

**CARACTERIZACION Y ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
EN LAS ZNI DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**



**PRESENTADO POR:  
BRYAN ORLANDO VELASQUEZ BRAVO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2015**

**CARACTERIZACION Y ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA EN LAS ZNI DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO**



**PRESENTADO POR:  
BRYAN ORLANDO VELASQUEZ BRAVO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**ASESOR:**

**Mg. WILSON OLMEDO ACHICANOY MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2015**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

“La Universidad de Nariño no se hace responsable por las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Acuerdo 1. Artículo 324. Octubre 11 de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma Jurado 1

---

Firma Jurado 2

San Juan de Pasto, 3 de Noviembre de 2015

## **AGRADECIMIENTOS**

Con satisfacción agradezco principalmente a Dios por permitirme cumplir con todas las actividades de este trabajo y durante esta etapa de mi vida.

También me complace agradecer a mi asesor, Mg Wilson Olmedo Achicanoy Martínez, su esfuerzo y buenos consejos han sido indispensables para mi formación y buen desempeño en la pasantía.

Agradezco también a la planta docente y al grupo de investigación GIIEE cuyo acompañamiento ayudo en gran manera en el buen desarrollo de los objetivos.

Agradezco a mi familia, y amigos por su apoyo incondicional, en especial durante el trayecto de mi formación profesional.

## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN .....  | 11 |
| 1. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA.....                               | 14 |
| 1.1 Población y muestra .....   | 14 |
| 1.2 Tamaño de la muestra.....   | 15 |
| 1.3 Diseño de encuestas y aplicación móvil.....                                   | 17 |
| 1.4 Proceso de recolección de información primaria.....                           | 18 |
| 2. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....                               | 19 |
| 2.1 Caracterización socio-económica .....   | 21 |
| 2.2 Caracterización energética .....  | 24 |
| 2.3 Análisis y relación de variables .....  | 29 |
| 2.4 Curvas de energía eléctrica .....   | 32 |
| 2.4.1 Voltaje y Corriente registrados con <i>Data loggers</i> .....               | 33 |
| 2.4.2 Voltaje, corriente, potencia y energía registrados con medidores HIOKI..... | 37 |
| 3. EVALUACIÓN DE MODELOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....                                | 41 |
| 3.1 Descripción de modelos.....   | 41 |
| 3.1 Evaluación de modelos.....  | 45 |
| 3.2 Evaluación de escenarios de consumo.....                                      | 46 |
| 4. CONCLUSIONES .....   | 51 |
| 5. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....  | 53 |
| 6. REFERENCIAS .....  | 54 |
| 7. ANEXOS.....  | 56 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1 Resultados del diseño de Muestras Residenciales.....  | 16 |
| Tabla 2 Encuestas válidas.....  | 19 |
| Tabla 3 Resultados de Muestras Residenciales.....   | 19 |
| Tabla 4 Caracterización socio-económica de la ZNI del Pacífico Nariñense.....                         | 22 |
| Tabla 5 Caracterización energética de la ZNI del Pacífico Nariñense.....                              | 24 |
| Tabla 6 Consumo promedio de energía por procesos.....   | 25 |
| Tabla 7 Totales de consumo de energía por procesos en kWh/mes para la ZNI del Pacífico Nariñense..... | 26 |
| Tabla 8 Consumo básico para una vivienda promedio de la ZNI del Pacífico Nariñense .                  | 27 |
| Tabla 9 Consumo promedio de combustible para cocción por vivienda.....                                | 28 |
| Tabla 10 Consumo de energía en kWh/mes para viviendas de la ZNI de Mosquera y Tumaco.....             | 45 |
| Tabla 11 Consumo de energía en kWh/mes para viviendas de la ZNI de las poblaciones visitadas.....     | 46 |
| Tabla 12 Valores y resultado del Escenario 1.....   | 47 |
| Tabla 13 Valores y resultado del Escenario 1-2.....   | 47 |
| Tabla 14 Valores y resultado del Escenario 2.....   | 48 |
| Tabla 15 Valores y resultado del Escenario 3.....   | 49 |
| Tabla 16 Valores y resultado del Escenario 3-2.....   | 49 |
| Tabla 17 Valores y resultados del Escenario 4.....  | 50 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Ruta por las veredas de Sanquianga.....   | 14 |
| Figura 2 Ruta por las veredas del municipio de Tumaco.....                                       | 15 |
| Figura 3 Aplicación de la encuesta en Android.....   | 17 |
| Figura 4 Socialización de actividades.....   | 18 |
| Figura 5 Aplicación de encuesta SOEEN.....   | 18 |
| Figura 6 Propiedad de la vivienda.....   | 22 |
| Figura 7 Nivel de ingresos.....  | 22 |
| Figura 8 Ingresos en los hogares de la ZNI del Pacífico Nariñense.....                           | 23 |
| Figura 9 Condición de hacinamiento en la ZNI del Pacífico Nariñense.....                         | 23 |
| Figura 10 Acceso al servicio de energía.....   | 24 |
| Figura 11 Participación consumo de energía eléctrica en la ZNI del Pacífico Nariñense .          | 25 |
| Figura 12 Porcentaje de electrodomésticos comunes en la ZNI del Pacífico Nariñense ..            | 26 |
| Figura 13 Estufa de leña de mangle común en las ZNI.....   | 28 |
| Figura 14 Estufa de gas propano común en las ZNI.....  | 28 |
| Figura 15 promedio de bombillas vs cuartos por vivienda para las ZNI del Pacífico Nariñense..... | 29 |
| Figura 16 Actividad económica más importante en la ZNI del Pacífico Nariñense.....               | 30 |
| Figura 17 Horas de uso vs consumo por aparatos eléctricos en las ZNI del Pacífico Nariñense..... | 30 |
| Figura 18 Consumo vs cuartos por vivienda en las ZNI del Pacífico Nariñense.....                 | 31 |
| Figura 19 Consumo vs ingresos por vivienda en las ZNI del Pacífico Nariñense.....                | 31 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 20 Combustible para cocción vs ingresos por vivienda en las ZNI..... | 32 |
| Figura 21 Instalación del registrador de datos .....                        | 32 |
| Figura 22 Instalación del analizador de redes.....                          | 32 |

## LISTA DE GRÁFICAS

|  |    |
|--|----|
| Gráfica 1 Voltaje y corriente de una vivienda en la vereda Cocal Payanes .....                               | 34 |
| Gráfica 2 Potencia aparente de una vivienda en la vereda Cocal Payanes.....                                  | 34 |
| Gráfica 3 Voltaje y corriente de una vivienda en la vereda Garcero.....                                      | 34 |
| Gráfica 4 Potencia aparente de una vivienda en la vereda Garcero.....  | 34 |
| Gráfica 5 Voltaje y corriente de una vivienda en la cabecera municipal de Mosquera.....                      | 35 |
| Gráfica 6 Potencia aparente de una vivienda en la cabecera municipal de Mosquera .....                       | 35 |
| Gráfica 7 Energía promedio a nivel residencial para las localidades Mosquera, Garcero y Cocal Payanes.....   | 36 |
| Gráfica 8 Energía promedio para localidades del Pacífico Nariñense con 24 horas del servicio eléctrico ..... | 37 |
| Gráfica 9 Voltajes registrados en la planta de la vereda Cocal Payanes.....                                  | 38 |
| Gráfica 10 Corrientes registradas en la planta de la vereda Cocal Payanes.....                               | 38 |
| Gráfica 11 Energía registrada en la vereda Cocal Payanes.....  | 38 |
| Gráfica 12 Energía registrada por PERS-Nariño en la vereda Cocal payanes.....                                | 38 |
| Gráfica 13 Voltajes registrados en la planta de la vereda Garcero.....                                       | 39 |
| Gráfica 14 Corrientes registradas en la vereda Garcero.....  | 39 |
| Gráfica 15 Curva de energia 1 en Garcero.....  | 39 |
| Gráfica 16 Curva de energia 2 en Garcero.....  | 39 |



## RESUMEN

Los esfuerzos por llevar energía de calidad a zonas no interconectas (ZNI) requieren del estudio de la demanda de energía eléctrica, para brindar soluciones sostenibles con resultados positivos. Uno de los proyectos vigentes en el departamento de Nariño que buscan dar soluciones energéticas sostenibles en las ZNI es el proyecto “Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño (ALTERNAR)”<sup>1</sup>. Por medio de este proyecto se realiza la caracterización de la demanda energética de las ZNI del Pacífico Nariñense, recolectando información primaria en las poblaciones objeto de estudio, específicamente en los municipios Mosquera y Tumaco, a través de instrumentos como encuestas y equipos de medición de energía eléctrica.

Con la información real obtenida en campo se realiza un diagnóstico energético y social de la ZNI procesando los datos en tablas de Excel y calculando valores promedio, máximos, mínimos, porcentajes de participación y totales con factores de expansión con el fin de estimar el consumo de energía y demás variables que reflejan las condiciones en que se encuentran las zonas de estudio a nivel local y de región. Además se efectúan posibles relaciones entre las variables con el fin de determinar aquellas que más influyen en la demanda de energía eléctrica.

Por otro lado, el análisis de la información que se realizó en este estudio, arroja un consumo básico de subsistencia de 62 kWh/mes por vivienda, basado en los electrodomésticos más comunes de la región. Los datos obtenidos en las encuestas se evalúan en los modelos de demanda de energía eléctrica obtenidos en el Plan de Energización Rural Sostenible PERS-Nariño<sup>2</sup>, obteniendo así valores más reales del consumo de energía en las viviendas de estas poblaciones y se establecen consumos de energía bajo escenarios de consumo teniendo en cuenta las variables más influyentes.

---

<sup>1</sup> <http://190.254.4.127:90/alternar/>

<sup>2</sup> <http://sipersn.udenar.edu.co:90/sipersn/>

## ABSTRACT

Efforts to bring quality energy not interconectas areas (ZNI) require the study of electricity demand, to provide sustainable solutions with positive results. One of the current projects in the department of Nariño that seek to sustainable energy solutions in isolated zones is the project "Analysis of Energy Opportunities with Alternative Sources in the Department of Nariño (ALTERNAR)". Through this project the characterization of the energy demand of the Nariño Pacific ZNI is done by collecting primary information in the study populations, specifically in Tumaco and Mosquera municipalities, through instruments such as surveys and energy measurement equipment power.

With the information obtained is realized an energetic and social diagnosis of the ZNI processing the information in tables of Excel and calculating values mediate, maximums, minimums, percentages of participation and total with factors of expansion in order to estimate the energy consumption and other variables that reflect the conditions in which they find the zones of study to local level and of region. In addition possible relations are effected between the variables in order determine those that more influence the demand of electric power.

The analysis of the information that was made in this study, resulting in a basic subsistence consumption of 62 kWh / month per household, based on the most common appliances in the region. Data from surveys are evaluated in models of demand for electricity obtained in the Sustainable Rural Energy Plan PERS-Nariño, gaining more actual values of energy consumption in the homes of these populations and energy consumption are set low consumer scenarios Having in it counts the most influential variables.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia existen zonas no interconectadas (ZNI) que no reciben el servicio público de energía eléctrica a través del Sistema Interconectado Nacional (SIN) y corresponden al 52% del territorio nacional. Están conformadas por 17 departamentos, 5 capitales departamentales, 39 cabeceras municipales, 112 municipios, 1441 localidades, más de 176.000 usuarios atendidos y 94 entes prestadores organizados en 14 grupos territoriales (IPSE, 2013).

Muchas de las ZNI son áreas protegidas debido a la presencia de resguardos indígenas y Concejos Comunitarios que poseen títulos colectivos. Están ubicadas en lugares de difícil acceso, a largas distancias de los centros urbanos y en contraste disponen de importantes fuentes de energías no convencionales y renovables; entre ellas se destacan la subregión de Sanquianga, Pacífico Sur y Telembi en el departamento de Nariño. Aunque algunas cabeceras ya hacen parte del SIN, la mayoría de las poblaciones como corregimientos y veredas se han adaptado al uso parcial de generadores diésel, pero esta solución no proporciona un servicio de energía continuo y confiable.

Las falencias en este servicio impiden el emprendimiento de procesos industriales a pequeña escala para los habitantes de estas zonas, por tanto sus productos deben ser comercializados en tiempos pequeños y sin darles ningún valor agregado, esto desvaloriza sus esfuerzos y empobrece la región. Por otro lado estas regiones son ricas en biodiversidad, en ellas habitan una gran variedad de especies animales y vegetales. Las actividades económicas más importantes de estas regiones, están basadas en el sector agropecuario y pesquero; también poseen abundantes recursos energéticos como: eólica, solar y biomasa, pero hasta el momento no se han estudiado a profundidad y por lo tanto no son aprovechados para mejorar la calidad de vida de las personas.

Actualmente en el departamento de Nariño se están desarrollando algunos proyectos relacionados con la energía eléctrica, entre los que están: el Plan de Energización Rural Sostenible para el Departamento de Nariño (PERS-Nariño), que busca identificar, formular y estructurar proyectos integrales y sostenibles, así como identificar la problemática particular de las zonas rurales del departamento. Por otra parte, se está llevando a cabo el proyecto “Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño (ALTERNAR)”. Este proyecto es la primera fase de un programa a largo plazo que pretende contribuir a la mejora de cobertura energética de las zonas rurales mediante gestión moderna de redes y generación de energía integral y sostenible con fuentes alternativas.

Sin embargo, una problemática marcada a la que se deben enfrentar este tipo de proyectos, es la falta de información técnica sobre las condiciones del sistema energético en las zonas apartadas y no interconectadas. La escasa estimación de la demanda energética de estas zonas dificulta el planteamiento de proyectos enfocados a dar soluciones sostenibles con fuentes alternativas en las ZNI, donde el servicio es escaso, deficiente y de alto costo, mientras que la capacidad de pago es baja.

El desarrollo sostenible es comprendido como el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad para que futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades. En la vida práctica, el éxito de los proyectos está en el enfoque multi-vectorial de la solución. Un problema de energía rural no es solamente un problema técnico, es un problema que tiene que ver con muchos otros aspectos sociales y económicos que están inmersos. Entendiendo esta íntima relación, la estrategia propuesta podría ser más laboriosa, pero sus impactos perdurarán a lo largo del tiempo en el desarrollo humano, no solo de la comunidad, sino en todo su entorno.

Todo lo anterior motiva a elaborar el estudio socioeconómico y energético de estas regiones realizando encuestas con ayuda del personal del proyecto ALTERNAR<sup>3</sup> e investigadores del grupo de investigación en ingeniería eléctrica y electrónica (GIIEE). Además se realizaron mediciones de energía eléctrica por medio de *data loggers* y analizador de redes. La información obtenida fue analizada utilizando criterios estadísticos y modelos de demanda de energía eléctrica desarrollados por el PERS-Nariño<sup>4</sup>, con el fin de obtener una aproximación del comportamiento real de la energía consumida y así contribuir en el desarrollo efectivo de los proyectos sostenibles con generación de energía limpia en el Pacífico Nariñense.

---

<sup>3</sup> <http://190.254.4.127:90/alternar/>

<sup>4</sup> <http://sipersn.udenar.edu.co:90/sipersn/>

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Caracterizar y analizar la demanda de energía eléctrica en las ZNI del Pacífico Nariñense, utilizando la información primaria recolectada en poblaciones objetivo y por medio de modelos de demanda energética residencial para el Departamento de Nariño.

