] G.-l. Luo and Y.-w. Guo, “Rural electrification in china: A policy and institutional analysis,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 23, pp. 320–329, 2013.
- [26] G. Zubi, R. Dufo-López, G. Pasaoglu, and N. Pardo, “Techno-economic assessment of an off-grid pv system for developing regions to provide electricity for basic



- domestic needs: A 2020–2040 scenario,” *Applied Energy*, vol. 176, pp. 309–319, 2016.
- [27] D. Palit and K. R. Bandyopadhyay, “Rural electricity access in south asia: Is grid extension the remedy? a critical review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1505–1515, 2016.
- [28] M. Herington, E. Van de Fliert, S. Smart, C. Greig, and P. Lant, “Rural energy planning remains out-of-step with contemporary paradigms of energy access and development,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 1412–1419, 2017.
- [29] A. M. M. Barroso, G. L. Ferreira, J. M. R. Obregón, and F. M. Nápoles, “Evaluación multicriterio de proyectos energéticos renovables en sancti spíritus, cuba/multi-criteria evaluation of renewable energy projects in sancti spiritus, cuba,” *Revista Cubana de Contabilidad y Finanzas. COFIN HABANA*, no. 2, pp. 18–34, 2018.
- [30] B. K. Sovacool, “Design principles for renewable energy programs in developing countries,” *Energy & Environmental Science*, vol. 5, no. 11, pp. 9157–9162, 2012.
- [31] S. C. Bhattacharyya and D. Palit, *Mini-grids for rural electrification of developing countries: analysis and case studies from South Asia*. Springer, 2014.
- [32] F. Javadi, B. Rismanchi, M. Sarraf, O. Afshar, R. Saidur, H. Ping, and N. Rahim, “Global policy of rural electrification,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 19, pp. 402–416, 2013.
- [33] A. Kumar, Y. Deng, X. He, and P. Kumar, “A multi criteria decision based rural electrification system,” in *IECON 2016-42nd Annual conference of the IEEE industrial Electronics Society*. IEEE, 2016, pp. 4025–4030.
- [34] S. Hirmer and H. Cruickshank, “The user-value of rural electrification: An analysis and adoption of existing models and theories,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 34, pp. 145–154, 2014.
- [35] A. Kumar, A. R. Singh, Y. Deng, X. He, P. Kumar, and R. C. Bansal, “A novel methodological framework for the design of sustainable rural microgrid for developing nations,” *Ieee Access*, vol. 6, pp. 24 925–24 951, 2018.
- [36] W. D. Vélez Gil *et al.*, “Análisis multicriterio como herramienta para la selección de la alternativa energética sostenible para el contexto de la hacienda jerusalén, cauca,” B.S. thesis, Universidad Autónoma de Occidente, 2019.
- [37] IDEAM, “Atlas radiacion solar,” <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>, 2020.
- [38] Ideam, “Atlas velocidad del viento,” <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>, 2020.

- [39] V. Grajales Camacho *et al.*, “Estrategia en el marco de la industria 4.0, para el laboratorio de sim de la fundación universitaria los libertadores,” 2020.
- [40] F. F. Oviedo Moreno, “Estudio de automatización de una planta de potabilización de agua piloto,” Master’s thesis, Universidad Politècnica de Catalunya, 2018.
- [41] D. M. Molano Valderrama, W. Ramirez Rico *et al.*, “Exposición de las principales políticas públicas relacionadas con la cobertura energética renovable de zonas no interconectadas en Colombia,” 2020.
- [42] D. A. Abaunza, “Desarrollo de energías renovables en Colombia y su coordinación en el sistema interconectado nacional,” *Revista de Derecho Administrativo Económico*, no. 26, pp. 5–22, 2019.
- [43] W. A. Ñustes-Cuellar and S. R. Rivera-Rodriguez, “Colombia: territorio de inversión en fuentes no convencionales de energía renovable para la generación eléctrica,” *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, vol. 17, no. 1, pp. 37–48, 2017.
- [44] D. F. Giraldo Ocampo *et al.*, “El marco normativo de las energías alternativas en Colombia no garantiza su pleno desarrollo,” 2017.
- [45] M. F. Montoya, L. A. M. Fuentes, A. P. Granados, I. G. Garzón, J. M. Polo, and T. R. Rodríguez, *Temas de derecho minero, energético y petrolero*. Universidad Externado, 2020.
- [46] A. F. Ardila Guevara, “Marco de referencia para la implementación de energías renovables no convencionales dentro del sistema eléctrico colombiano,” *Escuela de Sistemas*, 2019.
- [47] L. F. H. Vigoya, “Caracterización, impacto e implementación de las energías alternativas en Colombia en empresas públicas y privadas. estudio preliminar,” *Revista Inventum*, vol. 13, no. 25, p. 17, 2018.
- [48] S. Escobar Aristizábal *et al.*, “Zonas potenciales para generación de energía eólica en la costa caribe colombiana,” 2019.
- [49] P. A. Moreno Cortés, “Energía eólica: ventajas y desventajas de su utilización en Colombia,” 2013.
- [50] G. A. L. Martínez, C. I. B. Arboleda, and E. S. Lora, “La biomasa residual pecuaria como recurso energético en Colombia,” *Visión electrónica*, vol. 12, no. 2, pp. 10–10, 2018.
- [51] P. E. P. Martínez, “Biomasa residual vegetal: Tecnologías de transformación y estado actual,” *Innovaciencia*, vol. 2, no. 1, pp. 45–52, 2014.
- [52] J. S. B. Bayona, G. A. A. Castro, E. A. I. Vargas, and S. I. B. Vásquez, “Estudio de diseño de plantas geotérmicas como fuentes de energía renovable y de generación de empleo en zonas de concentración de excombatientes en colombia,” *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*, 2018.

- [53] G. Arias Marín, A. M. Acevedo Sánchez *et al.*, “Estado actual de la producción de energía geotérmica en Colombia.”
- [54] P. C. Pulido Martínez, “Apoyo a la gestión regulatoria de intercolombia en el estudio de la incorporación de fuentes no convencionales de energías renovables (fncer); así mismo, el seguimiento e implementación de la nueva normatividad aplicable a la remuneración de la actividad de transmisión de energía, el retie y el código de medida,” 2018.
- [55] D. G. Herrera, G. L. Russi, E. R. Trujillo *et al.*, “Evaluación del impacto de la generación distribuida mediante índices normalizados con base en la normatividad colombiana y estándares IEEE,” *Ingeniería*, vol. 20, no. 2, pp. 299–315, 2015.
- [56] J. F. B. González, A. L. Sepúlveda, K. T. Aponte *et al.*, “Zonas no interconectadas eléctricamente en Colombia: problemas y perspectiva,” Universidad Nacional de Colombia-FCE-CID, Tech. Rep., 2014.
- [57] Á. Pinilla Sepúlveda, “Soluciones energéticas para zonas rurales (*i* en el posconflicto?),” *Revista de ingeniería*, no. 44, pp. 36–39, 2016.
- [58] B. I. de Desarrollo *et al.*, “Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia,” 2015.
- [59] G. S. Fernández Camelo, L. E. Ortiz Chacon, F. J. Posso Gallego *et al.*, “Proponer la instalación de paneles solares de energía fotovoltaica en el jardín parque cementerio los olivos ubicado en el municipio de Cota en el departamento de Cundinamarca–Colombia.” 2019.
- [60] S. Cortés and A. A. Londoño, “Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía,” *Revista Ciencias Estratégicas*, vol. 25, no. 38, pp. 375–390, 2017.
- [61] C. A. Correa Flórez, G. A. Marulanda García, and A. F. Panesso Hernández, “Impacto de la penetración de la energía solar fotovoltaica en sistemas de distribución: estudio bajo supuestos del contexto colombiano,” *Tecnura*, vol. 20, no. 50, pp. 85–95, 2016.
- [62] M. Burnside Santos, M. A. Caldas Duque *et al.*, “Análisis de los factores que afectan la implementación de diversos métodos de financiación para proyectos de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) en Colombia.” 2020.
- [63] J. Gómez Ramírez *et al.*, “La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas,” 2017.
- [64] E. Ojeda Camargo, J. E. Candelo Becerra, and J. I. Silva Ortega, “Caracterización de los potenciales de energía solar y eólica para la integración de proyectos sostenibles en comunidades indígenas en la Guajira Colombia,” 2017.
- [65] J. M. Montalvo Navarrete *et al.*, “Selección de criterios ambientales para la evaluación multicriterio de alternativas de suministro de energía eléctrica en zonas no

- interconectadas de Colombia,” B.S. thesis, Universidad Autónoma de Occidente, 2017.
- [66] B. G. G. Hoyos, F. d. J. V. Macías, and D. E. M. Quintero, “Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en la guajira (Colombia),” *Ambiente y Desarrollo*, vol. 23, no. 44, 2019.
- [67] J. J. Soto Gutierrez, “Desarrollo de la energía eólica en Colombia,” B.S. thesis, Fundación Universidad de América, 2016.
- [68] F. I. Cuervo, “Valoración de fuentes renovables no convencionales de generación de electricidad: un enfoque desde las opciones reales,” *Cuadernos de Administración*, vol. 28, no. 51, pp. 45–64, 2015.
- [69] W. F. Romero Murcia, D. F. Romero Munevar *et al.*, “Implementación de empresa de consultoría para validar el tipo de biodigestor que se requiere en determinadas zonas rurales en Colombia dependiendo de las posibilidades de biomasa de cada una de ellas.”
- [70] J. T. Cruz and K. M. Oviedo, “Aprovechamiento de la biomasa residual pecuaria en Colombia,” *Mare Ingenii. Ingenierías*, vol. 1, no. 2, pp. 46–55, 2019.
- [71] J. M. Ortiz Garzón *et al.*, “Sensibilización y prueba piloto para obtención de energía a partir de biomasa con los estudiantes de la Institución Educativa Antonio Nariño, del técnico en sistemas agropecuarios ecológicos del municipio de Fuente de Oro Meta.”
- [72] J. D. Ortiz Tocora, “Barreras corporativas a la adopción de energías limpias en Colombia,” 2020.
- [73] J. F. NEIRA-CASTRO, “Cambio climático, fracking y licencia social: experiencias comparadas y retos para Colombia,” *Anuario iberoamericano de derecho de la energía-Volumen II: Regulación de la transición energética*, 2020.
- [74] C. A. Y. Ramírez and Y. A. Guzman, “Estudio comparativo de técnicas de toma de decisiones multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energías renovables a utilizar en la producción de electricidad.” *Scientia et Technica*, vol. 22, no. 3, pp. 273–280, 2017.
- [75] B. A. Ceballos Martín *et al.*, “Modelos de decisión multi-criterio en entornos con incertidumbre: Estudio comparativo y aplicación,” 2016.
- [76] L. V. B. Leyva, “Procedimiento multicriterio-multiobjetivo de planificación energética a comunidades rurales aisladas,” 2015. [Online]. Available: <http://oa.upm.es/38624/>
- [77] A. Campuzano Cánovas *et al.*, “Elección de una técnica de generación de energía mediante los métodos de superación” ELECTREz” PROMETHEE”, utilizando conjuntos difusos,” 2013.

