

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Ingeniería en Electricidad

**ESTRATIFICACIÓN DE ABONADOS RESIDENCIALES POR CONSUMO
ENERGÉTICO EN LA EMPRESA ELÉCTRICA EMELNORTE**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

Autor:

Moisés Daquilema De la Cruz Morales

Director:

Ing. Segundo Hernán Pérez Cruz MSc.

Ibarra- Ecuador

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004667737		
APELLIDOS Y NOMBRES:	De la Cruz Morales Moisés Daquilema		
DIRECCIÓN:	Cotacachi-El Sagrario		
EMAIL:	mddelacruz@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0984296960

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ESTRATIFICACIÓN DE ABONADOS RESIDENCIALES POR CONSUMO ENERGÉTICO EN LA EMPRESA ELÉCTRICA EMELNORTE.
AUTOR (ES):	De la Cruz Morales Moisés Daquilema
FECHA: DD/MM/AAAA	29/06/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Perez Cruz Segundo Hernán MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días del mes de junio de 2023

EL AUTOR:



De la Cruz Morales Moisés Daquilema
C.I.: 1004667737

Certificación del director de trabajo de grado



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Yo, Pérez Cruz Segundo Hernán en calidad de tutor del señor De la Cruz Morales Moisés Daquilema, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado "ESTRATIFICACIÓN DE ABONADOS RESIDENCIALES POR CONSUMO ENERGÉTICO EN LA EMPRESA ELÉCTRICA EMELNORTE."

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

Ing. Pérez Cruz Segundo Hernán MSc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a mis padres Santos De la Cruz y Luz María Morales por siempre apoyarme durante todo este tiempo. Gracias a su sacrificio, consejos y paciencia del mundo confiaron y me impulsaron a culminar mi carrera universitaria. Me enseñaron a obrar con humildad y sinceridad.

A toda mi familia y amigos que siempre me dieron palabras de aliento a seguir y nunca dejaron de creer en mí.

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por la salud, vida, por rodearme de gente maravillosa y por ayudarme a llegar hasta el final de mi camino de aprendizaje, mis amigos, a las autoridades y docentes de la Universidad Técnica del Norte por haberme acompañado en cada instante de formación académica universitaria, a mis padres por su apoyo incondicional de día tras día con sus palabras de aliento que jamás lo olvidare.

Contenido

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
2. CONSTANCIAS	iii
Certificación del director de trabajo de grado.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos.....	vi
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras	xii
Resumen	xiii
Abstract	xiv
A.1 Introducción.....	xv
A.2 Planteamiento del problema	xvi
El problema	xvi
A.3 Objetivo general:	xvi
A.4 Objetivos específicos:.....	xvi
A.5 Alcance del trabajo	xvii
A.6 Justificación- Detalle del Impacto	xvii
CAPITULO 1.....	1
Determinación de Parámetros para la Estratificación de Abonados Residenciales	1
1.1. Para la Determinación de Muestreo.....	1
1.1.1. Elemento	1
1.1.2. Universo Muestral	1
1.1.3. Muestra	2
1.1.4. Unidad Muestral	2

1.1.5. Marco Muestral.....	2
1.1.6. Área típica de la carga.....	2
1.1.7. Muestreo	2
1.1.8. Muestreo Estratificado.....	2
1.1.9. Muestreo Sesgado	3
1.1.10. La Media Aritmética o Promedio.....	3
1.1.11. Desviación Estándar.....	3
1.1.12. Caja y bigotes.....	3
1.1.13. Varianza	4
1.2. Para la Estratificación o Muestreo Estratificado	4
1.2.1. Tipos de estratificación o muestreo estratificado	5
1.2.2. Métodos de estratificación	6
1.2.3. Histograma.....	8
1.2.4. ¿Cuándo se emplea el muestreo estratificado?.....	8
1.3. Demanda y sus categorías	9
1.3.1. Carga	9
1.3.2. Carga Instalada.....	9
1.3.3. Demanda.....	9
1.3.4. Demanda Máxima	10
1.3.5. Periodo de la medición de la demanda.....	10
1.3.6. Categoría de Consumo Residencial	11
1.3.7. Consumidor regulado	11
1.3.8. Curva de Carga.....	12
CAPITULO 2.....	14
Identificación de Métodos de Estratificación para el Consumo de Energía	14

2.1. Metodología:.....	14
2.2. Descripción del Área de Concesión de EmelNorte S.A.....	15
2.3. Descripción del programa informático Microsoft Excel.....	17
2.4. Descripción del Software ArcGIS.....	17
¿Qué es el ArcGIS Desktop?.....	17
2.5. Datos necesarios para el proceso de Estratificación y Zonificación	18
2.6. Métodos para el desarrollo de los estratos por consumo de Energía Eléctrica .	19
2.6.1. Agrupación de datos por intervalos de consumo	19
2.6.2. Estrato por Medida de Posición (Quintil).....	21
2.6.3. Método de Dalenius-Hodges	26
2.6.4. Estratificación por la regla de la raíz cuadrada de frecuencias	35
2.7. Resultados	39
CAPITULO 3.....	40
Desarrollo de la metodología del procedimiento de la estratificación de los abonados residenciales.....	40
3.1. Estratificación de abonados residenciales y georreferenciación de estratos por consumo en el software ArcGIS.	40
3.1.1. Obtención de la base de datos de consumo mensual de clientes.....	40
3.1.2. Definición de valores estadísticos de los clientes	44
3.1.3. Ajuste de Promedios por estratos de consumo.....	49
3.2. Zonificación Georreferenciado en ArcGIS.....	53
3.3. Resultados de la actualización de estratos y Zonificación.....	57
Conclusiones:	59
Recomendaciones:	59
Bibliografía:.....	60
Anexos:.....	64

Anexo 1: Métodos planteados para la estratificación.....	64
Anexo 2: Estratificación por Ruta de Lectura.....	65

Índice de tablas

Tabla 2.1	<i>Cantones pertenecientes al área de concesión EmelNorte S.A.</i>	16
Tabla 2.2	<i>Cantones pertenecientes al área de concesión EmelNorte S.A.</i>	19
Tabla 2.3	<i>Datos agrupados por frecuencias y frecuencia acumulada</i>	23
Tabla 2.4	<i>Resultados por medio del método de Quintil.</i>	25
Tabla 2.5	<i>Ecuaciones preliminares para la estratificación por el método de Dalenius-Hodges</i>	26
Tabla 2.6	<i>Cálculo de datos preliminares</i>	27
Tabla 2.7	<i>Cálculo de límites, frecuencias y raíz de frecuencias</i>	29
Tabla 2.8	<i>Estratos a partir de la acumulada de raíz de frecuencias (Columna 16).</i>	31
Tabla 2.9	<i>Limitación de cada estrato</i>	33
Tabla 2.10	<i>Resultado obtenido por el Método de Dalenius-Hodges.</i>	34
Tabla 2.11	<i>Tabla de datos agrupados.</i>	35
Tabla 2.12	<i>Datos preliminares</i>	37
Tabla 2.13	<i>Resultados de estratos.</i>	38
Tabla 2.14	<i>Resultados obtenidos por los diferentes métodos de estratificación.</i>	39
Tabla 3.1	<i>Datos referenciales de clientes</i>	42
Tabla 3.2	<i>Datos de consumo mensual y promedio de consumo de energía de 12 meses</i>	43
Tabla 3.3	<i>Consumos clasificados por estratos</i>	44
Tabla 3.4	<i>Definición de valores estadísticos de clientes</i>	46
Tabla 3.5	<i>Nuevos promedios obtenidos de consumo por cliente.</i>	48
Tabla 3.6	<i>Datos finales de promedio por cliente y Ruta de Lectura.</i>	51
Tabla 3.7	<i>Valores filtrados por Ruta de Lectura</i>	52

Índice de figuras

Fig. 1 Curva de cargas de diferentes sectores de consumo. Fuente: Obtenida de (Ramírez, 2012).....	12
Fig. 2 Proceso metodológico del desarrollo del proyecto.	14
Fig. 3 Área de concesión de EmelNorte S.A. dividida por provincias. Fuente: (DIRECCION DE PLANIFICACION EMELNORTE, 2015).....	16
Fig. 4 Software ArcGIS 10.6.	17
Fig. 5 Histograma de consumo vs frecuencia	21
Fig. 6 Datos de consumo descargada desde el GIS.	41
Fig. 7 Seguimiento para cargar DATA en ArcGIS.	54
Fig. 8 Selección de la DATA creada.	54
Fig. 9 Usuarios georreferenciados por coordenadas.....	55
Fig. 10 Demostración para guardar el archivo en formato “ Shapefile”.....	55
Fig. 11 Guardar el archivo en formato “Shapefile”.....	56
Fig. 12 Proceso para decodificar por colores según estrato.....	56
Fig. 13 Usuarios estratificados por Ruta de Lectura.....	57
Fig. 14 Usuarios georreferenciados divididos en grupos de consumo o estratos en formato Buffer.	58
Fig. 15 Estratificación por método de quintil.....	64
Fig. 16 Estratificación por método de Dalenius-Hodges.....	64
Fig. 17 Metodo de raiz acumulada de frecuencia.....	65
Fig. 18 Promedio de consumos de 12 meses por abonado.....	65
Fig. 19 Estrato por Ruta de Lectura	66
Fig. 20 Ubicación geográfica de abonados en ArcGIS.	66
Fig. 21 Ubicación Georreferenciada en formato Buffer	67

Resumen

El incremento poblacional, desarrollo económico y la inserción de nuevos equipos tecnológicos y electrónicos en los hogares, han demostrado notoriamente incremento de la demanda de energía eléctrica en el sector residencial. Este incremento de la demanda obliga a las empresas eléctricas a aumentar la capacidad del sistema eléctrico para satisfacer la demanda de energía eléctrica. Por razones de la diversidad que presentan en los consumos de energía, se realiza la actualización de agrupamiento de clientes por características de consumo similar. La metodología de la estratificación de abonados está basada en los datos de consumo anual de abonados residenciales de energía eléctrica obtenida desde el Departamento de Sistema de Información Georreferenciado (GIS) de la empresa eléctrica EmelNorte. Para el desarrollo de la estratificación se planteó los métodos de estratificación por Medidas de Posición (Quintil), el método de Dalenius-Hodges y método de Raíz de frecuencias. Tomando en cuenta que el objetivo general del trabajo es la actualización de estratos la metodología aplicada para realización de la estratificación está basada según el formato de cálculo que tiene EmelNorte, el cual, el último estrato es aquello que consumen más de 500 kWh. Para la zonificación se obtuvo las coordenadas, código de cliente y medidor correspondientes a cada consumidor de la base de datos. La asignación de estratos a los abonados se lo hizo mediante el promedio calculado por ruta de lectura y finalmente se cargó a la plataforma ArcGIS los nuevos datos obtenidos.

Palabras Claves: Estratificación, Zonificación, Quintil, Dalenius y Hodges, ArcGIS.

Abstract

Population growth, economic development and the introduction of new technological and electronic equipment in households have shown a marked increase in the demand for electricity in the residential sector. This increase in demand forces electricity companies to increase power system capacity in order to satisfy the demand for electricity. Due to the diversity of energy consumption, customers are grouped according to similar consumption characteristics or strata. The methodology for the stratification of subscribers is based on the annual consumption data of residential electricity subscribers obtained from the Georeferenced Information System (GIS) Department of the EmelNorte electricity company. For the development of the stratification, the methods of stratification by Position Measurements (Quintile), the Dalenius-Hodges method and the Root Frequency method were used. Taking into account that the general objective of the work is to update the strata, the methodology applied to carry out the stratification is based on EmelNorte's calculation format, in which the last stratum is that which consumes more than 500 kWh. For the zoning, the coordinates, customer code and meter corresponding to each consumer were obtained from the database. The assignment of strata to the subscribers was done by means of the average calculated by reading route and finally the new data obtained was uploaded to the ArcGIS platform.

Keywords: Stratification, Zoning, Quintile, Dalenius and Hodges, ArcGIS.

A.1 Introducción

Hoy en día el consumo de energía eléctrica es fundamental para el funcionamiento de aparatos eléctricos como también electrónicos y brindar iluminación a los lugares que los requieran de este servicio, para esto las empresas distribuidoras de energía buscan alternativas para poder determinar y cubrir las demandas de sus clientes (Lepe, 2015).

El Sistema de Distribución de EmelNorte ha experimentado un incremento notable dentro de su área de concesión, dando paso a un aumento acelerado de la construcción de las redes eléctricas, así como un incremento significativo de sus clientes, Este fenómeno tiene implicaciones tanto a corto como a largo plazo que afectan el funcionamiento del sistema eléctrico (Vásquez, 2019).

Por otro lado, el programa de cocción eficiente, el cual fue impulsado por el Gobierno Nacional, mismo que consistió en la sustitución de las cocinas con gas licuado de petróleo (GLP) por las cocinas de inducción las cuales implica un incremento de cargas en el sistema de distribución eléctrica. Esto hace que los dimensionamientos de las redes de distribución se ajusten a una demanda máxima unitaria (Orellana & Pañi, 2015)

De la misma manera, para brindar el servicio eléctrico satisfactoriamente, según la demanda que sostienen los clientes, se habla de la estratificación de clientes, el cual permite a las empresas eléctricas dimensionar correctamente transformador de distribución y proporcionar los servicios de energía eléctrica, sin generar mayores pérdidas, que afecta directamente a las empresas eléctricas: Tiene antecedentes cercanos a nuestro entorno como es el caso de Colombia; donde se ha llevado un proceso de clasificación sectorial de acuerdo con el nivel socioeconómico para cálculo de las tarifas de cada uno de los servicios públicos (Campoverde & Sanchez, 2012).

En el sector eléctrico se habla de la estratificación para la determinación de la demanda en transformadores al observar una relación directa entre el consumo mensual de un abonado y su demanda pico diaria según el método REA (Campoverde & Sanchez, 2012).

El desarrollo del presente trabajo de grado tiene el fin de actualizar la estratificación de los abonados, para el dimensionamiento idóneo de los transformadores de distribución, según las demandas que soliciten los abonados, de esta manera la empresa eléctrica EmelNorte obtenga menores pérdidas de energía y evitar la subutilización de sus transformadores.

