

APÉNDICE Q. EVALUACIÓN DE BENEFICIOS TÉCNICOS Y SOCIALES

El corregimiento de Canaletal enfrenta múltiples desafíos estructurales que limitan su desarrollo sostenible. Entre los principales problemas se destacan los altos costos de la energía eléctrica, la baja confiabilidad del suministro con frecuentes interrupciones asociadas a eventos climáticos y elevados indicadores de calidad del servicio (FIU y DIU). Estas condiciones afectan directamente la calidad de vida de la población y restringen el desarrollo de actividades productivas y sociales.

La zona presenta una marcada vulnerabilidad socioeconómica, evidenciada en la existencia de viviendas abandonadas, migración forzada asociada a dinámicas del conflicto armado y limitadas oportunidades económicas. En el ámbito educativo, aunque existe un colegio comunitario, se escuchó por parte de la población que existe una baja motivación de la población joven para continuar sus estudios, lo que profundiza el rezago social y limita la formación de capital humano local.

1. IMPORTANCIA ESTRATÉGICA DE LA ENERGÍA EN EL CONTEXTO AMBIENTAL Y PRODUCTIVO

Canaletal se encuentra rodeado por dos fuentes hídricas de gran relevancia: el río Magdalena y una ciénaga que actualmente atraviesa una situación crítica. La reciente conexión hidráulica entre el río y la ciénaga, sumada a la posibilidad de períodos de estiaje cuando el nivel del río disminuye, representa un riesgo ambiental significativo, ya que podría ocasionar la reducción del caudal y la mortandad de especies ictícolas. Este escenario afecta directamente la pesca, principal fuente de sustento alimentario y económico de la comunidad. Ante este suceso los habitantes se han unido para intentar afrontar esta problemática e intentar obstruir el paso del río, evidenciado en la figura O1 y así mantener este ecosistema activo, vital para su bienestar.

Figura Q1. Intersección de ciénaga con el río Magdalena.



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, las actividades agrícolas predominantes palma de aceite, arroz, plátano, maíz, yuca, cacao y la pesca dependen de condiciones energéticas estables para procesos de riego, transformación primaria y conservación de productos. La inestabilidad del suministro eléctrico limita la tecnificación del sector productivo y reduce su competitividad.

2. VALORACIÓN DE LA ENERGÍA NO SUMINISTRADA EVITADA

La implementación de Canaletal como comunidad energética, apoyada en un sistema híbrido de generación solar fotovoltaica con almacenamiento, representa una solución estructural a los problemas de calidad y costo de la energía. El sistema diseñado permite reducir la dependencia de la red convencional, mitigar los efectos de las interrupciones y suministrar energía durante aproximadamente 19,2 horas en escenarios de consumo moderado, lo que impacta positivamente los indicadores DIU y FIU.

Energía no suministrada (ENS): De acuerdo con la información de consumo del corregimiento, el consumo promedio diario es aproximadamente:

- **Consumo diario:** 268,5 kWh/día
- **Consumo horario promedio:**

$$\frac{268,5 \text{ kW/día}}{24 \text{ h}} = 11,19 \text{ kWh/h}$$

$$ENS = (11,19 \text{ kWh/h}) * (160.6 \text{ h}) = 1796 \text{ kWh/año}$$

Este valor representa la energía que, en condiciones normales, los usuarios dejan de recibir debido a las interrupciones del servicio eléctrico.

Energía evitada: El sistema de generación solar fotovoltaica híbrido propuesto cuenta con un sistema de almacenamiento de 215 kWh, lo que permite suministrar energía durante aproximadamente 19,2 horas bajo un esquema de consumo moderado. Considerando que los cortes extremos reportados en la zona tienen una duración entre 8 y 16 horas, el sistema es técnicamente capaz de cubrir la totalidad de estos eventos sin afectar el suministro a los usuarios.

Bajo este escenario, se puede asumir que una proporción significativa de la ENS anual puede ser evitada, ya que el sistema:

- Genera el 100 % de la energía mensual requerida, reduciendo la dependencia de la red.
- Permite atender interrupciones prolongadas mediante el respaldo del sistema de almacenamiento.

Por lo tanto, la energía no suministrada evitada se aproxima al valor total de ENS calculado:

$$ENS = 1796 \text{ kWh/año}$$

Valoración: Si se considera un costo promedio de la energía eléctrica CUV de \$874,1499 COP/kWh, la valoración económica de la energía no suministrada evitada es:

$$\text{Valor ENS evitada} = (1796 \text{ kWh}) * (874,1499 \text{ COP/kWh})$$

$$\text{Valor ENS evitada} = 1'569.973,22 \text{ COP/año}$$

Este valor representa el costo económico asociado a la energía que deja de perderse anualmente gracias a la implementación del sistema híbrido de generación solar fotovoltaica.