### Objetivos específicos

- Realizar, conjuntamente con personal calificado del proyecto de análisis de oportunidades energéticas, la planificación y ejecución de la encuesta socioeconómica energética para ZNI de Nariño (SOEEN), para la conformación de la base de datos del consumo energético de las ZNI.
- Ejecutar el plan de medición de consumos de energía eléctrica en las poblaciones objetivo de Mosquera y Bocagrande, mediante el uso de equipos como registradores de datos *data loggers* y analizador de redes, instalados en diferentes puntos de la zona.
- Caracterizar el consumo de energía por medio de variables sociales, económicas y energéticas a partir de la información recolectada en la encuesta y en el proceso de medida, enfocándose en las variables de mayor relevancia para el estudio de la demanda de energía eléctrica.
- Realizar el cálculo de la demanda de energía eléctrica para las ZNI del Pacífico Nariñense, aplicando los datos obtenidos a algunos modelos de demanda energética residencial obtenidos para el Departamento de Nariño por el proyecto PERS-Nariño.



Figura 2 Ruta por las veredas del municipio de Tumaco.



Debido a que las poblaciones de la ZNI del Pacífico Nariñense son muy similares en cuanto a condiciones sociales, económicas y energéticas, es viable determinar el tamaño de la muestra mediante una variable como es el consumo de energía eléctrica mensual usando la formula (1) y se realiza un muestreo por conglomerados, teniendo en cuenta que con este método el investigador sólo tiene que tomar la muestra de una serie de áreas y puede seleccionar los sujetos más accesibles [2].

En el muestreo por conglomerados, en lugar de seleccionar a todos los sujetos de la población, el investigador realiza varios pasos para reunir su muestra, este tipo de muestreo no necesita el listado de todos los elementos de la población para diseñar la muestra [3]; a diferencia de un muestreo tradicional como el aleatorio simple, en donde la lista total de la población debe estar completa y actualizada.

## 1.2 Tamaño de la muestra

Se calculó el tamaño de la muestra, tomando como variable de referencia el consumo de energía eléctrica mensual en los municipios de Sanquianga y Tumaco para el año 2014, los datos fueron tomados del Sistema Único de Información de servicios públicos (SUI)<sup>5</sup> y del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)<sup>6</sup>. Los detalles del plan de muestreo se pueden observar en el documento: “Metodología de recolección de información primaria para la ZNI” (Anexo 1).

<sup>5</sup> <http://www.sui.gov.co/SUIAuth/logon.jsp>

<sup>6</sup> <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>

El número de unidades muestrales se ajustó, en cada zona, para asegurar que el tamaño de la muestra sea conveniente de acuerdo al tiempo y recursos disponibles para la recopilación de datos. La ecuación (1) fue empleada para el cálculo de los tamaños de muestra en cada región, esta fórmula disminuye significativamente el tamaño de la muestra para poblaciones homogéneas, en comparación con una fórmula tradicional que involucra el total de la población.

$$n = \frac{z^2 s^2 DEFF}{e^2 (1 - tnr)} \quad (1)$$

Dónde:

$n$  = tamaño de la muestra, número de unidades de consumo (viviendas).

$z$  = factor de confiabilidad. Para un nivel de confiabilidad del 95%,  $z = 1,96$

$S^2$  = varianza poblacional estimada del consumo mensual de energía. Este valor se estimó, en cada caso, con la información del SUI (kWh<sup>2</sup>).

$e$  = máximo margen de error absoluto aceptable ( $e$  = error relativo x consumo promedio mensual estimado de energía eléctrica, según el SUI).

$DEFF$  = efecto de diseño. Compara la varianza del estimador con respecto a la varianza de un muestreo aleatorio simple. Por lo general se trabaja con un valor conservador mínimo de 1,5 para diseños muestrales.

$tnr$  = tasa de no respuesta máxima esperada. Se estima una tasa del 10% como resultado de la aceptación por parte de las ZNI hacia los proyectos energéticos.

El tamaño total de la muestra fue de 59 viviendas, valor equivalente a un tamaño de 43 muestras distribuidas entre la subregión de Sanquianga con el 95% de confianza y error relativo de 5% aproximadamente. Además, 16 viviendas distribuidas en los concejos comunitarios de Tumaco (tomados como el resto de la población que representa la ZNI, excluyendo la cabecera) con el 95% de confianza y un error relativo de 5% (Tabla 1).

Tabla 1 Resultados del diseño de Muestras Residenciales.

|                   | Viviendas<br>ZNI DANE<br>2005 | Media<br>(kWh) <sup>1</sup> | Z % | Var(kWh <sup>2</sup> ). <sup>1</sup> | e.r. | Muestra<br>(viviendas) |
|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----|--------------------------------------|------|------------------------|
| <b>Sanquianga</b> | 9.831                         | 42,24                       | 95  | 29,74                                | 5%   | 42,67                  |
| <b>Tumaco</b>     | 5.799                         | 36,92                       | 95  | 7,21                                 | 5%   | 15,45                  |
| <b>TOTAL</b>      | 15.630                        |                             |     |                                      |      | <b>58,13</b>           |

Fuente: elaboración propia.

<sup>1</sup>Datos del promedio de consumo calculado con información reportada en el SUI para 2014.



### 1.3 Diseño de encuestas y aplicación móvil

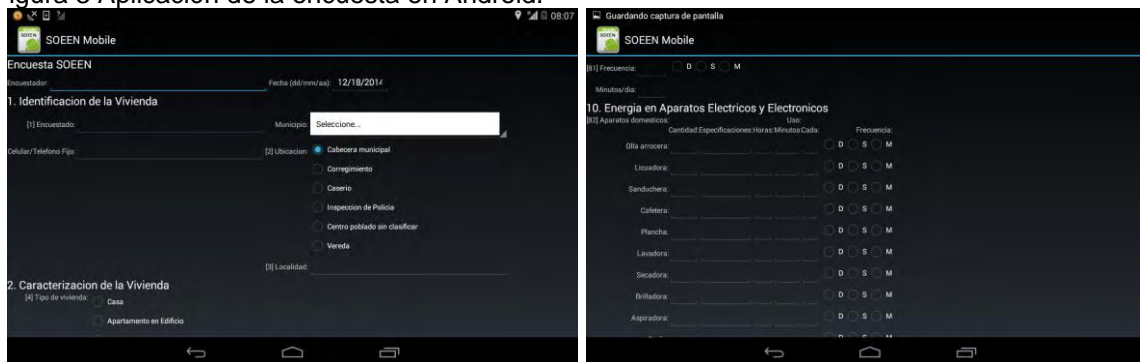
Se evalúa el modelo de la encuesta realizada en el PERS-Nariño y se la modifica con ayuda del (GIIEE)<sup>7</sup> de la universidad de Nariño, teniendo en cuenta que la demanda de energía eléctrica residencial tiene tres componentes que están estrechamente relacionados y se retroalimentan [4]:

- (i) La decisión de comprar o remplazar un bien que provea (calefacción, iluminación, cocina, etc.).
- (ii) Las características técnicas del aparato y la energía que necesita para su funcionamiento.
- (iii) La frecuencia de uso de los equipos eléctricos.

Además de otros factores socio-económicos propios de cada región que influyen en la demanda, y que serán tenidos en cuenta, como: ingresos, número de personas por vivienda, tipo de fuente para cocción y tiempo de uso, entre otros aspectos que pueden ser consultados en las encuestas. Como producto se obtienen encuestas que indagan sobre aspectos de tipo energéticos, con preguntas puntuales de iluminación, refrigeración, ambiente, calentamiento, cocción y aparatos eléctricos, además de aspectos socioeconómicos de las poblaciones objetivo.

Como resultado se obtuvieron encuestas de tipo residencial y una encuesta específica para el encargado de la planta de energía “en formato .xlsx” (Anexo 2). Sin embargo, debido a la complejidad y magnitud de los datos a ser obtenidos, con la ayuda de profesionales de sistemas del proyecto, se diseñó y desarrolló en Android una aplicación de las encuestas sobre Tablet (Anexo 3), para facilitar el posterior procesamiento y análisis de la información Figura 3.

Figura 3 Aplicación de la encuesta en Android.



Fuente: esta investigación.

<sup>7</sup> <http://giiee.udenar.edu.co>

## 1.4 Proceso de recolección de información primaria

Junto con el personal del proyecto se identificaron los lugares objetivo de estudio y las unidades finales de muestreo donde se aplicaron las encuestas, teniendo en cuenta características: sociales, geográficas y ambientales, óptimas para el desarrollo de las diferentes actividades del proyecto. Además se contó con el acompañamiento de un profesional encargado de la dirección del trabajo de campo y de las reuniones concertadas con las comunidades involucradas en el estudio, para dar a conocer el motivo del trabajo realizado con dichas poblaciones.

Al terminar la socialización de las actividades con la comunidad, se procedió a aplicar las encuestas en las viviendas y a realizar las mediciones respectivas, con los equipos de medición de energía eléctrica otorgados por la Universidad de Nariño, solicitando de antemano el permiso de la persona encuestada Figura 4 y Figura 5.

Figura 4 Socialización de actividades.



Figura 5 Aplicación de encuesta SOEEN.



Fuente: esta investigación.

La selección de las unidades finales de muestreo se realiza de forma aleatoria, en poblaciones que presentaban un considerable número de viviendas se tomaron muestras cada dos casas partiendo de un extremo del cuadrante poblacional y en las poblaciones visitadas con pocas viviendas establecidas se seleccionaron de forma aleatoria las casas de más fácil acceso para aplicar la encuesta. Estos aspectos se detallan en el documento “Metodología de recolección de información primaria para la ZNI” sección unidades finales de muestreo.

## 2. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Luego de recolectar la información primaria por medio de encuestas y mediciones se elaboró una base de datos digital con toda la información de cada población encuestada, depurando datos atípicos como unidades de medida, potencias de electrodomésticos, errores de nomenclatura, entre otros. Al final del proceso de recolección y depuración de información primaria se obtuvo un total de 79 encuestas válidas Tabla 2 repartidas en las veredas Cocal Payanes, Garcero, Campo alegre, Chapila, el Naranjo, Vaquería, Rompido y Bocagrande (Anexo 4).

Tabla 2 Encuestas válidas.

| Municipio | Localidad     | Número de encuestas |
|-----------|---------------|---------------------|
| Mosquera  | Cocal Payanes | 40                  |
| Mosquera  | Garcero       | 7                   |
| Mosquera  | Campo Alegre  | 5                   |
| Mosquera  | Chapila       | 4                   |
| Mosquera  | El Naranjo    | 5                   |
| Tumaco    | Vaquería      | 8                   |
| Tumaco    | El Rompido    | 5                   |
| Tumaco    | Bocagrande    | 5                   |
| TOTAL     |               | 79                  |

Fuente: esta investigación.

Es importante destacar que el número de encuestas superó la cantidad de encuestas previstas en el diseño, se obtuvo un 33,8% más de instrumentos válidos. Teniendo en cuenta esta diferencia, los cálculos del error estadístico también cambian para cada población objetivo, manteniendo el nivel de confiabilidad en un 95% para Sanquianga y Tumaco, el efecto de diseño  $DEFF=1,5$  y la tasa de no respuesta máxima  $tnr=10\%$ , el error disminuye en 0,8% para Sanquianga y 0,4% para Tumaco, en la Tabla 3 se resumen los cálculos de error relativo definitivo con las encuestas válidas realizadas.

Tabla 3 Resultados de Muestras Residenciales.

|            | SECTOR RESIDENCIAL      |                          |     |                                      |      |                     |
|------------|-------------------------|--------------------------|-----|--------------------------------------|------|---------------------|
|            | Viviendas ZNI DANE 2005 | Media (kWh) <sup>1</sup> | Z % | Var(kWh <sup>2</sup> ). <sup>1</sup> | e.r. | Muestra (viviendas) |
| Sanquianga | 9.831                   | 42,24                    | 95  | 29,74                                | 4,2% | 61                  |
| Tumaco     | 5.799                   | 36,92                    | 95  | 7,21                                 | 4,6% | 18                  |
| TOTAL      | 15.630                  |                          |     |                                      |      | 79                  |

Fuente: esta investigación.

Además 20 mediciones de energía eléctrica se lograron tomar entre las veredas de Cocal Payanes, Garceo y el municipio de Mosquera efectuadas con equipos de medida como analizador de redes y *Data loggers*, lamentablemente la falta del servicio durante la visita en las demás veredas impidió realizar otras mediciones de energía. Sin embargo, se llevaron a cabo mediciones posteriores en poblaciones cercanas donde se tiene un servicio de energía de 24 horas. Los datos de las mediciones de energía eléctrica fueron procesados para visualizarlos en gráficas de Matlab®. (Anexo 5).

Los datos se agruparon según las variables de estudio en sociales, económicas y energéticas. Posteriormente fueron procesados en Excel estimando promedios, porcentajes y totales con factores de expansión; además de determinadas conversiones para las fuentes de cocción, como gas, leña y carbón (Anexo 6), esto con el fin de estimar el consumo de energía y demás variables que reflejan las condiciones en que se encuentran las zonas de estudio a nivel de región.

Para dar el peso correspondiente a las unidades de muestreo en la población investigada se usan factores de expansión. Estas ponderaciones se utilizan para hacer los ajustes pertinentes en las estimaciones de promedios, porcentajes y totales de las diferentes variables a estimar en el estudio, fundamentalmente en los consumos de energía y se obtienen mediante el algoritmo presentado a continuación [5].

Primero se selecciona una muestra aleatoria simple de (*mi*) conglomerados, para Sanquianga se tomó el municipio de Mosquera y para Tumaco se tomaron los concejos comunitarios Bajo mira y frontera y Alto mira y frontera. Entonces, la Probabilidad de selección respectiva es:

$$f = mi / Mi, i = 1, 2, \dots, 5 \quad (2)$$

*Mi* = número de municipios / concejos comunitarios, en la región

*mi* = número de municipios / concejos comunitarios, seleccionados

Luego en cada conglomerado seleccionado, en la etapa anterior, se selecciona una muestra de tamaño *ck* (61 para Sanquianga y 18 para Tumaco). Entonces, la Probabilidad de selección de la muestra en el conglomerado es:

$$pk = ck / Ck \quad (3)$$

*Ck* = tamaño de la población del municipio / concejo comunitario

Luego la Probabilidad de selección acumulada o total es:

$$pki = (mi / Mi) (ck / Ck) \quad (4)$$

Finalmente, el factor de expansión para cada unidad residencial del conglomerado seleccionado en Sanquianga y Tumaco está dada por:

$$f_{ki} = 1 / p_k \quad (5)$$

Los factores de expansión obtenidos son: 163 y 315 para Sanquianga y Tumaco respectivamente. Con estos valores se calcula un factor de ajuste que estima el total de viviendas con determinada característica con respecto al total de la población. Los datos procesados de características sociales, económicas y energéticas se pueden observar en (Anexo 6).

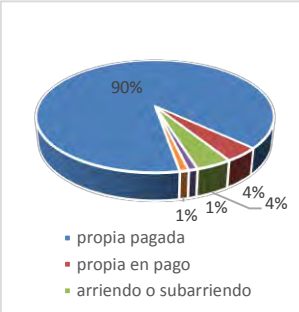
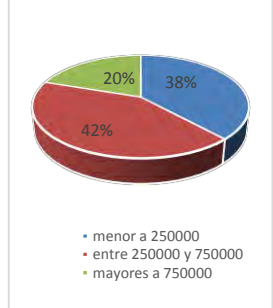
Cuando una entidad reconoce e identifica las características, actitudes y preferencias que diferencian a sus usuarios, tiene la oportunidad de ajustar sus actividades, decisiones y servicios para responder satisfactoriamente el mayor número de requerimientos, obtener su retroalimentación y lograr participación activa en el logro de los objetivos [6].