- [78] C. A. Y. Ramírez, “Metodología integrada multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energía renovable a utilizar para la producción de energía eléctrica,” *Revista Tecnológica-ESPOL*, vol. 28, no. 2, 2015.
- [79] B. M. Medina and M. R. García, “Aplicación de métodos de decisión multicriterio discretos al análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructuras de transporte,” *Pensamiento matemático*, vol. 6, no. 2, pp. 27–45, 2016.
- [80] R. A. Rios Pereyra, “Selección de sitios idóneos para el desarrollo de proyectos solares fotovoltaicos de gran escala mediante análisis multicriterio AHP-GIS,” 2020.
- [81] J. A. G. Romero, R. S. Flores, S. G. Román *et al.*, “Selección de un modelo para evaluar la sostenibilidad hidroeléctrica mediante el método AHP,” *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, vol. 30, pp. 117–141, 2020.
- [82] Z. Allah Bukhsh, I. Stipanovic, G. Klanker, A. O’Connor, and A. G. Doree, “Network level bridges maintenance planning using multi-attribute utility theory,” *Structure and infrastructure engineering*, vol. 15, no. 7, pp. 872–885, 2019.
- [83] E. M. Barzallo Coronel and P. E. Chasijuan Moreno, “Selección de energías renovables en ambientes urbanos aplicando métodos multicriterio y lógica difusa, estudio de caso ciudad de cuenca,” B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, 2018.
- [84] IDEAM, “Velocidad viento Colombia,” <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasVientos.html>, 2020.
- [85] IRENA, “Capacidad renovable,” <https://www.irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020-ES>, 2020.
- [86] NASA, “Radiación solar,” <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. html, 2020.
- [87] UPME, “Biomasa residual,” <https://www1.upme.gov.co/siame/Paginas/atlas-del-potencial-energetico-de-la-biomasa.aspx>, 2020.
- [88] IIAP, “Caudal río Saija,” <https://siatpc.iiap.org.co/docs/avances/pemp.pdf>, 2020.
- [89] IPSE, “Proyectos energización,” <https://ipse.gov.co/mapa-del-sito/proyectos-ipse/proyectos-fanzi/>, 2020.
- [90] MinMinas, “Resoluciones,” <https://www.minenergia.gov.co/energias-renovables-no-convencionales>, 2019.
- [91] UPME, “Balance energético colombiano,” [https://www1.upme.gov.co/ InformacionCifras/Paginas/BECOCONSULTA.aspx](https://www1.upme.gov.co/InformacionCifras/Paginas/BECOCONSULTA.aspx), 2019.

## **Anexo A**

En este anexo se presentan las encuestas realizadas a la comunidad del Resguardo Indígena Calle Santa Rosa el cual fue uno de los principales insumos para la realización de este trabajo de grado. Las encuestas hacen parte de un proyecto de Investigación que tuvo el financiamiento de Minciencias y fue dirigido por el asesor de este proyecto de grado.

**LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PRIMARIA CARACTERIZACIÓN RESGUARDO SANTA ROSA - TIMBIQUÍ - CAUCA  
CONTRATO FP44842-399-2014 (2014-1004 COLCIENCIAS)**

Fecha \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ No. \_\_\_\_\_  
 Nombre: \_\_\_\_\_  
 Ubicación: \_\_\_\_\_  
 Encuestador: \_\_\_\_\_

**ASPECTOS SOCIALES**

- 1 Número de personas que habitan en la residencia  
 2  3  4  5  más de 5
- 2 Cuántos adultos mayores (mayores a 65 años) habitan  
 2  3  4  5  más de 5
- 3 Cuántos niños (menores de 12 años) habitan  
 2  3  4  5  más de 5
- 4 Cuántos de los niños van a la escuela?  
 2  3  4  5  más de 5
- 5Cuál es el nivel de enseñanza máxima de la familia  
 Primaria  Secundaria  Ninguna  Máximo grado cursado: \_\_\_\_\_
- 6 Qué costumbres familiares tienen

---

- 7 Consideran que tienen problemas con conflictos  
 Familiares  Comunitarios  Armados  Ninguno  Otro  Cual: \_\_\_\_\_
- 8 Tienen problemas de salud  
 General  Motriz  Respiratoria  Ninguna  Otra  Cual: \_\_\_\_\_
- 9 Considera que requiere servicio de  
 Eléctrico  Acueducto  Alcantarillado  Recolección  Salud
- 10 ¿Cuál servicio es prioritario para usted? (marque solo uno)  
 Eléctrico  Acueducto  Alcantarillado  Recolección  Salud
- 11 Qué cree que le hace falta para mejorar sus condiciones actuales  
 Si  No  No sabe  No responde
- 12 ¿Tienen algún tipo de organización comunitaria?  
 Si  No  No sabe  No responde  Si, Cual: \_\_\_\_\_

**ASPECTOS ECONÓMICOS**

- 1 ¿Cuál es la situación laboral actual?  
 Empleado  Desempleado  Independiente  Ninguno
- 2 ¿En su ocupación principal que tarea realiza?

---

- 3 ¿Cuál es su ingreso mensual?  
 Menor a 100 mil pesos  Entre 100 y 500  Mayor a 500  Otro  Cual: \_\_\_\_\_
- 4 ¿Su ingreso es fijo o variable?  
 Fijo  Variable  Valor promedio: \_\_\_\_\_
- 5 ¿Cuáles son los meses de mayor ingreso?  
 Enero  Febrero  Marzo  Abril  Mayo  Junio  Julio  Agosto  Septiembre  Octubre  Noviembre  Diciembre

6 Cuáles son los meses de menor ingreso?

Enero       Marzo       Mayo       Julio       Septiembre       Noviembre   
Febrero       Abril       Junio       Agosto       Octubre       Diciembre

7 Si los servicios fueran buenos usted estaría dispuesto a pagar por estos?

Sí       No       Si, cuánto? \_\_\_\_\_

8 Le gustaría tener procesos productivos que le den nuevos ingresos?

Sí       No

9 Cuáles creen que podrían ser esos nuevos procesos productivos?

Cultivos       Biomasa       Cadena de frío       Comercio       Otro  Cual: \_\_\_\_\_

10 ¿Le gustaría estar involucrado en esos procesos productivos?

Sí       No

11 Cuántas personas cocinan alimentos?

2       3       4       5       más de 5

12 Lleva agua para el hogar?

Sí       No       Quienes: \_\_\_\_\_

13 A que distancia se encuentra la fuente de agua potable más cercana?

1 a 10 m       11 a 20 m       21 a 30 m       31 a 50 m       Más de 50 m

14 Lleva leña para el hogar

Sí       No       Quienes: \_\_\_\_\_

15 A que distancia se encuentra la fuente de leña más cercana?

1 a 10 m       11 a 20 m       21 a 30 m       31 a 50 m       Más de 50 m

16 El terreno es

Propio       Arrendado       De la comunidad

17 ¿Cuántas habitaciones tiene la vivienda?

1       2       3       4       5 o más

18 ¿La vivienda tiene baño?

Sí       No

19 La evacuación del baño se realiza en

Letrina       Ninguno       Otro: \_\_\_\_\_

20 Esta vivienda, ¿Cuenta con un espacio exclusivo para cocinar?

Sí       No

21 El material predominante del techo es

Zinc       Asbesto       Eternit       Palma       Otro: \_\_\_\_\_

22 El material predominante del piso es

Cemento       Tierra       Baldosa       Otro: \_\_\_\_\_

23 El material predominante de las paredes es

Bareque       Ladrillo       Palma       Teja       Otro: \_\_\_\_\_

24 Cómo es el estado de conservación de la vivienda?

Bueno       Regular       Malo       Nueva

25 Cómo es la terminación de la vivienda?

Obra negra       Obra gris       Obra blanca       Otro: \_\_\_\_\_

26 La ventilación de la casa es?

Natural       Ninguno       Aire acondicionado

27 Hace cuantos años viven en esta vivienda?

1 a 5 años       6 a 10 años       11 a 15 años       20 a 30 años       Más de 30

28 Esta casa, ¿Fue construida por ustedes?

Sí       No       Quién? \_\_\_\_\_



- 29 En los últimos tres años se realizaron reformas o mejoras en la vivienda?  
 Sí  No  Cuáles? \_\_\_\_\_
- 30 En relación a la educación, le gustaría tener oportunidades de estudio nuevas?  
 Sí  No  Cuáles? \_\_\_\_\_
- 31 Para quiénes serían esas oportunidades de estudio  
 Niños  Jóvenes  Adultos  Otro: \_\_\_\_\_
- 32 Porqué vía se comunican con otras poblaciones?  
 Celular  Río  Caminos  Otro: \_\_\_\_\_

**ASPECTOS TÉCNICOS**

- 1 En la vivienda tiene servicio de  
 Eléctrico  Acueducto  Alcantarillado  Recolección
- 2 Considera que la electricidad es buena para  
 Cocción  Iluminación  Ventilación  Equipos
- 3 Tiene puntos eléctricos en su vivienda?  
 Número de tomacorrientes \_\_\_ Número de plafones \_\_\_ Ninguno
- 4 Tiene algún electrodoméstico  
 Sí  No   
 TV \_\_\_\_\_ W Ventilador \_\_\_\_\_ W Iluminación \_\_\_\_\_ W  
 Radio \_\_\_\_\_ W Nevera \_\_\_\_\_ W Otro \_\_\_\_\_ W
- 5 Qué electrodoméstico le gustaría tener?  
 TV  Radio  Nevera  Ventilador  Otro: \_\_\_\_\_
- 6 Cuántas horas de servicio le gustaría tener?  
 3  6  9  12  24
- 7 En su familia hay personas que saben de electricidad?  
 Sí  No  Si, quién? \_\_\_\_\_
- 8 Le gustaría aprender de electricidad?  
 Sí  No

**ASPECTOS AMBIENTALES**

- 1 Tienen tradiciones que intervengan con el uso de los recursos naturales?  
 Sí  No  Si, cuáles? \_\_\_\_\_
- 2 Cuáles son los recursos ambientales que tienen alguna restricción?  
 Agua  Suelo  Bosque  Animales
- 3 Le gustaría conservar su entorno como está en la actualidad?  
 Sí  No  No, porqué? \_\_\_\_\_
- 4 Qué tipo de problemas de acumulación tienen?  
 Residuos en cultivos  Residuos en las viviendas  Residuos comunitarios   
 Inundaciones por el río  Aguas lluvia  Otro: \_\_\_\_\_
- 5 Le gustaría aprender a manejar estos problemas de acumulación?  
 Sí  No  Si, cuáles? \_\_\_\_\_

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PRIMARIA CARACTERIZACIÓN RESGUARDO SANTA ROSA - TIMBIQUÍ - CAUCA  
 CONTRATO FP44842-399-2014 (2014-1004 COLCIENCIAS)