Esta mejora en la continuidad del servicio no solo reduce la energía no suministrada, sino que incrementa la resiliencia energética del territorio frente a eventos climáticos y fallas en la red. Además, el uso de medición bidireccional y esquemas de autogeneración permite optimizar el consumo, reducir costos para los usuarios y sentar las bases para un modelo energético más justo y participativo.

3. PROYECCIÓN DE MEJORA EN LOS INDICADORES DIU Y FIU

Los indicadores de calidad del servicio eléctrico permiten evaluar la continuidad y confiabilidad del suministro en una determinada zona. En el caso del corregimiento de Canaletal, los valores actuales de los indicadores a nivel de grupo evidencian una situación crítica en términos de continuidad del servicio, con un **FIUG de 74,4 interrupciones** por año y un **DIUG de 160,6 horas** anuales sin suministro, lo cual refleja la ocurrencia de cortes frecuentes y de larga duración que afectan de manera directa el bienestar de la comunidad y el desarrollo de sus actividades productivas y sociales.

Con el fin de analizar la posible mejora de estos indicadores, se propone la implementación de un sistema híbrido de generación solar fotovoltaica con almacenamiento en baterías y sistema de transferencia automática. Este sistema cuenta con una capacidad de almacenamiento de **215 kWh**, lo que permite una autonomía aproximada de **19,2 horas**, suficiente para cubrir los eventos de interrupción más representativos del sistema eléctrico local, cuya duración típica se encuentra entre **8 y 16 horas**.

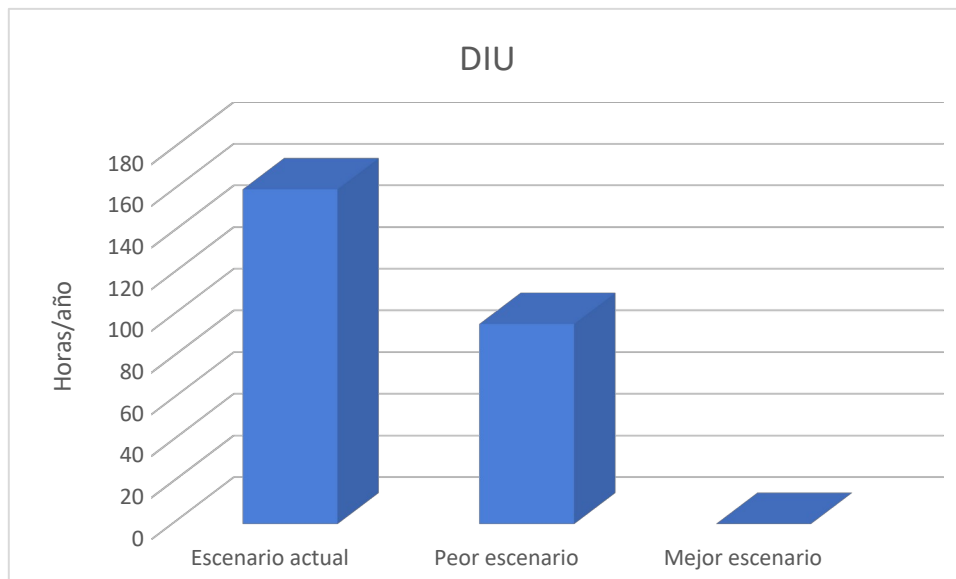
3.1 Proyección de mejora en el indicador DIU

El indicador DIU representa el tiempo total durante el cual los usuarios permanecen sin suministro eléctrico a lo largo de un año. A partir del valor actual de **DIUG = 160,6 horas/año**, se realizó una conversión a escalas temporales menores, obteniendo un promedio aproximado de **13,38 horas/mes**. La incorporación del sistema híbrido permitiría cubrir la totalidad de las interrupciones prolongadas, reduciendo de manera significativa el tiempo efectivo sin suministro percibido por los usuarios.

No obstante, para un análisis conservador y realista, se consideró la necesidad de realizar mantenimientos preventivos al banco de baterías dos veces por semestre, con una duración estimada de un día por intervención, lo que representa un total de 4 días al año (**96 horas**) en los que el sistema podría no garantizar respaldo energético en caso de una falla simultánea de la red convencional. Bajo este escenario, el DIU efectivo anual se reduciría de **160,6 horas** a aproximadamente **96 horas**, lo que equivale a una disminución cercana al **40 %** del tiempo total de interrupción.

Esta reducción del DIU representa una mejora sustancial en la continuidad del servicio eléctrico y fortalece la resiliencia energética del corregimiento frente a fallas prolongadas, especialmente durante periodos de alta incidencia de eventos climáticos adversos. Se puede apreciar en el gráfico Q1, considerando el peor escenario.

Gráfico Q1. Indicadores de mejora DIU.



Fuente: Elaboración propia.