Conociendo la importancia de identificar las características de la población, se realiza el “Diagnostico socio-económico y energético de la ZNI del Pacífico Nariñense” (Anexo 7). Algunos de los resultados obtenidos se resumen en las tablas 4 y 5 de la siguiente sección, donde se observan los porcentajes de participación de: material de paredes, pisos, recolección de agua, tipo de sanitario, eliminación de basuras, servicios, ingresos, tipos de electrodomésticos y combustible para cocinar entre otros, que se obtienen para la ZNI de Tumaco y Sanquianga respectivamente, además de un estimado total para la ZNI del Pacífico Nariñense.

## **2.1 Caracterización socio-económica**

Son muchas las variables que podrían adoptarse para la caracterización socio-económica, sin embargo los resultados de mayor relevancia indican que las viviendas de las ZNI del Pacífico Nariñense Son viviendas propias (Figura 6), fabricadas a base de madera burda para sus paredes y pisos, la mayoría de ingresos es menor a 750.000 (COP) (Figura 7), carecen de alcantarillado y su forma de recolectar agua es por medio de agua lluvia; la mayoría de viviendas no cuentan con inodoro y la forma de eliminar los desechos es arrojándolos al mar o quemándolos (Tabla 4), esto por supuesto, conlleva a generar problemas de salud a los habitantes.

Tabla 4 Caracterización socio-económica de la ZNI del Pacífico Nariñense.

| Características sociales y económicas de las viviendas  |   | ZNI de Tumaco               | ZNI de Sanquianga           | Total ZNI Pacífico N. |        |        |
|---|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------|--------|
| <b>condiciones de la vivienda</b><br>Figura 6 Propiedad de la vivienda<br>   | material predominante de las paredes  | Ladrillo                    | 61,1%                       | 57,4%                 | 58,80% |        |
|   |   | madera burda                | 38,9%                       | 41,0%                 | 40,20% |        |
|   | material predominante de los pisos  | madera burda                | 100%                        | 98,4%                 | 99%    |        |
|   |   | recolección de agua         | agua lluvia                 | 44,4%                 | 80,3%  | 50,50% |
| <b>acceso a servicios</b><br>El suministro de agua lo obtienen mediante agua lluvia y carecen de alcantarillado, estos factores evidencian las condiciones de vulnerabilidad a enfermedades en que vive la población. | tipo de sanitario   | no tiene                    | 60,7%                       | 50,0%                 | 57%    |        |
|   |   | inodoro con letrina/bajamar | 22,2%                       | 32,8%                 | 29%    |        |
|   | eliminación de basuras  | arrojan al río o mar        | 11,1%                       | 62,3%                 | 43%    |        |
|   |   | queman                      | 21,3%                       | 50,0%                 | 32%    |        |
|   | comunicaciones  | Celular                     | 77,8%                       | 88,5%                 | 86%    |        |
|   |   | internet                    | 0,0%                        | 3,3%                  | 2%     |        |
|   | energía eléctrica   | planta municipal            | 22,2%                       | 65,6%                 | 50%    |        |
|   |   | planta propia/compartida    | 61,1%                       | 34,4%                 | 46%    |        |
|   | <b>nivel de ingresos</b><br>Figura 7 Nivel de ingresos<br> | % máximo                    | entre \$250.000 y \$500.000 | 38,9%                 | 26,2%  | 29,5%  |
|   |   | % mínimo                    | Alrededor de 2 millones     | 0,0%                  | 1,6%   | 1,2%   |
| actividad económica predominante  | Pesca   | 72,2%                       | 71,2%                       | 71,8%                 |        |        |
|   | hogar   | 5,5%                        | 10,1%                       | 8,9%                  |        |        |
|   | industria   | 22,2%                       | 3,3%                        | 7,7%                  |        |        |
| disponibilidad de pago por servicio de energía  | Hasta \$15.000  | 5,5%                        | 32,7%                       | 26,5%                 |        |        |
|   | Hasta \$30.000  | 77,78%                      | 50,8%                       | 56,9%                 |        |        |
|   | Hasta \$60.000  | 5,6%                        | 8,2%                        | 7,6%                  |        |        |
|   | No pagaría  | 11,1%                       | 8,2%                        | 8,9%                  |        |        |

Fuente: esta investigación.

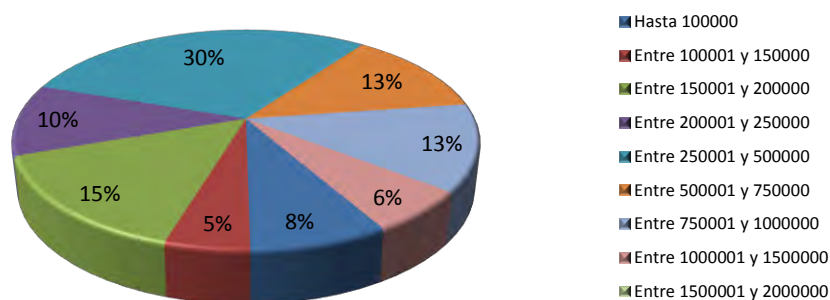
Los porcentajes totales se calculan con respecto al total de viviendas del Pacífico Nariñense

Aunque la mayor parte de la población tiene acceso a un celular la cobertura del servicio es deficiente, lo que dificulta en gran manera la comunicación en estas zonas, además, solo el 2% de la población tiene acceso a internet.

El promedio de personas tanto para la ZNI de Sanquianga como para Tumaco es de 4 personas por vivienda, según el reporte del DANE, para el año 2013. Un hogar promedio, compuesto por cuatro personas con un ingreso por debajo de \$717.340 está catalogado como pobre. La categoría de pobreza extrema se le otorga a un hogar promedio de cuatro personas con un ingreso por debajo de \$343.708 pesos<sup>8</sup>.

El análisis de la información permite precisar que el 42% del total de la población se encuentra en condiciones de pobreza, el 29% cuenta con un ingreso mensual entre \$250.000 y \$500.000, el 15% con ingresos entre \$150.000 y \$200.000 y un 13% cuenta con ingresos mensual entre \$500.000 y \$750.000 (Figura 8). Además el 90% está dispuesto a pagar una cuota menor a \$60.000 mensuales por un mejor servicio de energía (Tabla 4).

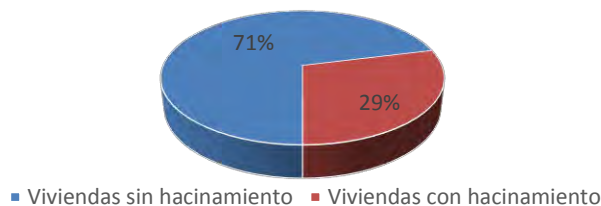
Figura 8 Ingresos en los hogares de la ZNI del Pacífico Nariñense.



Fuente: esta investigación.

Se consideran en situación de hacinamiento a las viviendas con más de tres personas por cuarto (excluyendo cocina, baño). Con este indicador se busca captar los niveles críticos de ocupación de los recursos de la vivienda por el grupo que la habita [7]. En las zonas de estudio se encontró que el 71% de las viviendas no tienen hacinamiento y el 29% de las viviendas tiene hacinamiento (Figura 9). En promedio hay 4 personas por vivienda y 3 habitaciones por vivienda.

Figura 9 Condición de hacinamiento en la ZNI del Pacífico Nariñense.



Fuente: esta investigación.

<sup>8</sup> DANE. Resultados Generales – pobreza Monetaria y Desigualdad- 2013.

## 2.2 Caracterización energética

La caracterización energética se lleva a cabo indagando la información de las encuestas en lo pertinente a la posesión de bombillas y electrodomésticos como: televisor, equipo de sonido y DVD, entre otros. Adicionalmente, se examinaron las fuentes de energía utilizadas en los diferentes procesos, como: iluminación, cocción, refrigeración y adecuación de ambiente, para determinar sus porcentajes de participación y calcular el uso de energía en kilovatios hora (kWh).

Tabla 5 Caracterización energética de la ZNI del Pacífico Nariñense.

| Características energéticas de las viviendas  |   | ZNI de Tumaco            | ZNI de Sanquianga | Total ZNI |       |
|---|---|--------------------------|-------------------|-----------|-------|
| <b>servicio de energía eléctrica</b><br>Figura 10 Acceso al servicio de energía   | <b>iluminación</b>                      | lámparas                 | 77,8%             | 100,0%    | 91,8% |
|   |   | velas                    | 66,7%             | 68,8%     | 68,0% |
|   | <b>aparatos eléctricos</b>              | televisor CRT            | 38,4%             | 54,0%     | 51,8% |
|   |   | licuadora                | 22,2%             | 61,0%     | 52,3% |
|   |   | equipo de sonido         | 33,3%             | 18,0%     | 32%   |
|   | <b>refrigeración</b>                    | neveras                  | 16,0%             | 11,0%     | 17,0% |
|   |   | congelador               | 0,0%              | 13%       | 8,2%  |
|   |   | nevecon                  | 0,0%              | 2,0%      | 1,3%  |
|   | <b>ambiente</b>                         | ventilador               | 11,1%             | 6,6%      | 8%    |
|   | <b>aparatos eléctricos por adquirir</b> | equipo de sonido         |                   |           | 50%   |
| lavadora  |   |                          |                   | 46%       |       |
| olla arrocera   |   |                          |                   | 45%       |       |
| <b>cocción</b><br>Entre los combustibles principales para cocción de alimentos están: el gas, leña de tipo mangle y carbón. Sobre los combustibles secundarios que utilizan se encontró que mayor participación tiene el gas propano, seguido de leña comprada. | <b>leña</b>                             | auto apropiada           | 50,0%             | 13,1%     | 21,5% |
|   |   | comprada                 | 33,3%             | 29,5%     | 31,3% |
|   | <b>gas</b>                              | propano                  | 5,5%              | 55,7%     | 44,3% |
|   | <b>carbón</b>                           | vegetal                  | 11,0%             | 0,0%      | 2,5%  |
|   |   | <b>energía eléctrica</b> | estufa            | 0%        | 2%    |

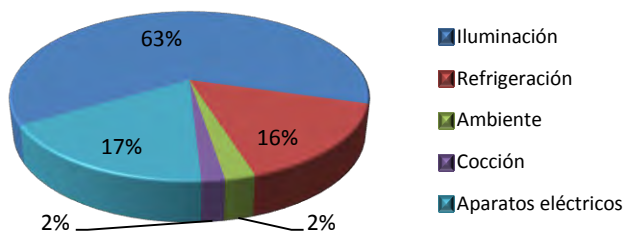
Fuente: esta investigación.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que el 50% de las viviendas encuestadas cuentan con el servicio de energía eléctrica a través de una planta municipal, el 46% tienen acceso a una planta, ya sea propia o compartida y el 4% no usa energía eléctrica (Figura 10). El servicio que ofrece la planta municipal en la mayoría de las poblaciones se limita a máximo 5 horas de servicio y es catalogado por la misma comunidad como muy regular.



Entre las actividades con mayor aporte en el consumo de energía eléctrica están: iluminación con un 63%, seguido por el uso de aparatos eléctricos con el 17% y refrigeración con el 16%, por último se tiene una participación del 2% en adecuación de ambiente y 2% en cocción (Figura 11), aunque utilizar energía eléctrica para cocción aumenta el consumo significativamente, en la mayoría de las viviendas este sistema ya ha sido remplazado por el uso de leña o gas.

Figura 11 Participación consumo de energía eléctrica en la ZNI del Pacífico Nariñense



Fuente: esta investigación.

El consumo por iluminación posee el mayor porcentaje de participación y está determinado por el uso de bombillas incandescentes que consumen alrededor de 23 kWh/mes y bombillas ahorradoras que consumen entre 6-14 kWh/mes, el uso de aparatos es el segundo en participación, aunque su consumo promedio esta entre 5 y 8 kWh/mes. Por otra parte, la energía utilizada para refrigeración no tiene una gran participación, pero presenta un consumo promedio significativo de 29 kWh/mes (Tabla 7).

Tabla 6 Consumo promedio de energía por procesos.

| ZNI        | Consumo incandescentes kWh/mes |                   | Consumo ahorradores kWh/mes        |                   |
|------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|
|            | Media                          | Desviación típica | Media                              | Desviación típica |
| Sanquianga | 23,51                          | 13,39             | 14,62                              | 12,72             |
| Tumaco     | 22,11                          | 15,99             | 6,65                               | 7,79              |
|            | Consumo refrigeración kWh/mes  |                   | Consumo ambiente kWh/Mes           |                   |
|            | Media                          | Desviación típica | Media                              | Desviación típica |
| Sanquianga | 29,14                          | 26,80             | 14                                 | 3,00              |
| Tumaco     | 13,34                          | 6,87              | 7                                  | 7,00              |
|            | Consumo aparatos kWh/mes       |                   | Consumo estufas eléctricas kWh/Mes |                   |
|            | Media                          | Desviación típica | Media                              | Desviación típica |
| Sanquianga | 8,27                           | 6,89              | 32                                 | 28,00             |
| Tumaco     | 5,01                           | 5,18              | 0                                  | 0,00              |

Fuente: esta investigación.

Haciendo uso de los factores de expansión, se estiman los consumos totales por proceso para cada población de estudio, luego se suman los consumos de cada proceso y se obtiene que: para las ZNI de Sanquianga el consumo de energía es de 439 kWh/mes y para Tumaco es 154 kWh/mes; se estima un consumo total de energía de 594 kWh/mes para el total de la ZNI del Pacífico Nariñense (Tabla 6).

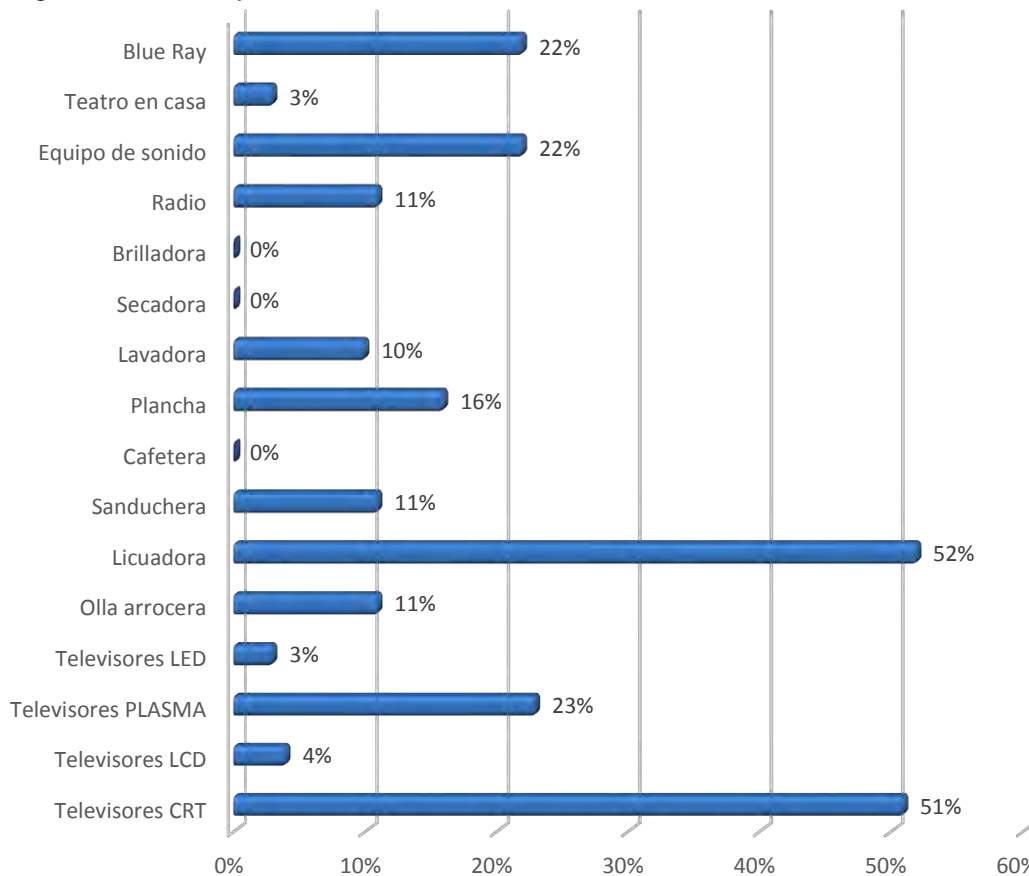
Tabla 7 Totales de consumo de energía por procesos en kWh/mes para la ZNI del Pacífico Nariñense.

| ZNI                             | Iluminación    | Refrigeración | Ambiente      | Cocción       | Aparatos eléctricos | Consumo por kWh/Mes | Consumo promedio vivienda/Mes | Consumo per cápita/Día |
|---------------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|------------------------|
| Sanquianga                      | 255.422        | 84.534        | 8.993         | 10.443        | 79.970              | 439.362             | 44,69                         | 0,37                   |
| Tumaco                          | 117.559        | 8.595         | 4.594         | 0             | 24.211              | 154.959             | 26,72                         | 0,22                   |
| <b>Total Pacífico Nariñense</b> | <b>372.981</b> | <b>93.129</b> | <b>13.587</b> | <b>10.443</b> | <b>104.180</b>      | <b>594.321</b>      |                               |                        |

Fuente: esta investigación.

