



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE GUAYAQUIL**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE MICROREDES COMO SOLUCIÓN ENERGÉTICA  
SOSTENIBLE EN COMUNIDADES DE BAJOS RECURSOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: KEVIN GEOVANNY MOYANO MENDOZA

TUTOR: ING. PEDRO OSVEL NUÑEZ IZAGUIRRE, MSC

Guayaquil - Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Kevin Geovanny Moyano Mendoza con documento de identificación N° 0951136795 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 28 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

Kevin Geovanny Moyano Mendoza

0951136795

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Kevin Geovanny Moyano Mendoza con documento de identificación No. 0951136795, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Propuesta de Diseño de Microredes Como Solución Energética Sostenible en Comunidades de Bajos Recursos”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 28 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

Kevin Geovanny Moyano Mendoza  
0951136795

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Pedro Osvel Nuñez Izaguirre con documento de identificación N° 0959927153, docente de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **PROPUESTA DE DISEÑO DE MICROREDES COMO SOLUCIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE EN COMUNIDADES DE BAJOS RECURSOS**, realizado por Kevin Geovanny Moyano Mendoza con documento de identificación N° 0951136795, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 28 de agosto del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Pedro Osvel Nuñez Izaguirre  
0959927153

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo determinar la viabilidad de un diseño de microrredes como solución energética sostenible en comunidades de bajos recursos. Las microrredes son sostenibles por sus características de uso y generación de electricidad, especialmente en zonas no interconectadas, donde pueden desarrollar tanto el consumo energético como el económico. Permiten el uso eficiente de recursos energéticos renovables, garantizando un suministro seguro e integrando fuentes de energía descentralizadas. Sin embargo, la brecha de cobertura energética representa un reto para el país. La Isla Santay presenta una demanda latente en este aspecto, lo que destaca la importancia de este estudio.

La metodología fue cuantitativa, con un alcance descriptivo y un diseño no experimental transeccional. La población está conformada por los habitantes de la Isla Santay, considerando como unidad objetivo las casas. El instrumento de medición fue el software HOMER Pro. Entre las conclusiones, se destaca que el proyecto de microrred solar propuesto en comunidades de bajos ingresos, como la Isla Santay, es una solución energética sostenible y rentable. La radiación solar es un factor positivo, con niveles superiores a 2.5 kWh/m<sup>2</sup>. El análisis muestra que el diseño con grupo electrógeno tiene un Costo Neto Presente (NPC) de \$82,320, mientras que el diseño sin grupo electrógeno presenta un NPC de \$94,095, evidenciando que el diseño con grupo electrógeno es más económico. Además, los diferentes escenarios muestran una participación de energía renovable que varía entre el 83.9 % y el 100 %, garantizando una significativa penetración de este tipo de energía. Por lo tanto, considerando los aspectos económicos y la comparación de sistemas, la opción más viable es el diseño con grupo electrógeno.

Palabras Claves: energía sostenible, comunidades, microrredes, energía renovable, eficiencia energética

## **Abstract**

The objective of this research is to determine the feasibility of a microgrid design as a sustainable energy solution in low-income communities. Microgrids are sustainable due to their characteristics of electricity use and generation, especially in non-interconnected areas, where they can develop both energy and economic consumption. They allow the efficient use of renewable energy resources, guaranteeing a secure supply and integrating decentralized energy sources. However, the energy coverage gap represents a challenge for the country. Santay Island presents a latent demand in this aspect, which highlights the importance of this study. The methodology was quantitative, with a descriptive scope and a non-experimental transectional design. The population is made up of the inhabitants of Santay Island, considering houses as the target unit. The measurement instrument was the HOMER Pro software. Among the conclusions, it is highlighted that the solar microgrid project proposed in low-income communities, such as Santay Island, is a sustainable and profitable energy solution. Solar radiation is a positive factor, with levels above 2.5 kWh/m<sup>2</sup>. The analysis shows that the design with genset has a Net Present Cost (NPC) of \$82,320, while the design without genset has an NPC of \$94,095, evidencing that the design with genset is more economical. In addition, the different scenarios show a share of renewable energy that varies between 83.9% and 100%, guaranteeing a significant penetration of this type of energy. Therefore, considering the economic aspects and the comparison of systems, the most viable option is the genset design.

Keywords: sustainable energy, communities, microgrids, renewable energy, energy efficiency

## Índice

1.	Introducción.....	1
2	Desarrollo .....	2
2.1	Ecuador y el desafío energético.....	2
2.2	Santay zona no interconectada .....	4
3	Metodología.....	5
3.1	Diseño de la investigación.....	5
3.2	Zona de estudio.....	6
3.3	Recolección de datos, instrumentos y procesamientos.....	6
3.4	Perfil de la demanda .....	7
3.4.1	Caracterización del perfil de demanda de energía .....	8
3.5	Diseño de la propuesta de microrred .....	8
3.5.1	Modelado de la microrred utilizando HOMER Pro.....	12
4	Resultados y discusión .....	14
4.1	Análisis de recursos renovables y no renovables de la zonaRadiación solar promedio .....	14
4.2	Microrred aislada .....	16
5	CONCLUSIÓN .....	17
	BIBLIOGRAFÍA.....	18

# **Tema: PROPUESTA DE DISEÑO DE MICROREDES COMO SOLUCIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE EN COMUNIDADES DE BAJOS RECURSOS**

## **1. Introducción**

Actualmente, la producción de energía renovable es un desafío para reducir la escasez de energía y el impacto ambiental. El consumo de energías renovables responde a la necesidad de calidad, optimización, fiabilidad y bajo el enfoque de la sostenibilidad o paradigma del consumo sostenible. Si bien el problema no sólo afecta al país y su calidad como garante de suministro, también existen factores como la escala (territorio), la seguridad de suministro y la disponibilidad de recursos que afectan a regiones no conectadas a las redes de suministro energético donde el riesgo de fluctuaciones es mayor.