A.2 Planteamiento del problema

La empresa eléctrica EmelNorte clasifica en 5 tipos de consumidores: residenciales, comerciales, industriales, alumbrado público y otros. La residencial abarca el uso doméstico de los consumidores. En EmelNorte los consumidores residenciales se los clasifican en 5 tipos de estratos (A, B, C, D y E).

En los últimos años el incremento de la población, el avance de las tecnologías y las necesidades que requieren ser cubiertas, en gran medida han incrementado el consumo de energía eléctrica en el sector residencial, lo cual lleva a las empresas eléctricas a mejorar sus redes de distribución y subtransmisión a fin de proporcionar servicio de calidad y confiable (Campoverde & Sanchez, 2012).

Debido a la diversidad de consumos de los clientes del área de concesión de la empresa eléctrica EmelNorte, es necesario actualizar y agrupar a los abonados de tal manera que se mantengan las características comunes entre los clientes que tengan consumos similares.

El problema

¿Cuáles parámetros influyen en la estratificación de abonados residenciales por consumo en la empresa eléctrica EmelNorte?

A.3 Objetivo general:

- Desarrollar la actualización de estratificación de abonados residenciales por consumo en la empresa eléctrica EmelNorte, mediante el análisis de datos estadísticos, clasificación que servirá para el dimensionamiento de los transformadores de distribución.

A.4 Objetivos específicos:

- Determinar los parámetros para la clasificación de abonados residenciales de acuerdo con los niveles de consumo.
- Identificar los diferentes métodos de estratificación en función del consumo de energía eléctrica de los abondos residenciales de la empresa eléctrica EmelNorte.

- Desarrollar la metodología del procedimiento de la estratificación de los abonados residenciales como una propuesta dentro del proceso de cálculo de la demanda de diseño.

A.5 Alcance del trabajo

A través de un análisis teórico se establece un desarrollo a nivel descriptivo, la estratificación de los abonados residenciales por consumo perteneciente a la zona de concesión de la empresa eléctrica EmelNorte.

Este desarrollo de estratificación se basa en la determinación de parámetros para la realización de estratificación de abonados, por grupos de consumo homogéneos a través del análisis de datos estadísticos del consumo de energía eléctrica.

Para este desarrollo se involucra parámetros estadísticos como; la muestra, media aritmética, frecuencia acumulada, muestreo aleatorio, coeficiente de variación entre otras, el software ArcGIS y programa informático Excel de Microsoft Office. Los datos estadísticos de consumo de energía eléctrica, para la estratificación de abonados residenciales, serán adquiridos desde el Departamento de Sistema de Información Georreferenciado (GIS) de la empresa eléctrica EmelNorte.

Este proyecto permitirá a la empresa eléctrica EmelNorte a realizar proyectos eléctricos de red eléctrica de bajo voltaje dimensionando correctamente las capacidades de los transformadores. El proyecto llevará a obtener los estratos de consumo que formaran partes de la norma.

A.6 Justificación- Detalle del Impacto

EmelNorte es una empresa que brinda servicios públicos de suministro de energía eléctrica en su área de concesión, la cual abarca: los cantones de Pedro Moncayo y Cayambe en la provincia de Pichincha, las provincias de Imbabura y Carchi, cantón Sucumbíos en la provincia del mismo nombre y los sectores de Alto Tambo y Durango en la provincia de Esmeraldas. EmelNorte se caracteriza por brindar un servicio de calidad, con un enfoque social y ambientalmente responsable (Ruíz, 2021).

La empresa eléctrica EmelNorte abastece el servicio eléctrico a toda área del norte del país, por tanto, la institución distribuye la energía eléctrica a cada uno de los sectores en

condiciones óptimas según los requerimientos de cada área. Las ciudades como Ibarra, Cotacachi, Otavalo, Cayambe entre otras ciudades presentan un crecimiento estructural urbano y rural, y las demandas energéticas son cada vez más elevadas.

La alternativa que la empresa eléctrica posee para dimensionar sus redes y cubrir las demandas de los abonados eficazmente es estratificando a los abonados según su categoría de consumo de energía, así evita pérdidas de energía para la empresa por su inadecuado dimensionamiento de sus transformadores.

Cabe recalcar que la empresa eléctrica cuenta ya con la estratificación de abonados, pero sin embargo es de importancia realizar la respectiva actualización debido a su incremento de demandas en estos últimos años.

CAPITULO 1

Determinación de Parámetros para la Estratificación de Abonados Residenciales

La estratificación es una técnica de encuesta que es muy utilizada, debido a que sirve para muchos propósitos, entre ellos está el de encontrar resultados que se aproximen a la realidad del universo.

De hecho, se tiene como objetivo determinar los parámetros para la estratificación, a fin de comprender mejor el lenguaje, la terminología usada en el muestreo y estudio de carga del sector residencial de la Zona de concesión de EmelNorte. Por consiguiente, con la revisión bibliográfica realizada se establece los siguientes conceptos y definiciones para: la determinación de muestreo, estratificación o muestreo estratificado y para la demanda y categoría de usuarios.

1.1. Para la Determinación de Muestreo

Para la determinación del muestreo se requieren conocer los siguientes aspectos: elemento, universo muestral, muestra, unidad muestral, marco muestral, Muestreo estratificado, muestreo sesgado, desviación estándar, caja y bigotes, varianza y medidas de posición. Estos se describen a continuación:

1.1.1. Elemento

Un elemento, es el objeto del cual se toma mediciones y se obtiene la información que es necesario para realizar un estudio.

1.1.2. Universo Muestral

También se le conoce como población, se refiere al conjunto de elementos que exhiben una o más características de interés que se observan. A menudo se hace referencia a ella como la población objetivo, ya que es el enfoque principal o el interés del estudio (Ochoa, 2015).

1.1.3. Muestra

Es un subconjunto o parte de una población de individuos del que se desea estudiar. Se emplea esta opción debido a que es más fácil tratar el estudio con una reducida cantidad de elementos (Ochoa, 2015).

1.1.4. Unidad Muestral

Una unidad muestral no es nada más que un elemento seleccionado de la población.

1.1.5. Marco Muestral

Es un listado completo de todos los elementos seleccionados de la población. Estos elementos por investigar pueden ser individuos, hogares, instituciones o cualquier otro tipo susceptible de ser investigada (Ochoa, 2015).

1.1.6. Área típica de la carga

La población que tienen características más o menos uniformes en cuanto a las construcciones, nivel económico de los usuarios y tipo de actividades que se desarrollan. La determinación de las áreas típicas de carga permite realizar con cierta facilidad levantamientos sobre la base de muestreos que permitan obtener la carga total de área y normalizar las soluciones de tipo técnico (Montesdeoca, 2005).

1.1.7. Muestreo

Es el proceso a través del cual se selecciona a una parte de la población, esta deberá proveer información que sea confiable.

1.1.8. Muestreo Estratificado

Parte de la población de la que hay que extraer la muestra, esta subdividida en varios grupos, llamados estratos, cada uno de los cuales debe ser internamente homogéneo (Montesdeoca, 2005)

En otros términos, es un procedimiento donde el objetivo de la población es que se separe en segmentos exclusivos, homogéneos y posteriormente la selección de una muestra aleatoria simple de cada segmento.

1.1.9. Muestreo Sesgado

Se dice que la muestra es sesgada cuando hay diferencias entre los datos de la muestra y los datos de la población (Fernández, 2020).

También se lo conoce como muestreo dirigido, como su nombre lo indica, los elementos de la población que llegaran a ser parte de la muestra, se los escoge en base a observación y por sospecha de que puedan servir para determinado estudio.

1.1.10. La Media Aritmética o Promedio

Es una medida estadística que se utiliza para representar un conjunto de datos cuando los datos presentan poca variabilidad (Matos, Contreras, & Olaya, 2020). Generalmente tiende ubicarse en el centro de las observaciones.

Se obtiene sumando todos los valores del conjunto de datos obtenidos y dividiendo el resultado entre el número total de datos.

La media aritmética calculada se representa en el caso de ser una muestra por " \bar{x} ", y con " μ " si es población (Rodríguez, 2018)

1.1.11. Desviación Estándar

Esta nos indica la variabilidad que se puede dar hacia arriba y por debajo del promedio de un listado de valores, que pueden ser mediciones, lecturas, entre otras.

1.1.12. Caja y bigotes

Según (Donoso, 2021):

Los diagramas de Caja-Bigotes (boxplots o box and whiskers) son una presentación visual que describe varias características importantes, al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría.

Para su elaboración, se dibuja un rectángulo, ya sea en posición horizontal o vertical, que incluye la representación de los tres cuartiles, así como los valores mínimo y máximo de los datos.

1.1.13. Varianza

La varianza o variación es una medida de la dispersión de una variable aleatoria (valores que se obtienen de manera aleatoria). Es considerablemente utilizada en el área de estadística expresado, a través de un número, la variabilidad de dicha dispersión (Riquelme, 2022). Es decir, mide cuanto se alejan los valores individuales del conjunto de datos de la media del conjunto.

La varianza cómo medida de dispersión

La varianza y la desviación estándar son medidas que permiten cuantificar la dispersión o variabilidad de los datos u observaciones. La dispersión de estos datos indica la variedad que estos presentan, es decir, si todos los valores en un conjunto de datos son iguales, entonces no hay dispersión, pero en cambio, si no todos son iguales entonces hay dispersión (Riquelme, 2022).

1.2. Para la Estratificación o Muestreo Estratificado

El término estratificación es usado para referirse al sistema de formación de capas, clases o categorías; en la actualidad, se lo utiliza para describir la acción y efecto de organizar algo (personas, cosas, etc.) en categorías (León, 2017).

La palabra estratificación posee diversos significados, dependiendo del contexto en el que sea utilizado. En agricultura, por ejemplo, se utiliza para describir una forma particular de organizar las semillas durante la siembra.

La estratificación social es una forma particular de desigualdad social. Todas las sociedades organizan a sus miembros en términos de superioridad, inferioridad e igualdad. La estratificación implica un proceso de interacción o diferenciación mediante el cual ciertas personas son consideradas como más privilegiadas o superiores a otras.

Esta técnica separa los datos para que se pueda encontrar patrones que de otra manera no se podrían ver y es de utilidad en el trabajo ya que se evita el uso de histogramas y diagramas de dispersión (Hernández, 2017).

Entonces se puede notar que la estratificación es muy importante por su amplia utilidad que se da para la categorización en diversas áreas sea agricultura, socioeconómica, nivel de desarrollo social, demanda energética por consumo, entre otras. También da mayor

facilidad de trabajar con datos por cantidades y al emplear este método no es necesario proceder por medio del uso de histogramas y diagramas de dispersión.

A continuación, se describe los conceptos que se debe tomar en cuenta en el proceso de estratificación sea según por: Tipos de estratificación, métodos de estratificación e histograma.

1.2.1. Tipos de estratificación o muestreo estratificado

Roldán (2019) menciona que el muestreo estratificado se define por el tamaño de cada estrato y según eso define los siguientes tipos de muestreo: Muestreo estratificado proporcionado o proporcional, Muestreo estratificado óptimo.

a) Muestreo estratificado proporcionado o proporcional

El tamaño de muestra de cada estrato es proporcional al tamaño total de la población, lo que significa que cada estrato tiene la misma fracción de muestreo en la muestra (Escarcega, 2022).

Es decir que la muestra debe tener estratos que guarde las mismas proporciones observadas en la población.

b) Muestreo estratificado óptimo

A diferencia de las estratificaciones anteriores esta no cuenta con la proporcionalidad de la población. Por el contrario, esta se trata de optimizar el tamaño muestral de cada estrato con el objetivo de reducir el margen de error global teniendo en cuenta el tamaño de cada estrato en la población y su desviación estándar (Ochoa, Muestreo probabilístico: muestreo estratificado, 2015).

Dicho de otra manera, con el fin de obtener una representación más precisa de la muestra total, se seleccionan estratos de mayor tamaño en aquellos grupos poblacionales que presentan una mayor variabilidad interna. El muestreo óptimo es importante porque trata de reducir el margen de error del estudio probabilístico.

1.2.2. Métodos de estratificación

Para el estudio de la estratificación existen algunos métodos con sus diferentes técnicas de desarrollo, pero con un mismo fin, entre las más destacadas se tiene los siguientes:

1.2.2.1. Estratificación multivariada

El propósito de la estratificación multivariada es resumir la información de múltiples variables utilizadas en el análisis en una medida unidimensional. Esta medida permite clasificar las observaciones en grupos que son homogéneos internamente y al mismo tiempo diferentes entre sí (León, 2017).

A continuación, se describe en breve las técnicas empleadas para la estratificación:

Componentes principales:

Para efectuar un análisis de datos multivariados, como primer paso, se sugiere aplicar la técnica de componentes principales.

La técnica de componentes principales permite observar las estructuras de variación de los datos y, en algunos casos, identificar observaciones atípicas o variables cuya aportación es mínima o redundante para realizar la clasificación (SCINCE, 2010).

El método de componentes principales resume la información de un conjunto de variables a través de la construcción de un conjunto con mínimo número de variables.

Es fundamental que el usuario examine la efectividad de aplicar este método de estratificación, teniendo en cuenta que el porcentaje de varianza explicada por el primer componente principal debe acercarse lo más posible al 100 por ciento (SCINCE, 2010).

Los resultados que se obtiene mediante el análisis de componentes principales permiten estudiar la estructura y comportamiento de los datos que se incluyan en el modelo de estratificación (SCINCE, 2010).

Después de analizar los resultados numéricos y las gráficas proporcionadas, el usuario podrá determinar si las variables incluidas en el estudio son relevantes o si, por el contrario, son redundantes, es decir, si aportan poca información para la estratificación (SCINCE, 2010).

1.2.2.2. Medidas de posición

Cuando una distribución tiene un gran número de intervalos o marcas de clase y se desea obtener un promedio de una parte específica de ella, es posible dividir la distribución en cuatro, diez o cien partes. En el primer caso se habla de cuartiles, en el segundo de deciles y, en el último, de centiles o percentiles (Martínez, Estadística y Muestreo, 2012, como se citó en Robayo, 2020).

Los cuartiles, deciles y percentiles se utilizan con más frecuencia cuando se trata de variables continuas, y además cuando son números de intervalos grandes y se desee obtener un promedio que corresponda a una cierta parte de la distribución (Robayo-Botiva, 2020).