**CONSOLIDACIÓN LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN AMBIENTAL Y DE BIOMASA**

Temperatura promedio _____	Altura snm _____		Presión _____	%HR _____	Pluviosidad _____
Tipo de recursos naturales	Sol <input type="checkbox"/>	Viento <input type="checkbox"/>	Biomasa <input type="checkbox"/>	Agua <input type="checkbox"/>	Cultivos <input type="checkbox"/>
Zonas protegidas	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Área _____	Tipo _____	
Zonas de reserva	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Área _____	Tipo _____	
Zonas de restricción cultural	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Área _____	Tipo _____	
Tipo de árboles en la región	_____				
Áreas de explotación forestal	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Área _____	Tipo _____	
Fuentes de biomasa residual	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Tipos _____		
Cuerpos hídricos	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Tipos _____		
Ubicación de los puntos de toma de agua	Total _____	Distancia promedio _____			
Calidad del agua superficial	Buena <input type="checkbox"/>	Regular <input type="checkbox"/>	Mala <input type="checkbox"/>		
Ubicación de los sitios de recolección de leña	Total _____	Distancia promedio _____			
Tipo de leña	Buena <input type="checkbox"/>	Regular <input type="checkbox"/>	Mala <input type="checkbox"/>		
Emisiones por cocción	_____				
Tipo de residuos de la comunidad	Orgánicos <input type="checkbox"/>	Peligrosos <input type="checkbox"/>	Reciclables <input type="checkbox"/>	Otros <input type="checkbox"/>	
Lugar de almacenamiento de RSU	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Ubicación _____		
Se realiza separación de residuos	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Ubicación _____		
Manejo de los RO	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Cuál? _____		
Manejo del agua	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Cuál? _____		
Tipo de cultivos	_____				
Tiempos de cosecha	6 meses <input type="checkbox"/>	9 meses <input type="checkbox"/>	12 meses <input type="checkbox"/>	18 meses <input type="checkbox"/>	> 18 meses <input type="checkbox"/>
Manejo de los residuos de los cultivos	Si <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>	Cuál? _____		
Calidad del suelo	Buena <input type="checkbox"/>	Regular <input type="checkbox"/>	Mala <input type="checkbox"/>		
Personas que manejan los residuos	_____				
Caracterización de la biomasa	Tipo _____	Cantidad _____		pH _____	
	% Humedad _____	Capacidad calórica _____			

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PRIMARIA  
 CARACTERIZACIÓN RESGUARDO SANTA ROSA - TIMBIQUÍ – CAUCA

CONTRATO FP44842-399-2014 (2014-1004  
 COLCIENCIAS)

**CONSOLIDACIÓN LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN TÉCNICA**

**Viviendas**

Número de viviendas \_\_\_\_\_  
 Número de comercios \_\_\_\_\_  
 Número de centros educativos \_\_\_\_\_ Estado \_\_\_\_\_  
 Número de centros de salud \_\_\_\_\_ Estado \_\_\_\_\_  
 Interdistancia de viviendas \_\_\_\_\_  
 Área de las viviendas \_\_\_\_\_ Mínima \_\_\_\_\_ Máxima \_\_\_\_\_ Promedio \_\_\_\_\_  
 Área de las viviendas \_\_\_\_\_ Mínima \_\_\_\_\_ Máxima \_\_\_\_\_ Promedio \_\_\_\_\_

**Fuentes energéticas disponibles**

Radiación solar \_\_\_\_\_ Mínima \_\_\_\_\_ Máxima \_\_\_\_\_ Promedio \_\_\_\_\_  
 Velocidad del viento \_\_\_\_\_ Mínima \_\_\_\_\_ Máxima \_\_\_\_\_ Promedio \_\_\_\_\_  
 Caudal del río \_\_\_\_\_ Mínimo \_\_\_\_\_ Máximo \_\_\_\_\_ Promedio \_\_\_\_\_  
 Tipos de biocombustible \_\_\_\_\_ Biomasa vegetal \_\_\_\_\_ Bagazo \_\_\_\_\_ Leña \_\_\_\_\_  
 Residuos orgánicos \_\_\_\_\_ Estiércol \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

**Necesidades energéticas**

Aprovechamiento o uso energético actual \_\_\_\_\_ Fuerza \_\_\_\_\_ Electricidad \_\_\_\_\_ Térmico \_\_\_\_\_  
 Necesidades de fuerza \_\_\_\_\_ Motores \_\_\_\_\_ Bombas \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_  
 Necesidades de iluminación \_\_\_\_\_ Alumbrado público \_\_\_\_\_ Viviendas \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_  
 Necesidades térmicas \_\_\_\_\_ Cocción \_\_\_\_\_ Secado \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_  
 Horas de servicio eléctrico actual \_\_\_\_\_

**Levantamiento de cargas**

Viviendas tipo 1 \_\_\_\_\_ Carga instalada promedio (W) \_\_\_\_\_ Carga instalada máx (W) \_\_\_\_\_  
 Viviendas tipo 2 \_\_\_\_\_ Carga instalada promedio (W) \_\_\_\_\_ Carga instalada máx (W) \_\_\_\_\_  
 Centro educativo \_\_\_\_\_ Carga instalada promedio (W) \_\_\_\_\_ Carga instalada máx (W) \_\_\_\_\_  
 Centro de salud \_\_\_\_\_ Carga instalada promedio (W) \_\_\_\_\_ Carga instalada máx (W) \_\_\_\_\_  
 Puerto \_\_\_\_\_ Carga instalada promedio (W) \_\_\_\_\_ Carga instalada máx (W) \_\_\_\_\_  
 Comercios \_\_\_\_\_ Carga instalada promedio (W) \_\_\_\_\_ Carga instalada máx (W) \_\_\_\_\_  
 Carga total \_\_\_\_\_ Carga instalada promedio (W) \_\_\_\_\_ Carga instalada máx (W) \_\_\_\_\_

## RESULTADO ENCUESTAS Contrato FP44842-399-2014 (2014-1004 COLCIENCIAS)

Este documento presenta los resultados de las encuestas aplicadas a las familias de la comunidad del Resguardo Indígena Calle Santa Rosa durante la primera visita realizada entre el 19 y el 22 de febrero de 2015. A continuación se presenta la ficha técnica de la encuesta y los resultados encontrados.

### Ficha Técnica de la Encuesta

Objetivo: indagar acerca de los aspectos técnicos, sociales, económicos, y ambientales de la población.

Diseño muestral: no aplica

Población objetivo: total de familias, representado por el jefe de familia.

Universo de familias: 52

Técnica: entrevista directa uno a uno de los jefes de familia.

Fecha de aplicación: 21 de febrero de 2015

Número de familias encuestadas: 42

Porcentaje de aplicación: 80%

Margen de error: no aplica

### Metodología de Aplicación de la Encuesta

Para realizar la encuesta el grupo de la universidad de La Salle se trasladó al Resguardo Calle Santa Rosa durante los días 19 a 22 de febrero, aplicando la encuesta de forma directa a 42 familias. Para la aplicación la comunidad se organizó teniendo como líder al Sr. Alexander Huevo, quien como uno de los líderes comunitarios ubicó una vivienda para que cada una de las familias fueran a realizar la encuesta, las encuestas fueron realizadas por 5 miembros de la comunidad y dirigidas por el grupo de la Universidad.

El formulario de la encuesta contenía 60 preguntas relacionadas así:

- Aspectos generales: 3 preguntas
- Aspectos sociales: 11 preguntas
- Aspectos económicos: 33 preguntas
- Aspectos técnicos: 8 preguntas
- Aspectos ambientales: 5 preguntas

Además de estas encuestas se realizaron dos encuestas específicas de tipo general para el levantamiento de información técnica energética y ambiental. En el Anexo 1 se encuentran los formatos de cada una de las encuestas e información levantada.

## Resultados de las encuestas

Los resultados de las encuestas se presentan por aspecto para una mejor comprensión de los mismos.

### – Aspectos generales

El número de jefes de familia encuestados fueron **42**, y 10 encuestadores, todos ubicados en Calle Santa Rosa, resguardo indígena adscrito a la Alcaldía de Timbiquí, departamento del Cauca.

### – Aspectos sociales

En relación a los aspectos sociales se realizaron las siguientes preguntas:

1. Número de personas que habitan en la residencia
2. Cuántos adultos mayores (mayores a 65 años) habitan?
3. Cuántos niños (menores de 12 años) habitan?
4. Cuántos de los niños van a la escuela?
- 5.Cuál es el nivel de enseñanza máxima de la familia?
6. Qué costumbres familiares tienen?
7. Consideran que tienen problemas con conflictos?
8. Tienen problemas de salud?
9. Considera que requiere servicio de acueducto, alcantarillado, electricidad, salud, o recolección
- 10.Cuál servicio es prioritario para usted? (marque solo uno)
11. Qué cree que le hace falta para mejorar sus condiciones actuales?

Los resultados para cada una de estas son los presentados en las siguientes tablas.

**Tabla 1. Resultados de la pregunta “Número de personas que habitan en la residencia”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
2	1	2,4%
3	1	2,4%
4	3	7,1%
5	5	11,9%
<b>Más de 5</b>	32	<b>76,2%</b>

De acuerdo a la encuesta se tiene que en el 76,2% de los hogares encuestado habitan más de 5 personas, y exactamente 5 en el 11,9%.

El total de adultos mayores de 60 años en el grupo encuestado fue de 22, los cuales no salen de las viviendas, a no ser de tener una urgencia o situación específica que los obligue a salir de estas.

**Tabla 2. Resultados de la pregunta “Cúantos niños (menores de 12 años) habitan por familia”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
No hay	4	9,5%
1	5	11,9%
2	8	19,0%
3	8	19,0%
<b>4</b>	9	<b>21,4%</b>
Más de 5	7	16,7%
N.R.	1	2,4%

En la población encuestada se tiene que el 21,4% tiene 4 niños menores de 12 años que habitan en las viviendas, encontrando que los hogares con 2 y 3 niños tienen el mismo porcentaje (19,0%), y que hay un 16,% de hogares que tienen más de 5 niños menores de 12 años. Se tiene además que, hay hogares que no tienen niños representando un 9,5% de la población encuestada.

**Tabla 3. Resultados de la pregunta “Cúantos de los niños van a la escuela por familia?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Ninguno	6	14,3%
1	5	11,9%
2	6	14,3%
<b>3</b>	12	<b>28,6%</b>
4	9	21,4%
Más de 5	4	9,5%

Frente a la pregunta de cuantos niños van a la escuela se encontró que el 28,6% de los hogares encuestados tienen 3 niños que van a la escuela, seguido por el 21,4% que corresponde a 4 niños que van a la escuela. Al comparar el número de niños menores de 12 años que habitan en los hogares y el número de niños que van a la escuela se puede inferir que la gran mayoría de niños del resguardo asisten a la escuela.

**Tabla 4. Resultados de la pregunta “Cuál es el nivel de enseñanza máxima de la familia”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	1	2,4%
Ninguna	2	4,8%
<b>Primaria</b>	36	<b>85,7%</b>

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Secundaria	3	7,1%

De acuerdo a los resultados de la encuesta se tiene que el 85,7% de la población encuestada tiene como nivel académico la Primaria, seguido por un porcentaje del 7,1, que corresponde al nivel de Secundaria.