Sin embargo, desde la generación de energía el agotamiento o consumo de los recursos es un punto que podría llegar a ser relevante en términos de capacidad de uso. Los recursos hídricos utilizados para la producción de energía también causan problemas como la sequía y el cambio climático, que se vuelven cada vez más frágiles debido al cambio climático global. Además, la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles se estima terminará en unas pocas décadas, ya que hace unos años se consideraba que, con los niveles de consumo actuales, las reservas de petróleo durarían unas cinco décadas [1] [2]. Estos escenarios muestran que la energía renovable es una de las fuentes de energía alternativas más valiosas.[3]. De acuerdo a IEA [4] en un su informe determino una tasa de crecimiento promedio del 5.3% en el año 2018 en generación de renovable y, pese se manifiesta un crecimiento para el 2024, latino américa es la región con menor crecimiento en este apartado.

En este contexto, las microrredes de células solares se proponen como soluciones energéticas, ya que permiten el uso eficiente de recursos energéticos renovables que garantizan un suministro seguro y una integración óptima de las fuentes de energía descentralizadas. Aunque la brecha de cobertura se ha reducido, todavía hay algunas áreas donde faltan conexiones energéticas de calidad; la Isla Santay es una de estas zonas por su ubicación geográfica. Esto contribuirá al bienestar de las personas y del medio ambiente. Así, en muchas regiones del mundo la energía se basa en el viento, la radiación solar, los biocombustibles, etc. se ha utilizado en el hogar y la industria; y una serie de organizaciones

y empresas han centrado sus esfuerzos en desarrollar soluciones tecnologías relacionadas [4][5] [6].

La microrred surge como una alternativa de solución. Se conoce a estas como el conjunto de interconexiones de cargas y energía descentralizada enmarcados en los límites eléctricos especificados [7]. Así, la generación distribuida de energía y la generación renovable devienen en un pilar de importancia debido a que reduce las pérdidas e interrupciones de transmisión y optimiza la integración de la energía distribuida [8], [9], [10], destacando aspectos potenciales para la generación renovable en zonas no interconectadas las cuales se enfrentan a desafíos técnicos.

## 2 Desarrollo

### 2.1 Ecuador y el desafío energético.

Desde el ámbito político, el país ha promulgado diversas leyes que promueven una cultura de sostenibilidad, es decir, prácticas responsables en las empresas bajo el marco regulatorio de geología y energía promueven la mejora de estas industrias al establecer reglas que rigen las prácticas ambientales y las responsabilidades sociales de quienes explotan estos recursos. Este contexto responde al objetivo 7 de Objetivos de Desarrollo Sostenible: “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna” [11].

La Constitución del país establece en su art. 15 de que velara por acciones tanto entre privados y públicos donde se promoverá no sólo el uso de tecnologías no contaminantes también denominada limpias como medidas diferentes ante el impacto de la contaminación sin que esto afecte a las prioridades garantista del Estado [12]. A esto, el Instituto de Investigación Geológico y Energético [13], tal como se muestra en la Tabla 1, sin embargo, muestra como la financiación de programas y proyectos de investigación gubernamentales ha disminuido significativamente.

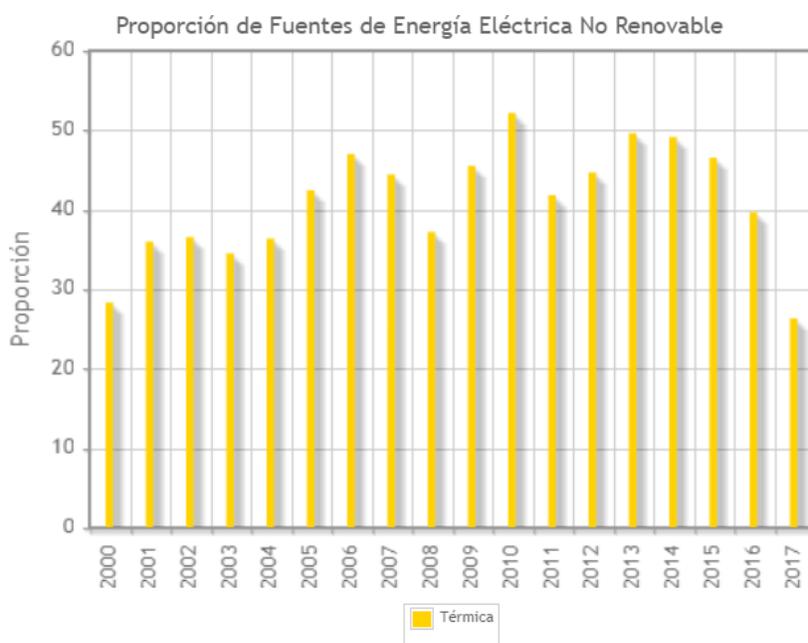
**Tabla 1**  
**Distribución anual de gastos fijos por fuentes de financiación**

Año	Recursos fiscales (001) – (\$)	Anticipos de ejercicios anteriores (998) – (\$)	Total (\$)
2018	3'802,495.93	0.00	3'802,495.93
2019	4'687,009.09	0.00	4'687,009.09
2020	3'839,189.38	10,500.00	3'849,689.38
2021	3'871,205.49	0.00	3'871,205.49

*Nota:* Tomado de [13]

Y en cuanto a la producción de fuentes no renovables, tal como se muestra en Figura 1, la energía térmica tiene un impacto en el medio ambiente porque el dióxido de carbono y otros contaminantes se liberan a la atmósfera cuando se queman., mantiene una ponderación por arriba del 40% entre los años 2005 – 2016. De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas [15] Actualmente, el 92% de la energía producida en el país proviene de centrales hidroeléctricas, el 7% de centrales térmicas y el 1% de fuentes de energía no tradicionales (células solares, energía eólica, energía de biomasa, biogás, energía geotérmica y otras fuentes de energía). Esta instalación de energía limpia satisface las necesidades eléctricas domésticas y también exporta electrónica a los países vecinos (Colombia y Perú).