De acuerdo con el análisis realizado, se observa que existen algunos aparatos eléctricos y electrónicos con mayor porcentaje de participación en la población, por tanto se considera que una vivienda básica de la ZNI del pacífico Nariñense cuenta con: lámparas incandescentes o ahorradoras, licuadora, un televisor convencional DVD, televisor convencional y un equipo de sonido (Figura 12).

Figura 12 Porcentaje de electrodomésticos comunes en la ZNI del Pacífico Nariñense



Fuente: esta investigación.

La demanda por energía eléctrica se deriva de la demanda por equipos y artefactos eléctricos y electrónicos. Estos equipos suelen ser durables, y su consumo de energía por hora es esencialmente fijo y determinado por su diseño técnico. El consumo de energía varía con la utilización del stock de equipos existentes y las características tecnológicas del stock de durables (Taylor, 1975 y Berndt, 1991).

Para analizar el consumo de energía por vivienda se calcula el consumo promedio mensual de energía eléctrica, considerando el *stock* de electrodomésticos con mayor participación y asumiendo que los aparatos eléctricos y electrónicos funcionan correctamente. Para el cálculo del consumo en kWh/semana, se consideran los resultados de la encuesta sobre: tenencia de equipos por vivienda, horas de uso al día, días por semana y potencia en W.

$$G = \frac{[P(W) * C * t(\text{horas}) * f]}{1000} \quad (6)$$

Donde:

$P(W)$  = Potencia en Watts del electrodoméstico

$C$  = Cantidad de electrodomésticos específicos

$t$  = Tiempo de uso al día en hora

$f$  = Frecuencia de uso en días por semana

$G$  = Consumo de energía eléctrica expresado en kWh a la semana

En la Tabla 8 se muestra una clasificación del consumo promedio actual considerando los equipos eléctricos más comunes por vivienda, sus características, tiempos de uso y asumiendo que el consumo de energía es el mismo en las 4 semanas del mes. El consumo de energía eléctrica al mes se define por el consumo de energía en kWh/semana multiplicado por 4,3, teniendo en cuenta que una semana tiene 7 días y un mes tiene 4,3 semanas o 30 días [8].

Tabla 8 Consumo básico para una vivienda promedio de la ZNI del Pacífico Nariñense

| Equipo                        | Potencia W | Cantidad | horas de uso día | uso días x semana | consumo kWh/semana | consumo kWh/mes |
|-------------------------------|------------|----------|------------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| Lámparas incandescentes       | 60         | 3        | 5                | 7                 | 6,30               | 27,09           |
| Televisor convencional        | 130        | 1        | 4                | 6                 | 3,12               | 13,416          |
| Blue ray                      | 16         | 1        | 3                | 4                 | 0,19               | 0,817           |
| Licuadaora                    | 350        | 1        | 0,15             | 6                 | 0,31               | 1,333           |
| Equipo de sonido              | 390        | 1        | 3                | 4                 | 4,68               | 20,124          |
| <b>TOTAL</b>                  |            |          |                  |                   | 14,60              | 62,78           |
| <b>Consumo per cápita/día</b> |            |          |                  |                   | 0,52               |                 |

Fuente: esta investigación.

De acuerdo al análisis anterior, el consumo básico de una vivienda de las

poblaciones estudiadas esta alrededor de los 62,7 kWh/mes o 0,52 kWh/día por persona, con un promedio de 4 personas por vivienda (Tabla 8), sin embargo, el consumo promedio por vivienda es de 44,6 kWh/mes para Sanquianga y 26,7 kWh/mes para Tumaco, lo que indica que la mayoría de las viviendas están por debajo del consumo básico.

Figura 13 Estufa de leña de mangle común en las ZNI.



Figura 14 Estufa de gas propano común en las ZNI.



Fuente: esta investigación.

Entre los combustibles principales más utilizados para cocción están: el gas propano, con un consumo promedio de 8 gal/mes para una vivienda de la ZNI de Sanquianga, 5 gal/mes para una vivienda de la ZNI de Tumaco, la leña de tipo mangle, con un consumo alrededor de 278 kg/mes por vivienda y el carbón, con consumo de 90 kg/mes solo para una vivienda de Tumaco (Tabla 9). Cabe destacar que algunas veredas por su conocimiento en la problemática de deforestación, han optado por sembrar su propia leña para consumo, como es el caso de la vereda El Rompido en Tumaco. Sobre los combustibles secundarios que utilizan los pobladores se encontró que al igual que el combustible principal, el de mayor participación es gas propano.

Tabla 9 Consumo promedio de combustible para cocción por vivienda.

| ZNI        | Consumo de leña Kg/Mes |              | Consumo de gas galones/Mes |              | Consumo carbón Kg/Mes |              |
|------------|------------------------|--------------|----------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
|            | Media                  | Desv. típica | Media                      | Desv. típica | Media                 | Desv. típica |
| Sanquianga | 277,94                 | 325,59       | 7,63                       | 1,17         | 0                     | 0            |
| Tumaco     | 278,4                  | 343,07       | 5,9                        | 2,12         | 90                    | 0            |

Fuente: esta investigación.

Para el 31 % de la población del Pacífico Nariñense que compra leña para cocción, el costo de un 1 kg de leña en promedio es de \$150, por tanto, una vivienda con consumo de leña promedio de 278 kg/mes gasta \$41.700 al mes, por otro lado para el 44,3 % de la población, el costo de 1 galón de gas al mes cuesta en promedio \$6.810, por tanto, una vivienda con un consumo de gas promedio de entre 5,9 y 7,6 gal/mes gasta entre \$40.170 y \$51.756 al mes.

### 2.3 Análisis y relación de variables

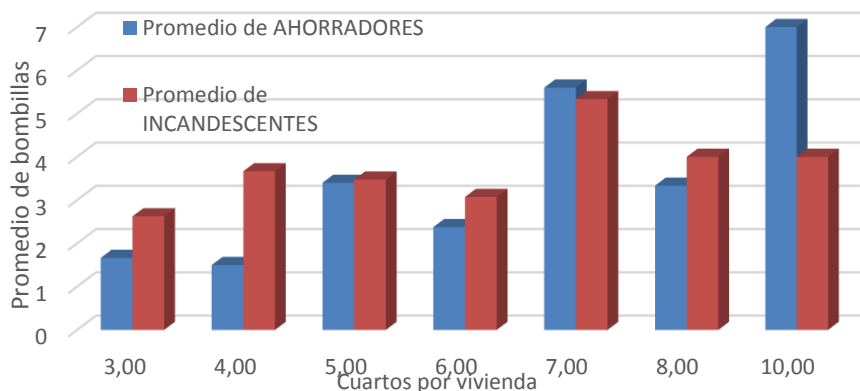
La inclusión de variables económicas y sociales es una necesidad inminente en la formulación, ejecución y evaluación de proyectos sostenibles con energías alternativas, para que las exigencias de la población objetivo puedan ser solventadas, poder participar activamente en la toma de decisiones y además para que las soluciones que se implementen sean apropiadas por la comunidad.

Para estudiar el comportamiento energético de la ZNI de las poblaciones objetivo de Mosquera y Tumaco, se identifican las variables explicativas, tanto categóricas como cuantitativas, obtenidas de la base de datos de la encuesta SOEEN y que caracterizan el consumo de energía de cada proceso: iluminación, aparatos eléctricos, refrigeración y cocción. Luego se realizan los respectivos análisis entre el consumo de energía y las posibles variables que se relacionen. El consumo de energía mencionado hace referencia al consumo de energía por vivienda, calculado con las especificaciones de aparatos y su frecuencia de uso.

Además las variables que presentan influencia servirán en la aplicación de escenarios de consumo, evaluándolas en los mejores modelos energéticos seleccionados. Teniendo en cuenta las relaciones efectuadas entre las diferentes variables que pueden afectar el consumo de energía eléctrica, se pueden concluir lo siguiente:

De acuerdo a las visitas realizadas en las zonas estudiadas las lámparas en las viviendas están conectadas a la red sin interruptores, lo que implica un gasto innecesario de energía. Sin embargo el número de lámparas incandescentes para viviendas con mayor cantidad de cuartos es menor o tiene una diferencia menos significativa con relación a las lámparas ahorradoras (Figura 15), por lo tanto se concluye que existe la posibilidad de implementar políticas de ahorro de energía en la población, instalando apagadores y el remplazando las bombillas incandescentes por ahorradoras.

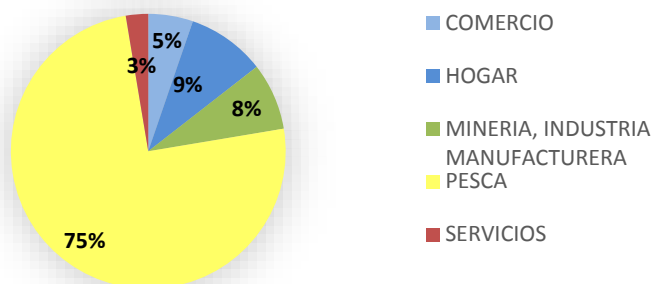
Figura 15 promedio de bombillas vs cuartos por vivienda para las ZNI del Pacífico Nariñense.



Fuente: esta investigación.

- La actividad de pesca es la más representativa en la región (Figura 16), sin embargo existe baja participación por parte de la actividad refrigeración lo que obliga a algunos pesqueros a vender sus productos a bajo costo y en corto tiempo, en visitas realizadas se observó que la mayoría de los refrigeradores están inutilizados por falta de un servicio de energía seguro y/o confiable.

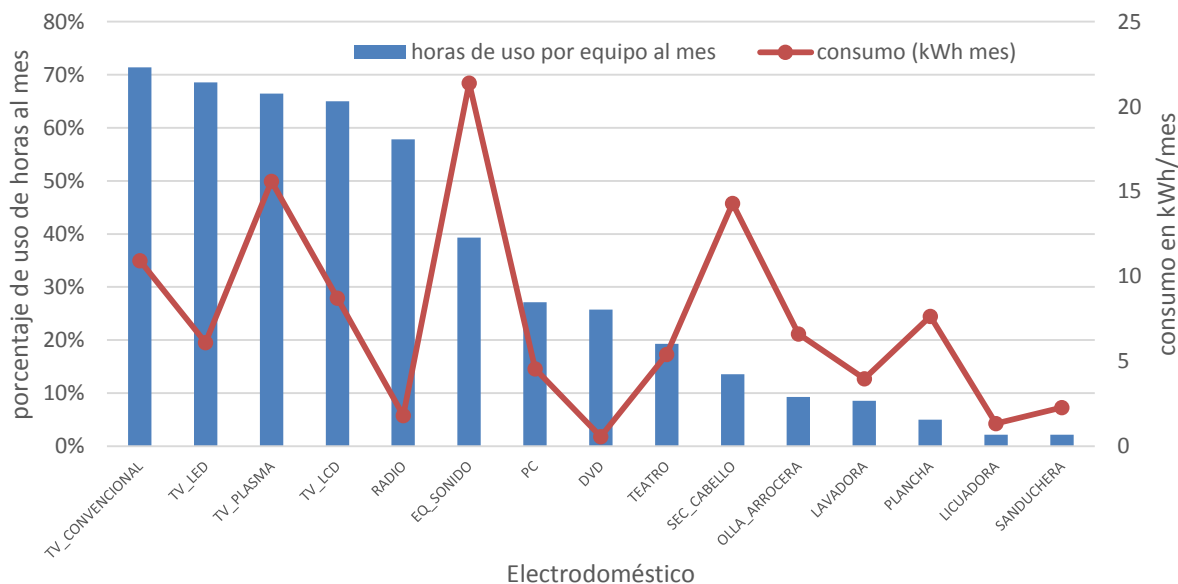
Figura 16 Actividad economica mas importante en la ZNI del Pacífico Nariñense.



Fuente: esta investigación.

- El consumo de energía está directamente relacionado con características técnicas de los electrodomésticos (potencias/capacidades) y hábitos de uso. Entre los electrodomésticos más comunes en los hogares de las poblaciones objetivo de Mosquera y Tumaco, el televisor es el de mayor participación, seguido de la licuadora, el equipo de sonido y el DVD. Entre el 60 y 70% de las horas de servicio de energía al mes se usan para ver televisión, seguido del equipo de sonido que se usa alrededor del 40 % de las horas de servicio eléctrico al mes. (Figura 17).

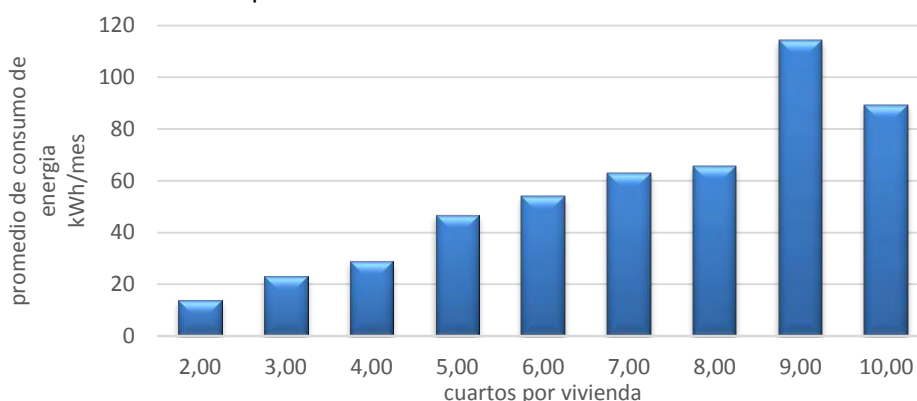
Figura 17 Horas de uso vs consumo por aparatos eléctricos en las ZNI del Pacífico Nariñense.



Fuente: esta investigación.

- Otra variable que influye directamente en el consumo de energía eléctrica es el número de cuartos por vivienda, a mayor número de cuartos el consumo de energía eléctrica por vivienda es mayor (Figura 18), esto se debe al número de bombillas y de electrodomésticos que se tienen por habitación, aunque esto no siempre se cumple ya que el consumo depende del uso que se dé a los equipos.