Cuartiles:

Son medidas estadísticas que poseen la propiedad de dividir una serie de datos en cuatro grupos, donde cada grupo contiene la misma cantidad de términos. La mediana divide la serie en dos partes iguales y tres cuartiles (Sánchez, 2022).

Quintiles:

Los quintiles son medidas de posición el cual divide a las observaciones o datos en 5 partes iguales (Institutoclaret.cl, 2020).

Donde:

El Q_1 es el primer quintil, el valor que se ubica por debajo del 20% de todas las observaciones.

El Q_2 se encuentra por debajo del 40%.

El Q_3 por debajo de 60%.

Y, el Q_4 por debajo del 80% de todas las observaciones.

Deciles:

Los deciles se dividen los datos en 10 partes iguales

- Se calcula desde el D1 al D9

Centiles o Percentiles:

Se dividen los datos en 100 partes iguales

- Se calcula del P1 al P99

Los cuartiles y quintiles son muy utilizados generalmente en la determinación de estratos, grupos correspondientes a fenómenos socioeconómicos, monetarios o teóricos.

1.2.2.3. Método de Dalenius Hodges

El método de Dalenius-Hodges (1959) implica la creación de estratos de manera que se minimice la varianza en cada uno de ellos (SCINCE, 2010). Forma estratos lo más homogéneos posibles.

Este procedimiento se basa en la raíz de las frecuencias acumuladas para la construcción de los estratos. Se realiza dividiendo la población en un determinado número de estratos.

1.2.3. Histograma

El histograma permite visualizar gráficamente la distribución de las observaciones en cada uno de los estratos. El usuario puede determinar si los estratos son homogéneos en cuanto al número de observaciones que contienen, o bien, si uno de los estratos resultantes contiene muy pocas observaciones, lo que pudiera indicar la presencia de observaciones atípicas (SCINCE, 2010).

1.2.4. ¿Cuándo se emplea el muestreo estratificado?

Escarcega (2018) sustenta que el muestreo estratificado es la mejor opción entre los métodos de muestreo probabilístico cuando se considera que los subgrupos tendrán valores medios diferentes para las variables que se están estudiando.

Por tanto, considera que el uso de la técnica de muestreo estratificado se puede emplear si se da los siguientes casos:

- Hay un amplio espacio para dividir a toda la población en estratos homogéneos.
- La población objetivo presenta heterogeneidad, y existen subgrupos que son notablemente diferentes entre sí.

- El análisis comparativo de los estratos es lo que se busca.

En conclusión, este tema de estratificación es de mucha utilidad para un trabajo probabilístico, por su precisión en los resultados siendo con menor porcentual de error en las estimaciones y ser muy conveniente para trabajar con muestras pequeñas y garantiza varianzas similares.

1.3. Demanda y sus categorías

El estudio de la demanda y sus categorías de usuarios abarca conceptos como son: la carga, carga instalada, demanda, demanda máxima, periodo de medición, consumo residencial, consumidor regulado, consumidor industrial, consumidor residencial y curvas de carga. Estos se detallan a continuación:

1.3.1. Carga

La carga es la potencia promedio entregada en un punto en un intervalo de tiempo. Este puede aplicarse a un sistema, parte del sistema, consumidor individual o grupo de consumidores (Montesdeoca, 2005).

En la planeación de los sistemas de distribución una de las características importantes que establece el criterio de diseño, es lo que se conoce como la característica de la carga que varía según el tipo de usuario, sea de tipo industrial, residencial o rural, dependiendo de manera directa a los equipos a los que se va a servir de energía eléctrica, para su funcionamiento (Yanza, 2016).

1.3.2. Carga Instalada

Es la suma de las potencias nominales de los aparatos y equipos que se encuentran conectados en un área determinado, ésta se expresa en kVA o en MVA (Yanza, 2016).

1.3.3. Demanda

La demanda es la potencia o es la sumatoria que existe entre la carga y pérdidas de potencia que se presentan en un determinado instante en el que un conjunto de usuarios o un sistema consumen potencia (Yanza, 2016).

Ésta puede ser expresado en kW, kVA, o kilo amperes a un factor de potencia determinado.

1.3.4. Demanda Máxima

Es la mayor demanda ocurrida en un sistema o en una parte que de él, durante el periodo interesado. Por ejemplo, demanda máxima diaria, mensual, anual. Comúnmente se la llama demanda o carga pico (Montesdeoca, 2005). En esta incluye potencia y pérdidas.

1.3.5. Periodo de la medición de la demanda

Es el tiempo durante el cual se realiza la medición de la demanda, puede ser de corto plazo, mediano plazo y de largo plazo.

Montesdeoca (2005) sustenta a los diferentes periodos de la medición de la demanda de la siguiente manera:

- **Corto plazo**

El periodo de medición de demando a corto plazo puede ser a diario, que es utilizado usualmente para fines de muestreo de usuarios sean estos residenciales, comerciales o industriales, cuando la información requerida es totalmente preliminar.

Las mediciones semanales y mensuales son de utilidad para, detectar el comportamiento de la carga de alimentadores primarios y redes secundarias, con miras a futura expansión de servicio.

Medidas de periodos estacionales suelen ser utilizados para programar ciertos trabajos de operación y mantenimiento.

Un periodo anual de medición de la demanda permite realizar mejoras en capacidad de transformación de una subestación o mejorar las necesidades de generación.

- **Mediano Plazo**

Se consideran periodos de dos a cuatro años, para tomar en cuenta cambios en la economía de la región, desarrollo industrial, comercial, agrícola, entre otros.

- **Largo Plazo**

Se consideran periodos de cinco a diez años o mayores, permite la planeación de nuevas centrales, su instalación y operación en el Sistema de Potencia.

1.3.6. Categoría de Consumo Residencial

Este servicio público de energía eléctrica se destina exclusivamente al uso doméstico de los consumidores, es decir, a la electricidad utilizada en las residencias de las familias, sin importar el tamaño de la carga conectada.

Esta categoría abarca a aquellos consumidores con bajos niveles de consumo y recursos económicos limitados, quienes también pueden llevar a cabo actividades comerciales o artesanales de pequeña escala en sus hogares.

La distribuidora es responsable de evaluar las características del consumo de energía eléctrica y, en caso necesario, recomendar la separación de los consumos en circuitos independientes con su propio sistema de medición y la tarifa correspondiente.

1.3.7. Consumidor regulado

Es la persona natural o jurídica que mantiene un contrato de suministro con la empresa eléctrica de distribución y que se beneficia con la prestación del servicio público de energía eléctrica (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018).

El consumidor regulado esta dividida en las siguientes categorías: Residencial, industrial y comercial.

a) Consumidor residencial

Se considera consumidor residencial, ya sea una persona natural o jurídica, pública o privada, que utiliza exclusivamente dicha energía en el ámbito doméstico, es decir, en la vivienda de la unidad familiar, sin importar la magnitud de la carga eléctrica conectada (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018).

b) Consumidor industrial

Es la persona natural o jurídica, pública o privada, que utilizan los servicios de energía eléctrica con el propósito de elaborar o transformar productos. Además, esta definición incluye a los agroindustriales, que se dedican a la transformación de productos provenientes de la

agricultura, ganadería, recursos forestales y pesca (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018).

c) Consumidor comercial

Persona natural o jurídica, pública o privada, que utiliza los servicios de energía eléctrica para fines de negocio, actividades profesionales o cualquier otra actividad con fines de lucro (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018).

1.3.8. Curva de Carga

La curva de carga es la representación gráfica donde se aprecia la variación de carga en un periodo determinado. A través de estas curvas se obtiene la energía consumida por medio del cálculo del área bajo la curva.

La Figura. 1, indica el comportamiento típico que se da diariamente en los diferentes sectores de consumo energético y la total.

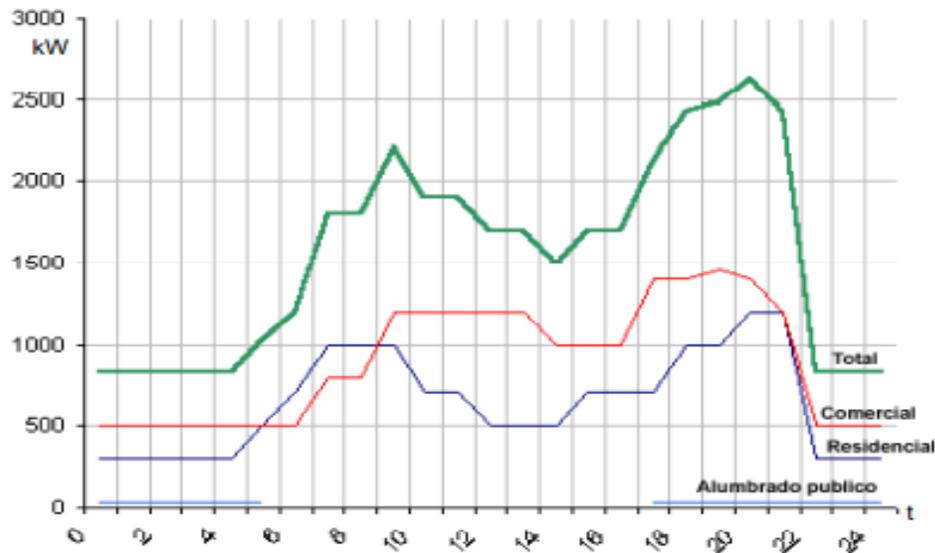


Fig. 1 Curva de cargas de diferentes sectores de consumo.
Fuente: Obtenida de (Ramírez, 2012)

Cada una de las curvas de la Figura. 1, representa a diferentes sectores de consumo energético, su elevación de consumo varía notoriamente.

La curva de carga de tipo residencial la cual se identifica con color azul tiene la particularidad que su demanda máxima se presenta alrededor de las 18h30 a 22h00 aproximadamente, es el intervalo de tiempo donde los usuarios empiezan a llegar a sus residencias y producen mayor demanda de energía.

La curva de carga del tipo comercial tiene la particularidad que su demanda máxima se presenta alrededor de las 9h30 a 21h00 aproximadamente, horario en que se registra mayor activismo de consumo para cargas comerciales, que corresponde al comportamiento de negocios y empresas.

Por último, aunque no se demuestra en la Figura. 1, también vale mencionar la curva de carga del tipo industrial, este consumo se asemeja mayormente al horario de consumo de la curva de tipo comercial.

CAPITULO 2

Identificación de Métodos de Estratificación para el Consumo de Energía

De la determinación de parámetros de estratificación del consumo de energía eléctrica para abonados residenciales dentro del área de concesión de la empresa eléctrica EmelNorte, se realizó la respectiva identificación de métodos para la estratificación.

A continuación, se presenta los temas a tratar en este capítulo como son: La metodología, descripción del área de Concesión de la empresa eléctrica EmelNorte S.A., descripción del software ArcGIS, criterios para la estratificación y zonificación y métodos para la estratificación.

2.1. Metodología:

El desarrollo del proyecto se realizó siguiendo el orden como se indica en la siguiente Figura. 2.

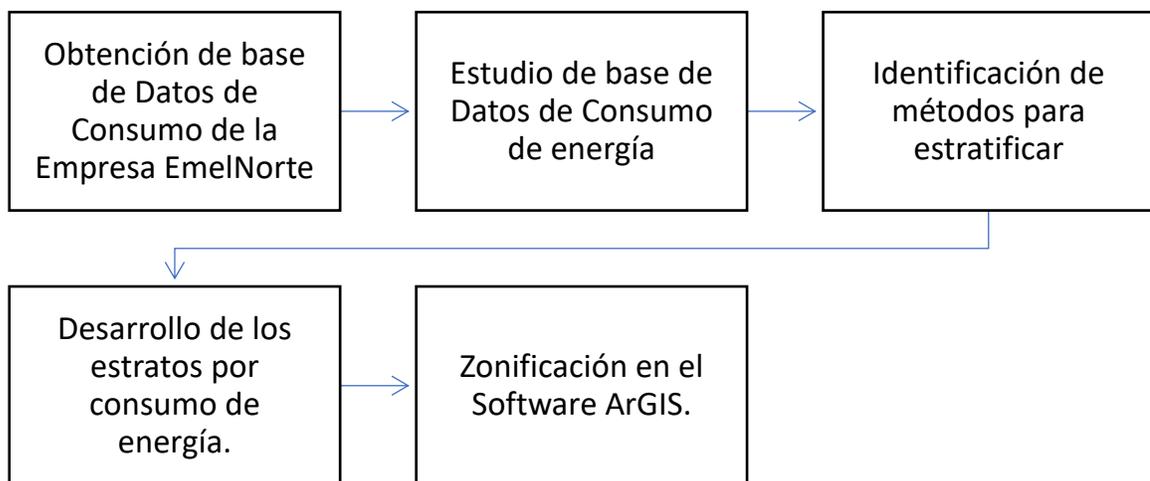


Fig. 2 Proceso metodológico del desarrollo del proyecto.

En primer lugar, se procedió a la respectiva obtención de base de datos desde el Departamento de Sistema de Información Georreferenciado (GIS), de la empresa eléctrica EmelNorte, bajo previa solicitud presentada.

En el segundo paso, se procede al estudio de los mencionados datos obtenidos desde la empresa eléctrica EmelNorte, así para realizar el planteamiento del posterior avance.

En el tercer paso, se procedió a la identificación de métodos para la respectiva estratificación a partir de los datos promedios de doce meses de consumo de energía eléctrica.

En el cuarto paso, se realizó la respectiva aplicación de los métodos definidos para la estratificación de los abonados residenciales, y.

Finalmente, se procedió a la realización de la respectiva zonificación en el Software ArcGIS.

La información proporcionada por EmelNorte contiene también los valores de consumo de energía, datos geográficos (X y Y) de los consumidores, número de medidores y Código de cliente, lo cual es importante para la realización de la Zonificación de estratos en el software ArcGIS.

2.2. Descripción del Área de Concesión de EmelNorte S.A.

EmelNorte S.A., una empresa con una trayectoria legal de 47 años, se dedica a ofrecer servicios de suministro de energía eléctrica a la población en su área de concesión, destacándose por su enfoque en la calidad, calidez, responsabilidad social y ambiental, que comprende: los cantones de Pedro Moncayo y Cayambe en la provincia de Pichincha, las provincias de Imbabura y Carchi, cantón Sucumbíos en la provincia del mismo nombre y los sectores de Alto Tambo y Durango en la provincia de Esmeraldas (Rosales, 2020).