**Figura 1**  
**Proporción de fuentes de energía eléctrica no renovable**



*Nota:* Tomado de [17]. Se refiere a la proporción de energía no renovable (energía térmica) en el suministro energético total de un país durante un período de tiempo determinado.

Según el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR) la producción energía limpia y verde se apoya en los esfuerzos hacia la planificación de nuevos procesos en todos los sectores. Además, de reducir la brecha de conexión eléctrica, así como, el cometimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, promueven tanto el desafío como la visión de país en cuanto el uso y generación de energía.

## **2.2 Santay zona no interconectada**

Aunque las distancias de cobertura se han reducido, todavía hay zonas que carecen de buenas conexiones eléctricas. La Isla Santay es una de estas zonas debido a su ubicación geográfica. Según la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [19] la Isla se encuentra en Guayas (provincia), parroquia Durán y comprende algunas de las costas arenosas de la mencionada Isla Gallo y el cauce del Río Guayas, que se extiende hasta las costas de las ciudades de Guayaquil y Durán, los humedales tienen una superficie de 4,705 hectáreas, de las cuales 2,235.37 hectáreas corresponden a la isla y 2,505 hectáreas a las aguas circundante (ver figura 2). Por ello, la propuesta de microrredes solares como solución energética sostenible donde la energía solar tiene un potencial ilimitado porque es una fuente abundante de energía.

El propósito de este proyecto se justifica en su contribución al desarrollo sostenible, lo que traerá grandes beneficios a la sociedad debido a que la contaminación ambiental se reducirá mediante el uso de energías renovables. La propuesta de diseño de este sistema de conducción autónoma ayuda a mejorar la calidad de vida y la economía, ayudando a que las personas no tengan que recorrer largas distancias para buscar combustible. Este proyecto explora las características de la demanda insular y su gestión a través de cambios en los patrones de consumo, seguidos de la selección y dimensionamiento de nuevas fuentes de generación para asegurar su contribución a través de modelos adecuados para la viabilidad de las microrredes. Además, de la ejecución de diferentes técnicas, herramientas y análisis con base en el proyecto y el conocimiento obtenido en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana y ser un estudio de referencia para futuros estudios relacionados. También, una propuesta de vínculo con la sociedad y el desarrollo sostenible.

**Figura 2**  
**Isla Santay**



*Nota:* Tomado de [20]

### **3 Metodología**

#### **3.1 Diseño de la investigación**

El proyecto, propuesta de microrredes solares como solución energética sostenible en comunidades de bajos recursos plantea como objeto de estudio la Isla Santay. La isla está ubicada en el Guayas y el estado de Durán; comprende la mencionada isla del Gallo y determinados bancos arenosos del río Guayas, extendiéndose hasta las costas de las ciudades de Guayaquil y Durán. La propuesta se enfocará en microrredes solares independientes, excluyendo otras fuentes de energía renovable. Además, se considerará el contexto cultural y las necesidades particulares de cada comunidad. La investigación no abordará cuestiones más amplias de política energética nacional, centrándose en soluciones prácticas y aplicables a nivel comunitario. Se centrará en la propuesta de microrredes solares como alternativa energética en la isla Santay. Se analizará la viabilidad técnica, económica y social de implementar estas microrredes, considerando factores como la capacidad de generación, la eficiencia, los costos asociados, y el impacto socioeconómico en la comunidad. El alcance incluirá la evaluación de la demanda energética local en la isla.

La presente investigación es de enfoque cuantitativo, de acuerdo con Hernández y Fernández [21] este enfoque toma de base la epistemología positivista que prueba hipótesis con base en datos y hechos. El diseño es no probabilístico de tipo transeccional. A decir de Hernández y Fernández [21] consideraron al diseño como la planeación de estrategia diseñada para indagar sobre información pertinente que tribute al planteamiento de problemas. En cuanto al alcance se determina para la investigación el tipo descriptivo.

La población comprende los habitantes de la Isla Santay. Para diseñar una microrred fotovoltaica eficiente, es importante evaluar las necesidades energéticas locales. Utilizando herramientas como el simulador HOMER Pro, podemos analizar la demanda, la oferta y los factores operativos. Esto nos permitirá elegir adecuadamente el tamaño de las microrredes y asegurar su vida útil.

### 3.2 Zona de estudio

El área de estudio es la Isla Santay, donde los beneficiarios del proyecto son los 226 residentes de la comunidad. La población se distribuye en 17 familias (ver figura 3), y para el análisis se considera un total de 20 viviendas.

**Figura 3**  
**Delimitación del objeto de estudio- Isla Santay**



### 3.3 Recolección de datos, instrumentos y procesamientos

Para el estudio se recopilaban datos relacionados del consumo energético en la comunidad. Se emplearon como programas Microsoft Excel 2019 se utilizan para datos e información y HOMER Pro. Este último se utilizó para el análisis económico y técnico de microrredes y fuentes de energía renovables regionales. Las ecuaciones básicas y los principios de procesamiento de datos y análisis de información para cada parte del proyecto se describen en detalle a continuación. Se empleó el programa HOMER Pro porque permite generar modelos de simulación efectivos, evaluando todas las combinaciones posibles de equipos que se deseen considerar.

También, permite comparar fácilmente miles de posibilidades (sistemas) en una sola ejecución. Esto le permite ver el impacto de variables que están fuera de su control, como la velocidad del viento, los costos de combustible, etc., y comprender cómo cambia el sistema óptimo con estas variaciones [22].