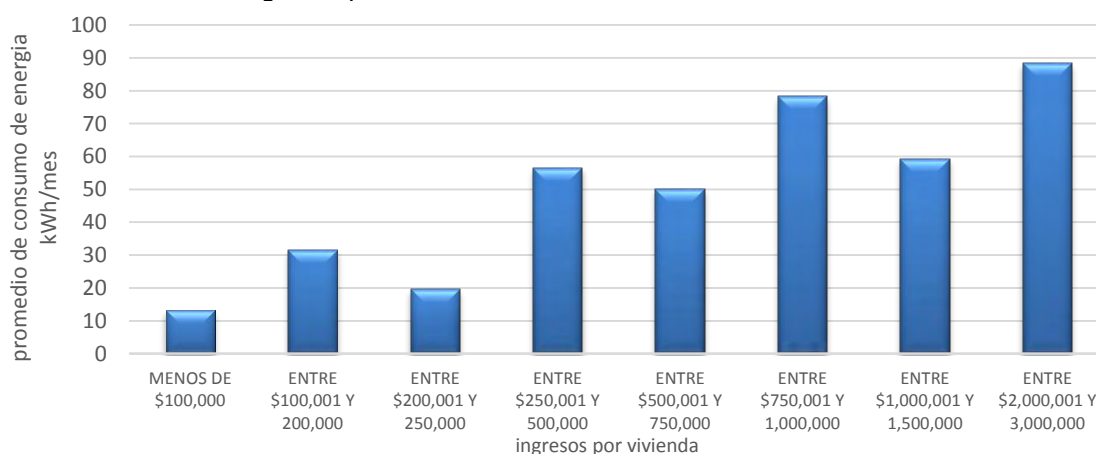
Figura 18 Consumo vs cuartos por vivienda en las ZNI del Pacífico Nariñense.



Fuente: esta investigación.

- Los ingresos son una variable que influye en el consumo de energía eléctrica, el consumo de energía es mayor para viviendas que tienen mayores ingresos (Figura 19), esto se debe a que viviendas con mayores ingresos tienen la posibilidad de adquirir más electrodomésticos o una planta de energía propia lo que implica un aumento en su consumo eléctrico.

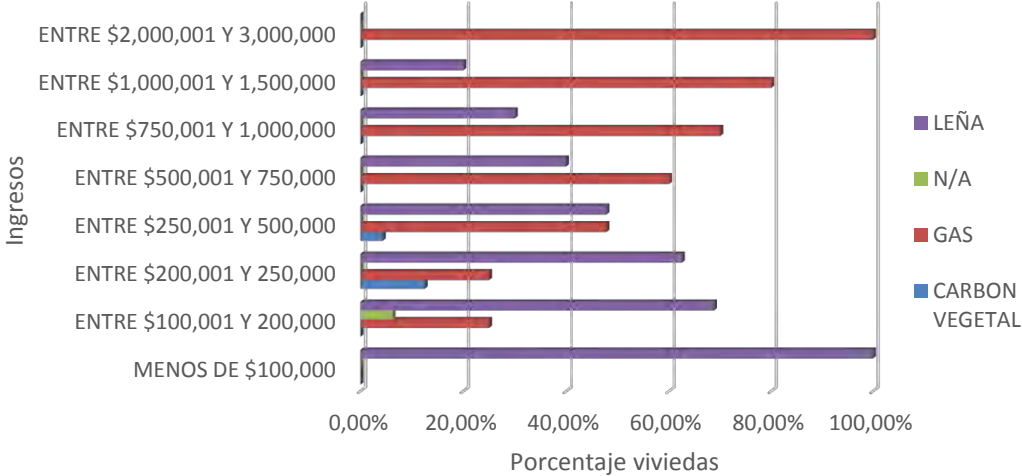
Figura 19 Consumo vs ingresos por vivienda en las ZNI del Pacífico Nariñense.



Fuente: esta investigación.

Existe una diferencia de ingresos entre las viviendas que usan leña, gas y carbón vegetal para cocción. En la Figura 20 se observa que el 25% de las viviendas que tienen ingresos entre \$100.000 y \$250.000 consumen iguales proporciones de gas siendo las menores en comparación a las viviendas con ingresos superiores a \$500.000 que consumen más cantidad de gas que de leña.

Figura 20 Combustible para cocción vs ingresos por vivienda en las ZNI.



Fuente: esta investigación.

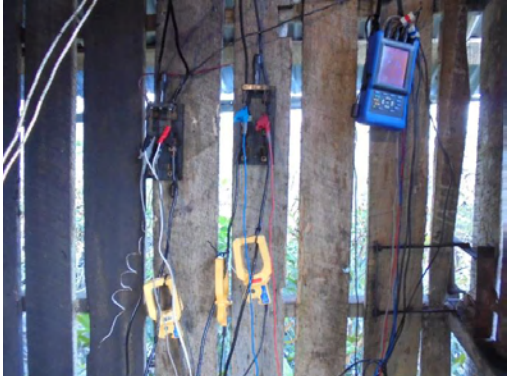
### 2.4 Curvas de energía eléctrica

Para llevar a cabo esta labor fue necesario el uso de equipos electrónicos capaces de adquirir datos de voltaje y corriente RMS a una tasa de muestreo determinada, para poder determinar el comportamiento del consumo de energía, para ello la Universidad de Nariño en convenio con el proyecto ALTERNAR dotaron de 10 registradores de datos “Data loggers DL 160”, que se instalaron en las viviendas (Figura 21) y un analizador de redes “HIOKI 3197” que se instaló en las plantas de energía comunal (Figura 22).

Figura 21 Instalación del registrador de datos



Figura 22 Instalación del analizador de redes



Fuente: esta investigación.



Con el fin de observar detalladamente el comportamiento del consumo de energía los registradores de datos se calibraron para obtener datos cada 5 segundos, con una resolución mínima de corriente de 500 mA (valores por debajo de este límite no son reconocidos por la resolución de los equipos); el analizador de redes fue calibrado para que tomara muestras cada 5 minutos durante la activación del servicio de energía, y se configuro de acuerdo al tipo de planta eléctrica disponible.

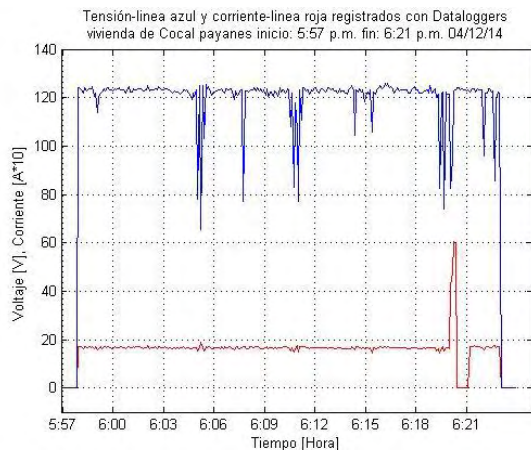
Durante el recorrido, se encontraron plantas de energía eléctrica de tipo trifásicas con consumos de corriente mayores a 10 Amperios RMS, voltajes alrededor de los 120 voltios RMS y frecuencia de operación normal de 60 Hz. Las mediciones fueron realizadas solamente en Cocal Payanes, Garcero y Mosquera debido a la falta de prestación del servicio durante la visita a las demás poblaciones.

#### **2.4.1 Voltaje y Corriente registrados con *Data loggers***

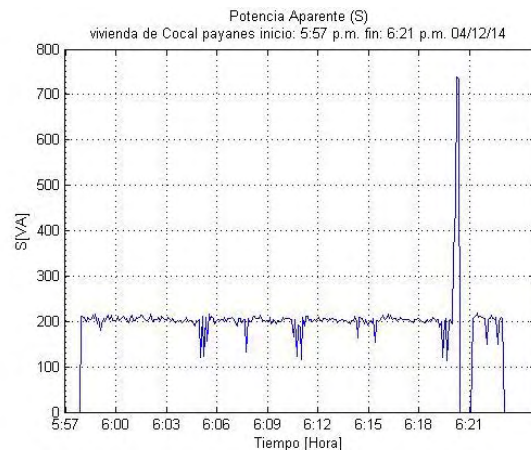
De las mediciones de voltaje y corriente, efectuadas con *Data loggers* instalados en viviendas de Cocal Payanes, Garcero y Mosquera (Anexo 5), se observa que el voltaje normalmente esta alrededor de 120 voltios RMS y existen corrientes que superan los 2 amperios RMS.

En una vivienda determinada de la vereda Cocal Payanes se observa una demanda de potencia mayor a 100 VA y menor a 250 VA (Gráfica 2); esto equivale, según las encuestas realizadas a tener por lo menos un televisor convencional o un equipo de sonido y dos lámparas incandescentes encendidas durante 20 minutos, que fue el tiempo de funcionamiento debido a fallos en la planta de energía.

Estos fallos, según el encargado de la planta, se producen por un problema de los filtros. Sin embargo, se pueden presentar fallas en los electrógenos al conectar algún equipo que genere armónicos, como por ejemplo: motores eléctricos o UPS o un equipo averiado y al no tener ningún sistema de protección, como es común en las viviendas de las ZNI, el problema se propaga, se debería realizar una prueba de funcionamiento sin carga en la planta para establecer si el problema proviene de la fuente o de la carga [9].



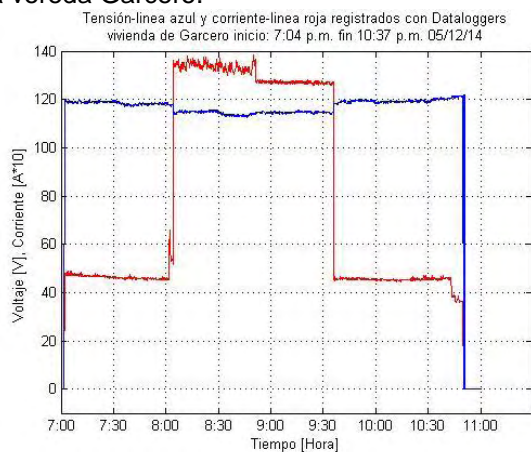
Gráfica 1 Voltaje y corriente de una vivienda en la vereda Cocal Payanes



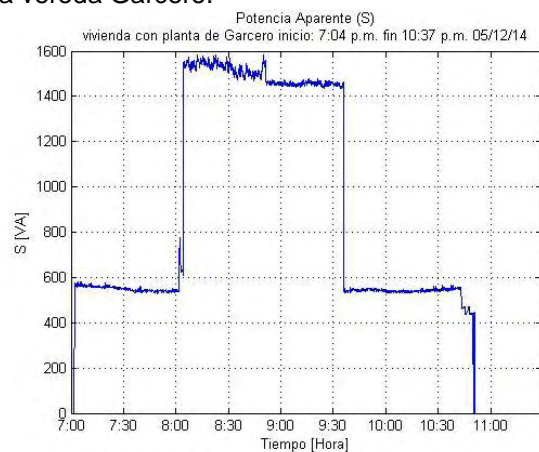
Gráfica 2 Potencia aparente de una vivienda en la vereda Cocal Payanes

De igual forma la gráfica de potencia de una determinada vivienda de Garcero presenta demandas de potencia entre 100 VA y 600 VA (Gráfica 4), esto equivale según las encuestas a tener por lo menos un televisor y más de tres lámparas incandescentes. Se observan también consumos de potencia entre 600 VA y 1800 VA alrededor de las 8:00 p.m. y 9:35 p.m. esto indica que además de los electrodomésticos mencionados, estas viviendas cuentan con equipos de sonido, DVD, que permanecen encendidos durante el tiempo de operación de la planta de energía eléctrica, que para esta vereda es de 4 a 5 horas.

Gráfica 3 Voltaje y corriente de una vivienda en la vereda Garcero.

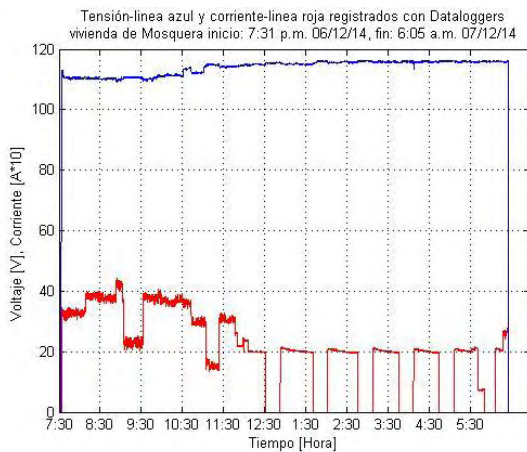


Gráfica 4 Potencia aparente de una vivienda en la vereda Garcero.

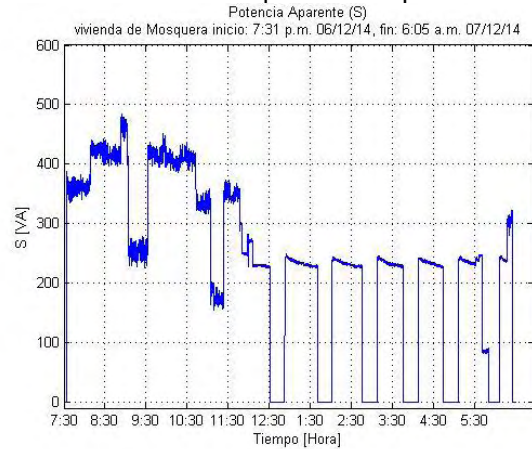


Fuente: esta investigación.

Gráfica 5 Voltaje y corriente de una vivienda en la cabecera municipal de Mosquera



Gráfica 6 Potencia aparente de una vivienda en la cabecera municipal de Mosquera



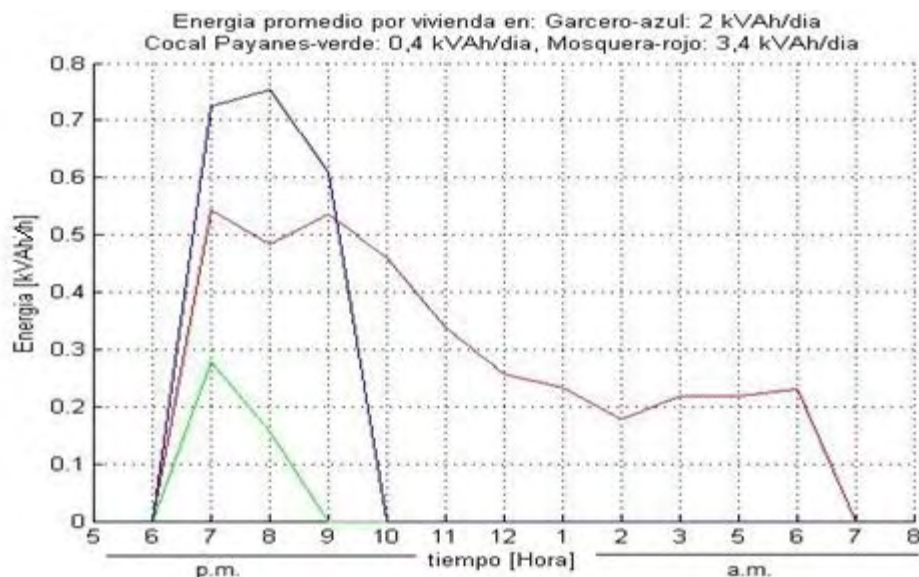
Fuente: esta investigación.

En las mediciones realizadas en Mosquera se observan demandas de potencia entre 100 VA y 900 VA, presentando mayores niveles de consumo entre las 7:30 p.m. y 1:30 p.m. (Gráfica 6), según las encuestas estos consumos equivalen a tener, desde un televisor convencional, dos o más lámparas incandescentes, hasta equipo de sonido, DVD, licuadora y una nevera con más de 200 VA, como lo evidencia el comportamiento de carga y descarga después de las 12:00 p.m.