En la actualidad EmelNorte S.A., cuenta como accionistas al Estado Ecuatoriano a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, consejos provinciales de Imbabura, Carchi, Pichincha, Sucumbíos, municipios de: Ibarra, Tulcán, Montufar, Espejo, Mira, Otavalo, Cotacachi, Antonio Ante, Pimampiro, Bolívar, Urcuquí, Cayambe, Pedro Moncayo, Sucumbíos, y un porcentaje mínimo de accionistas particulares (DIRECCION DE PLANIFICACION EMELNORTE, 2015)

Reyes (2006) indica que el contrato de concesión con el CONELEC fue suscrito el 26 de abril del año 2000, y está habilitada para realizar actividades de distribución y comercialización

de energía eléctrica, hacia un mercado conformado por consumidores residenciales, comerciales e industriales tanto en áreas urbanas como rurales.



Fig. 3 Área de concesión de EmelNorte S.A. dividida por provincias.
Fuente: (DIRECCION DE PLANIFICACION EMELNORTE, 2015).

A continuación, se procede a determinar los cantones a los cuales abarca el servicio la empresa eléctrica EmelNorte.

Tabla 2.1

Cantones pertenecientes al área de concesión EmelNorte S.A.

PROVINCIAS DEL ÁREA DE CONCESIÓN DE EMELNORTE SA.				
	CARCHI	IMBABURA	PICHINCHA	SUCUMBÍOS
CANTONES	Tulcán	Ibarra	Cayambe	Sucumbíos
	espejo	Otavalo	Pedro Moncayo	
	Montúfar	Cotacachi		
	Mira	Antonio Ante		
	Bolívar	Pimampiro		
	Huaca	Urcuquí		

Fuente: (DIRECCION DE PLANIFICACION EMELNORTE, 2015).

En la provincia de Sucumbíos se presta el servicio solo a las parroquias El Playón de San Francisco y Santa Bárbara, perteneciente al cantón Sucumbíos.

2.3. Descripción del programa informático Microsoft Excel

El programa ofimático Excel es una herramienta desarrollada por Microsoft dentro del sistema operativo Windows. Su función principal es la creación de hojas de cálculo. Ampliamente reconocido en el ámbito laboral, Excel se considera una solución poderosa para diversas tareas (Llamas, 2023).

El Excel es una hoja de cálculo que permite al usuario manejar datos numéricos y de texto. Esta hoja presenta tablas formada por la unión de filas y columnas.

2.4. Descripción del Software ArcGIS

ArcGIS es un sistema integral que posibilita la recopilación, organización, gestión, análisis, compartición y distribución de información geográfica de manera eficiente y efectiva. Es la plataforma líder mundial para crear y utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación, entre otros (SIGSA, 2022).



Fig. 4 Software ArcGIS 10.6.

¿Qué es el ArcGIS Desktop?

El ArcGIS Desktop es el conjunto de aplicaciones conformadas por: ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox.

ArcMap

ArcMap es la parte central del ArcGIS Desktop. Por otro lado, la aplicación SIG es la usada para las actividades correspondientes al mapeo, incluyendo cartografía, análisis y edición de mapas (ESRI, 2002).

ArcCatalog

ArcCatalog es una aplicación que facilita la organización y gestión de todos los datos SIG. Ofrece herramientas para explorar y localizar información geográfica, para registrar y visualizar metadatos, para obtener una vista rápida de cualquier conjunto de datos y para definir la estructura del esquema de capas de datos geográficos (ESRI, 2002).

ArcToolbox

ArcToolbox es una aplicación que contiene herramientas SIG usadas para el geoprocésamiento. Existe dos versiones de ArcToolbox: la ArcToolbox completa que viene con ArcInfo y la otra con los softwares ArcView y ArcEditor, las cuales son una versión sencilla (ESRI, 2002).

Utilizando estas tres aplicaciones mencionadas en conjunto, se puede realizar cualquier trabajo de SIG. Los trabajos se pueden realizar desde una simple hasta una muy avanzada, incluyendo mapeo, administración de datos, análisis geográficos, edición de datos y geoprocésamiento (ESRI, 2002).

2.5. Datos necesarios para el proceso de Estratificación y Zonificación

Para el desarrollo de la estratificación y la zonificación, es necesario disponer de los siguientes datos según (Carvajal, 2018):

- Código de identificación del usuario.
- Consumo de energía de un año por cliente.
- Localidad a la que pertenece cada consumidor.
- Coordenadas "X" y "Y" (latitud y longitud de cada medidor).
- Nivel de voltaje a la que se encuentra conectado cada usuario.
- Identificación del transformador al que se encuentra conectado cada usuario.
- Ruta de lectura
- Datos de la zona de concesión de la empresa.
- Clasificación de los sectores rurales y urbanas.

Por consiguiente, se detallan los criterios en los que se basa la zonificación:

- La información primordial para la zonificación es el promedio de energía facturada de usuario del año 2022.
- Los usuarios cuyas coordenadas (X y Y) no estén registradas no son tomados en cuenta en la elaboración del mapa de estratos.
- Los usuarios cuya tarifa sea menor o igual a cero no son considerados en el análisis.
- Solo se consideran a usuarios cuyo voltaje de servicio es de bajo voltaje.
- Solo se considera en la zonificación el grupo tarifario residencial.

2.6. Métodos para el desarrollo de los estratos por consumo de Energía Eléctrica

Los métodos más viables para el desarrollo de la estratificación son los métodos de: Medidas de Posición (Cuartiles), Dalenius-Hodges y Raíz de frecuencia. Estos métodos mencionados permiten la elaboración de la estratificación de abonados de consumo de energía tipo residencial. A continuación, se indica las ecuaciones probabilísticas, estadísticas y ejemplos desarrollados con datos reales.

2.6.1. Agrupación de datos por intervalos de consumo

Para continuar con el debido proceso los datos de consumo de energía eléctrica por consumidor, es descargada desde el departamento de Sistema de Información Georreferenciado (GIS) de la empresa eléctrica EmelNorte. Se realiza la filtración únicamente de abonados correspondientes al sector residencial en bajo voltaje, gracias a la facilidad que brinda el programa informático Microsoft Excel.

A continuación, se procede a trabajar con los valores de consumo por mensual de cada abonado residencial, siendo un total de 12 meses y sacar un valor promedio anual.

Una vez ya realizado los promedios de consumo anual, se descarta los abonados con consumo 0 kWh y/o sin datos de coordenadas las cuales pasan a ser datos atípicos.

De igual manera se procede a agrupar por intervalo de frecuencias a los datos, como se demuestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2

Cantones pertenecientes al área de concesión EmelNorte S.A.

kWh	Frecuencia
10	20739
20	10343
30	10296

40	11511
50	12794
60	13982
70	14617
80	14364
90	14087
100	13218
110	10840
120	9252
130	8081
140	6813
150	5959
160	4980
170	4251
180	3544
190	2932
200	2561
210	2241
220	1907
230	1595
240	1391
250	1195
260	1086
270	945
280	781
290	692
300	612
310	505
320	499
330	420
340	343
350	286
360	288
370	254
380	220
390	211
400	194
410	166
420	160
430	172
440	112
450	100
460	114
470	108
480	74
490	82
500	72
>500	1343
<hr/>	
213332	
<hr/>	

En la Tabla 2.2, los datos de consumo de energía están divididas en intervalos de 10 hasta los 500 kWh. Los datos superiores a 500 se generalizan en un solo intervalo hasta el valor del máximo de consumo. De la misma manera se puede apreciar en la Figura 5.

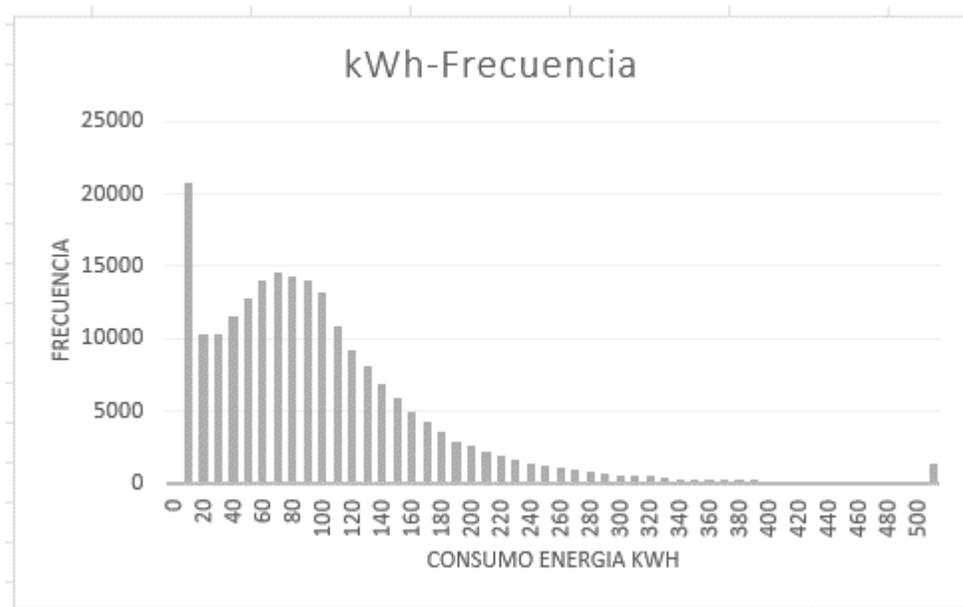


Fig. 5 Histograma de consumo vs frecuencia

La Figura. 5, indica un histograma de consumo de energía en kWh con respecto a la cantidad de abonados residenciales, donde se aprecia que la mayoría de estos abonados tienden a tener consumos bajos energía y muy poca cantidad de abonados tienen un alto consumo de energía.

2.6.2. Estrato por Medida de Posición (Quintil).

Las medidas de posición determinan en una serie de datos o en una distribución de frecuencias valores específicos, además proporciona información resumida de la variable objeto de estudio (Ayala, 2020).

Para encontrar la posición de los quintiles deseados se aplica la Ecuación 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 siempre que las observaciones sean no agrupadas:

$$Q_1 = \frac{1(N+1)}{5} \tag{2.1}$$

$$Q_2 = \frac{2(N+1)}{5} \quad (2.2)$$

$$Q_3 = \frac{3(N+1)}{5} \quad (2.3)$$

$$Q_4 = \frac{4(N+1)}{5} \quad (2.4)$$

Donde:

Q_1 = Quintil uno

Q_2 = Quintil dos

Q_3 = Quintil tres

Q_4 = Quintil cuatro

N = Total de datos

En caso de ser datos agrupados se procede a utilizar la siguiente Ecuación 2.5:

$$Q_k = L_i + \left(\frac{\frac{k \cdot N}{5} - F_{i-1}}{f_i} \right) * C \quad (2.5)$$

Donde:

L_i = Límite inferior del rango

f_i = Frecuencia

F_i = Frecuencia acumulada

i = Número de clase

k = Orden de estrato ($k = 1, 2, 3, 4, 5$)

Q_k = Estrato o Quintil en posición k .

C = Rango ($L_s - L_i$).

El intervalo de los quintiles corresponde a la división exacta en 20% de todas las observaciones en cinco partes iguales.

A continuación, se realiza el desarrollo respectivo de la tabla de datos agrupados por intervalos de diez, frecuencia y frecuencia acumulada (Ver Tabla 2.3):

Tabla 2.3*Datos agrupados por frecuencias y frecuencia acumulada*

Clase	Límite Inferior (Li.)	Límite Superior (Ls.)	Frecuencia (fi)	Frecuencia Acumulada (Fi)
1	0	10	20739	20739
2	10	20	10343	31082
3	20	30	10296	41378
4	30	40	11511	52889
5	40	50	12794	65683
6	50	60	13982	79665
7	60	70	14617	94282
8	70	80	14364	108646
9	80	90	14087	122733
10	90	100	13218	135951
11	100	110	10840	146791
12	110	120	9252	156043
13	120	130	8081	164124
14	130	140	6813	170937
15	140	150	5959	176896
16	150	160	4980	181876
17	160	170	4251	186127
18	170	180	3544	189671
19	180	190	2932	192603
20	190	200	2561	195164
21	200	210	2241	197405
22	210	220	1907	199312
23	220	230	1595	200907
24	230	240	1391	202298
25	240	250	1195	203493
26	250	260	1086	204579
27	260	270	945	205524
28	270	280	781	206305
29	280	290	692	206997
30	290	300	612	207609
31	300	310	505	208114
32	310	320	499	208613
33	320	330	420	209033
34	330	340	343	209376
35	340	350	286	209662

36	350	360	288	209950
37	360	370	254	210204
38	370	380	220	210424
39	380	390	211	210635
40	390	400	194	210829
41	400	410	166	210995
42	410	420	160	211155
43	420	430	172	211327
44	430	440	112	211439
45	440	450	100	211539
46	450	460	114	211653
47	460	470	108	211761
48	470	480	74	211835
49	480	490	82	211917
50	490	500	72	211989
51	500	>500	1343	213332
213332				

Para el desarrollo de estratos por medio del método de quintiles previamente se obtiene datos preliminares donde:

$$k = 1$$

$$F_{total} = 213332$$

$$C = 10$$

Con los datos previos identificados se procede a calcular el valor de i con el cual se puede distinguir en que orden se encuentra dicho valor calculado. Para el cálculo se aplica la Ecuación 2.1.

$$i = \frac{1 * 213332}{5} = 42666,4$$

El valor calculado se busca en la Tabla 2.3 columna de frecuencia acumulada. Generalmente el valor calculado i no exactamente se encuentra en la tabla por ende se aproxima al valor próximo superior. En este caso el i toma el valor de 52889 el cual se encuentra en la fila del orden 4 con su límite inferior (Li) de consumo 30kWh y su límite superior (Ls) de 40kWh.

Una vez calculado el valor de i se procede a distinguir los siguientes datos:

$$i = 52889$$

$$L_{i4} = 30, \text{ (Li de orden 4)}$$

$$f_4 = 11511$$

$$F_{i-1} = F_3 = 41378$$

Después de identificar los datos correspondientes se calcula el primer quintil aplicando la Ecuación 2.5.

$$Q_1 = L_{i5} + \left(\frac{\frac{k * N}{5} - F_3}{f_4} \right) * C$$

$$Q_1 = 30 + \left(\frac{\frac{1 * 213332}{5} - 41378}{11511} \right) * 10$$

$$Q_1 = 31$$

Los pasos realizados del Quintil uno (Q_1), se repite tanto para los Quintiles dos, tres, cuatro y cinco (Q_2, Q_3, Q_4 y Q_5).