### 3.4 Perfil de la demanda

Determinar las características de consumo en la isla es clave para sentar las bases de potentes soluciones para el diseño y modelado de potenciales microrredes. El tipo de producto es: residencial. Utilizando datos energéticos, se consideraron los patrones de consumo. Después de la recopilación de datos, se aplicaron factores de uso y comparación para calcular las necesidades se preparó una lista preliminar de cargas eléctricas, utilizando datos energéticos, se consideraron los patrones de consumo en una hoja de cálculo y entrevistar a los administradores de apartamentos para establecer criterios de garantía para investigar. Después de la recopilación de datos, se aplicaron factores de uso y comparación. Para calcular el consumo de energía diario y mensual para cada carga se emplearon las siguientes fórmulas (1) y (2). [23], [24]

$$D_d = \sum_{i=1}^{24} P_c f_c f_u \quad (1)$$

$$D_m = \sum_{i=1}^{24} D_d \quad (2)$$

Donde:

$D_d$  demanda diaria

$D_m$  demanda mensual

$P_c$  potencia de carga [kW]

$f_c$  factor de potencia

$f_u$  factor de utilización

Una vez recopilados los consumos individuales, se consolidan los datos según el tipo de carga, tanto a nivel diario, mensual y anual.

### 3.4.1 Caracterización del perfil de demanda de energía

Según lo mostrado en la Tabla 2, la demanda eléctrica diaria se estima como un promedio de los valores obtenidos a través de entrevistas con los residentes en el área de estudio. Este valor se calcula en 2.5 kWh/día, lo que equivale a 75 kWh/mes y 912.5 kWh/año. En la Tabla 3, se presentan los cálculos de demanda para 20 casas, con una demanda diaria de 50 kWh, mensual de 1,500 kWh, y anual de 18,250 kWh.

**Tabla 2**  
Estimación promedio de la demanda eléctrica diaria, mensual y anual para una casa

Tipo	Demanda
Diaria	2.5 kWh/día
Mensual	75 kWh/mes
Anual	912.5 kWh/año

*Nota:* Unidad de medida kWh/día, mes, año

#### Resumen:

#### Demanda eléctrica total

Primero, resumimos la demanda eléctrica para 20 casas:

**Tabla 3**  
*Demanda eléctrica total*

Tipo	Demanda
Diaria	50 kWh/día
Mensual	1,500 kWh/mes
Anual	18,250 kWh/año

### 3.5 Diseño de la propuesta de microrred

**Paneles solares:** El principal recurso renovable de la microrred propuesta son los paneles células fotovoltaicas, se incluyeron debido a los recursos disponibles en el área de estudio y los beneficios de la instalación en un edificio residencial. La potencia de los paneles solares está determinada por la radiación y la temperatura en una zona determinada. La

ecuación (3) describe la capacidad en detalle sistema fotoeléctrico. Si no se selecciona esta ecuación, no modelará el efecto de la temperatura El sistema fotovoltaico HOMER Pro [22] supone que el coeficiente de temperatura de la fuente es igual a 0, por lo que la ecuación anterior se simplifica a (4):

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left( \frac{\overline{G_T}}{G_{T,STC}} \right) [1 + a_p (T_c - T_{c,STC})] \quad (3)$$

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left( \frac{\overline{G_T}}{G_{T,STC}} \right) \quad (4)$$

En el cual:

$Y_{PV}$  Es la capacidad nominal de la matriz fotovoltaica (FV), que representa la potencia de salida en condiciones de prueba (kW)

$f_{PV}$  Factor de reducción del rendimiento del sistema fotovoltaico (%)

$\overline{G_T}$  Radiación solar incidente bajo condiciones estándar de prueba (kW/m<sup>2</sup>)

$a_p$  Coeficiente de temperatura que afecta la potencia (%/°C)

$T_c$  Temperatura actual de la celda fotovoltaica en el momento específico (°C)

$T_{c,STC}$  Temperatura de la celda fotovoltaica bajo condiciones estándar de prueba (25°C)

**Grupo electrógeno** tiene en cuenta la baja inercia que tiene la microrred generación tradicional, un generador basado en combustible diésel, que le permite compensar la inercia y así controlar la frecuencia del sistema Formas de compensar la demanda de electricidad durante períodos de baja producción y/o energía solar fotovoltaica batería.

**Batería:** Uno de los factores importantes que afectan a una batería es su rendimiento de alguna manera definir el tipo de servicio que se brindará en la aplicación. Al diseñar microrredes, son esenciales porque la energía generada durante el día debería almacenarse en paneles fotovoltaicos por lo que se puede utilizar durante períodos de radiación baja o casi

nula, como por la noche temprano por la mañana. La batería utilizada es de ácido de plomo. Las variables de entrada de selección de batería se dan en presenta cómo calcular la capacidad máxima de carga de la batería, donde (5) significa la cantidad máxima de energía que el sistema puede absorber; La segunda limitación es se refiere a la tasa de carga máxima de la unidad de almacenamiento, es decir, su capacidad de carga. El registro relativo a la rapidez máxima de descarga se determina de la siguiente manera: la ecuación (6) y el tercer límite (7) se refieren a la corriente máxima de carga del elemento depósito. HOMER Pro determina la capacidad máxima de carga del disco equivalente al menor de estos tres valores, considerando que cada valor se aplica tras la pérdida de carga, se utiliza la ecuación correspondiente para su modelado.