**Tabla 5. Resultados de la pregunta “Qué costumbres familiares tienen”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
<b>Hablar de su cultura</b>	40	<b>95,2%</b>
N.R.	2	4,8%

Como costumbres familiares se encuentra que el 95,2% de la población habla de su cultura, por lo tanto aún mantiene su tradición oral de transmitir su conocimiento y creencias.

Frente a las preguntas de “Consideran que tienen problemas con conflictos?” y de “Tienen problemas de salud?”, el 100% de los encuestados respondió que No.

Respecto a la pregunta de “Considera que requiere servicio de...”el 100% de los encuestados respondió que se necesitan los cinco servicios, es decir que la totalidad considera que requiere los servicios de acueducto, alcantarillado, electricidad, salud, y recolección.

**Tabla 6. Resultados de la pregunta “Cuál servicio es prioritario para usted? (marque solo uno)”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Acueducto	6	14,3%
<b>Eléctrico</b>	27	<b>64,3%</b>
N.R.	4	9,5%
Recolección	2	4,8%
Salud	3	7,1%

Como servicio prioritario los encuestados respondieron que es el Eléctrico con un 64,3%, seguido por el Acueducto con un 14,3%, siendo el de menor consideración prioritaria el de Recolectión con un 4,8%.

**Tabla 7. Resultados de la pregunta “Qué cree que le hace falta para mejorar sus condiciones actuales”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	6	14,3%
No	1	2,4%

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Si	35	83,3%

Frente a la pregunta de si cree que algo alta para mejorar las condiciones actuales, el 83,3% de la población encuestada respondió que sí, y un 2,4% que no, encontrando que algunos no respondieron (14,3%).

A la pregunta “Tienen algún tipo de organización comunitaria?” el 100% de los encuestados respondió que sí, y que corresponde al Cabildo.

– **Aspectos económicos**

En relación a los aspectos económicos se realizaron las siguientes preguntas:

1. Tienen algún tipo de organización comunitaria?
- 2.Cuál es la situación laboral actual?
3. En su ocupación principal que tarea realiza?
- 4.Cuál es su ingreso mensual?
5. Su ingreso es fijo o variable?
6. Cuáles son los meses de mayor ingreso?
7. Cuáles son los meses de menor ingreso?
8. Si los servicios fueran buenos usted estaría dispuesto a pagar por estos?
9. Le gustaría tener procesos productivos que le den nuevos ingresos?
10. Cuáles creen que podrían ser esos nuevos procesos productivos?
11. Le gustaría estar involucrado en esos procesos productivos?
12. Cuántas personas cocinan alimentos?
13. Lleva agua para el hogar?
14. A que distancia se encuentra la fuente de agua potable más cercana?
15. Lleva leña para el hogar
16. A que distancia se encuentra la fuente de leña más cercana?
17. El terreno es
18. Cuántas habitaciones tiene la vivienda?
19. La vivienda tiene baño?
20. La evacuación del baño se realiza en esta vivienda?
21. Cuenta con un espacio exclusivo para cocinar?
22. El material predominante del techo es
23. El material predominante del piso es
24. El material predominante de las paredes es
25. Cómo es el estado de conservación de la vivienda?
26. Cómo es la terminación de la vivienda?
27. La ventilación de la casa es?



28. Hace cuantos años viven en esta vivienda?
29. Esta casa, ¿Fue construida por ustedes?
30. En los últimos tres años se realizaron reformas o mejoras en la vivienda?
31. En relación a la educación, le gustaría tener oportunidades de estudio nuevas?
32. Para quiénes serían esas oportunidades de estudio
33. Porqué vía se comunican con otras poblaciones?

Las respuestas a las anteriores preguntas son las presentadas a continuación.

**Tabla 8. Resultados de la pregunta “¿Cuál es la situación laboral actual?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Empleado	8	19,0%
Independiente	5	11,9%
N.R.	1	2,4%
<b>Ninguna</b>	<b>28</b>	<b>66,7%</b>

De acuerdo a la encuesta el 66,7% de la población no tiene ninguna situación laboral, siendo solamente el 19,0% el que se encuentra empleado, y un 11,9% es independiente.

**Tabla 9. Resultados de la pregunta “¿En su ocupación principal que tarea realiza?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Agricultor	15	35,7%
Dinamizador	4	9,5%
Fiscal del Cabildo	1	2,4%
Líder de la comunidad	1	2,4%
<b>N.R.</b>	<b>16</b>	<b>38,1%</b>
Ninguna	2	4,8%
Oficios varios	1	2,4%
Profesor	2	4,8%

Respecto a la principal ocupación de los hogares encuestados se encontró que el 38,1% no dio respuesta, sin embargo se tiene que en el grupo de quienes contestaron, el 35,7%, es Agricultor, y el 9,5% es Dinamizador, las demás actividades tienen una participación menor al 5% y corresponden a actividades específicas como fiscal de cabildo o profesor.

**Tabla 10. Resultados de la pregunta “¿Cuál es su ingreso mensual?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Entre 100 y 500	4	9,5%
Mayor a 500 mil pesos	5	11,9%
<b>Menor a 100 mil pesos</b>	<b>29</b>	<b>69,0%</b>

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	4	9,5%

El ingreso de la población encuestada es menor a 100 mil pesos (69,0%), encontrando que solamente el 11,9% cuenta con recursos superiores a los 500 mil pesos.

**Tabla 11. Resultados de la pregunta “¿Su ingreso es fijo o variable?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Fijo	6	14,3%
N.R.	4	9,5%
<b>Variable</b>	32	<b>76,2%</b>

En general se tiene que el ingreso de la población es variable (76,2%), y solamente el 14,3% de los encuestados cuentan con un ingreso fijo.

**Tabla 12. Resultados de la pregunta Cuáles son los meses de mayor ingreso?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Marzo	6	13,6%
Abril	2	4,5%
Mayo	6	13,6%
Junio	4	9,1%
Julio	3	6,8%
<b>Agosto</b>	7	<b>15,9%</b>
Septiembre	4	9,1%
Octubre	4	9,1%
Noviembre	2	4,5%
Diciembre	2	4,5%
N.R.	4	9,1%

El mes de mayor ingreso es Agosto con un 15,9%, seguido de los meses de Mayo y Marzo con un 13,6% cada uno, el 9,1% de la población encuestada no dio respuesta a la pregunta de cuáles son los meses de mayor ingreso.

**Tabla 13. Resultados de la pregunta “Cuáles son los meses de menor ingreso?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
<b>Enero</b>	31	<b>68,9%</b>
Febrero	12	26,7%
N.R.	2	4,4%

El mes de menor ingreso para los encuestados es Enero con un 6,9%, seguido del mes de Febrero con un 26,7%, lo cual corresponde de forma complementaria a la pregunta inmediatamente anterior.

**Tabla 14. Resultados de la pregunta “Si los servicios fueran buenos usted estaría dispuesto a pagar por estos?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
<b>No</b>	41	<b>97,6%</b>
Si	1	2,4%

El 97,6% de la población encuestada no está dispuesta a pagar por ninguno de los servicios, así fueran buenos.

**Tabla 15. Resultados de la pregunta “Le gustaría tener procesos productivos que le den nuevos ingresos?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	1	2,4%
<b>Si</b>	41	<b>97,6%</b>

De otra parte, al 97,6% de la población le gustaría tener procesos productivos en aras de obtener nuevos ingresos, solamente el 2,1% no dio respuesta a esta pregunta.

**Tabla 16. Resultados de la pregunta “Cuáles creen que podrían ser esos nuevos procesos productivos?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Comercio	2	4,8%
<b>Cultivos</b>	40	<b>95,2%</b>

Frente al tipo de procesos productivos que podrían tener el 95,2% de la población encuestada sugiere procesos asociados con cultivos, mientras que el 4,8% sugiere comercio.

**Tabla 17. Resultados de la pregunta “Le gustaría estar involucrado en esos procesos productivos?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	1	2,4%
No	1	2,4%
<b>Si</b>	40	<b>95,2%</b>

De los encuestados, al 95,2% sí le gustaría estar involucrado con procesos productivos, mientras que al 2,4% no le gustaría. El 2,4% de la población encuestada no respondió a esta pregunta.

**Tabla 18. Resultados de la pregunta “¿Cuántas personas cocinan alimentos?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
<b>1</b>	23	<b>54,8%</b>
2	16	38,1%
4	1	2,4%
Más de 5	1	2,4%
N.R.	1	2,4%

El 54,8% de la población encuestada tiene una (1) persona que se dedica a la cocción de alimentos, mientras que el 38,1% respondió que hay dos (2) personas dedicadas a esta labor.

**Tabla 19. Resultados de la pregunta “Lleva agua para el hogar?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	1	2,4%
<b>Si</b>	41	<b>97,6%</b>

El 97,6% de los encuestados llevan agua para el hogar, solamente el 2,4% no dio respuesta a esta pregunta.

**Tabla 20. Resultados de la pregunta “A que distancia se encuentra la fuente de agua potable más cercana?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
<b>1 a 10 metros</b>	14	<b>33,3%</b>
11 a 20 metros	11	26,2%
31 a 50 metros	1	2,4%
Más de 50 metros	12	28,6%
N.R.	4	9,5%

De acuerdo a la encuesta el 33,3% indica que la fuente de agua más cercana está a menos de 10 metros, seguido por el 28,6% que menciona que el agua está a más de 50 metros de la población.

**Tabla 21. Resultados de la pregunta “Lleva leña para el hogar?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	3	7,1%
<b>Si</b>	39	<b>92,9%</b>

El 92,9% de hogares encuestados llevan leña al hogar, el 7,1% no dio respuesta a la pregunta.

Tabla 22. Resultados de la pregunta “A que distancia se encuentra la fuente de leña más cercana?”

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
1 a 10 metros	6	14,3%
11 a 20 metros	2	4,8%
<b>Más de 50 metros</b>	30	<b>71,4%</b>
N.R.	4	9,5%

De acuerdo al 71,4% de la población encuestada la fuente de leña más cercana está a más de 50 metros de distancia, solamente el 14,3% indica que la fuente de leña está a menos de 10 metros.

Tabla 23. Resultados de la pregunta “El terreno es”

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
<b>De la comunidad</b>	33	<b>78,6%</b>
N.R.	1	2,4%
Propio	8	19,0%

El terreno es de la comunidad, tal como lo indica el 78,6% mientras que el 19,0% menciona que el terreno es propio.

Tabla 24. Resultados de la pregunta “Cuántas habitaciones tiene la vivienda?”

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Ninguna	9	21,4%
2	8	19,0%
<b>3</b>	14	<b>33,3%</b>
4	4	9,5%
5 o más	4	9,5%
N.R.	3	7,1%

El 33,3% de los hogares tienen 3 habitaciones, el 21,4% no tiene habitaciones, y el 19,0% tiene 2, solamente el 9,5% tiene entre 4 y 5 habitaciones.

Tabla 25. Resultados de la pregunta “La vivienda tiene baño?”

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	1	2,4%
<b>No</b>	41	<b>97,6%</b>

En la encuesta se evidencia que ninguna de las viviendas tiene baño (97,6%). El 2,4% no dio respuesta a la pregunta de si la vivienda tiene baño.