Al realizar los respectivos procedimientos para cada Quintil se llega a obtener los siguientes resultados (Ver Tabla 2.4).

Tabla 2.4

Resultados por medio del método de Quintil.

Quintil	Li	Ls
Q_1	0	31
Q_2	31	64
Q_3	64	94
Q_4	94	140
Q_5	140	510

2.6.3. Método de Dalenius-Hodges

El método de Dalenius-Hodges (1959), es una técnica que consiste en la formación de estratos de manera que la varianza o distancia obtenida sea mínima para cada estrato (SCINCE, 2010).

El procedimiento para la conformación de los estratos por este método se aplica las ecuaciones presentes en la Tabla 2.5:

Tabla 2.5

Ecuaciones preliminares para la estratificación por el método de Dalenius-Hodges

ECUACIONES PRELIMINARES	
Descripción	Ecuación
Número de observaciones	N
Logaritmo de base 10	$LOG(N)$ (2.6)
Número de intervalos adecuados	$4,3 * LOG(N)$ (2.7)
Rango del índice	$N_{final} - N_{inicial}$ (2.8)
Intervalos para construir n rangos	$\frac{N_{final} - N_{inicial}}{4,3 * LOG(N)}$ (2.9)
Límite máximo del rango índice (L. máx)	$L. máx_i = N_1 + \frac{N_{final} - N_{inicial}}{4,3 * LOG(N)}$ (2.10)
Límite mínimo del rango índice (L. mín)	$L. mín_i = L. máx_{i-1} + 1$ (2.11)
Frecuencia	f_i
Frecuencia acumulada	$F_i = \sum_{i=1}^n f_i$ (2.12)
Raíz frecuencia	$\sqrt{f_i}$ (2.13)
Acumulada de raíz de frecuencias	$C_i = \sum_{i=1}^n \sqrt{f_i} (n = 1, \dots, J)$ (2.14)

Numero de estratos	L
--------------------	-----

Donde:

N = Número de observaciones o datos.

L = Número de estratos, en este caso se determinó por 5 estratos.

N_{final} = Valor máximo de todas las observaciones ordenadas de menor a mayor.

$N_{inicial}$ = Valor mínimo de todas las observaciones ordenadas de menor a mayor.

- 1) Ordenar las observaciones de manera ascendente.

Este procedimiento es importante para que los datos tengan un valor secuencial de menor a mayor, de este modo evitar errores en los cálculos posteriores.

Este procedimiento se realiza con facilidad con la ayuda del software Excel con la opción “Ordenar y filtrar” y “Ordenar de A a Z”.

- 2) Continuando el proceso, se calcula el logaritmo del número de casos, número de intervalos adecuados, rango del índice e intervalos para construir n rangos (Ver tabla 2.6).

Tabla 2.6

Cálculo de datos preliminares

Número de Datos (N)	Consumo [kWh]	LOG(N)	Número de intervalos adecuados	Rango de índice	Intervalos para construir n rangos
(1)	(4)	(3)	(5)	(6)	(7)
1	0.08	5.33	22.90	500.86	21.87
2	0.08				
3	0.08				
.	.				
.	.				
.	.				
211994	500.73				

211995	500.89
211996	500.94

Logaritmo del número de casos se ejerce aplicando la Ecuación 2.6:

$$LOG(211996) = 5,33$$

Número de intervalos adecuados es el producto de 4,3 por el logaritmo en base 10 de la cantidad de observaciones. Se calcula con la Ecuación 2.7:

$$\text{Número de intervalos adecuados} = 4,3 * LOG(211996) = 22,90$$

Rango del índice es la diferencia de la observación final entre la inicial previamente ordenada de menor a mayor, para esto se aplica la Ecuación 2.8:

$$\text{Rango del índice} = N_{211996} - N_1 = 500,94 - 0,08 = 500,86$$

Intervalo para construir n rangos es la división entre el rango del índice para el número de intervalos adecuados resultando un valor de 21,87, siendo valor aproximado para intervalos de 22 unidades.

3) Cálculo de límites para cada clase de la siguiente manera:

Se procede al cálculo de los límites mínimos y máximos del rango de índice. Para el cálculo de límite superior se aplica la Ecuación 2.10 y para límite inferior se utiliza la Ecuación 2.11.

$$L. \text{máx}_i = 0,08 + \frac{500,94 - 0,08}{4,3 * LOG(211996)} = 21,95$$

$$L. \text{mín}_i = 21,95 + 1 = 22,95$$

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de límites inferiores y superiores por intervalo, frecuencias, frecuencias acumuladas, raíz de frecuencia y acumulada de raíz de frecuencia (Ver tabla 2.7).

Tabla 2.7*Cálculo de límites, frecuencias y raíz de frecuencias*

intervalos	Límite mínimo del rango de índice	Límite máximo del rango de índice	Frecuencia acumulada	Frecuencia	Raíz de frecuencia	Acumulada de raíz de frecuencia
(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
1	0.08	21.95	33043	33043	181.78	181.78
2	22.95	44.82	58859	25816	160.67	342.45
3	45.82	67.69	90893	32034	178.98	521.43
4	68.69	90.56	123470	32577	180.49	701.92
5	91.56	113.43	150046	26576	163.02	864.94
6	114.43	136.29	168526	18480	135.94	1000.88
7	137.29	159.16	181515	12989	113.97	1114.85
8	160.16	182.03	190328	8813	93.88	1208.73
9	183.03	204.90	196283	5955	77.17	1285.90
10	205.90	227.77	200549	4266	65.31	1351.22
11	228.77	250.64	203562	3013	54.89	1406.11
12	251.64	273.51	205795	2233	47.25	1453.36
13	274.51	296.37	207401	1606	40.07	1493.44
14	297.37	319.24	208581	1180	34.35	1527.79
15	320.24	342.11	209444	863	29.38	1557.16
16	343.11	364.98	210067	623	24.96	1582.12
17	365.98	387.85	210601	534	23.11	1605.23
18	388.85	410.72	211003	402	20.05	1625.28
19	411.72	433.59	211363	360	18.97	1644.26
20	434.59	456.46	211613	250	15.81	1660.07
21	457.46	479.32	211830	217	14.73	1674.80
22	480.32	502.19	211996	166	12.88	1687.68

Como se ve en la Tabla 2.7, el primer valor del límite mínimo del rango del índice de la columna 9, es el primer valor mínimo de todas las observaciones. El primer valor de la columna 10 correspondiente al límite máximo del rango del índice, es la adición del primero valor del límite inferior del rango de índice sumado por el valor de intervalos para construir n rangos de la columna 7 (Ecuación 2.9).

Desde el segundo valor de la columna 9 en adelante se aplica la Ecuación 2.11, el cual hace la adición del anterior valor calculado del límite máximo del rango de índice más uno. Este procedimiento se realiza hasta la obtener la cantidad de 22 intervalos el cual es calculado en la columna 7 de la Tabla 2.7. Cada par del límite mínimo y máximo del rango de índice forma un intervalo. Este intervalo es abierto desde el lado izquierdo y cerrada por la derecha a excepción del primer intervalo el cuál es cerrado por ambos lados.

Para obtener las frecuencias de la columna 12, se realiza un conteo automático con la facilidad del programa informático Microsoft Excel, según el intervalo que se tiene en cada orden de intervalo.

- 4) Una vez ya obtenida las frecuencias por intervalo, se procede al cálculo de las frecuencias acumuladas. Este procedimiento se realiza aplicando al Ecuación 2.14.

$$C_i = \sum_{i=1}^n \sqrt{f_i}(n = 1, \dots, J) = \sum_1^{22} \sqrt{f_i}(n = 1, \dots, 22)$$

Donde:

f_i = La frecuencia de cada clase de datos.

n = Número clase o intervalo de frecuencias en un conjunto de datos.

El resultado de la frecuencia acumulada se puede observar en la columna 11 de la Tabla 2.7.

En la columna 13 se tiene la raíz de cada frecuencia obtenida por clase. Y la columna 14 la acumulada de raíz de frecuencia de cada clase.

- 5) Se divide el último valor acumulado entre el número de estratos.

$$Q = \frac{1}{L} C_j \quad (2.15)$$

Aplicando la ecuación 2.15 en la tabla Excel se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 2.8

Estratos a partir de la acumulada de raíz de frecuencias (Columna 16).

Número de estratos	Fracción en 5 partes de la Frecuencia Acumulada	Distancias estrato 1	Distancias estrato 2	Distancias estrato 3	Distancias estrato 4	Distancias estrato 5
(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
1	337.54	155.76	493.30	830.83	1168.37	1505.90
2	675.07	4.91	332.62	670.16	1007.69	1345.23
3	1012.61	183.89	153.64	491.18	828.71	1166.25
4	1350.15	364.39	26.85	310.69	648.22	985.76
5	1687.68	527.41	189.87	147.67	485.20	822.74
		663.35	325.81	11.72	349.26	686.80
		777.32	439.78	102.25	235.29	572.83
		871.20	533.66	196.12	141.41	478.95
		948.36	610.83	273.29	64.25	401.78
		1013.68	676.14	338.61	1.07	336.47
		1068.57	731.03	393.50	55.96	281.58
		1115.82	778.29	440.75	103.22	234.32
		1155.90	818.36	480.83	143.29	194.25
		1190.25	852.71	515.18	177.64	159.90
		1219.63	882.09	544.55	207.02	130.52
		1244.59	907.05	569.51	231.98	105.56
		1267.70	930.16	592.62	255.09	82.45
		1287.75	950.21	612.67	275.14	62.40
		1306.72	969.18	631.65	294.11	43.43
		1322.53	984.99	647.46	309.92	27.62
		1337.26	999.73	662.19	324.65	12.88
		1350.15	1012.61	675.07	337.54	0.00

El primer estrato de la Tabla 2.8, es la división entre el valor final de la Acumulada de raíz de frecuencia para L estratos (L=5). Los otros estratos son el producto del estrato uno por cada nivel de estrato (Ver Tabla 2.8, columna 16).

A continuación, se calcula las distancias que lleva cada uno de los estratos (Ver tabla 2.9, columnas del 17 al 21).

Cada distancia de estrato de la Tabla 2.8, es la diferencia de cada estrato (1, 2, 3, 4, 5) restado por cada uno de los valores de la acumulada de la raíz de frecuencia.

- 6) Los puntos de separación de cada estrato se determinarán utilizando el valor acumulado de la raíz cuadrada de las frecuencias en cada clase, de acuerdo con la ecuación siguiente 2.16:

$$Q, 2Q, \dots, (h - 1)Q \quad (2.16)$$

Cuando el valor de Q queda entre dos clases, se toma como punto de corte la clase que presente una distancia mínima a Q.

Los límites de los h estratos serán determinados por los límites inferior y superior de las clases incluidas en cada uno de ellos.

Esta explicación se ve con más detalle en la siguiente Tabla 2.9. Donde los valores con negrilla de la columna 9 y 10 son los límites de intervalos de cada estrato, siendo los valores de la columna 9 los límites inferiores por estrato y los valores de la columna 10 límites superiores por estrato.

Tabla 2.9

Limitación de cada estrato

Límite mínimo del Rango de índice	Límite máximo del Rango de índice	Frecuencia Acumulada	Frecuencia	Raíz frecuencia	Acumulada de raíz de frecuencias	Número de Estratos	5 estratos en frecuencias acumuladas	Distancias estrato 1	Distancias estrato 2	Distancias estrato 3	Distancias estrato 4	Distancias estrato 5
(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
0.08	22.0	33043	33043	181.8	181.8	1	337.53	155.8	493.3	830.8	1168.4	1505.9
22.95	44.8	58859	25816	160.7	342.5	2	675.07	4.9	332.6	670.2	1007.7	1345.2
45.82	67.7	90893	32034	179.0	521.4	3	1012.60	183.9	153.6	491.2	828.7	1166.3
68.69	90.6	123470	32577	180.5	701.9	4	1350.14	364.4	26.8	310.7	648.2	985.8
91.56	113.4	150046	26576	163.0	864.9	5	1687.68	527.4	189.9	147.7	485.2	822.7
114.43	136.3	168526	18480	135.9	1000.9			663.3	325.8	11.7	349.3	686.8
137.29	159.2	181515	12989	114.0	1114.9			777.3	439.8	102.2	235.3	572.8
160.16	182.0	190328	8813	93.9	1208.7			871.2	533.7	196.1	141.4	479.0
183.03	204.9	196283	5955	77.2	1285.9			948.4	610.8	273.3	64.2	401.8
205.90	227.8	200549	4266	65.3	1351.2			1013.7	676.1	338.6	1.1	336.5
228.77	250.6	203562	3013	54.9	1406.1			1068.6	731.0	393.5	56.0	281.6
251.64	273.5	205795	2233	47.3	1453.4			1115.8	778.3	440.8	103.2	234.3
274.51	296.4	207401	1606	40.1	1493.4			1155.9	818.4	480.8	143.3	194.2
297.37	319.2	208581	1180	34.4	1527.8			1190.3	852.7	515.2	177.6	159.9
320.24	342.1	209444	863	29.4	1557.2			1219.6	882.1	544.6	207.0	130.5
343.11	365.0	210067	623	25.0	1582.1			1244.6	907.1	569.5	232.0	105.6
365.98	387.8	210601	534	23.1	1605.2			1267.7	930.2	592.6	255.1	82.5
388.85	410.7	211003	402	20.0	1625.3			1287.7	950.2	612.7	275.1	62.4

411.72	433.6	211363	360	19.0	1644.3	1306.7	969.2	631.6	294.1	43.4
434.59	456.5	211613	250	15.8	1660.1	1322.5	985.0	647.5	309.9	27.6
457.46	479.3	211830	217	14.7	1674.8	1337.3	999.7	662.2	324.7	12.9
480.32	502.2	211996	166	12.9	1687.7	1350.1	1012.6	675.1	337.5	0.0

Tabla 2.10

Resultado obtenido por el Método de Dalenius-Hodges

**Límites
Mínimos** **Límites
Máximos**

(22)	(23)
0	45
46	91
92	136
137	228
229	502

2.6.4. Estratificación por la regla de la raíz cuadrada de frecuencias

En este método al igual que el cálculo de los Quintiles, previamente se realiza una tabla con los siguientes contenidos: energía, frecuencia, raíz de frecuencia y raíz de frecuencia acumulada.