Para el dimensionamiento de las baterías, como se indica en [22], se consideran tres variables principales, Primero, se calcula la potencia máxima de carga de la batería, que determina la cantidad máxima de energía que puede absorber el sistema. La segunda variable se refiere a la tasa máxima de carga del componente de almacenamiento, y la potencia de carga asociada a esta tasa se obtiene mediante la ecuación [25]. La tercera variable [3] está relacionada con la corriente máxima de carga del componente de almacenamiento como el valor más bajo entre estas tres variables, teniendo en cuenta las pérdidas de carga, y este valor se modela utilizando la ecuación (8) [22].

$$P_{batt,cmax,kbm} = \frac{KQ_1e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t + e^{-k\Delta t})} \quad (5)$$

$$P_{batt,cmax,mcr} = \frac{(1 - e^{ac\Delta t})(Q_{max} - Q)}{\Delta t} \quad (6)$$

$$P_{batt,cmax,mcc} = \frac{N_{batt}I_{max}V_{nom}}{1000} \quad (7)$$

$$P_{batt,cmax} = \frac{\text{MIN}(P_{batt,cmax,xbm}, P_{batt,cmax,mcr}, P_{batt,cmax,mcc})}{\eta_{batt,c}} \quad (8)$$

En el cual:

$Q_1$  Es la energía accesible (kWh) en el almacenamiento al inicio del intervalo de tiempo.

$Q$  Es la cantidad total de energía (kWh) almacenada al inicio del intervalo de tiempo.

$C$  Es la proporción de capacidad de almacenamiento

$K$  Es la tasa de almacenamiento uniforme ( $k - 1$ )

$\Delta t$  Es la duración del intervalo del tiempo (h)

$a_c$  Es la tasa máxima a la que se puede cargar el almacenamiento (A/Ah)

$Q_{max}$  Es la capacidad total del sistema de almacenamiento disponible

$N_{batt}$  Es el número de baterías en el sistema de almacenamiento.

$I_{max}$  Es la corriente máxima permitida para la carga del sistema de almacenamiento (A)

$V_{nom}$  Es la tensión nominal del sistema de almacenamiento eléctrico (V)

$\eta_{batt,c}$  Es la eficiencia en el proceso de carga del sistema de almacenamiento

De acuerdo con el enfoque descrito por Homer Energy (2019) en (9), la potencia máxima permitida para la descarga se adapta entre intervalos de tiempo, en función del estado de carga y el historial reciente de carga y descarga. Este enfoque define la cantidad máxima de energía que el sistema de almacenamiento puede liberar durante un período específico. HOMER Pro considera que las pérdidas durante la descarga ocurren una vez que la energía ha salido del sistema; por lo tanto, la ecuación (10) a continuación, se detalla la potencia máxima de descarga del sistema de almacenamiento.

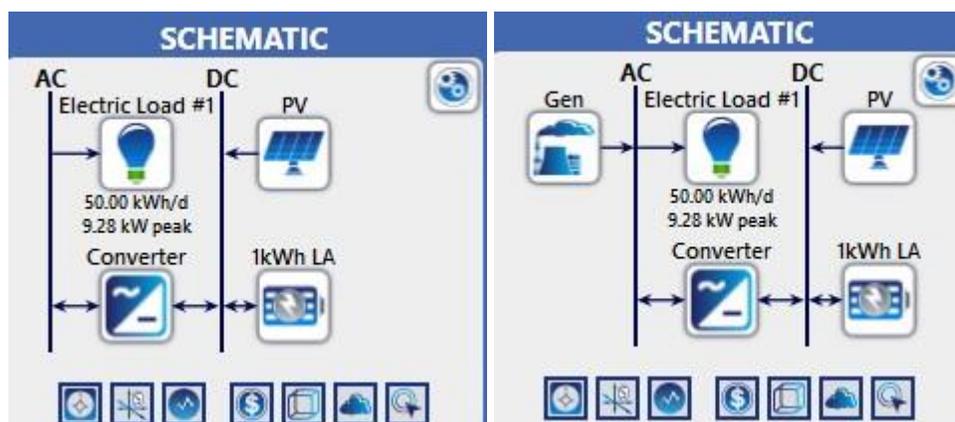
$$P_{batt,cmax,kbm} = \frac{-kcQ_{max} + KQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (9)$$

$$P_{batt,dmax} = \eta_{batt,d} P_{batt,dmax,kbm} \quad (10)$$

### 3.5.1 Modelado de la microrred utilizando HOMER Pro

Para modelar las situaciones, se ha empleado el software especializado HOMER Pro. La microrred global previstas se ilustran en la Figura 4. Es importante destacar que, en cada esquema, se ha ajustado la inclusión o exclusión del grupo electrógeno, como se analizará en las secciones posteriores.

**Figura 4**  
Esquemas del modelo de la microrred



La Figura 4 muestra el primer esquema del sistema, el cual no incluye grupo electrógeno. También muestra el segundo esquema del sistema, el cual incluye el grupo electrógeno. En estos esquemas se reflejan los siguientes componentes: la potencia total del sistema es de 50 kW, se incluyen los paneles solares (PV), las baterías, el convertidor y el grupo electrógeno.

**Tabla 4**  
Datos de ingreso del caso de estudio

Elemento	Capital (\$/kW)	Costo de remplazo (\$/kW)	Costo de O&M (\$/año)	Vida útil (años)
PV	\$ 2,500.00	\$ 2,500.00	\$10.00	25
Baterías	\$300.00	\$ 300.00	\$10.00	10
Convertidor	\$ 300.00	\$ 300.00	\$0	15

La Tabla 4 presenta un desglose de los costos asociados a los componentes del sistema. Incluye los costos de capital, el costo de reemplazo, el costo de mantenimiento operativo y la vida útil de los componentes para los paneles solares, las baterías y el convertidor.

**Tabla 5**  
**Datos de ingreso del caso de estudio -GE**

Elemento	Capital (\$/kW)	Costo de reemplazo (\$/kW)	Costo de O&M (\$/h-op)	Vida útil (horas)	Precio del combustible (\$/L)
Grupo electrógeno	\$500.00	\$500.00	\$ 0.03	15000.00	\$1.00

La Tabla 5 proporciona un desglose detallado de los costos asociados al sistema, incluyendo el grupo electrógeno. Se presentan los costos de capital, el costo de reemplazo, el costo de mantenimiento operativo, la vida útil en horas y el precio del combustible.