**Tabla 26. Resultados de la pregunta “La evacuación del baño se realiza en”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	1	2,4%
<b>Ninguno</b>	41	<b>97,6%</b>

La evacuación del baño no se hace en ningún sitio, de acuerdo al 97,6% de la población encuestada.

**Tabla 27. Resultados de la pregunta “Esta vivienda, ¿Cuenta con un espacio exclusivo para cocinar?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	3	7,1%
<b>No</b>	27	<b>64,3%</b>
Si	12	28,6%

El 64,3% de los encuestados no cuenta con un sitio específico para cocinar, y el 28,6% sí tiene un sitio destinado para esta actividad.

**Tabla 28. Resultados de la pregunta “El material predominante del techo es”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Eternit	14	33,3%
N.R.	2	4,8%
<b>Zinc</b>	26	<b>61,9%</b>

El techo predominante es zinc (61,9%), seguido por eternit con el 33,3%. El 4,8% de los encuestados no respondió a esta pregunta.

**Tabla 29. Resultados de la pregunta “El material predominante del piso es”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
<b>Madera</b>	41	<b>97,6%</b>
N.R.	1	2,4%

El piso predominante es madera con el 97,6%, y el 2,4% no respondió a la pregunta.

**Tabla 30. Resultados de la pregunta “El material predominante de las paredes es”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
<b>Madera</b>	41	<b>97,6%</b>
N.R.	1	2,4%

El material predominante de las paredes es madera con el 97,6%.

**Tabla 31. Resultados de la pregunta “Cómo es el estado de conservación de la vivienda?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Malo	1	2,4%
N.R.	4	9,5%
Nueva	2	4,8%
<b>Regular</b>	35	<b>83,3%</b>

En general se tiene que el 83,3% de los encuestados tienen en condiciones regulares la vivienda, el 4,8% tiene nueva la vivienda mientras que el 2,4% la tiene en malas condiciones.

**Tabla 32. Resultados de la pregunta “Cómo es la terminación de la vivienda?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	2	4,8%
<b>Obra gris</b>	40	<b>95,2%</b>

Se puede identificar que el 95,2% de las viviendas están en obra gris, de acuerdo a la población encuestada.

**Tabla 33. Resultados de la pregunta “La ventilación de la casa es?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	1	2,4%
<b>Natural</b>	41	<b>97,6%</b>

El 97,6% de las viviendas tiene ventilación natural, el 2,4% no respondió a esta pregunta.

**Tabla 34. Resultados de la pregunta “Hace cuantos años viven en esta vivienda?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
<b>1 a 5 años</b>	26	<b>61,9%</b>
6 a 10 años	9	21,4%
11 a 15 años	2	4,8%
20 a 30 años	2	4,8%
Más de 30 años	1	2,4%
N.R.	2	4,8%

A la pregunta de hace cuantos años viven en esta vivienda, el 61,9% de los encuestados viven en esta hace menos de 5 años, el 21,4% viven entre 6 y 10 años, y el 2,4% viven hace más de 30 años.

**Tabla 35. Resultados de la pregunta “Esta casa, ¿Fue construida por ustedes?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	1	2,4%
<b>Si</b>	41	<b>97,6%</b>

Se tiene que el 97,6% de la población encuestada hizo si propia vivienda, el 2,4% no dio respuesta a esta pregunta.

**Tabla 36. Resultados de la pregunta “En los últimos tres años se realizaron reformas o mejoras en la vivienda?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	1	2,4%
<b>No</b>	33	<b>78,6%</b>
Si	8	19,0%

En el 78,6% de los hogares encuestados no se han realizado reformas o mejoras a las viviendas realizadas en los últimos tres años, mientras que el 19,0% si ha realizado algún tipo de mejora en los últimos tres años.

**Tabla 37. Resultados de la pregunta “En relación a la educación, le gustaría tener oportunidades de estudio nuevas?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	2	4,8%
<b>Si</b>	40	<b>95,2%</b>

Al 95,2% de la población encuestada le gustaría tener nuevas oportunidades de estudio, el 4,8% no dio respuesta.

**Tabla 38. Resultados de la pregunta “Para quiénes serían esas oportunidades de estudio”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Jóvenes	1	2,4%
N.R.	2	4,8%
<b>Niños</b>	39	<b>92,9%</b>

Se tiene que el 92,9% de los encuestados sugieren que las oportunidades de estudio deberían ser para los niños (92,9%), mientras que el 2,4% sugiere que sea para los jóvenes.



Tabla 39. Resultados de la pregunta “Porqué vía se comunican con otras poblaciones?”

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Celular	2	4,8%
N.R.	1	2,4%
<b>Río</b>	39	<b>92,9%</b>

La principal vía de comunicación con otras poblaciones es el río con un 92,9%, seguido del 4,8% de la vía celular.

– **Aspectos técnicos**

En relación a los aspectos técnicos se realizaron las siguientes preguntas:

1. En la vivienda tiene servicio
2. Considera que la electricidad es buena para
3. Tiene puntos eléctricos en su vivienda?
4. Tiene algún electrodoméstico
5. Qué electrodoméstico le gustaría tener?
6. Cuántas horas de servicio le gustaría tener?
7. En su familia hay personas que saben de electricidad?
8. Le gustaría aprender de electricidad?

Las respuestas encontradas a las anteriores preguntas corresponden a las siguientes tablas.

Tabla 40. Resultados de la pregunta “En la vivienda tiene servicio”

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Eléctrico	8	19,0%
Eléctrico y recolección	6	14,3%
N.R.	2	4,8%
Ninguno	6	14,3%
<b>Recolección</b>	20	<b>47,6%</b>

De acuerdo a la encuesta el 47,6% de los encuestados respondieron que tiene servicio de recolección, seguido del servicio eléctrico con el 19,0%. Es de anotar que este servicio de recolección se refiere a que en cada vivienda se recogen algunos residuos pero no existe recolección con tal, ya que no se tienen sitios de disposición final puesto que estos residuos se dejan directamente en el río.

**Tabla 41. Resultados de la pregunta “Considera que la electricidad es buena para”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Equipos	14	33,3%
<b>Iluminación</b>	15	<b>35,7%</b>
Iluminación y equipos	12	28,6%
N.R.	1	2,4%

El 35,7% de la población considera que la electricidad es buena para iluminar, seguido por un 33,3% que considera que es buena para equipo exclusivamente, y un 28,6% considera puede ser usada para equipos e iluminación al mismo tiempo.

**Tabla 42. Resultados de la pregunta “Tiene puntos eléctricos en su vivienda?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	3	7,1%
<b>Ninguno</b>	30	<b>71,5%</b>
Si	9	21,4%

En los hogares encuestados el 71,5% no tiene puntos eléctricos, el 21,4% sí cuenta con algunos puntos eléctricos en sus viviendas.

**Tabla 43. Resultados de la pregunta “Tiene algún electrodoméstico”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	3	7,1%
<b>No</b>	28	<b>66,7%</b>
Si	11	26,2%

El 66,7% de la población encuestada no tiene ningún electrodoméstico, mientras que el 26,2% cuenta con algún tipo de electrodoméstico.

**Tabla 44. Resultados de la pregunta “Qué electrodoméstico le gustaría tener?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Nevera	9	14,8%
Radio	7	11,5%
<b>Televisión</b>	38	<b>62,3%</b>
Ventilador	7	11,5%

El electrodoméstico que más le gustaría tener la población es televisión (62,3%), seguido de nevera, radio, y ventilador que tienen una participación similar.

Tabla 45. Resultados de la pregunta “Cuántas horas de servicio le gustaría tener?”

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
<b>24</b>	40	<b>95,2%</b>
N.R.	2	4,8%

El 95,2% de la población quiere quisiera 24 horas de servicio eléctrico, y el 4,8% no respondió a esta pregunta.

Tabla 46. Resultados de la pregunta “En su familia hay personas que saben de electricidad?”

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	1	2,4%
<b>No</b>	41	<b>97,6%</b>

En general se tiene que la población no conoce de electricidad, ya que el 97,6% de los encuestados indicaron no conocer nada del tema.

Tabla 47. Resultados de la pregunta “Le gustaría aprender de electricidad?”

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	2	4,8%
No	1	2,4%
<b>Si</b>	39	<b>92,9%</b>

De acuerdo a la encuesta el 92,9% de los encuestados quieren aprender de electricidad, mientras que el 2,4% no está interesado en aprender en estos temas.

#### – Aspectos ambientales

En relación a los aspectos ambientales se realizaron las siguientes preguntas:

1. Tienen tradiciones que intervengan con el uso de los recursos naturales?
2. Cuáles son los recursos ambientales que tienen alguna restricción?
3. Le gustaría conservar su entorno como está en la actualidad?
4. Qué tipo de problemas de acumulación tienen?
5. Le gustaría aprender a manejar estos problemas de acumulación?

Complementario a las preguntas se realizó el levantamiento de información ambiental, la cual se presenta al final de este documento, a continuación se presentan las respuestas a las anteriores preguntas.

**Tabla 48. Resultados de la pregunta “Tienen tradiciones que intervengan con el uso de los recursos naturales?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	2	4,8%
No	11	26,2%
<b>Si</b>	29	<b>69,0%</b>

El 69,0% de los encuestados indican que si tienen tradiciones que intervienen con el uso de los recursos naturales, mientras que el 26,2% dice no tener tradiciones que intervengan.

**Tabla 49. Resultados de la pregunta “Cuáles son los recursos ambientales que tienen alguna restricción?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
<b>Agua</b>	41	<b>97,6%</b>
N.R.	1	2,4%

De acuerdo a la encuesta se tiene que el agua es el principal recurso que tiene restricción con un 97,6%.

**Tabla 50. Resultados de la pregunta “Le gustaría conservar su entorno como está en la actualidad?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	3	7,1%
<b>Si</b>	39	<b>92,9%</b>

El 92,9% de la población encuestada quiere conservar su entorno como esta en la actualidad.

**Tabla 51. Resultados de la pregunta “Qué tipo de problemas de acumulación tienen?”**

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
Residuos en cultivos	6	8,2%
<b>Inundaciones por el río</b>	36	<b>49,3%</b>
Residuos comunitarios	28	38,4%

El principal problema de acumulación se da por causa de las inundaciones del río (49,3%), seguido por los residuos comunitarios con un 38,4%, siendo el de menor acumulación el residuo por cultivos común 8,2%.

Tabla 52. Resultados de la pregunta “Le gustaría aprender a manejar estos problemas de acumulación?”

Respuesta	Número de respuestas	Porcentaje de respuesta
N.R.	1	2,4%
No	5	11,9%
<b>Si</b>	36	<b>85,7%</b>

Al 85,7% de la población encuestada le gustaría aprender a manejar estos problemas de acumulación.

### Consolidación de la información técnica

Complementario a la encuesta se realizó el levantamiento de información técnica en sitio, a continuación se presentan los resultados de dicho levantamiento.