Los datos se procesaron calculando el promedio de potencia demandada a nivel residencial en cada población y posteriormente se calculó el consumo de energía respectiva para cada caso. El procesamiento y cálculo aquí mencionado puede ser observado en los script de Matlab®. (Anexo 5).

En promedio, el servicio de energía dura 4 horas, de 6 a 10 p.m. para las viviendas de Garcero, con un pico máximo de potencia aproximadamente de 0,75 kVA entre las 7 y 8 p.m.; en Mosquera se observa que el máximo consumo de energía es de 0,5 kVA y se presenta entre 7 y 9 pm, luego la demanda de potencia cae hasta los 0,2 kVA entre las 10 p.m. y 2 a.m. y se mantiene alrededor de estos valores durante el tiempo de medida (Gráfica 7), esto da una idea del comportamiento de la energía durante más tiempo ya que el servicio de energía para esta población es casi continuo. Por otra parte el servicio de energía para las viviendas de Cocal payanes, presenta un aumento en su consumo durante la primera hora, aunque cae rápidamente debido a la desconexión de la planta de energía.

Gráfica 7 Energía promedio a nivel residencial para las localidades Mosquera, Garcero y Cocal Payanes

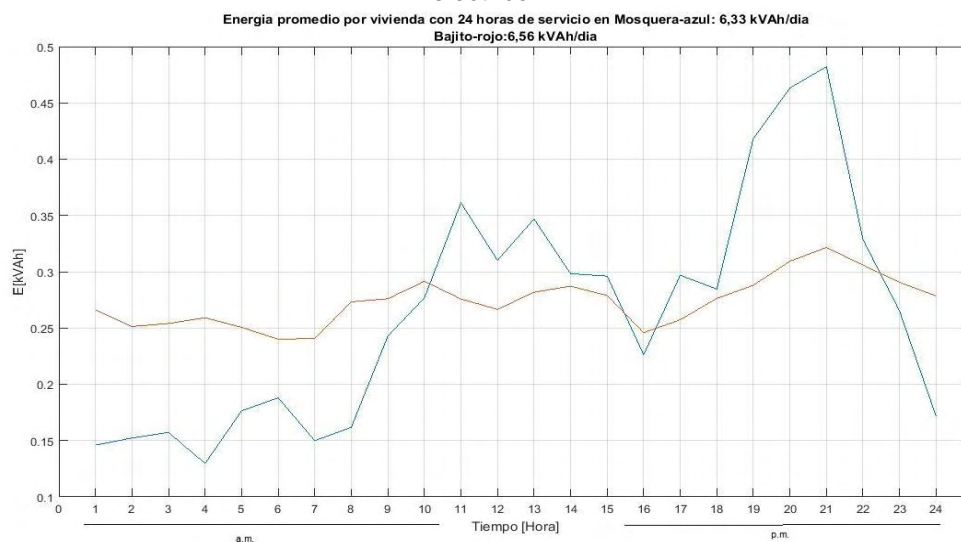


Fuente: esta investigación.

De acuerdo a las curvas de energía en las localidades visitadas el cálculo de energía total consumida para una vivienda promedio de la ZNI del Pacífico Nariñense actualmente está alrededor de los 2 kVAh/día o 60 kVAh/mes.

Mediciones posteriores realizadas en las localidades que tienen un servicio de energía continuo, como Mosquera y Bajito, dan una idea del comportamiento de la curva de energía para las viviendas de las ZNI en caso de tener un servicio de energía de 24 horas. Para la población de Mosquera el pico de energía es de 0,48 kWh y se presenta de 8 a 9 p.m. también hay una elevación menos significativa del consumo que llega hasta los 0,35 kWh al medio día. De igual manera en la población de Bajito que pertenece al municipio de Tumaco, se presentan aumentos en el consumo de energía a medio día, de 0,29 kWh y en la noche entre las 8 y 9 p.m. el pico llega hasta 0,33 kWh (Gráfica 8).

Gráfica 8 Energía promedio para localidades del Pacífico Nariñense con 24 horas del servicio eléctrico



Fuente: esta investigación.

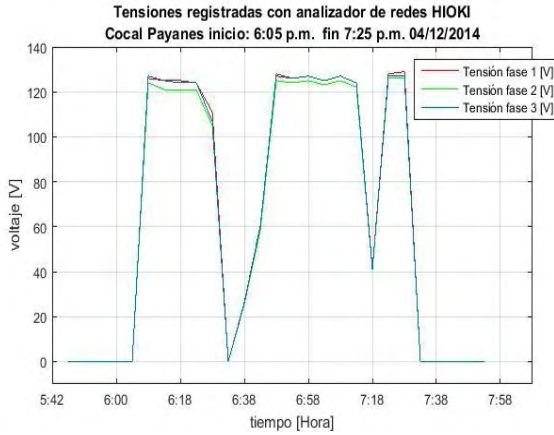
#### 2.4.2 Voltaje, corriente, potencia y energía registrados con medidores HIOKI

El analizador de redes HIOKI 3197 registra datos de voltaje y corriente RMS, máximos, mínimos, promedios y automáticamente realiza el cálculo de la potencia activa, reactiva y aparente, esto facilita el cálculo de energía en kWh, El procesamiento y cálculo de las curvas de energía puede ser observado en los script de Matlab®. (Anexo 5).

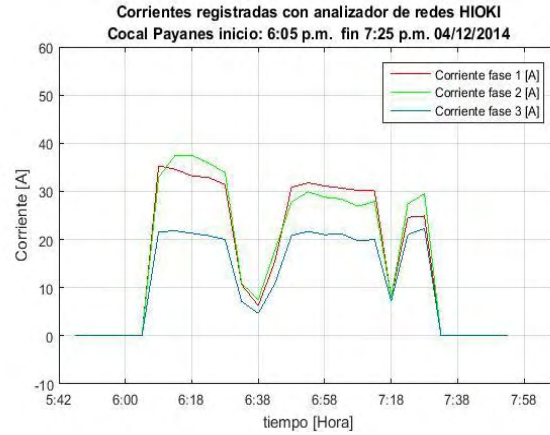
En la planta Perkin Power, ubicada en la vereda de Cocal Payanes del municipio de Mosquera, con capacidad de 58 kW y que abastece a 90 viviendas, se realizó mediciones que presentan caídas de tensión de las tres fases por debajo de los 60 voltios (Gráfica 9), de igual manera ocurre con el valor de la corriente por debajo de 10 A (Gráfica 10). esto se debe a problemas técnicos en los filtros de la planta generadora y por falta de un correcto mantenimiento no se ha logrado corregir los problemas en la planta, como lo mencionó el encargado en su encuesta respectiva.

Sin embargo como se menciona anteriormente se debería realizar pruebas sin carga en la planta, para descartar algún problema por la conexión de algún aparato. De antemano se descarta la posibilidad de que la carga sobrepase la capacidad de la planta ya que durante el tiempo de operación no alcanzó a de su carga máxima que para estas poblaciones se genera alrededor de las 8 p.m.

Gráfica 9 Voltajes registrados en la planta de la vereda Cocal Payanes.



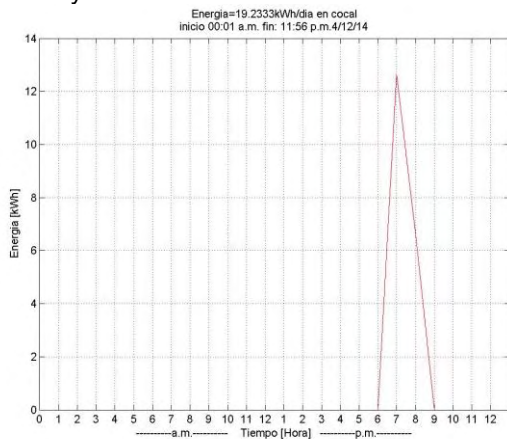
Gráfica 10 Corrientes registradas en la planta de la vereda Cocal Payanes.



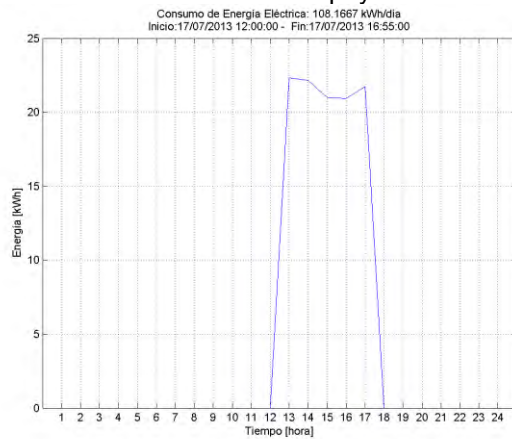
Fuente: esta investigación.

El tiempo de operación de la planta es de aproximadamente 80 minutos, desde las 6:00 p.m. hasta 7:20 pm, las mediciones presentan un aumento en la potencia demandada que llega hasta 7 kWh pero cae por fallos en la planta (Gráfica 11), de haberse presentado continuidad en el funcionamiento de la planta, la carga hubiera superado los 20 kWh como se evidencia en las mediciones realizadas por PERS-Nariño en el 2013 (Gráfica 12).

Gráfica 11 Energía registrada en la vereda Cocal Payanes.



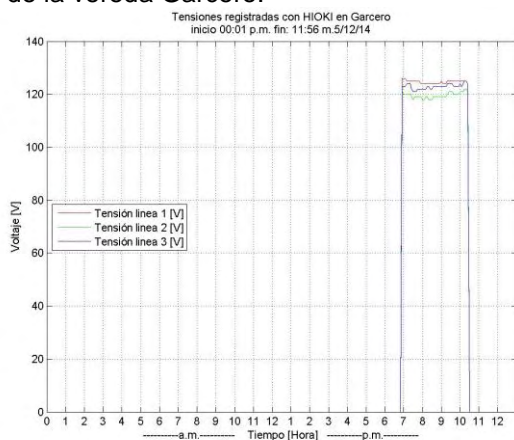
Gráfica 12 Energía registrada por PERS-Nariño en la vereda Cocal payanes.



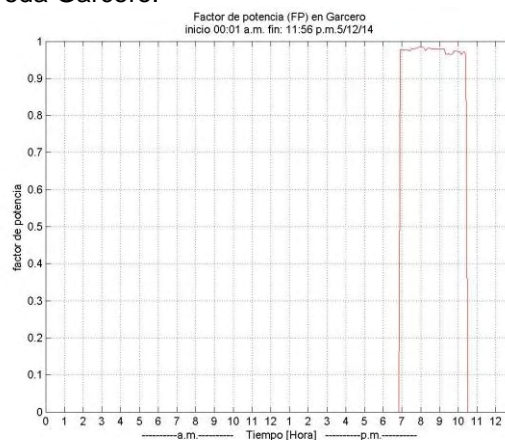
Fuente: esta investigación., PERS-Nariño

Se realizó mediciones en la planta My Power SP40A ubicada en la vereda Garcero del municipio de Mosquera, que tiene una capacidad de 47 KW y abastece a una población de 30 viviendas. Se observa que a diferencia de la planta de Cocal Payanes, la tensión de las tres fases se mantiene estable alrededor de 120 voltios (Gráfica 13), los valores de corriente están por encima de 10 A para las fases 2 y 3, mientras que la fase 1 presenta inactividad debido a la falta de carga (Gráfica 14), reflejando un desbalance en la planta que puede incurrir en sobretensiones que dañan los electrodomésticos, aun así la planta se encuentra en continuo uso. Se recomienda balancear las cargas de la planta en las tres fases para evitar sobretensiones y mejorar la calidad de la energía.

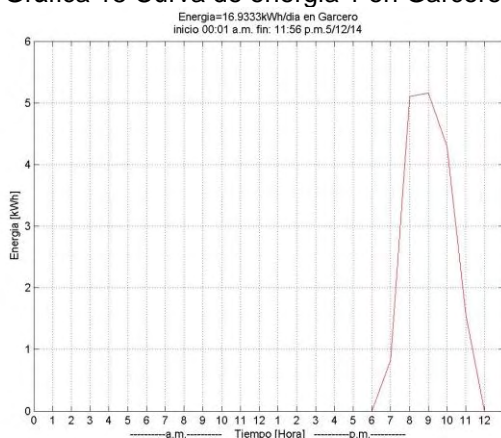
Gráfica 13 Voltajes registrados en la planta de la vereda Garcero.



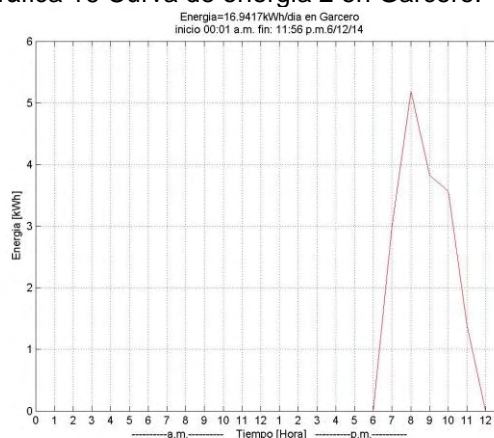
Gráfica 14 Corrientes registradas en la vereda Garcero.



Gráfica 15 Curva de energía 1 en Garcero.



Gráfica 16 Curva de energía 2 en Garcero.



Fuente: esta investigación.

En las mediciones se observa que el pico máximo de potencia demandada es 5,2 kWh entre las 8 y 9 pm, luego disminuye hasta llegar a 4,3 kWh, esto ocurre un día entre semana durante 4 horas de servicio (Grafica 15), mientras que para el fin de semana la demanda alcanza su máximo de 5,2 kWh alrededor de las 8 p.m. y desciende en las horas de servicio siguientes, hasta las 11 pm, obteniendo así un periodo de 5 horas de servicio (Gráfica 16).



### 3. EVALUACIÓN DE MODELOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El objetivo principal de este estudio es, analizar y establecer la demanda de energía eléctrica de la ZNI del Pacífico Nariñense y en particular, en las veredas de los municipios de Mosquera y de Tumaco. Para esto, se utiliza un conjunto de modelos energéticos residenciales desarrollados por el PERS-Nariño. El modelo de demanda de energía eléctrica para las viviendas rurales de Nariño no se debe hacer en una categoría general, es decir, resulta muy difícil calcular un solo modelo que pueda explicar la dispersión alta que reporta la encuesta realizada por el PERS-Nariño. Por esta razón, el modelo de demanda que aquí se presenta parte del análisis de varios modelos y de la selección de los que tienen mejor ajuste y pertinencia con el consumo observado en las viviendas rurales de Nariño. (Achicanoy W. 2014) [1]

Por otro lado, la correlación de las variables sociales económicas ayuda a determinar la relación o dependencia que existe entre ellas, es decir, determinar si los cambios en una de las variables influyen en los cambios de la variable dependiente, que en nuestro caso corresponde al consumo de energía eléctrica residencial. De esta manera se identifican las variables más influyentes en el consumo de energía eléctrica, para estimar posibles escenarios de consumo. Teniendo en cuenta la naturaleza de las variables que participan en los modelos, estos se pueden clasificar como de largo plazo, ya que las variables que representan el inventario de equipos eléctricos y electrónicos, la ampliación física de las viviendas, o en general, el uso de la energía eléctrica en los procesos más característicos de la región, no cambia en el largo plazo.