#### **Especificación del grupo electrógeno**

Para un respaldo en caso de períodos prolongados sin sol, seleccionamos un grupo electrógeno. Asumimos que el grupo electrógeno debe ser capaz de cubrir la demanda diaria:

**Potencia del grupo electrógeno = 50 kW**

#### **Resumen del sistema**

Tal como se muestra en la Tabla 6, el resumen de capacidad se da por: Paneles solares con capacidad total de 40 kW, baterías con una capacidad total de 125 kWh y grupo electrógeno con una potencia de 50 kW.

**Tabla 6**  
**Resumen del sistema**

Tipo	Capacidad
Paneles solares	Total, de 40 kW
Baterías	Total, de 125 kWh
Grupo electrógeno	Potencia de 50 kW

## 4 Resultados y discusión

### 4.1 Análisis de recursos renovables y no renovables de la zona Radiación solar promedio

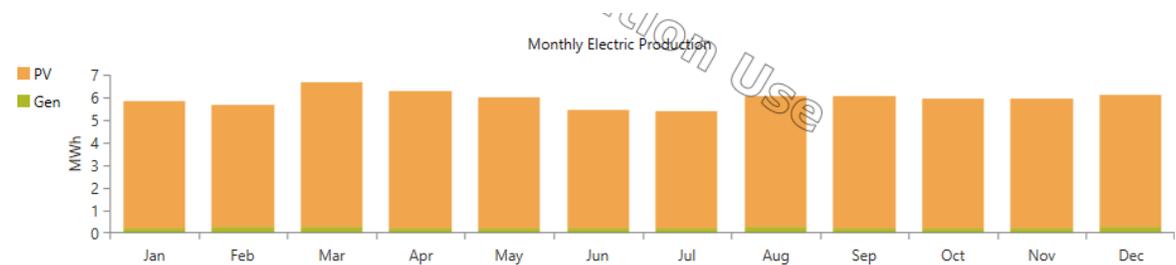
En este apartado se analizan los recursos naturales disponibles, la velocidad del viento y la radiación solar en el área examinada utilizando el programa especializado Homer Pro con coordenadas latitud y longitud para recopilar los datos necesarios. En la Figura 5 se puede ver el recurso. La radiación solar disponible en la zona de estudio es adecuada en base al HOMER Pro indica que la radiación solar promedio inclinada global en ángulo óptimo en la Isla Santay es de 2.5 kWh/m<sup>2</sup>/día. Esto varía según la localización y puede obtenerse de bases de datos de radiación solar.

**Figura 5**  
**Radiación**



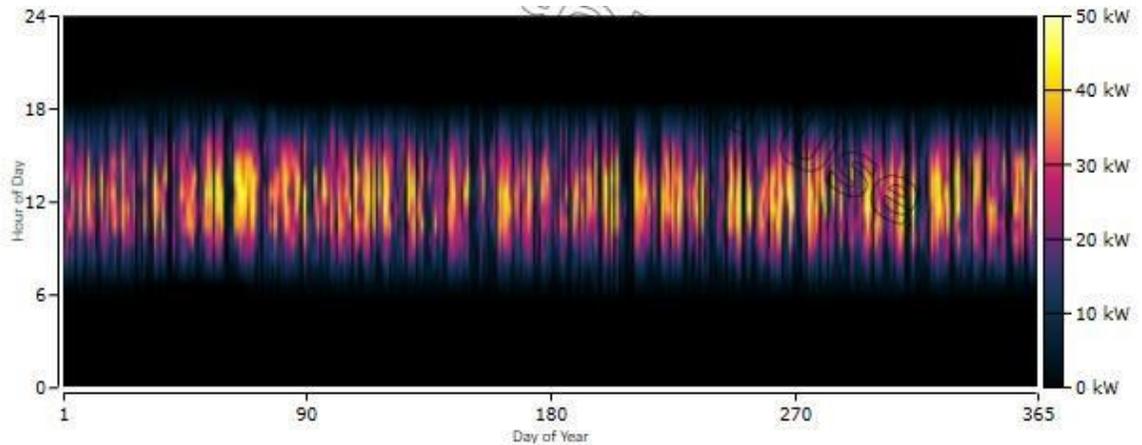
Tal como se muestra en la Figura 5 la radiación supera los 2.5 kWh/m<sup>2</sup> por día en todos los meses.

**Figura 6**  
**Producción de energía mensual por sistema de generación en [MWh]**



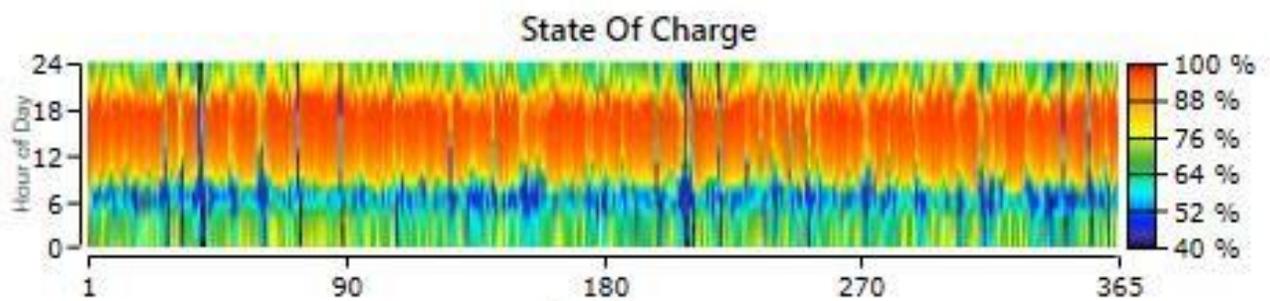
La Figura 6 de ilustra la energía en producción bajo la temporalidad mensual. La medida de análisis es el MWh. Se observa un comportamiento fluctuante mostrando que no existe gran variación del sistema.