#### CONSOLIDACIÓN LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN TÉCNICA

##### Viviendas

Número de viviendas 55

Número de comercios 3

Número de centros educativos 1

Estado Regular

Número de centros de salud 0

Estado \_\_\_\_\_

Interdistancia de viviendas 2 Mínima

5 Máxima 3,5 Promedio

Área de las viviendas 40 Mínima

100 Máxima 70 Promedio

##### Fuentes energéticas disponibles

Radiación solar [W/m2] 65 Mínima 1012 Máxima 356,3 Promedio

Velocidad del viento [m/s] 0 Mínima 0 Máxima 0 Promedio

Caudal del río [m/s] \_\_\_\_\_ Mínimo \_\_\_\_\_ Máximo \_\_\_\_\_ Promedio

Tipos de biocombustible SC Biomasa vegetal No Bagaso SD Leña

SC Residuos orgánicos No Estiercol No Otro

##### Necesidades energéticas

Aprovechamiento o uso energético actual \_\_\_\_\_ Fuerza X Electricidad X Térmico

Necesidades de fuerza \_\_\_\_\_ Motores \_\_\_\_\_ Bombas \_\_\_\_\_ Otro

Necesidades de iluminación X Alumbrado público X Viviendas Iglesia, Escuela Otro

Necesidades térmicas X Cocción \_\_\_\_\_ Secado \_\_\_\_\_ Otro

Horas de servicio eléctrico actual 0

Como se puede observar, en la población existen 55 viviendas, 3 comercios, un centro educativo, y ningún centro de salud. Como fuentes energéticas disponibles están la radiación solar, algún residuo orgánico y biomasa vegetal sin cuantificar. Si bien está el río

no se logró medir caudales, además se observó gran material residual en el río y algo de carga proveniente de la minería que hacen difícil la valoración de aprovechamiento hídrico para la comunidad. En la actualidad la comunidad no cuenta con servicio de electricidad, encontrando solamente tres viviendas que cuentan con planta eléctrica a gasolina para alimentar sus comercios.

### Consolidación de la información ambiental

Tal como se mencionó, se complementó la encuesta ambiental con el levantamiento en sitio de los aspectos ambientales, a continuación se presenta esta información consolidada.

**CONSOLIDACIÓN LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN AMBIENTAL Y DE BIOMASA**

Temperatura promedio	28 °C	Altura msnm	822	Presión	92 kPa	%HR	71	Pluviosidad	_____
Tipo de recursos naturales	Sol <input checked="" type="checkbox"/>	Viento	<input type="checkbox"/>	Biomasa	<input checked="" type="checkbox"/>	Agua	<input checked="" type="checkbox"/>	Cultivos	<input checked="" type="checkbox"/>
Zonas protegidas	Si <input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>	Área	_____	Tipo	_____		
Zonas de reserva	Si <input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>	Área	_____	Tipo	_____		
Zonas de restricción cultural	Si <input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	Área	ND	Tipo	Aguas, Bosques, Árboles		
Tipo de árboles en la región	tangare, machare, cuangare, natos, mares, jiguanegro								
Áreas de explotación forestal	Si <input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>	Área	_____	Tipo	_____		
Fuentes de biomasa residual	Si <input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>	Tipos _____					
Cuerpos hídricos	Si <input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	Tipos Río Saija					
Ubicación de los puntos de toma de agua	Total	1			Distancia promedio	Entre 30 y 50 metros			
Calidad del agua superficial	Buena	<input type="checkbox"/>	Regular	<input checked="" type="checkbox"/>	Mala	<input type="checkbox"/>			
Ubicación de los sitios de recolección de leña	Total	1			Distancia promedio	Más de 50 metros			
Tipo de leña	Buena	<input type="checkbox"/>	Regular	<input checked="" type="checkbox"/>	Mala	<input type="checkbox"/>			
Emissiones por cocción	Sin medición								
Tipo de residuos de la comunidad	Orgánicos	<input checked="" type="checkbox"/>	Peligrosos	<input type="checkbox"/>	Reciclables	<input checked="" type="checkbox"/>	Otros	<input type="checkbox"/>	
Lugar de almacenamiento de RSU	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>	Ubicación	_____			
Se realiza separación de residuos	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>	Ubicación	_____			
Manejo de los RO	Si	<input type="checkbox"/>	No	<input checked="" type="checkbox"/>	Cuál?	_____			

Manejo del agua Si  No  Cuál? \_\_\_\_\_

Tipo de cultivos Plátanos, yucas, bananos, caña y papachima

Tiempos de cosecha 6 meses  9 meses  12 meses  18 meses  > 18 meses

Manejo de los residuos de los cultivos Si  No  Cuál? \_\_\_\_\_

Calidad del suelo Buena  Regular  Mala

Personas que manejan los residuos Ninguna

Caracterización de la biomasa Tipo Residuos orgánicos Cantidad Sin datos Sin datos  
 % Sin Humedad datos Capacidad calórica Sin datos pH datos

A partir del levantamiento ambiental se encontró que los tipos de cultivos son de media y baja capacidad calórica para producción de biogás, si bien pueden usarse para combustión, las cantidades y condiciones climáticas hacen que deba revisarse cuidadosamente el tema de aprovechamiento energético.

La principal problemática ambiental son los residuos dejados por el río, siendo los de mayor afectación los inorgánicos, y los desechos humanos, ya que contaminan el río que en épocas de sequía es usado en casos extremos para cocción de alimentos.

En general no hay ningún manejo ambiental de ningún tipo de residuo observando mucho residuo plástico asentado debajo de las viviendas cuando baja la marea. En este mismo sentido se tiene que en las viviendas no se hace un manejo adecuado de los residuos orgánicos, ya que en realidad es muy poco, por lo cual lo disponen directamente al río.

En la región no se tiene restricciones ambientales como parques o reservas naturales, sin embargo, se tienen algunas restricciones más culturales y de creencia propias de la comunidad.

### Anexo 1. Formularios de Encuestas

Formulario de encuestas realizadas a la comunidad

**LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PRIMARIA  
CARACTERIZACIÓN RESGUARDO SANTA ROSA - TIMBIQUÍ - CAUCA  
CONTRATO FP44842-399-2014 (2014-1004 COLCIENCIAS)**

Fecha \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ No. \_\_\_\_\_  
 Nombre: \_\_\_\_\_  
 Ubicación: \_\_\_\_\_  
 Encuestador: \_\_\_\_\_

**ASPECTOS SOCIALES**

1 Número de personas que habitan en la residencia  
 2  3  4  5  más de 5

2 Cuántos adultos mayores (mayores a 65 años) habitan  
 2  3  4  5  más de 5

3 Cuántos niños (menores de 12 años) habitan  
 2  3  4  5  más de 5

4 Cuántos de los niños van a la escuela?  
 2  3  4  5  más de 5

5Cuál es el nivel de enseñanza máxima de la familia  
 Primaria  Secundaria  Ninguna  Máximo grado cursado: \_\_\_\_\_

6 Qué costumbres familiares tienen  
 \_\_\_\_\_

---

7 Consideran que tienen problemas con conflictos  
 Familiares  Comunitarios  Armados  Ninguno  Otro  Cual: \_\_\_\_\_

8 Tienen problemas de salud  
 General  Motriz  Respiratoria  Ninguna  Otra  Cual: \_\_\_\_\_

9 Considera que requiere servicio de  
 Eléctrico  Acueducto  Alcantarillado  Recolección  Salud

10Cuál servicio es prioritario para usted? (marque solo uno)  
 Eléctrico  Acueducto  Alcantarillado  Recolección  Salud

11 Qué cree que le hace falta para mejorar sus condiciones actuales  
 Si  No  No sabe  No responde

12 Tienen algún tipo de organización comunitaria?  
 Si  No  No sabe  No responde  Si, Cual: \_\_\_\_\_

**ASPECTOS ECONÓMICOS**

1 ¿Cuál es la situación laboral actual?  
 Empleado  Desempleado  Independiente  Ninguno



- 2 ¿En su ocupación principal que tarea realiza?
- 
- 3 ¿Cuál es su ingreso mensual?  
 Menor a 100 mil pesos  Entre 100 y 500  Mayor a 500  Otro  Cual: \_\_\_\_\_
- 4 ¿Su ingreso es fijo o variable?  
 Fijo  Variable  Valor promedio: \_\_\_\_\_
- 5 Cuáles son los meses de mayor ingreso?  
 Enero  Febrero  Marzo  Abril  Mayo  Junio  Julio  Agosto  Septiembre  Octubre  Noviembre  Diciembre
- 6 Cuáles son los meses de menor ingreso?  
 Enero  Febrero  Marzo  Abril  Mayo  Junio  Julio  Agosto  Septiembre  Octubre  Noviembre  Diciembre
- 7 Si los servicios fueran buenos usted estaría dispuesto a pagar por estos?  
 Si  No  Si, cuánto? \_\_\_\_\_
- 8 Le gustaría tener procesos productivos que le den nuevos ingresos?  
 Si  No
- 9 Cuáles creen que podrían ser esos nuevos procesos productivos?  
 Cultivos  Biomasa  Cadena de frío  Comercio  Otro  Cual: \_\_\_\_\_
- 10 Le gustaría estar involucrado en esos procesos productivos?  
 Si  No
- 11 Cuántas personas cocinan alimentos?  
 2  3  4  5  más de 5
- 12 Lleva agua para el hogar?  
 Si  No  Quienes: \_\_\_\_\_
- 13 A que distancia se encuentra la fuente de agua potable más cercana?  
 1 a 10 m  11 a 20 m  21 a 30 m  31 a 50 m  Más de 50 m
- 14 Lleva leña para el hogar?  
 Si  No  Quienes: \_\_\_\_\_
- 15 A que distancia se encuentra la fuente de leña más cercana?  
 1 a 10 m  11 a 20 m  21 a 30 m  31 a 50 m  Más de 50 m
- 16 El terreno es  
 Propio  Arrendado  De la comunidad
- 17 ¿Cuántas habitaciones tiene la vivienda?  
 1  2  3  4  5 o más
- 18 ¿La vivienda tiene baño?  
 Si  No
- 19 La evacuación del baño se realiza en  
 Letrina  Ninguno  Otro: \_\_\_\_\_
- 20 Esta vivienda, ¿Cuenta con un espacio exclusivo para cocinar?  
 Si  No
- 21 El material predominante del techo es

- Zinc       Asbesto       Eternit       Palma       Otro: \_\_\_\_\_
- 22 El material predominante del piso es  
Cemento       Tierra       Baldosa       Otro: \_\_\_\_\_
- 23 El material predominante de las paredes es  
Baqueque       Ladrillo       Palma       Teja       Otro: \_\_\_\_\_
- 24 Cómo es el estado de conservación de la vivienda?  
Bueno       Regular       Malo       Nueva
- 25 Cómo es la terminación de la vivienda?  
Obra negra       Obra gris       Obra blanca       Otro: \_\_\_\_\_
- 26 La ventilación de la casa es?  
Natural       Ninguno       Aire acondicionado
- 27 Hace cuantos años viven en esta vivienda?  
1 a 5 años       6 a 10 años       11 a 15 años       20 a 30 años       Más de 30
- 28 Esta casa, ¿Fue construida por ustedes?  
Si       No       Quién? \_\_\_\_\_
- 29 En los últimos tres años se realizaron reformas o mejoras en la vivienda?  
Si       No       Cuáles? \_\_\_\_\_
- 30 En relación a la educación, le gustaría tener oportunidades de estudio nuevas?  
Si       No       Cuáles? \_\_\_\_\_
- 31 Para quiénes serían esas oportunidades de estudio  
Niños       Jóvenes       Adultos       Otro: \_\_\_\_\_
- 32 Porqué vía se comunican con otras poblaciones?  
Celular       Río       Caminos       Otro: \_\_\_\_\_