Tabla 2.11

Tabla de datos agrupados

Clase	kWh	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje Acumulado	Raíz Frec.	Acum. Raíz Frec.
1	10	20739	9.72	9.7	144.0104163	144.0104163
2	20	10343	4.85	14.6	101.7005408	245.7109571
3	30	10296	4.83	19.4	101.4692072	347.1801642
4	40	11511	5.40	24.8	107.2893285	454.4694927
5	50	12794	6.00	30.8	113.1105654	567.5800581
6	60	13982	6.55	37.3	118.2455073	685.8255654
7	70	14617	6.85	44.2	120.9007858	806.7263512
8	80	14364	6.73	50.9	119.8499061	926.5762573
9	90	14087	6.60	57.5	118.6886684	1045.264926
10	100	13218	6.20	63.7	114.9695612	1160.234487
11	110	10840	5.08	68.8	104.1153207	1264.349808
12	120	9252	4.34	73.1	96.18731725	1360.537125
13	130	8081	3.79	76.9	89.89438247	1450.431507
14	140	6813	3.19	80.1	82.54089895	1532.972406
15	150	5959	2.79	82.9	77.19455939	1610.166966
16	160	4980	2.33	85.3	70.56911506	1680.736081
17	170	4251	1.99	87.2	65.19969325	1745.935774
18	180	3544	1.66	88.9	59.53150426	1805.467278
19	190	2932	1.37	90.3	54.14794548	1859.615224
20	200	2561	1.20	91.5	50.60632372	1910.221547
21	210	2241	1.05	92.5	47.33920151	1957.560749
22	220	1907	0.89	93.4	43.66921112	2001.22996
23	230	1595	0.75	94.2	39.9374511	2041.167411

24	240	1391	0.65	94.8	37.2961124	2078.463524
25	250	1195	0.56	95.4	34.56877203	2113.032296
26	260	1086	0.51	95.9	32.95451411	2145.98681
27	270	945	0.44	96.3	30.7408523	2176.727662
28	280	781	0.37	96.7	27.94637722	2204.674039
29	290	692	0.32	97.0	26.30589288	2230.979932
30	300	612	0.29	97.3	24.73863375	2255.718566
31	310	505	0.24	97.6	22.47220505	2278.190771
32	320	499	0.23	97.8	22.3383079	2300.529079
33	330	420	0.20	98.0	20.49390153	2321.02298
34	340	343	0.16	98.1	18.52025918	2339.543239
35	350	286	0.13	98.3	16.91153453	2356.454774
36	360	288	0.14	98.4	16.97056275	2373.425337
37	370	254	0.12	98.5	15.93737745	2389.362714
38	380	220	0.10	98.6	14.83239697	2404.195111
39	390	211	0.10	98.7	14.52583905	2418.72095
40	400	194	0.09	98.8	13.92838828	2432.649338
41	410	166	0.08	98.9	12.88409873	2445.533437
42	420	160	0.08	99.0	12.64911064	2458.182548
43	430	172	0.08	99.1	13.11487705	2471.297425
44	440	112	0.05	99.1	10.58300524	2481.88043
45	450	100	0.05	99.2	10	2491.88043
46	460	114	0.05	99.2	10.67707825	2502.557508
47	470	108	0.05	99.3	10.39230485	2512.949813
48	480	74	0.03	99.3	8.602325267	2521.552139
49	490	82	0.04	99.3	9.055385138	2530.607524
50	500	72	0.03	99.4	8.485281374	2539.092805
51	>500	1343	0.63	100		
	Total	213332	100			

La raíz frecuencia es la raíz cuadrada de cada frecuencia de cada clase y la raíz acumulada es la sumatoria de todas las raíces de frecuencia de manera secuencial.

A continuación, se procede a determinar los datos preliminares para el respectivo desarrollo:

Tabla 2.12

Datos preliminares

Descripción	Valor
Total Acumulado	2539.092805
L	5
q	507.818561
Amplitud	10

Donde:

Total Acumulado = Es la sumatoria de todas las raíces de frecuencia.

L = Define la cantidad de estratos a dividirse, en este caso se divide en cinco estratos.

q = Es el valor dividido del total acumulado entre la cantidad de estratos.

$$q = \frac{\text{Total acumulado}}{L} \quad (2.16)$$

A = Es el valor de rango que tiene cada kWh en la Tabla 2.11, en la columna de consumo kWh. Es decir, es el intervalo de cada agrupación por consumo kWh.

Una vez obtenido el valor de “q” se procede a realizar los procedimientos aplicando en método del Quintil a diferencia que se basa en la acumulada de la raíz de frecuencia.

Primero se calcula el valor de *i* con la ecuación 2.17.

$$i = k * q \quad (2.17)$$

Donde:

k = Es el valor de estrato (*k*=1, 2, 3, 4 y 5).

i = 507,818 Valor de frecuencia acumulada.

Ya calculado el valor de *i* se procede a buscar en la Tabla 2.11, columna de raíz frecuencia acumulada, un valor próximo superior al calculado.

Donde buscando el valor próximo el valor i pasa a ser:

$i = 567.5801$ que corresponde a la clase 5

Ya conociendo la clase al que corresponde el valor i se obtiene los siguientes datos:

$$\sqrt{f_i} = 113.1106$$

$$\sqrt{F_{i-1}} = 454.4695$$

$$A = 10$$

Por siguiente, se calcula el primer estrato aplicando la Ecuación 2.18:

$$E_k = kWh + \frac{k*q - F_{i-1}}{f_i} * A \quad (2.18)$$

$$E_1 = 50 + \frac{1*507,8186 - 454,4695}{113,1106} * 10$$

$$E_1 = 55$$

De la misma manera para los demás estratos se repite el procedimiento realizado a diferencia que el valor i será multiplicado por 2, 3, 4 y 5 antes de ser buscado en la columna de frecuencias. Una vez ya realizado para todos los estratos se obtiene lo siguientes resultados (Ver Tabla 2.13).

Tabla 2.13

Resultados de estratos

Estrato	Límite inferior	Límite superior
E1	0	55
E2	55	90
E3	90	152
E4	152	250
E5	250	510

2.7. Resultados

Luego de aplicar los diferentes métodos de estratificación, y obtener los resultados, se realiza un análisis que permite identificar o ver cuál es el método que más se aproxima a los estratos que tiene definido la empresa eléctrica EmelNorte. A continuación, en la Tabla 2.14 se puede ver los resultados obtenidos por los diferentes métodos aplicados para la estratificación.

Tabla 2.14

Resultados obtenidos por los diferentes métodos de estratificación

Estratos	Quintil	Dalenius-Hodges	Raíz de frecuencias
1	0 – 31	0 – 45	0 – 55
2	31 – 64	45 – 91	55 – 90
3	64 – 94	91 – 136	90 – 152
4	94 – 140	136 – 228	152 – 245
5	140 – 510	228 – 510	245 – 510
6	>510	>510	>510

Según los análisis de los resultados por los diferentes métodos se puede notar que el método de Dalenius-Hodges y el de raíz de frecuencias son los métodos que tienen mayor proximidad los resultados deseados [0 – 100], [100 – 150], [150 - 250] , [250 – 500] y [>500], los cuales son los estratos que maneja la empresa eléctrica EmelNorte.

CAPITULO 3

Desarrollo de la metodología del procedimiento de la estratificación de los abonados residenciales

Para la realización de estratos con los datos de abonados residenciales se requiere seguir el siguiente orden como son: Estratificación de abonados residenciales, Estratificación por Ruta de lectura y Georreferenciación en ArcGIS.

3.1. Estratificación de abonados residenciales y georreferenciación de estratos por consumo en el software ArcGIS.

Para la determinación de los estratos por el consumo de energía se utiliza la base de datos otorgada por el departamento de Sistema de Información Georreferenciado GIS de la empresa eléctrica EmelNorte, se realiza un promedio estimado mensual no menor a un año de registro de cada cliente. Los clientes con consumo de 0 kWh tienden a ser descartados en vista de que no son representativos dentro de los estratos de consumo de energía eléctrica.

Una vez se realiza el proceso de validación, la base de datos queda establecida con un valor equivalente al número total de clientes menos los clientes con consumo de 0 kWh.

Para la georreferenciación de Estratos de Consumo tiene su propio desarrollo donde, además del consumo de abonados residenciales también se incluye a los consumidores comercial, industriales y otros que se encuentren en el grupo de clientes en bajo voltaje.

Para georreferenciar los Estratos de Consumo se procede a realizar las siguientes actividades en el siguiente orden: Obtención de base de datos de consumo mensual de clientes, Definición de valores estadísticos de clientes, Ajustes de promedio por estratos de consumo y Zonificación georreferenciada en ArcGIS.

3.1.1. *Obtención de la base de datos de consumo mensual de clientes*

Se obtiene la información de clientes con sus respectivos consumos mensuales del último año, con el correspondiente tipo de cliente, y la ruta de lectura al que se encuentra asociado cada cliente (Esta información se puede obtener desde el Departamento de Sistema de Información Georreferenciado (GIS)). La información descargada desde el GIS, se puede

abrir directamente en Excel el archivo .dbf del Shape correspondiente o convertirlo a formato Excel antes de abrir.

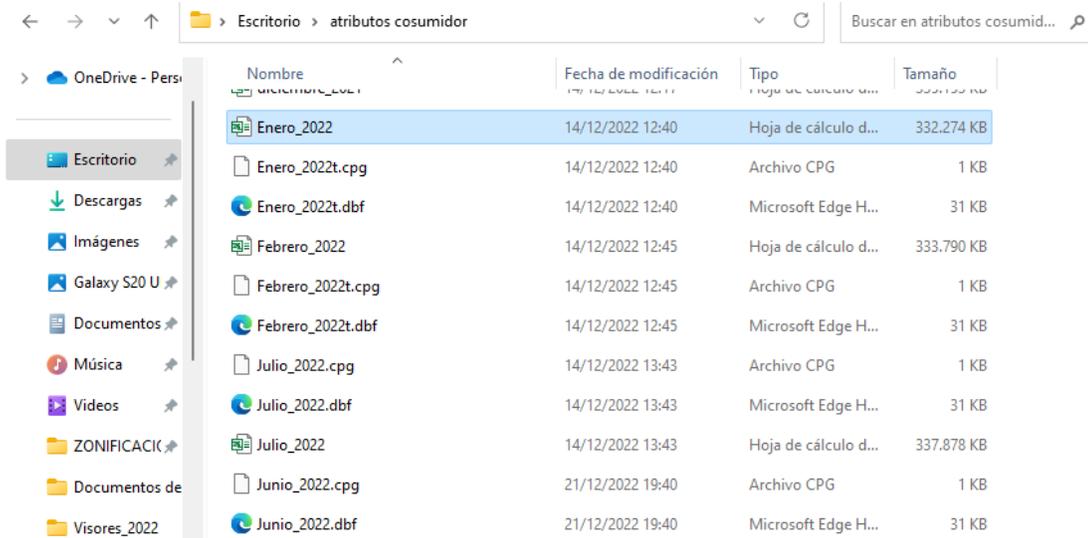


Fig. 6 Datos de consumo descargada desde el GIS.

Calcular en Promedio de consumo de los últimos 12 meses

Se calcula el promedio de consumo de cada cliente sin tomar en cuenta los valores de consumo "0".

El promedio se calcula aplicando la siguiente Ecuación 3.1:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (3.1)$$

Donde:

\bar{x} = Valor promedio de consumo por consumidor

$(x_1 + x_2 + \dots + x_n)$ = Suma del conjunto de observaciones.

n = Número de observaciones existentes sin tomar en cuenta datos con consumo de cero (0).

$$\bar{x} = \frac{38 + 38 + 38 + 37 + 37 + 37 + 37 + 37 + 36 + 37 + 37 + 37}{12} = 37,20$$

Tabla 3.1*Datos referenciales de clientes*

# DATOS	Código cliente	Código de ruta	Medidor	Tipo	X	Y
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(5)	(7)
1	1	1328I003	2192934	RD	819341.0468	10040656.18
2	100	1309M002	1000105785	RD	821361.5053	10038731.15
3	100000	1301M172	1412710351	RD	817906.5837	10004734.92
4	100001	1301M172	1412709905	RD	817892.9096	10004681.9
5	100002	1301M180	2021223714	RD	817637.4931	10003927.73
6	100003	1301M180	M35523	CO	817494.305	10003915.79
7	100009	1302M174	1001144423	RD	817186.5369	10004216.99
8	100010	1302M174	1502753979	RD	816910.4289	10004226.88
9	100011	1307M176	14027186	RD	815242.9913	9993359.201
10	100012	1307M176	14027128	RD	815377.3484	9993066.194
11	100013	1307M176	M222066	RD	815366.2048	9992558.908
12	100014	1307M176	1001144196	RD	815163.9178	9992927.063
.
.
.
222704	99989	1302M180	1000838290	RD	818192.4521	10004175.83
222705	99991	1302M181	21882	RD	818247.5883	10004627.44
222706	99996	1305M019	C991	RD	819334.5154	10038789.36

La Tabla 3.1, contiene datos donde la columna uno es la posición de observaciones ordenados de menor a mayor, en este caso se cuenta con 222706 observaciones. La segunda columna representa los códigos únicos de cada consumidor o cliente. En la tercera columna está el código por ruta de lectura de cada consumidor, la cuarta columna es el número de identificación del medidor que está destinado a cada consumidor. El quinto indica que tipo de consumidor es cada cliente, y la sexta y séptima columna son coordenadas georreferenciadas de cada consumidor (X y Y).