**Figura 7**  
**Producción de energía anual por sistema de generación, por paneles fotovoltaicos**



Tal como se muestra en la Figura 7, se puede observar en una temporalidad anual la cantidad de energía producida bajo la implementación del sistema por paneles fotovoltaicos.

**Figura 8**  
**Estado de carga anual del conjunto de baterías**



La Figura 8 muestra el nivel de carga anual de la batería, puede ver que cambia significativamente todos los días. Debido a que la batería debe funcionar a máxima velocidad durante largos períodos de tiempo, debido a la carga de la microrred, los receptores deben recibir alimentación por la noche. La batería debe funcionar con la carga más alta posible, lo que afecta su vida útil y hace que la batería pierda su capacidad de mantener la carga debido

a que se carga y descarga constantemente para proporcionar energía al consumidor. Una forma de minimizar este impacto es mantener las baterías cargadas entre un 20 % y un 80 % para que no se estresen demasiado ni se desgasten.

## 4.2 Microred aislada

**Tabla 7**  
Esquema de los casos de estudio sugeridos por HOMER pro

		Esquema	
		1	2
<b>Elementos utilizados</b>	<b>Escenarios</b>		
	PV		
	GEN		
	Grupo de baterías		
	Convertidor		
<b>Dimensionamiento de elementos de la microrred</b>	PV (kW)	46.8	87.9
	Gen (kW)	11	-
	Baterías acido de plomo (kW)	46	81
	Convertidor (kW)	4.89	9.43

La Tabla 7 desglosa los elementos utilizados en los dos esquemas y el dimensionamiento de cada componente. Para el Esquema 1, se incluyen los paneles solares, el grupo electrógeno, las baterías y el convertidor, con detalles sobre los valores de cada uno. El Esquema 2 incluye los paneles solares, el grupo de baterías y el convertidor, con los valores correspondientes también detallados en el dimensionamiento.

**Tabla 8**  
**Escenarios de los casos de estudio sugeridos por HOMER pro en base a los datos obtenidos en el área de estudio e ingresados en el software.**

	<b>Escenarios</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Componentes</b>	PV		
	GEN		
	Grupo de baterías		
	Convertidor		
<b>Costo</b>	NPC (\$)	\$ 82,320.00	\$ 94,095.00
	COE (\$)	\$ 0.349	\$ 0.399
	Costo de operación (\$)	\$ 4,007.00	\$ 3,763.00
	Capital inicial (\$/año)	\$ 30,515.00	\$ 45,442.00
<b>Sistema</b>	Fracción renovable (%)	83.9	100
	Total, fuel (L/año)	1065	0

Como se observa la tabla 8 en los dos escenarios comparados, el aumento en la producción de energía fotovoltaica eleva el costo, presente neto, operación y la inversión. Es importante destacar que el esquema 1, que incluye un grupo electrógeno, resulta ser más favorable en términos de costos y viabilidad debido al aporte de inercia que proporciona al sistema. Además, en el contexto actual, el precio del combustible sigue siendo muy competitivo en comparación con las energías renovables. No obstante, a medida que el recurso se vuelva más escaso en el futuro, es probable que se produzca un cambio gradual en este escenario, lo que también tendrá implicaciones ambientales.

## **5 CONCLUSIÓN**

Por lo tanto, el proyecto de microrred solar propuesto en comunidades de bajos ingresos como la isla Santay es una solución energética sostenible y rentable. La implementación de estas microrredes no solo garantiza un suministro de energía seguro e ininterrumpido. Gracias a un diagnóstico preciso, una evaluación adecuada de las necesidades y una evaluación técnica, económica y social integral, podemos asegurar la viabilidad de este proyecto y su contribución sólida al desarrollo sostenible.

El resultado de la investigación concluye que los recursos de la región revelaron sobre el efecto de radiación es un factor positivo para el proyecto ya que presente niveles de arriba de 2.5 kWh/m<sup>2</sup>. Adicional, el análisis determinó que el diseño que incluye un grupo electrógeno tiene un Costo Neto Presente (NPC) de \$82,320. Mientras que el diseño sin grupo electrógeno presenta un NPC de \$94,095. Esto demuestra que el diseño con grupo electrógeno es más económico. Además, en la Tabla 9 se observa que los diferentes escenarios muestran una participación de energía renovable que varía entre el 83.9 % y el 100 %, garantizando una penetración significativa de este tipo de energía en el sistema. Por lo tanto, al considerar tanto los aspectos económicos como la comparación de los sistemas, se concluye que la opción más viable es el diseño con grupo electrógeno.

Dado que los proyectos de energías renovables dependen de las condiciones meteorológicas del lugar, las cuales pueden variar según la época del año, la generación de energía puede experimentar fluctuaciones. Por esta razón, se decidió incorporar un sistema de almacenamiento en baterías para conservar la energía generada y asegurar su disponibilidad cuando sea necesaria. Para optimizar estos sistemas, se utilizó el software HOMER Pro, que permitió simular diferentes escenarios de funcionamiento, analizando tanto la producción como el almacenamiento de energía. Se encontró que el modelo con grupo electrógeno es más económico en todos los costos relacionados al diseñar y simular la microrred aislada. No obstante, al ser una fuente alternativa para generación de energía, las emisiones de gases tienen un impacto en el medio ambiente. Por último, las microrredes se adaptan con facilidad a diversos entornos geográficos, lo que facilita el suministro eficiente de energía a las comunidades.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Khaligh y L. Zhihao, «Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art», *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, n.º 6, pp. 2806-2814, jul. 2010, doi: 10.1109/TVT.2010.2047877.
- [2] J. Muñoz, W. Beleño, y H. Díaz, «Análisis del potencial de uso de hidrógeno verde para reducción de emision de carbono en colombia», *Fuentes El Reventon Energético*, vol. 20, n.º 1, pp. 57-73, 2022.
- [3] W. Guacaneme, A. F. Rodríguez, L. M. Gómez, F. Santamaría, y C. Trujillo, «Desarrollo de un prototipo de micro-red residencial a baja escala», *TecnoL.*, vol. 21, n.º 43, pp. 107-125, 2018, doi: 10.22430/22565337.1065.