**ASPECTOS TÉCNICOS**

- 1 En la vivienda tiene servicio de  
Eléctrico       Acueducto       Alcantarillado       Recolección
- 2 Considera que la electricidad es buena para  
Cocción       Iluminación       Ventilación       Equipos
- 3 Tiene puntos eléctricos en su vivienda?  
Número de tomacorrientes \_\_\_\_      Número de plafones \_\_\_\_      Ninguno
- 4 Tiene algún electrodoméstico  
Si       No   
TV \_\_\_\_\_ W      Ventilador \_\_\_\_\_ W      Iluminación \_\_\_\_\_ W  
Radio \_\_\_\_\_ W      Nevera \_\_\_\_\_ W      Otro \_\_\_\_\_ W
- 5 Qué electrodoméstico le gustaría tener?  
TV       Radio       Nevera       Ventilador       Otro: \_\_\_\_\_
- 6 Cuántas horas de servicio le gustaría tener?  
3       6       9       12       24

- 7 En su familia hay personas que saben de electricidad?  
 Si  No  Si, quién? \_\_\_\_\_
- 8 Le gustaría aprender de electricidad?  
 Si  No

**ASPECTOS AMBIENTALES**

- 1 Tienen tradiciones que intervengan con el uso de los recursos naturales?  
 Si  No  Si, cuáles? \_\_\_\_\_
- 2 Cuáles son los recursos ambientales que tienen alguna restricción?  
 Agua  Suelo  Bosque  Animales
- 3 Le gustaría conservar su entorno como está en la actualidad?  
 Si  No  No, porqué? \_\_\_\_\_
- 4 Qué tipo de problemas de acumulación tienen?  
 Residuos en cultivos  Residuos en las viviendas  Residuos comunitarios   
 Inundaciones por el río  Aguas lluvia  Otro: \_\_\_\_\_
- 5 Le gustaría aprender a manejar estos problemas de acumulación?  
 Si  No  Si, cuáles? \_\_\_\_\_

**Formulario de levantamiento de información técnica**

CARACTERIZACIÓN RESGUARDO SANTA ROSA - TIMBIQUÍ - CAUCA  
 CONTRATO FP44842-399-2014 (2014-1004 COLCIENCIAS)

**CONSOLIDACIÓN LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN TÉCNICA**

**Viviendas**

Número de viviendas \_\_\_  
 Número de comercios \_\_\_

Número de centros educativos \_\_\_ Estado \_\_\_\_\_

Número de centros de salud \_\_\_ Estado \_\_\_\_\_

Interdistancia de viviendas \_\_\_ Mínima \_\_\_\_\_ Máxima \_\_\_ Promedio  
 Área de las viviendas \_\_\_ Mínima \_\_\_\_\_ Máxima \_\_\_ Promedio

**Fuentes energéticas disponibles**

Radiación solar \_\_\_ Mínima \_\_\_\_\_ Máxima \_\_\_ Promedio  
 Velocidad del viento \_\_\_ Mínima \_\_\_\_\_ Máxima \_\_\_ Promedio  
 Caudal del río \_\_\_ Mínimo \_\_\_\_\_ Máximo \_\_\_ Promedio

Tipos de biocombustible \_\_\_ Biomasa vegetal \_\_\_\_\_ Bagaso \_\_\_ Leña  
 Residuos orgánicos \_\_\_\_\_ Estiercol \_\_\_\_\_ Otro

**Necesidades energéticas**

Aprovechamiento o uso energético actual  Fuerza  Electricidad  Térmico   
 Necesidades de fuerza  Motores  Bombas  Otro   
 Necesidades de iluminación  Alumbrado público  Viviendas  Otro   
 Necesidades térmicas  Cocción  Secado  Otro   
 Horas de servicio eléctrico actual

**Levantamiento de cargas**

Viviendas tipo 1 <input type="text"/>	Carga instalada promedio (W) <input type="text"/>	Carga instalada máx (W) <input type="text"/>
Viviendas tipo 2 <input type="text"/>	Carga instalada promedio (W) <input type="text"/>	Carga instalada máx (W) <input type="text"/>
Centro educativo <input type="text"/>	Carga instalada promedio (W) <input type="text"/>	Carga instalada máx (W) <input type="text"/>
Centro de salud <input type="text"/>	Carga instalada promedio (W) <input type="text"/>	Carga instalada máx (W) <input type="text"/>
Puerto <input type="text"/>	Carga instalada promedio (W) <input type="text"/>	Carga instalada máx (W) <input type="text"/>
Comercios <input type="text"/>	Carga instalada promedio (W) <input type="text"/>	Carga instalada máx (W) <input type="text"/>
Carga total <input type="text"/>	Carga instalada promedio (W) <input type="text"/>	Carga instalada máx (W) <input type="text"/>

**Formulario de levantamiento de información ambiental**

**LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PRIMARIA**  
 CARACTERIZACIÓN RESGUARDO SANTA ROSA - TIMBIQUÍ - CAUCA  
 CONTRATO FP44842-399-2014 (2014-1004 COLCIENCIAS)

**CONSOLIDACIÓN LEVANTAMIENTO INFORMACIÓN AMBIENTAL Y DE BIOMASA**

Temperatura promedio <input type="text"/>	Altura msnm <input type="text"/>	Presión <input type="text"/>	%HR <input type="text"/>	Pluvisidad <input type="text"/>
Tipo de recursos naturales Sol <input type="text"/>	Viento <input type="text"/>	Biomasa <input type="text"/>	Agua <input type="text"/>	Cultivos <input type="text"/>
Zonas protegidas Si <input type="text"/>	No <input type="text"/>	Área <input type="text"/>	Tipo <input type="text"/>	
Zonas de reserva Si <input type="text"/>	No <input type="text"/>	Área <input type="text"/>	Tipo <input type="text"/>	
Zonas de restricción cultural Si <input type="text"/>	No <input type="text"/>	Área <input type="text"/>	Tipo <input type="text"/>	
Tipo de árboles en la región <input type="text"/>	<hr/>			
Áreas de explotación forestal Si <input type="text"/>	No <input type="text"/>	Área <input type="text"/>	Tipo <input type="text"/>	
Fuentes de biomasa residual Si <input type="text"/>	No <input type="text"/>	Tipos <input type="text"/>		
Cuerpos hídricos Si <input type="text"/>	No <input type="text"/>	Tipos <input type="text"/>		
Ubicación de los puntos de toma de agua Total <input type="text"/>	Distancia promedio <input type="text"/>			
Calidad del agua superficial Buena <input type="text"/>	Regular <input type="text"/>	Mala <input type="text"/>		
Ubicación de los sitios de recolección de leña Total <input type="text"/>	Distancia promedio <input type="text"/>			

Tipo de leña Buena  Regular  Mala

Emisiones por cocción \_\_\_\_\_

Tipo de residuos de la comunidad  
Orgánicos  Peligrosos  Reciclables  Otros

Lugar de almacenamiento de RSU Si  No  Ubicación \_\_\_\_\_

Se realiza separación de residuos Si  No  Ubicación \_\_\_\_\_

Manejo de los RO Si  No  Cuál? \_\_\_\_\_

Manejo del agua Si  No  Cuál? \_\_\_\_\_

Tipo de cultivos \_\_\_\_\_

Tiempos de cosecha 6 meses  9 meses  12 meses  18 meses  > 18 meses

Manejo de los residuos de los cultivos Si  No  Cuál? \_\_\_\_\_

Calidad del suelo Buena  Regular  Mala

Personas que manejan los residuos \_\_\_\_\_

Caracterización de la biomasa Tipo \_\_\_\_\_ Cantidad \_\_\_\_\_ pH \_\_\_\_\_  
% Humedad \_\_\_\_\_ Capacidad calórica \_\_\_\_\_

## Anexo B

En este anexo se presentan los resultados de las encuestas realizadas a expertos y se menciona la forma como se estableció la comparación pareada basados en los resultados.

### ENCUESTA NIVEL DE IMPORTANCIA PARA CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MEJOR ALTERNATIVA DE GENERACIÓN

1. Considerando una escala numérica de 1 a 9, donde 1 es baja importancia y 9 muy alta importancia, identifique la relevancia de los siguientes criterios con base a la Tabla 1 para la selección de la mejor alternativa de generación en un proyecto de energización rural.

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Tabla 1

## RESULTADOS

EXPERTO 1: Carlos Adrian Correa Florez

SUBCRITERIO	VALOR NUMERICO
Disponibilidad del Recurso	9
Variación de la carga	4
Ausencia de normatividad	3
Infraestructura	5
Eficiencia energética	6
Madurez de alternativa de generación	6
Financiación	7
Inversión inicial	7
Costos de operación	7
Información y conocimiento	8
Licenciamiento	4
Política energética	3
Aceptación de alternativa	6
Extenso uso de área	4
Afectación en la biodiversidad	5
Cambio climático	5

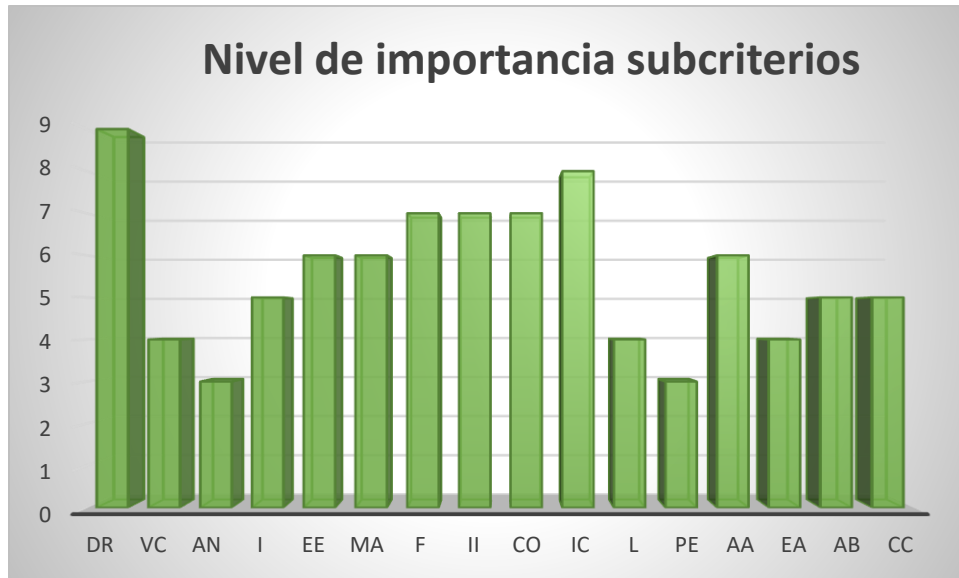


Figura B1: Resultado Experto 1

EXPERTO 2: Jairo Alberto Valencia Llanos

SUBCRITERIO	VALOR NUMERICO
Disponibilidad del Recurso	9
Variación de la carga	5
Ausencia de normatividad	3
Infraestructura	4
Eficiencia energética	6
Madurez de alternativa de generación	5
Financiación	8
Inversión inicial	6
Costos de operación	7
Información y conocimiento	8
Licenciamiento	4
Política energética	3
Aceptación de alternativa	7
Extenso uso de área	4
Afectación en la biodiversidad	5
Cambio climático	5