3.2 Proyección de mejora en el indicador FIU

El indicador de Frecuencia de Interrupción al Usuario (FIU) cuantifica el número de eventos en los cuales los usuarios experimentan una interrupción del suministro eléctrico durante un periodo determinado. Conforme a lo establecido en la Resolución CREG 015 de 2018, para el cálculo de los indicadores de calidad individual únicamente se consideran las interrupciones cuya duración sea superior a tres (3) minutos, excluyéndose los eventos de menor duración por su carácter transitorio.

La implementación del sistema híbrido de generación solar fotovoltaica con almacenamiento energético y transferencia automática permite una reducción significativa del FIU efectivo percibido por los usuarios. Si bien las interrupciones de la red del operador continúan ocurriendo, el sistema de transferencia automática entra en operación de forma prácticamente inmediata ante una falla del suministro, evitando que la pérdida de energía supere el umbral regulatorio de los tres minutos. En consecuencia, una fracción considerable de los eventos de interrupción deja de ser contabilizada dentro del indicador FIU, aun cuando la red convencional presente fallas recurrentes.

Para efectos de un análisis conservador, es necesario considerar un escenario desfavorable. El sistema de almacenamiento requiere actividades de mantenimiento programado, estimadas en dos (2) jornadas completas por semestre. Durante estos periodos, existe la posibilidad de que coincida una interrupción del suministro de la red eléctrica con la indisponibilidad temporal del banco de baterías, lo que impediría el respaldo energético del sistema híbrido. En tales condiciones, las interrupciones que superen los tres minutos sí serían efectivamente percibidas por los usuarios y, por tanto, registradas en el indicador FIU.

Aun bajo este escenario de peor caso, el impacto sobre el indicador FIU resulta limitado, dado que los periodos de mantenimiento representan una fracción reducida del año (aproximadamente cuatro días anuales). En consecuencia, la frecuencia de interrupciones reportadas sería significativamente inferior a la situación actual del corregimiento de Canaletal, donde se registran valores de FIUG del orden de 74,4 interrupciones por año. De este modo, el sistema híbrido propuesto permite proyectar una mejora sustancial y sostenida del FIU, fortaleciendo la continuidad del servicio eléctrico y la resiliencia energética de la comunidad, incluso considerando condiciones operativas no ideales.

4. IMPACTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS ESPERADOS

El acceso a un suministro eléctrico más confiable y económico puede convertirse en un factor clave para la recuperación social de Canaletal. La reducción de costos energéticos libera recursos económicos en los hogares, mejorando la capacidad de inversión en educación, salud y alimentación. Asimismo, la mayor estabilidad del servicio eléctrico puede incentivar el retorno o la permanencia de familias que han abandonado el territorio por razones económicas o de precariedad en los servicios básicos.

Desde una perspectiva social, la comunidad energética fomenta la organización comunitaria, la apropiación del sistema energético y el fortalecimiento del tejido social, aspectos fundamentales en territorios afectados por el conflicto armado. La energía deja de ser únicamente un servicio para convertirse en un activo estratégico de la comunidad.

5. OPORTUNIDADES PARA EDUCACIÓN, EMPRENDIMIENTO Y DESARROLLO FUTURO

La mejora en las condiciones energéticas abre un abanico de oportunidades para el desarrollo de emprendimientos locales, tales como pequeñas agroindustrias, sistemas de refrigeración para productos pesqueros, transformación de alimentos, talleres productivos y servicios comunitarios. Estas actividades pueden generar empleo local y diversificar la economía del corregimiento.

En el ámbito educativo, un suministro eléctrico confiable facilita el acceso a tecnologías de la información, programas de formación técnica y espacios de aprendizaje alternativos, lo que puede contribuir a aumentar el interés de los jóvenes por permanecer en el sistema educativo y adquirir competencias alineadas con las necesidades del territorio, incluyendo la operación y mantenimiento de sistemas de energía renovable.

5.1. Proyección ambiental y sostenibilidad. El modelo de comunidad energética basado en fuentes renovables contribuye a la reducción de emisiones asociadas a la generación convencional y promueve una relación más equilibrada con el entorno natural. A largo plazo, una gestión energética eficiente puede apoyar estrategias de conservación ambiental, monitoreo de cuerpos hídricos y adaptación al cambio climático, aspectos críticos para la protección de la ciénaga y del ecosistema asociado al río Magdalena.

5.2. Formación como comunidad energética. Establecer a Canaletal como comunidad energética representa una estrategia integral que va más allá de la solución técnica al problema eléctrico. Se trata de una herramienta de transformación territorial que mejora la

calidad del servicio, reduce costos, fortalece la resiliencia comunitaria y crea condiciones favorables para el desarrollo social, económico y ambiental. El sistema híbrido de generación solar diseñado constituye el primer paso hacia un modelo energético sostenible, capaz de impulsar nuevas oportunidades y mejorar la calidad de vida de la población en el corto, mediano y largo plazo.