#### 3.1 Descripción de modelos

##### Mod1

Se trata de un modelo de tipo general que intenta explicar la demanda de la energía eléctrica por medio del comportamiento de la mayor cantidad de variables explicativas que se encuentran disponibles. Para este primer modelo el consumo de energía eléctrica mensual a nivel residencial está dado por la fórmula:

$$\hat{y} = 4,41 + 0,02x_1 + 0,05x_2 + 0,98x_3 + 1,01x_4 + 1,69x_5 + 0,000004x_6 + 0,003x_7 \quad (7)$$

Donde  $\hat{y}$  es el consumo estimado para cada vivienda (kWh/mes),  $x_1$  es la frecuencia de uso de lámparas incandescentes (horas/mes),  $x_2$  es la frecuencia de uso de lámparas ahorradoras (horas/mes),  $x_3$  es el tamaño de equipos de refrigeración ( $\text{ft}^3$ ),  $x_4$  es el número de personas que habitan la vivienda

(personas/vivienda),  $x_5$  es el número de cuartos por vivienda (cuartos/vivienda),  $x_6$  es el ingreso de cada vivienda (COP/mes) y  $x_7$  es el valor pagado por el servicio de electricidad (COP/mes). Los coeficientes hacen referencia al incremento en el consumo en kWh/mes que existe por cada unidad correspondiente a cada variable.

### **Mod2,1, Mod2,2 y Mod2,3**

Debido a que no hay participación representativa de la energía eléctrica en el proceso de cocción, no es posible hacer una regresión que muestre la incidencia de la demanda del gas y de la leña a través de ese proceso en la demanda de la energía eléctrica; sin embargo, si es posible hacer una comparación del consumo de energía eléctrica entre las viviendas que utilizan gas y las viviendas que utilizan leña de manera independiente.

Para hacer esto se plantean tres regresiones: Mod2,1, Mod2,2 y Mod2,3. Las dos primeras se hacen respectivamente con observaciones filtradas para las viviendas que usan gas y para las que utilizan leña. La tercera es una regresión categórica que utiliza una variable ficticia para diferenciar las dos clases de viviendas.

**Mod2,1** En esta regresión se utiliza solo las observaciones de las viviendas que consumen energía eléctrica y gas. En este modelo el consumo de energía eléctrica mensual a nivel residencial está dado por la fórmula:

$$\hat{y} = 11,46 + 0,63x_1 + 1,32x_2 + 1,15x_3 + 0,003x_4 \quad (8)$$

Donde  $\hat{y}$  es el consumo estimado para cada vivienda (kWh/mes),  $x_1$  es el tamaño de equipos de refrigeración ( $\text{ft}^3$ ),  $x_2$  es el número de personas que habitan la vivienda (personas/vivienda),  $x_3$  es el número de cuartos por vivienda (cuartos/vivienda) y  $x_4$  es el valor pagado por el servicio de electricidad (COP/mes).

**Mod2, 2:** En esta regresión se utiliza solo las observaciones de las viviendas que consumen energía eléctrica y leña. En este modelo el consumo de energía eléctrica mensual a nivel residencial está dado por la fórmula:

$$\hat{y} = 11,08 + 0,03x_1 + 0,07x_2 + 1,88x_3 + 1,58x_4 + +0,002x_5 \quad (9)$$

Donde  $\hat{y}$  es el consumo estimado para cada vivienda (kWh/mes),  $x_1$  es la frecuencia de uso de lámparas incandescentes (horas/mes),  $x_2$  es la frecuencia de uso de lámparas ahorradoras (horas/mes),  $x_3$  es el tamaño de equipos de refrigeración ( $\text{ft}^3$ ),  $x_4$  es el número de personas que habitan la vivienda (personas/vivienda) y  $x_5$  es el valor facturado del servicio de electricidad (COP/mes).

**Mod2,3:** A diferencia de los dos modelos anteriores, Mod2,1 y Mod2,2, este propone una sola regresión con variable ficticia que facilita el cálculo de la diferencia del consumo de energía eléctrica entre las viviendas que consumen gas y aquellas que consumen leña. Para hacer esta regresión, primero se categorizan las viviendas rurales en dos clases:

- (i) La clase A de viviendas que consumen energía eléctrica y leña.
- (ii) La clase B de viviendas que consumen energía eléctrica y gas.

Luego se define una clase base, que en este caso se hace corresponder a la clase A, y se crea la variable ficticia. Esta variable ficticia toma los siguientes valores: 1, cuando la vivienda pertenece a la clase B, y 0, cuando la vivienda no pertenece a esta clase (o pertenece a la clase A).

En este modelo el consumo de energía eléctrica mensual a nivel residencial está dado por las siguientes fórmulas. Para la clase A si ( $x_3 = 0$ ), es decir, viviendas que consumen energía eléctrica y leña;

$$\hat{y}_A = 21,02 + 0,1x_1 + 0,002x_2 \quad (10)$$

Para la clase B si ( $x_3 = 1$ ), es decir, viviendas que consumen energía eléctrica y gas;

$$\hat{y}_B = 25,11 + 0,03x_1 + 0,0028x_2 \quad (11)$$

Donde  $\hat{y}_A$  y  $\hat{y}_B$  son el consumo estimado para cada vivienda de la clase B (kWh/mes),  $x_1$  es la frecuencia de uso de lámparas ahorradoras (horas/mes),  $x_2$  es valor facturado del servicio de electricidad (COP/mes).

### **Mod3**

Una de las variables que reporta la encuesta y que tiene una de las correlaciones más altas con el consumo de energía eléctrica es el número de cuartos por vivienda. Esta variable ha sido reportada como significativa en la explicación de la demanda de energía eléctrica residencial y en esta regresión se propone una categorización del modelo de demanda por el tamaño de la vivienda.

Esta regresión se hace con una variable ficticia que facilita el cálculo de la diferencia de la demanda de energía eléctrica entre las viviendas de las siguientes clases:

- (i) La clase A de viviendas que tienen más de 4 cuartos
- (ii) La clase B de viviendas que tienen 4 cuartos o menos.

La clase base de la regresión es la clase A y los valores que toma la variable ficticia son: 1, cuando la vivienda pertenece a la clase B, y 0, cuando la vivienda no pertenece a esta clase (o pertenece a la clase A).

En este modelo el consumo de energía eléctrica mensual a nivel residencial está dado por las siguientes fórmulas. Para la clase A si ( $x_5 = 0$ ), es decir, viviendas que consumen energía eléctrica y tienen más de 4 cuartos:

$$\hat{y}_A = 20 + 0,04x_1 + 1,16x_2 + 0,00001x_3 + 0,002x_4 \quad (12)$$

Para la clase B ( $x_5 = 1$ ), es decir, viviendas que consumen energía eléctrica y tienen 4 o menos cuartos:

$$\hat{y}_B = 19,64 + 0,04x_1 + 1,16x_2 + 0,00x_3 + 0,003x_4 \quad (13)$$

Donde  $\hat{y}_A$  y  $\hat{y}_B$  son el consumo estimado para cada vivienda de la clase B (kWh/mes).  $x_1$  es la frecuencia de uso de lámparas ahorradoras (horas/mes),  $x_2$  es el tamaño de equipos de refrigeración (ft<sup>3</sup>),  $x_3$  es el ingreso por vivienda (COP/mes) y  $x_4$  es el valor facturado del servicio de electricidad (COP/mes).

#### Mod4

Otra de las variables que reporta la encuesta y que también muestra una de las correlaciones más altas con el consumo de energía eléctrica es el ingreso por vivienda. En esta regresión se explora la diferencia en la demanda de electricidad de las viviendas que se ubican en diferentes categorías de ingreso.

Para esto, las viviendas se categorizan en las siguientes clases:

- (i) La clase A de viviendas con ingresos en el rango de [0, 350.000] COP
- (ii) La clase B de viviendas con ingresos entre el rango (350.000, 700.000] COP.
- (iii) La clase C de viviendas con ingresos de más de 700.000 COP.

La clase base de la regresión se hace corresponder a la clase A y se definen dos variables ficticias. La primera variable ficticia toma los siguientes valores: 1, cuando la vivienda pertenece a la clase B, y 0, cuando la vivienda no pertenece a esta clase. La segunda variable ficticia toma los siguientes valores: 1, cuando la vivienda pertenece a la clase C, y 0, cuando la vivienda no pertenece a esta clase.

Según este modelo el consumo de energía eléctrica mensual a nivel residencial está dado por las siguientes fórmulas. Para la clase A ( $x_4 = 0$  y  $x_5 = 0$ ), es decir, viviendas que consumen energía eléctrica y tienen ingresos en el rango de [0, 350.000] COP:

$$\hat{y}_A = 4,48 + 1,38x_1 + 1,92x_2 + 0,003x_3 \quad (14)$$

Para la clase B ( $x_4 = 1$  y  $x_5 = 0$ ), es decir, viviendas que consumen energía Eléctrica y tienen ingresos en el rango de (350.000, 700.000] COP:

$$\hat{y}_B = 23,54 + 0,23x_1 + 1,92x_2 + 0,002x_3 \quad (15)$$

Para la clase C ( $x_4 = 0$  y  $x_5 = 1$ ), es decir, viviendas que consumen energía eléctrica y tienen ingresos mayores a 700.000 COP:

$$\hat{y}_C = 18,65 + 1,38x_1 + 1,92x_2 + 0,0026x_3 \quad (16)$$

Donde  $\hat{y}_A$ ,  $\hat{y}_B$  y  $\hat{y}_C$  son el consumo estimado para cada vivienda de la clase C (kWh/mes).  $x_1$  Es el tamaño de equipos de refrigeración ( $\text{ft}^3$ ),  $x_2$  es el número de cuartos que tiene la vivienda (cuartos/vivienda) y  $x_3$  es el valor facturado del servicio de electricidad (COP/mes).

### 3.1 Evaluación de modelos

Con el fin de obtener una mejor aproximación del consumo de energía en las viviendas de las ZNI de Mosquera y Tumaco, se toman los valores promedio de: horas de uso de bombillas al mes, tamaño del refrigerador, número de personas, número de cuartos, ingresos mensuales en hogar y el valor pagado por el servicio de energía al mes, que fueron suministrados por la encuesta SOEEN y se evalúan en cada uno de los modelos de demanda energética rural (Tabla 11). De igual manera se realiza el cálculo de la demanda de energía para las viviendas de cada una de las poblaciones donde se realizó la encuesta (Tabla 12).

Tabla 10 Consumo de energía en kWh/mes para viviendas de la ZNI de Mosquera y Tumaco.

| ZNI             | Mod 1                          | Mod 2,1                                      | Mod 2,2                                       | Mod 3 A                              | Mod 3 B                                 | Mod 4 A   | Mod 4 B   | Mod 4 C   |
|-----------------|--------------------------------|--|---|--------------------------------------|---|---|---|---|
|                 | <i>todas las observaciones</i> | <i>viviendas con energía eléctrica y gas</i> | <i>viviendas con energía eléctrica y leña</i> | <i>viviendas con 4 o más cuartos</i> | <i>viviendas con menos de 4 cuartos</i> | <i>viviendas con ingresos menores a \$350.000</i> | <i>viviendas con ingresos entre \$350.000 y \$700.000</i> | <i>viviendas con ingresos mayores a \$700.000</i> |
| <b>Mosquera</b> | 103,43                         | 109,20                                       | 74,09   | 86,98                                | 82,39                                   | 84,76   | 70,07   | 117,47  |
| <b>Tumaco</b>   | 90,23                          | 42,32  | 87,95   | 83,31                                | 58,05                                   | 62,62   | 78,49   | 95,44   |

Fuente: esta investigación.

Tabla 11 Consumo de energía en kWh/mes para viviendas de la ZNI de las poblaciones visitadas.

| Vivienda promedio de ZNI/modelos   | Mod 1                          | Mod 2,1                                      | Mod 2,2                                       | Mod 3 A                              | Mod 3 B                                 | Mod 4 A   | Mod 4 B   | Mod 4 C   |
|------------------------------------|--------------------------------|--|---|--------------------------------------|---|---|---|---|
|                                    | <i>todas las observaciones</i> | <i>viviendas con energía eléctrica y gas</i> | <i>viviendas con energía eléctrica y leña</i> | <i>viviendas con 4 o más cuartos</i> | <i>viviendas con menos de 4 cuartos</i> | <i>viviendas con ingresos menores a \$350.000</i> | <i>viviendas con ingresos entre \$350.000 y \$700.000</i> | <i>viviendas con ingresos mayores a \$700.000</i> |
| CAMPO ALEGRE (MOSQUERA)            | 60,50                          | 35,15  | 58,48   | 52,05                                | ****                                    | 59,08   | 41,14   | ****  |
| CHAPILAR (MOSQUERA)                | 109,58                         | ****   | 94,64   | 91,24                                | 74,52                                   | 61,60   | ****  | ****  |
| COCAL PAYANES (MOSQUERA)           | 102,40                         | 109,86                                       | 102,40  | 88,43                                | 63,24                                   | 85,78   | 73,73   | 114,14  |
| GARCERO (MOSQUERA)                 | 98,12                          | 106,17                                       | 44,74   | 58,49                                | 54,60                                   | 82,66   | 65,78   | 69,42   |
| EL NARANJO (MOSQUERA)              | 138,59                         | 141,27                                       | 93,77   | 117,93                               | 86,28                                   | ****  | ****  | 138,75  |
| BOCA GRANDE (TUMACO)               | 141,66                         | ****   | 113,76  | 108,23                               | ****                                    | ****  | 102,26  | ****  |
| EL ROMPIDO (TUMACO)                | 53,43                          | ****   | 45,42   | 47,81                                | 43,52                                   | 41,72   | 55,14   |   |
| VAQUERIA LA GRAN COLOMBIA (TUMACO) | 84,75                          | 42,32  | 95,41   | 83,20                                | 61,67                                   | 65,60   | 67,36   | 82,97   |

Fuente: esta investigación.

### 3.2 Evaluación de escenarios de consumo

Además de evaluar los modelos con los datos de las encuestas, se realiza un análisis de posibles escenarios de consumo, teniendo en cuenta las relaciones entre las variables más influyentes en el consumo de energía eléctrica. Esto con el fin de tener una aproximación del consumo de energía en zonas aisladas que no tienen registros históricos.

#### Escenario base

Según los estudios realizados con las encuestas SOEEN 2014 existe un consumo básico de subsistencia, para las ZNI de la costa pacífica Nariñense, de 62 kWh/mes en viviendas donde la duración del servicio es limitada a 5 horas, como máximo y su consumo está dado principalmente por el uso de: bombillas, televisor, licuadora, DVD y equipo de sonido, además poseen fuentes principales de energía para cocción, como leña y gas.

## Escenario 1

Una de las variables que posee una alta relación en el consumo de energía eléctrica es el consumo de energía por iluminación, dentro de esta variable afectan directamente el tipo de bombillas que se tienen para cada vivienda: ahorradores e incandescentes, como también la ausencia de interruptores. En este orden de ideas, con la implementación de la solución energética se plantea el aumento de horas del servicio de energía y el cambio de bombillas a ahorradoras con la instalación de apagadores.

Si aumentan las horas de servicio de energía eléctrica el consumo para una vivienda promedio puede llegar hasta 122,88 kWh/mes, triplicando las horas de uso al día de bombillas tanto incandescentes como ahorradoras (Tabla 13). Sin embargo, el consumo puede disminuir hasta 97 kWh/mes, es decir, el consumo se reduciría en un 20% con respecto al consumo anterior, sustituyendo las bombillas incandescentes por las ahorradoras en su totalidad e instalando interruptores (Tabla 14). Esta diferencia podría ser más significativa teniendo en cuenta las recomendaciones de la guía para el consumo consciente, racional y eficiente de la energía [10].