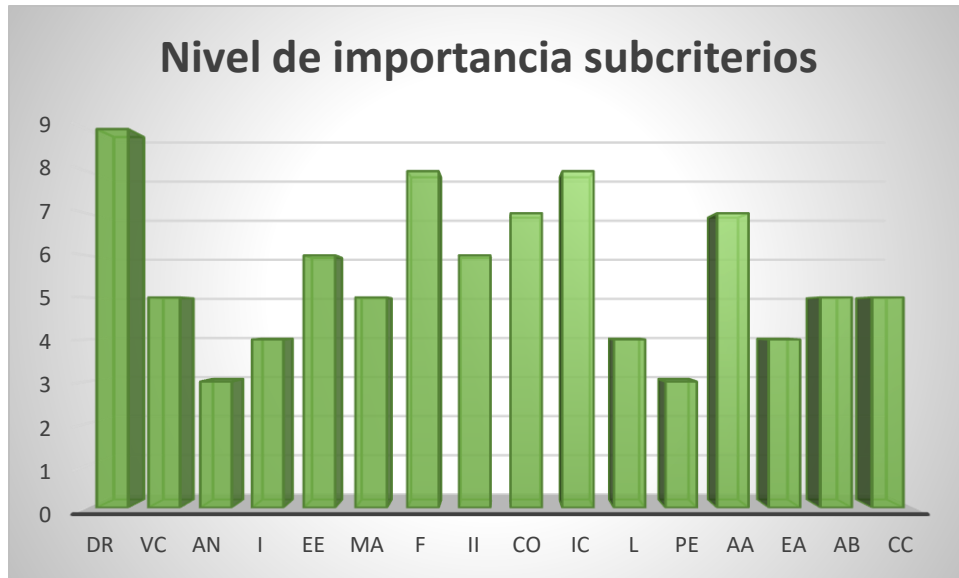


Figura B2: Resultado Experto 2

EXPERTO 3: Maximiliano Bueno López

SUBCRITERIO	VALOR NUMERICO
Disponibilidad del Recurso	9
Variación de la carga	4
Ausencia de normatividad	4
Infraestructura	3
Eficiencia energética	4
Madurez de alternativa de generación	6
Financiación	8
Inversión inicial	4
Costos de operación	5
Información y conocimiento	7
Licenciamiento	4
Política energética	3
Aceptación de alternativa	7
Extenso uso de área	3
Afectación en la biodiversidad	5
Cambio climático	5



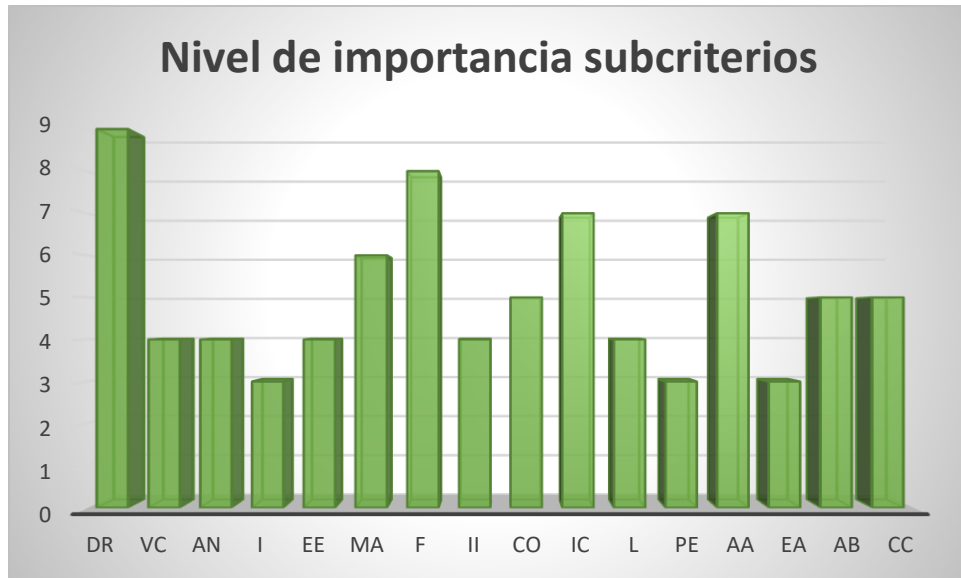


Figura B3: Resultado Experto 3

**EXPERTO 4: Pedro Jaime Pineda Parra**

SUBCRITERIO	VALOR NUMERICO
Disponibilidad del Recurso	9
Variación de la carga	4
Ausencia de normatividad	4
Infraestructura	4
Eficiencia energética	5
Madurez de alternativa de generación	6
Financiación	7
Inversión inicial	6
Costos de operación	6
Información y conocimiento	8
Licenciamiento	3
Política energética	3
Aceptación de alternativa	7
Extenso uso de área	4
Afectación en la biodiversidad	6
Cambio climático	5

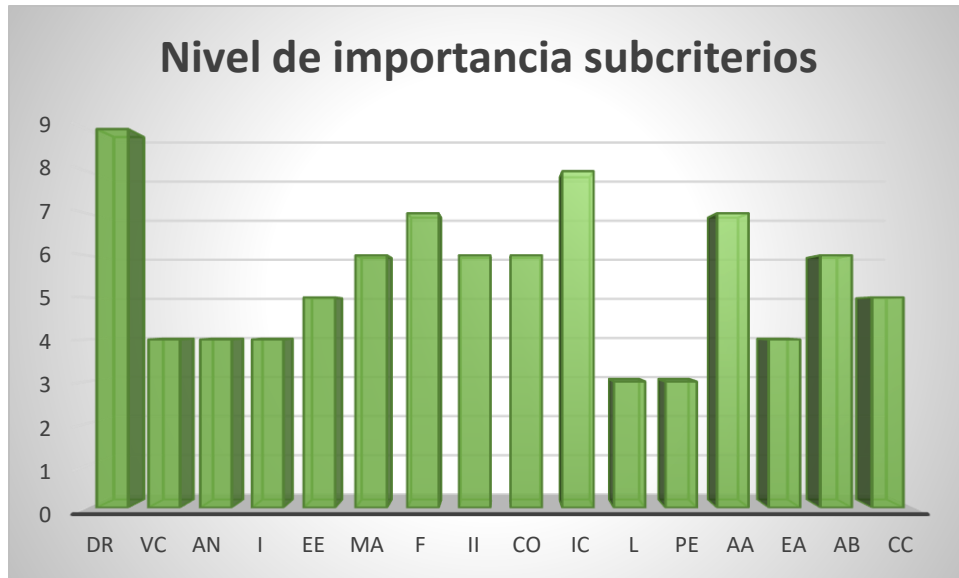


Figura B4: Resultado Experto 4

EXPERTO 5: Sandra Yomary Garzón Lemos

SUBCRITERIO	VALOR NUMERICO
Disponibilidad del Recurso	9
Variación de la carga	3
Ausencia de normatividad	3
Infraestructura	4
Eficiencia energética	5
Madurez de alternativa de generación	6
Financiación	7
Inversión inicial	5
Costos de operación	6
Información y conocimiento	8
Licenciamiento	4
Política energética	3
Aceptación de alternativa	7
Extenso uso de área	3
Afectación en la biodiversidad	5
Cambio climático	5

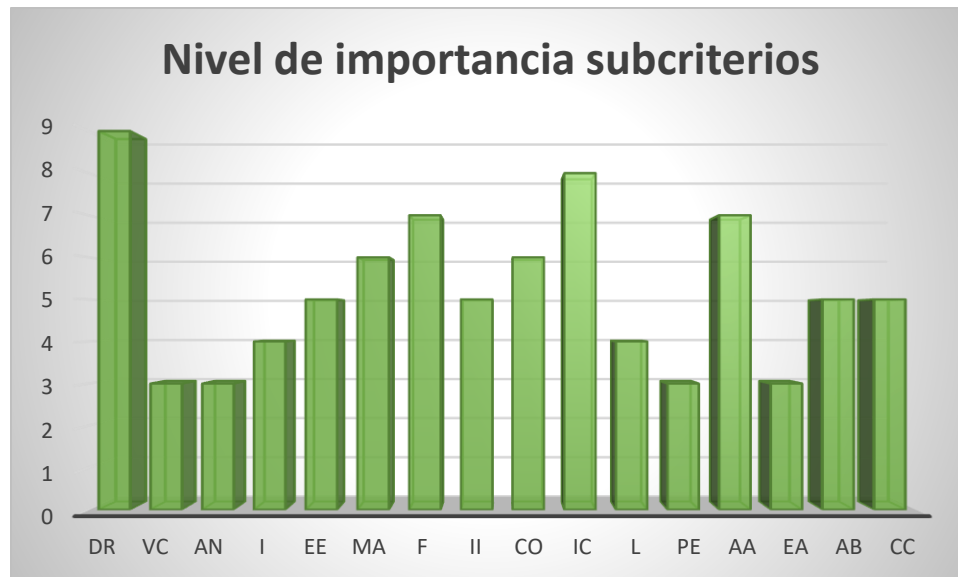


Figura B5: Resultado Experto 5

Con base en los resultados de las encuestas se han definido la comparación pareada que aparece en la Tabla 10. Ha sido necesario definir 256 comparaciones y para esto se han analizado las figuras que aparecen en este anexo. Por ejemplo, en la Figura B1 se observa que el criterio de mayor importancia es la disponibilidad del recurso, y las de menor importancia son la política energética y ausencia de normatividad. Lo anterior se ve reflejado en un alto índice de paridad, 9 en ambos casos, que se observa en la Tabla 10. Es conveniente aclarar que podría plantearse una comparación pareada entre criterios por cada una de las respuestas obtenidas y normalmente esto se resuelve en una mesa de discusión con todos los expertos, pero para la finalidad de este trabajo de grado se realizó un consolidado analizando cada una de las respuestas. Otro ejemplo de asignación del índice de paridad se observa en la figura B3, para este caso el criterio de mayor importancia es nuevamente la disponibilidad del recurso y los de menor importancia son infraestructura, política energética y extenso uso de área; lo anterior se ve reflejado en la Tabla 10 nuevamente en un alto índice de paridad. Por otro lado, las figuras también nos entregan información sobre bajos índices de paridad, por ejemplo, en la Figura B5 se observa que el criterio mas importante es disponibilidad del recurso seguido de información y conocimiento, donde la comparación entre estos dos criterios presenta bajo índice de paridad ya que la importancia es relativa de Disponibilidad del recurso frente a Información y conocimiento, 3 en este caso mostrada en Tabla 10.