Tabla 3.2

Datos de consumo mensual y promedio de consumo de energía de 12 meses

dic-21	ene-22	feb-22	mar-22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	sep-22	oct-22	nov-22	Promedio	ITR	Estrato	MIN
(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)
38	38	38	37	37	37	37	37	36	37	37	37	37.20	37.20	E	15.08
96	97	96	93	91	85	77	77					88.90	88.90	E	36.04
204	174	167	167	162	153	147	149	92	84	83	82	138.60	165.27	C	141.09
400	399	392	381	377	365	354	350	286	304	307	315	352.45	352.45	B	283.43
								277	344	277	220	279.46	299.22	B	240.63
	131	136	125	114	107	106	106	87	99	126	137	115.69	128.02	D	113.07
245	245	247	248	250	245	238	225	214	220	228	242	237.17	237.17	C	202.48
126	126	124	123	123	121	119	118	96	98	100	100	114.46	122.44	D	108.14
	2	2	2	4	10	18	18	98	97	97	104	40.95	98.94	E	40.12
47	48	50	50	49	50	50	50	42	35	35	26	44.35	44.35	E	17.98
32	32	32	32	32	32	32	32	30	30	30	29	31.36	31.36	E	12.72
67	65	64	61	60	57	55	55	54	51	51	51	57.52	57.52	E	23.32
.
.
.
169	169	172	171	171	175	175	176	202	203	210	211	183.46	183.46	C	156.62
76	76	76	75	72	70	69	69	64	78	78	76	73.27	73.27	E	29.71
16	16	24	23	21	19	17	17	15	17	17	19	18.36	18.36	E	7.45

a) Excluir los registros con valores de consumo de 0

De la tabla de datos filtra y se elimina los registros cuyo consumo promedio sea igual a “0”.

b) Definir el estrato al que pertenecen cada cliente

Se debe copiar como texto la columna de los promedios ya que este nuevo registro permitirá realizar el método iterativo detallado más abajo.

Se define a que estrato pertenecería cada cliente con su consumo promedio y los límites definido para los estratos.

3.1.2. Definición de valores estadísticos de los clientes

Para la definición de valores estadísticos se procede a calcular la media aritmética, desviación estándar, porcentaje de la desviación estándar respecto a la media y el máximo valor permisible para cada estrato de acuerdo con su porcentaje de desviación, para todos los clientes pertenecientes a cada estrato.

En una nueva tabla de datos (nueva hoja de Excel) se prepara una tabla con los datos de los estratos de consumo que contenga:

- Separado los consumos promedios correspondientes a cada estrato filtrando previamente para que estos datos correspondan solamente a clientes residenciales (Ver Tabla 3.3).

Tabla 3.3

Consumos clasificados por estratos

Estratos				
E	D	C	B	A
78	139	237	352	847
89	116	247	279	965
53	114	174	312	549
36	140	244	346	536
71	146	188	266	594
12	126	156	265	612
89	137	237	278	564

70	121	242	320	1350
72	114	161	390	815
64	127	156	375	797
17	101	185	288	1133
41	125	172	449	949
.
.
.

- Los estratos de consumo con sus respectivos límites.
- Se calcula el promedio de todos los clientes pertenecientes a cada estrato. Para el respectivo calculo se aplica la Ecuación 3.1.
- Se calcula la desviación estándar del grupo de clientes pertenecientes a cada estrato de consumo. La desviación estándar se obtiene de la raíz cuadrada de la varianza.

El cálculo de la varianza se define con la Ecuación 3.2.

$$\text{Varianza } (s^2) = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (3.2)$$

Donde

x_i = Posición número i de la variable X , donde i puede tomar valores entre 1 y n .

n = Número de observaciones.

\bar{x} = La media o el promedio de la variable X .

También se puede representar de la siguiente manera según la Ecuación 3.3.

$$\text{Varianza } (s^2) = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n} \quad (3.3)$$

Por consiguiente, la desviación estándar está definida por la Ecuación 3.4.

$$\text{Desviación estándar } (s) = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3.4)$$

- Se calcula el porcentaje correspondiente a la desviación estándar respecto al promedio de cada estrato.

$$\% \text{ desviacion estandar } (S \%) = \frac{S}{\bar{x}} \quad (3.5)$$

- Se calcula el máximo permitido por estrato, valor que corresponderá a sumar el límite máximo del estrato más el valor porcentual de la desviación estándar del mismo.

$$\text{Máx perm} = \text{Lim}_{sQ} + \text{Lim}_{sQ} * S\% \quad (3.6)$$

Donde:

Máx perm = Máximo permisible del estrato.

Lim_{sQ} = Límite superior del estrato.

Una vez ya realizada los pasos detallados previamente se obtiene los resultados de la Tabla 3.4.

Tabla 3.4

Definición de valores estadísticos de clientes

Definición de valores estadísticos					
MIN	MAX	ESPERANZA	DESV-ESTAND	% DESV	MAX-PERM
0	100	49.16	29.23	0.59	159.45
101	150	121.79	14.22	0.12	167.52
151	250	187.82	27.47	0.15	286.57
251	500	327.40	64.11	0.20	597.91
501	1000	933.19	846.66	0.91	1907.27

a) Definición del mínimo para cada cliente como su promedio restado el porcentaje de la desviación estándar del estrato al que corresponde

En la tabla de datos por cliente (Ver Tabla 3.2, Columna 23), se calcula el mínimo permitido por cliente, valor correspondiente al promedio (ITR) de cada cliente menos el valor correspondiente de cada cliente por valor porcentual de la desviación estándar.

$$\text{Mín. perm.} = \bar{x}_i - \bar{x}_i * S\% \quad (3.3)$$

Donde:

Mín.perm. = Mínimo permitido de consumo por cliente.

\bar{x}_i = Consumo promedio por cliente.

El porcentaje de la desviación estándar debe ser correspondiente al estrato de consumo al que pertenece cada cliente.

b) Estructuración de la nueva tabla con los valores de consumos mensuales eliminados los valores menores al mínimo.

Se procede a realizar una nueva tabla de datos con los consumos mensuales de los clientes, mediante la comparación de cada consumo mensual por cliente con el valor mínimo permisible, así eliminado los valores inferiores al mínimo permitido para cada cliente, es decir los valores menores al valor mínimo permitido se excluirán automáticamente en la nueva tabla de datos.

Una vez realizada la nueva tabla de datos se procede nuevamente a calcular el nuevo promedio por cliente. Con el fin de que no se incluyan valores de error en los promedios también se elimina estos del cálculo, colocando valores en blanco si se presenta esta condición (Ver Tabla 3.5).

Tabla 3.5

Nuevos promedios obtenidos de consumo por cliente.

dic-21	ene-22	feb-22	mar-22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	sep-22	oct-22	nov-22	ITR	ERROR %	# Clientes Excluidos	Error total
(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)	(35)	(36)	(36)	(37)	(38)
38	38	38	37	37	37	37	37	36	37	37	37	37.20	0	408	0.18%
96	97	96	93	91	85	77	77					88.90	0		
204	174	167	167	162	153	147	149					165.27	0		
400	399	392	381	377	365	354	350	286	304	307	315	352.45	0		
								277	344	277		299.22	0		
	131	136	125	114						126	137	128.02	0		
245	245	247	248	250	245	238	225	214	220	228	242	237.17	0		
126	126	124	123	123	121	119	118					122.44	0		
								98	97	97	104	98.94	0		
47	48	50	50	49	50	50	50	42	35	35	26	44.35	0		
32	32	32	32	32	32	32	32	30	30	30	29	31.36	0		
67	65	64	61	60	57	55	55	54	51	51	51	57.52	0		
.
.
.
169	169	172	171	171	175	175	176	202	203	210	211	183.46	0		
76	76	76	75	72	70	69	69	64	78	78	76	73.27	0		
16	16	24	23	21	19	17	17	15	17	17	19	18.36	0		

3.1.3. Ajuste de Promedios por estratos de consumo

Se procede a definir el error de cálculo como la diferencia porcentual entre el promedio anterior y el promedio nuevo, referido al promedio anterior, una tolerancia aceptable de error y el total de registros que salen de esta tolerancia.

Con el valor calculado anterior se puede determinar la cantidad de registros que presentan diferencias significativas respecto al promedio original, a través del error definido como la diferencia entre el valor anterior (Tabla 3.2, Columna 20) y el nuevo dividido para el valor anterior (Tabla 3.5, Columna 36).

Se determina una tolerancia permisible para este error calculado, de manera que se pueda minimizar este error y se calcula el total de clientes que salen de esta tolerancia. El valor de la tolerancia permisible esta dado entre el -10% al 10%.

También se determina el porcentaje de estos errores. El porcentaje de error se obtiene de la división de la cantidad de registros excluidos para el total de registros.

a) Realizar un proceso iterativo para minimizar el error o la cantidad de registros

Para realizar el proceso iterativo de minimización del error de cálculo se utiliza la técnica simple de variación de datos del promedio sobre el que se realiza el cálculo, mediante los siguientes pasos:

1.- Se procede a calcular con los datos del nuevo promedio (ITR) (Ver Tabla 3.5, Columna 36) un nuevo valor mínimo permisible.

2.- Ya calculado el valor mínimo permisible se procede nuevamente a realizar una nueva tabla, excluyendo valores de consumo mensual por cliente inferiores al nuevo valor mínimo permisible.

3.- Se procede a calcular el promedio nuevo de consumo por cliente, la cantidad de registros excluidos y finalmente el porcentaje de error.

Este procedimiento iterativo se realiza hasta minimizar el error; ya será hasta cumplir con un porcentaje de errores inferior a un valor permisible (EJEMPLO <1%), o hasta que la técnica iterativa comience a oscilar alrededor de un mínimo.

b) Eliminación registros cuyo promedio excede el máximo permitido por estrato de consumo

Luego de realizar las iteraciones necesarias y minimizado lo suficiente el error porcentual, en este paso se eliminan los datos de consumo promedio por cliente que sean superior al máximo permitido para el estrato al que pertenecen. Por consiguiente, se crea una nueva tabla con el siguiente esquema (Ver Tabla 3.6):

Tabla 3.6

Datos finales de promedio por cliente y Ruta de Lectura

Núm. Clientes	Código cliente	Código de ruta	Medidor	Tipo	X	Y	ITR	Estrato	PROM R_LLECT	ESTRATO-RUTA
1	174690	1301E005	11980	OTROS	810347.569	10037011.94	58.68	E	301.18	B
2	193352	1301E005	B39854	OTROS	809904.109	10034222.54	511.90	A	301.18	B
3	210722	1301E005	B319400	OTROS	810244.187	10037149.49	465.08	B	301.18	B
4	22091	1301E005	40376	OTROS	807298.672	10037428.4	58.04	E	301.18	B
5	221089	1301E005	M2126093	OTROS	815513.875	10037996.46	26.25	E	301.18	B
6	223841	1301E005	M2135008	OTROS	810149.861	10039756.76	700.45	A	301.18	B
7	356754	1301E005	203654	COMERCIAL	808243.785	10035805.23	301.18	B	301.18	B
8	388539	1301E005	12986	OTROS	809948.23	10036813.6	293.86	B	301.18	B
9	396903	1301E005	1001143757	OTROS	809976.39	10036733.92	351.36	B	301.18	B
10	42446	1301E005	A198	OTROS	809949.129	10036784.48	63.07	E	301.18	B
11	42447	1301E005	201136	OTROS	809904.26	10036863.51	846.16	A	301.18	B
12	42474	1301E005	19567	OTROS	809903.495	10036492.32	97.12	E	301.18	B
13	42674	1301E005	M258368	OTROS	809422.017	10036812.15	24.24	E	301.18	B
14	43626	1301E005	M250982	OTROS	810791.897	10036145.77	252.30	B	301.18	B
15	100115	1301M001	M2175139	RESIDENCIAL	819911.322	10040136.7	79.73	E	114.68	D
16	100352	1301M001	201702012007	RESIDENCIAL	820015.838	10040064.55	249.86	C	114.68	D
17	104994	1301M001	186005	RESIDENCIAL	819775.613	10040228.6	96.04	E	114.68	D
.
.
.
221866	457394	1328I011	51960825019	COMERCIAL	819313.684	0	107.00	D	146.02	D
221867	457642	1328I011	51960825084	RESIDENCIAL	820059.309	10033542.83	106.00	D	146.02	D
221868	457934	1328I011	51960822412	COMERCIAL	821975.451	10038520.85	194.00	C	146.02	D

c) Cálculo consumo promedio de los clientes para cada ruta de lectura.

Con el valor del promedio de la última iteración se realiza una nueva tabla (Tabla dinámica en Excel) para obtener los consumos promedio por ruta de lectura, que incluya los clientes comerciales y residenciales. Para esto se crea una nueva tabla que contenga la siguiente información:

- Suministro o Código de cliente
- Coordenada X
- Coordenada Y
- Ruta de lectura
- Tipo de Clientes
- Consumo promedio por ruta de lectura

La ruta de lectura es un valor asignado a cada circuito de electricidad en bajo voltaje. Es decir, el consumo promedio por ruta se refiere al promedio calculado de clientes pertenecientes a un mismo circuito.

La nueva tabla dinámica realizada en el programa informático Microsoft Excel debe tener el siguiente esquema:

- **Filtro de informe:** Tipo de Cliente, filtrado para Clientes Residenciales y Comerciales
- **Etiqueta de fila:** Ruta de Lectura
- **Valores:** Los valores de los promedios por clientes (ITR) de la última iteración; con el campo de la tabla dinámica se configura como promedios, en caso de no realizar esta configuración aparecerá la suma de promedios.

Tabla 3.7

Valores filtrados por Ruta de Lectura

		Tipo		(Varios elementos)	
Número de Rutas	Etiquetas de fila	Cuenta de Estrato	Promedio de ITR	Suma de X	Suma de Y
1	1301E005	1	301.18	808243.785	10035805.23
2	1301M001	416	114.68	341028713.7	4176704039

3	1301M002	448	113.55	367095034.3	4497952165
4	1301M003	397	128.35	325258186.8	3975606450
5	1301M004	438	121.60	358948112	4397347386
6	1301M005	441	125.35	361454420.3	4427302234
7	1301M006	82	80.24	67016887.2	822801289
8	1301M007	11	99.07	8979359.858	110368778.7
9	1301M008	53	68.07	43309647.42	531764082
10	1301M009	415	95.39	339534044.8	4123848128
.
.
.
898	1328I009	132	102.14	107648991.2	1324749037
899	1328I010	227	50.42	196471563.7	2290408135
900	1328I011	29	146.02	23801065.94	281074653

Una vez generada la tabla del promedio de consumo por Ruta de Lectura, procede a asignar a cada consumidor el valor promedio de la Ruta de Lectura según su código Ruta de Lectura, así como se observa en la Tabla 3.7.