Tabla 12 Valores y resultado del Escenario 1.

| Escenario 1                | HORAS DE USO_INCANDESCENTES/MES | HORAS DE USO_AHORRADORAS/MES | TAMANO_REFRIGERADOR ft <sup>3</sup> | PERSONAS | CUARTOS | INGRESOS (COP)/MES | VALOR_PAGADO (COP)/MES |
|----------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------|---------|--------------------|------------------------|
| Modelo general             | 448                             | 448                          | 8,6                                 | 5        | 5       | 471772             | 21098                  |
| Consumo de energía kWh/mes |                                 |                              |                                     |          |         | <b>122,88</b>      |                        |

Fuente: esta investigación.

Tabla 13 Valores y resultado del Escenario 1-2.

| Escenario 1                | HORAS DE USO_INCANDESCENTES/MES | HORAS DE USO_AHORRADORAS/MES | TAMANO_REFRIGERADOR ft <sup>3</sup> | PERSONAS | CUARTOS | INGRESOS (COP)/MES | VALOR_PAGADO (COP)/MES |
|----------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------|---------|--------------------|------------------------|
| Modelo general             | 0                               | 116                          | 8,6                                 | 5        | 5       | 471772             | 21098                  |
| Consumo de energía kWh/mes |                                 |                              |                                     |          |         | <b>97,32</b>       |                        |

Fuente: esta investigación.

## Escenario 2

Debido a que los modelos realizados por PERS-Nariño no poseen un modelo que involucre directamente la variable electrodomésticos, para realizar el cálculo de este escenario se toma como base el consumo básico de subsistencia, donde se establecen los electrodomésticos básicos que existen en un hogar de la ZNI del Pacífico Nariñense y adicionalmente los posibles electrodomésticos a adquirir, según las encuestas, entre los aparatos por adquirir con mayor porcentaje están: el equipo de sonido, la lavadora, olla arrocera, licuadora y nevera. Al realizar el cálculo respectivo, el consumo de energía eléctrica puede llegar hasta los 182 kWh/mes (Tabla 15).

Tabla 14 Valores y resultado del Escenario 2.

| <i>Equipo</i>           | <i>Potencia W</i> | <i>Cantidad</i> | <i>horas uso día</i> | <i>de</i> | <i>Frecuencia de uso días x semana</i> | <i>consumo kWh/semana</i> | <i>consumo kWh/mes</i> |
|-------------------------|-------------------|-----------------|----------------------|-----------|--|---------------------------|------------------------|
| <i>Incandescentes</i>   | 60                | 5               | 6                    |           | 7                                      | 12,6                      | 54,18                  |
| <i>Ahorraores</i>       | 25                | 5               | 6                    |           | 7                                      | 5,25                      | 22,575                 |
| <i>Televisor</i>        | 130               | 2               | 4                    |           | 7                                      | 7,28                      | 31,304                 |
| <i>Blue ray</i>         | 16                | 1               | 3                    |           | 4                                      | 0,192                     | 0,8256                 |
| <i>Licuadora</i>        | 350               | 1               | 0,15                 |           | 6                                      | 0,315                     | 1,3545                 |
| <i>Equipo de sonido</i> | 390               | 1               | 3                    |           | 4                                      | 4,68                      | 20,124                 |
| <i>lavadora</i>         | 410               | 1               | 2,41                 |           | 2                                      | 1,9762                    | 8,49766                |
| <i>Olla arrocera</i>    | 511               | 1               | 0,51                 |           | 6                                      | 1,56366                   | 6,723738               |
| <i>nevera</i>           | 103               | 1               | 12                   |           | 7                                      | 8,652                     | 37,2036                |
| <b>TOTAL</b>            |                   |                 |                      |           |  |                           | <b>182,788098</b>      |

Fuente: esta investigación.

## Escenario 3

Otra variable que afecta el consumo de energía eléctrica es el número de personas y de cuartos por hogar, por ende, se plantea un escenario donde el número de personas y cuartos por hogar aumenta en un 2,6% de acuerdo al índice de natalidad para la región Pacífica Nariñense [11].



Los modelos que se usan para la evaluación de este escenario son Mod<sub>2,1</sub> y Mod<sub>2,2</sub>, ya que en ambos modelos la variable “personas” resulta ser más significativa. Como resultado el consumo de energía puede llegar hasta 119,40 kWh/mes para viviendas que consumen energía eléctrica y gas (Tabla 16), mientras que en viviendas donde consumen energía eléctrica y leña el consumo puede llegar hasta 89,3 kWh/mes (Tabla 17).

Tabla 15 Valores y resultado del Escenario 3

| <i>Mod2,1</i>   | TAMANO_REFRIGERADOR<br>ft <sup>3</sup> | PERSONAS | CUARTOS | VALOR_PAGADO<br>(COP)/MES |
|---|--|----------|---------|---------------------------|
| <i>Viviendas que consumen energía eléctrica y gas</i> | 8,8                                    | 6        | 6       | 25900                     |
| <i>Consumo de energía kWh/mes</i>                     |  |          |         | <b>109,52</b>             |

Fuente: esta investigación.

Tabla 16 Valores y resultado del Escenario 3-2

| <i>Mod2,2</i>  | HORAS_DE_USO_<br>INCANDESCENTES/<br>MES | HORAS_DE_USO_<br>AHORRADORAS/<br>MES | TAMANO_REFRIGERADOR<br>ft <sup>3</sup> | PERSONAS | VALOR_PAGADO<br>(COP)/MES |
|--|---|--------------------------------------|--|----------|---------------------------|
| <i>Viviendas que consumen energía eléctrica y leña</i> | 108                                     | 108                                  | 8,25                                   | 6        | 18068                     |
| <i>Consumo de energía kWh/mes</i>                      |   |                                      |  |          | <b>83,01</b>              |

Fuente: esta investigación.

## Escenario 4

Otra variable que influye directamente en el consumo de energía eléctrica es el uso de equipos de refrigeración, aunque actualmente esta actividad no presenta una participación significativa, sin embargo el número de refrigeradores aumentará ya que dentro de los equipos por adquirir se encuentran neveras y congeladores. Además esta variable influye en la economía del hogar debido a que una de las principales actividades económicas en la región es la pesca y sus productos se pueden vender a un mejor precio si se conservan por más tiempo.

Para viviendas promedio que cuenten con un refrigerador de tamaño pequeño, cerca de 8 ft<sup>3</sup> y que sus ingresos sean menores a \$350.000 COP, pueden llegar a consumir 82,35kWh/mes. Si el tamaño de refrigerador es mediano, aproximadamente de 10 ft<sup>3</sup> y los ingresos estén entre \$350.000 y \$700.000 COP, pueden llegar a consumir 123,36 kWh/mes. Por último, para viviendas con ingresos superiores a \$700.000 y que cuenten con un refrigerador de gran tamaño de 15 ft<sup>3</sup> o más, el consumo de energía eléctrica puede llegar hasta 190,32 kWh/mes (Tabla 18).

Tabla 17 Valores y resultados del Escenario 4.

| Modelo |  | TAMANO_REFRIGERADOR. ft <sup>3</sup> | CUARTOS | VALOR_PAGADO (COP)/MES | CONSUMO E.E. KWH/MES |
|--------|--|--------------------------------------|---------|------------------------|----------------------|
| Mod4,A | Viviendas con ingresos menores a \$350.000 | 8                                    | 5       | 19078                  | <b>82,35</b>         |
| Mod4,B | Ingresos entre \$350.000 y \$700.000       | 10                                   | 6       | 43000                  | <b>123,36</b>        |
| Mod4,C | Viviendas con ingresos mayores a \$700.000 | 15,3                                 | 6       | 52000                  | <b>190,32</b>        |

Fuente: esta investigación.

## 4. CONCLUSIONES

Para realizar una caracterización energética de la ZNI es necesario realizar encuestas adecuadas que identifiquen la demanda energética de la población. El método muestral aplicado permite reducir al máximo el número de encuestas aplicadas debido a la homogeneidad de la población de estudio, lo anterior junto a la ruta óptima trazada por las poblaciones objeto y a la sistematización de las encuestas permitió reducir costos y tiempo de trabajo.

Por medio del contacto directo con las poblaciones de estudio se concluye que, aunque son zonas marginadas, los proyectos de generación de energía con fuentes alternativas tienen una gran acogida y apoyo por parte de las comunidades de las ZNI. Es grato saber que actualmente la información recolectada en este trabajo es una base fundamental para el desarrollo de los proyectos propuestos en ALTERNAR.

Gracias a los factores de expansión, los resultados de la caracterización socio-económica y energética permiten precisar con detalle la situación actual en que se encuentran tanto las poblaciones objeto como también las zonas a las que pertenecen destacándose los consumos de energía eléctrica a nivel poblacional, residencial al mes y per cápita por día. Además permiten concluir que la mayoría de las viviendas de Mosquera y aún más las de Tumaco, se encuentran por debajo del consumo básico de subsistencia o del consumo promedio de energía.

Según los estudios realizados con las encuestas SOEEN 2014 es posible determinar un consumo básico de subsistencia para las ZNI del pacífico Nariñense donde el servicio es limitado o nulo, identificando los electrodomésticos más comunes en las viviendas de estas poblaciones y promediando el tiempo y la frecuencia de uso de cada uno de ellos. El nivel de ingresos es una de las variables que más influye en el consumo ya que de ella depende la adquisición de aparatos eléctricos.

Gracias al cruce de variables se puede deducir, entre otros aspectos, que la pesca es una de las actividades económicas de mayor participación en el uso de refrigeradores seguida de actividades del hogar y de la actividad manufacturera; se podrá contribuir con el desarrollo de la economía de estas poblaciones al brindar una solución en el servicio de energía por medio de fuentes alternativas que permita a la comunidad pesquera almacenar sus productos y darles un valor agregado en su comercialización. Por otra parte, la relación que existe entre bombillas incandescentes y ahorradoras permite concluir que existe la posibilidad de implementar políticas de ahorro de energía en la población, instalando apagadores y reemplazando bombillas incandescentes por ahorradoras.

Para identificar el comportamiento total del consumo de energía en las ZNI se deben realizar mediciones de energía en localidades cercanas, con características similares y que cuenten con un servicio 24/7.

Los modelos de demanda desarrollados por el PERS-Nariño categorizan adecuadamente el consumo de energía eléctrica a nivel residencial, además dan una idea sobre el incremento del consumo para las ZNI en caso de tener un servicio de energía 24/7.

Conociendo que el cálculo de la demanda de energía eléctrica para las viviendas rurales de Nariño no se debe hacer en una categoría general. Los modelos de demanda desarrollados por el PERS-Nariño categorizan adecuadamente las viviendas de acuerdo a las características de las ZNI, y la evaluación de algunos modelos con la información de las encuestas dan una idea clara sobre el consumo a nivel residencial para las ZNI en caso de brindar una solución energética que satisfaga las necesidades de la comunidad.

## 5. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

El cálculo de la demanda es solo el primer paso en la búsqueda de dar una solución energética con fuentes alternativas de energía, se recomienda continuar con los estudios de demanda utilizando herramientas sistematizadas como Homer que proporciona una gran cantidad de opciones en simulación para brindar soluciones optimas y que satisfagan las necesidades de la comunidad.

Con la información obtenida es conveniente trabajar en el diseño y simulación del sistema energético de las poblaciones donde se llevará la solución energética por parte del proyecto ALTERNAR, así se tendrá una visión más amplia del comportamiento de la población en general y abre campo para la implementación de un micro red y sistemas de gestión energética.

Diseñar una posible metodología de optimización de los recursos energéticos junto con gestión de demanda, estimando el consumo de energía a partir de los modelos de vivienda rural.

Mediante la implementación de estufas eficientes y prácticas de reforestación, se puede contribuir a mitigar el uso masivo de leña para cocción, problemas de salud en las personas, deforestación y contaminación ambiental. Además esto ayudaría a mejorar la economía de la población.

## 6. REFERENCIAS

- [1] V. M. Rosero, «Revisió de Aspectos Energéticos y Socioeconómicos del Corregimiento Cocal Payanes Municipio de Mosquera Nariño,» Pasto, 2014.
- [2] Exprorable.com, «Muestreo por conglomerados,» 18 Octubre 2009. [En línea]. Available: <https://explorable.com/es/muestreo-por-conglomerados>.
- [3] M. Vivanco, Muestreo Estadístico Diseño y Aplicaciones, p 28, Santiago de Chile: Editorial universitaria S.A., 2005.
- [4] P. C. S. E. AGOSTINI Claudio, «La Demanda Residencial de Energía Eléctrica en Chile. 2012. p.67,» 2012.
- [5] PERS-Nariño, «Diagnóstico Eenergético y Social del departamento de Nariño, p. 14,» 2013.
- [6] MinTic, «Guía Para la Caracterización de Usuarios de las Entidades Públicas,» 2011.
- [7] DANE, «Boletín. Necesidades Básicas Insatisfechas,» [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/censo/Bol\\_nbi\\_censo\\_2005.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/censo/Bol_nbi_censo_2005.pdf), 2005.
- [8] G. Chávez, Interviewee, *Pregunta Elementos GAS*. [Entrevista]. 13 9 2013.
- [9] GENESAL, Grupos Electrogenos, «Plantas Eléctricas,» 18 febrero 2011. [En línea]. Available: <https://plantaselectricas.wordpress.com/preguntas-planta-electrica/>.
- [10] UPME, «Guía para el consumo consciente, racional y eficiente de la energía: Sector Residencial,» MARZO 2014. [En línea]. Available: <http://www.si3ea.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=VaQh9I97ubc%3d&tabid=90&mid=449&language=es-ES>.
- [11] DANE, «Proyecciones Nacionales y Departamentales de Población, 2006- 2020,» 2005.
- [12] W. O. Achicanoy Martínez, «Modelo de demanda de energía eléctrica para El Departamento de Nariño (Enfoque univariable clásico),» Plan de Energización Rural Sostenible para el Departamento de Nariño PERS-Nariño, San Juan de Pasto, 2014.
- [13] SUI, «Sistema Unico de Información de Servicios Ppúblicos,» Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, [En línea]. Available:

<http://www.sui.gov.co/SUIAuth/portada.jsp?servicioPortada=4>. [Último acceso: 23 junio 2015].

- [14] IPSE, «Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas,» 14 agosto 2014. [En línea]. Available: <http://www.ipse.gov.co/comunicaciones-ipse/noticias-ipse/979-energia-electrica-para-colombia>.
- [15] DANE, «Departamento Administrativo Nacional de Estadística,» 4 Abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>.
- [16] PERS-Nariño, «Metodología de Reolección de Información Primaria,» 2013.
- [17] UPME, «Acciones y Retos para Energización de las ZNI,» 2012 octubre 2012. [En línea]. Available: [http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/ckeditor\\_files/UPME\\_Simposio\\_IPSE\\_Oct2012.pdf](http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/UPME_Simposio_IPSE_Oct2012.pdf).
- [18] ALTERNAR, «Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño,» 23 julio 2015. [En línea]. Available: <http://190.254.4.127:90/alternar/>.
- [19] PERS-Nariño, «Plan de Energización Rural Sostenible para el Departamento de Nariño,» [En línea]. Available: <http://sipersn.udenar.edu.co:90/sipersn/index.php?ini=s>.
- [20] Olade, «Metodología de conversión de Unidades,» 2004.

## **7. ANEXOS**

- 1. Anexo 1: Metodología de recolección primaria**
- 2. Anexo 2: Diseño de encuestas en formato xlsx.**
- 3. Anexo 3: Aplicación en Android de las encuestas.**
- 4. Anexo 4: Encuestas válidas.**
- 5. Anexo 5: Mediciones con registradores de datos y analizador de redes.**
- 6. Anexo 6: Tablas de caracterización.**
- 7. Anexo 7: Diagnostico energético y social para las ZNI del Pacífico Nariñense**
- 8. Anexo 8: Interfaz de usuario con los modelos demanda rural.**