- [4] D. J. Trujillo, F. I. Mosquera, y E. M. García, «Análisis de viabilidad de microrredes eléctricas con alta penetración de recursos renovables en zonas urbanas: caso de estudio condominios residenciales», *Enfoque UTE*, vol. 12, n.º 2, pp. 19-36, 2021, doi: 10.29019/enfoqueute.734.
- [5] A. Kaabeche y R. Ibtouen, «Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind/diesel/battery generation in a stand-alone power system», *Solar Energy*, vol. 103, pp. 171-182, 2014, doi: 10.1016/j.solener.2014.02.017.
- [6] J. P. Medina y J. Lata-García, «Optimal model of a hybrid electrical system photovoltaic panel /wind turbine/battery bank, considering the feasibility of implementation in isolated areas», *Journal of Energy Storage*, vol. 36, p. 102368, 2021, doi: 10.1016/j.est.2021.102368.
- [7] J. Godoy, R. Manuel, y J. Vega, «Evaluación económica de microrredes eléctricas con generación renovable», *Ingeniería Eléctrica*, n.º 345, pp. 1-10, 2019.
- [8] M. A. Ancona, F. Catena, y F. Ferrari, «Optimal design and management for hydrogen and renewables based hybrid storage micro-grids», *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 48, n.º 54, pp. 20844-20860, jun. 2023, doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.10.204.
- [9] H. Cherif y J. Belhadj, «Dynamics of Multi-Objective Energy Optimization in Multi-Energy Micro-Grids Based on Renewable Energy», en *2023 9th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, 2023, pp. 2199-2204. doi: 10.1109/CoDIT58514.2023.10284137.
- [10] J. L. Godoy y R. M. Schierloh, «Predictive management of the hybrid generation dispatch and the dispatchable demand response in microgrids with heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) systems», *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 32, p. 100857, 2022, doi: 10.1016/j.segan.2022.100857.
- [11] ODS, «Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante», Desarrollo Sostenible. Accedido: 7 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- [12] Constitución de la República del Ecuador, *Constitución de la República del Ecuador*. 2008. [En línea]. Disponible en: [https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador\\_act\\_ene-2021.pdf](https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf)
- [13] Instituto de Investigación Geológico y Energético, «Plan Estratégico Institucional 2021 - 2025», Instituto de Investigación Geológico y Energético, Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2021/12/plan\\_estrategico\\_linstitucional\\_2021\\_2025.pdf](https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2021/12/plan_estrategico_linstitucional_2021_2025.pdf)
- [14] Ministerio de Energía y Minas, «Balance energético nacional», Ministerio de Energía y Minas, Ecuador, 2021.
- [15] Ministerio de Energía y Minas, «ECUADOR CONSOLIDA LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES – Ministerio de Energía y Minas». Accedido: 7 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/ecuador-consolida-la-produccion-electrica-a-partir-de-fuentes-renovables/>
- [16] INER, «Balance Energético Nacional 2017 (Año Base 2016), 2007-2016», Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, Ecuador, 2017. [En línea]. Disponible en: [www.iner.gob.ec](http://www.iner.gob.ec)

- [17] ARCONEL, «Producción de Energía Eléctrica 2000 - 2017», Agencia de Regulación y Control de Electricidad, Ecuador, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://aplicaciones3.ecuadorencifras.gob.ec/VDATOS2-war/paginas/administracion/visualizador.xhtml>
- [18] ARCONEL, «Consumo de Energía Eléctrica 1999 - 2017», Agencia de Regulación y Control de Electricidad, Ecuador, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://aplicaciones3.ecuadorencifras.gob.ec/VDATOS2-war/paginas/administracion/visualizador.xhtml>
- [19] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, «Proyecto Recuperación de las áreas protegidas de la ciudad de Guayaquil», Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Ecuador, 2015.
- [20] Google Maps, «Isla Satay», Ecuador, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://images.app.goo.gl/3Q3bnejtgtb4fKN9>.
- [21] R. Hernández, C. Fernández, y P. Baptista, *Metodología de la investigación*, Sexta edición. México D.F.: McGraw-Hill Education, 2014.
- [22] Homer Energy, «HOMER Pro - Microgrid Software for Designing Optimized Hybrid Microgrids (manual)». 2024. Accedido: 24 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf>
- [23] S. M. Amrr, M. S. Alam, M. S. J. Asghar, y F. Ahmad, «Low cost residential microgrid system based home to grid (H2G) back up power management», *Sustainable Cities and Society*, vol. 36, pp. 204-214, 2018, doi: 10.1016/j.scs.2017.10.016.
- [24] A. Beltrán-Telles, M. Morera-Hernández, F. E. López-Monteagudo, y R. Villela-Varela, «Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica», *CienciaUAT*, vol. 11, n.º 2, p. 105, 2017, doi: 10.29059/cienciauat.v11i2.742.
- [25] J. A. Guacaneme, D. Velasco, y C. L. Trujillo, «Revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes», *Inf. tecnol.*, vol. 25, n.º 2, pp. 175-188, 2014, doi: 10.4067/S0718-07642014000200020.