3.2. Zonificación Georreferenciado en ArcGIS

Finalizado metodología de la estratificación se procede guardar el archivo en el programa informático Microsoft Excel en formato “CSV UTF (delimitado por comas) (*.csv)” con los datos de suministro o código único, ubicación geográfica (x,y), tipo de cliente, ruta de lectura y promedio por ruta de lectura o Estrato de consumo de la ruta de lectura (Ver tabla 3.6).

También se tiene la opción de guardar el archivo en formato “Libro de Excel 97-2003(*.xls)”.

Luego se procede a cargar la data de este archivo final al sistema ArcGIS. Para cargar el archivo de datos previamente debe tener abierta el software ArcGIS y luego seguir los procedimientos siguientes:

- 1.- Con la herramienta Add X,Y Data... se ingresará este último archivo de datos al sistema geográfico

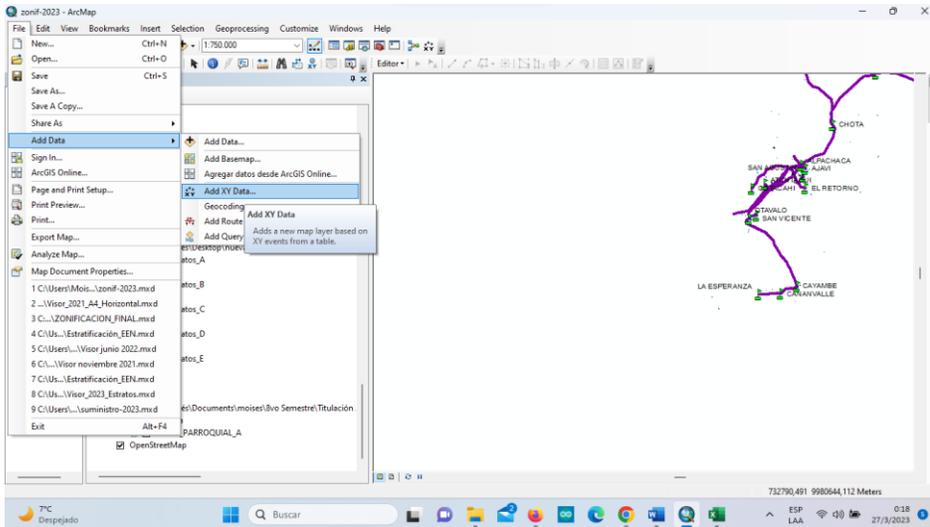


Fig. 7 Seguimiento para cargar DATA en ArcGIS.

Se debe asegurar que el sistema de coordenadas se encuentre en WGS_1984_UTM_Zone_17S.

2.- Add y Aceptar

Al dar click en la opción “Add XY Data” aparece una nueva ventana, en la opción señalada en la Fig. encamina a buscar el archivo guardado en el equipo. Una vez encontrada agregamos y damos click en “Add”. Seguidamente se procede a seleccionar las coordenadas contenidas en el archivo (X y Y).

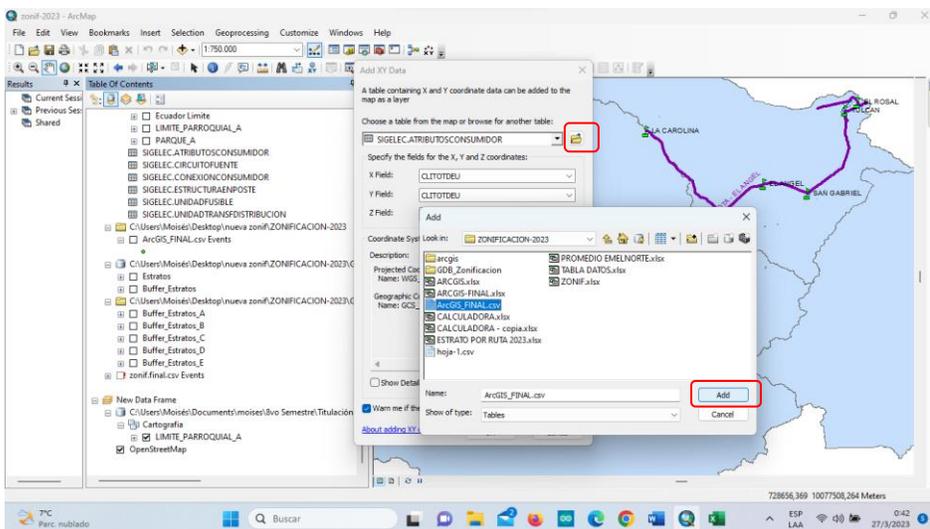


Fig. 8 Selección de la DATA creada.

Al seleccionar OK en la ventana de Add XY aparecerán los datos en el ambiente ArcGIS

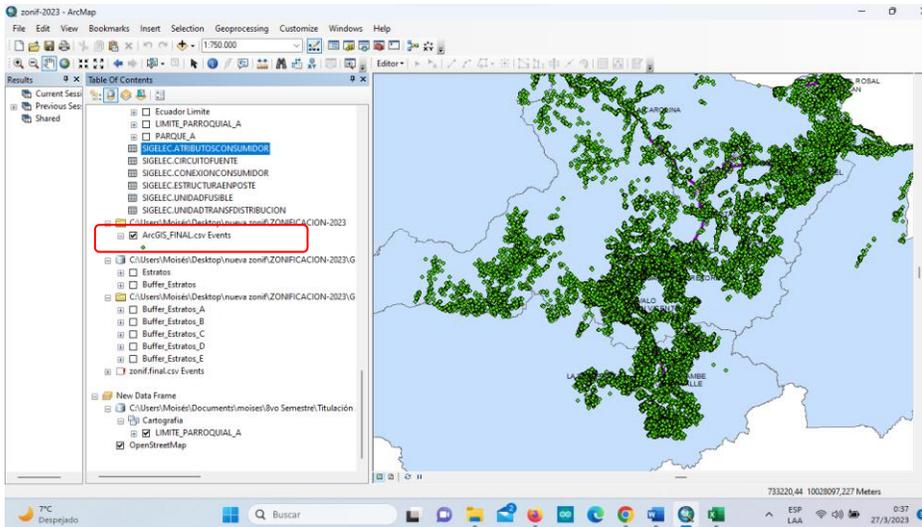


Fig. 9 Usuarios georeferenciados por coordenadas.

3.- Codificar por colores para cada estrato de consumo.

Antes de empezar a trabajar con los datos cargados en ArcGIS, se debe exportar los mismos a formato Shape

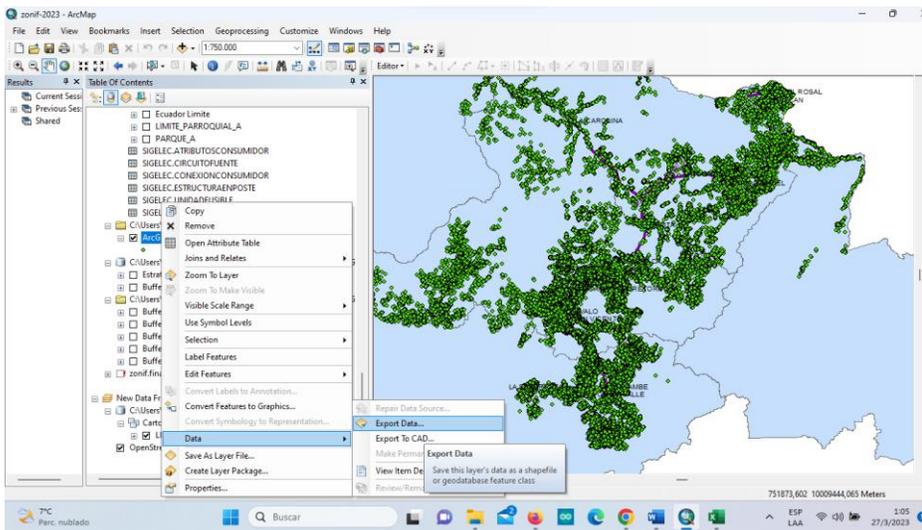


Fig. 10 Demostración para guardar el archivo en formato "Shapefile".

En donde simplemente se busca una ubicación y un nombre para los nuevos archivos

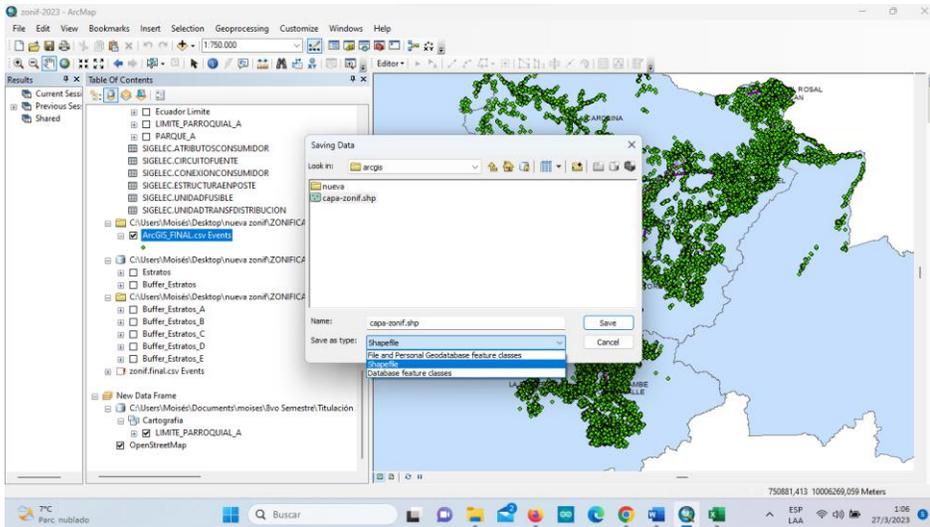


Fig. 11 Guardar el archivo en formato "Shapefile".

Se deja que el sistema genere los datos sobre el mapa y se remueve la tabla anterior, para esto realiza clic derecho en la tabla cargada y clic en la opción "Remove".

En la ventana propiedades del Shape nuevo, igual manera como en la anterior da clic derecho, se dirige a la opción "Properties...".

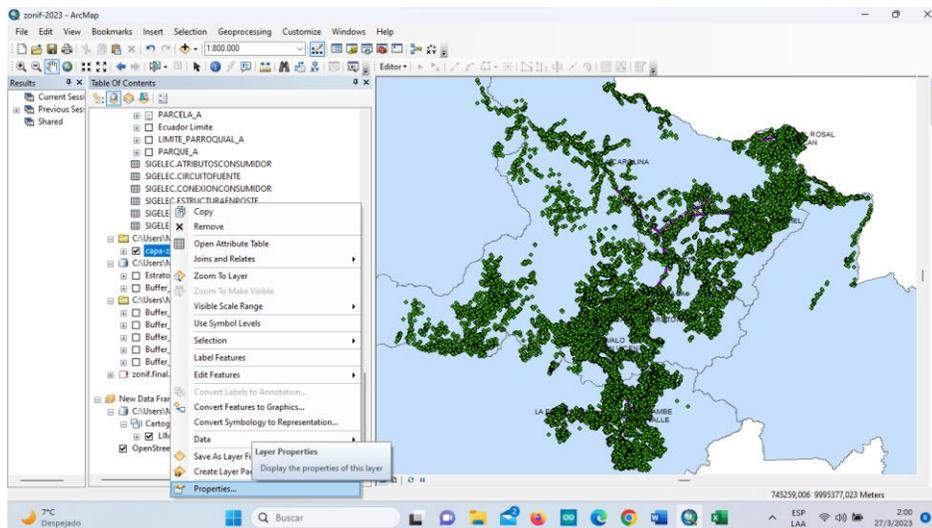


Fig. 12 Proceso para decodificar por colores según estrato.

4.- En la nueva ventana de "Layer Properties" en la sección Symbology/Quantities/Graduated colors, se escoge el campo de los promedios de consumo de los clientes.

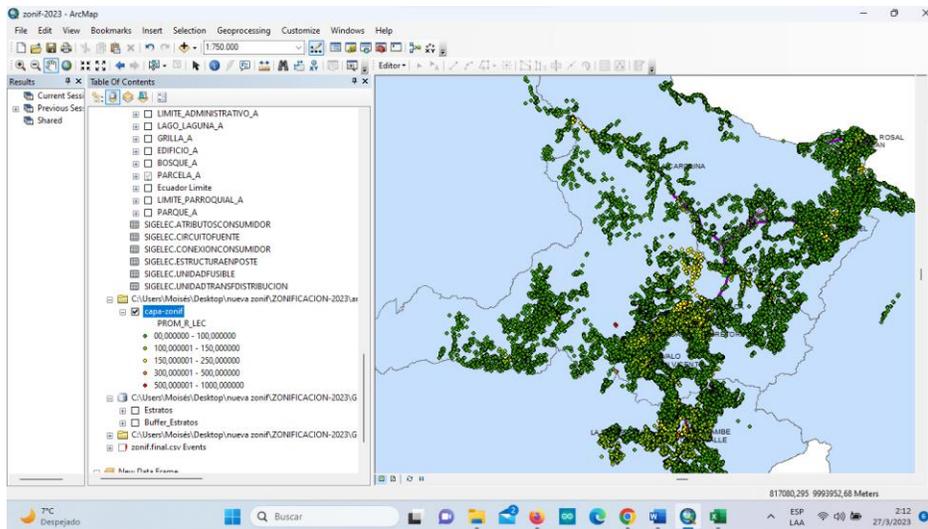


Fig. 13 Usuarios estratificados por Ruta de Lectura

5.- Se escoge la cantidad de estratos de cada empresa y definimos los límites de cada estrato para cada empresa. Y al aceptar se tendrá la visión geográfica de la ubicación de los estratos de consumo.

En este caso como la que se ve en la Figura. 13, es la migración de los 221868 usuarios al programa ArcGIS las cuales está expandida por toda el área de concesión EmelNorte.

3.3. Resultados de la actualización de estratos y Zonificación.

Al cargar la base de datos el programa ArcGIS no reconoce los datos alfabéticos, por lo tanto, los puntos de referencia por las coordenadas no tienen distinción de estratos, para dar solución a esta situación se procedió a realizar la configuración requerida en el programa ArcGIS de la misma manera para crear un formato Buffer con una extensión de 80 metros circular para que quede dado un resultado como la que se tiene en la Figura. 14.

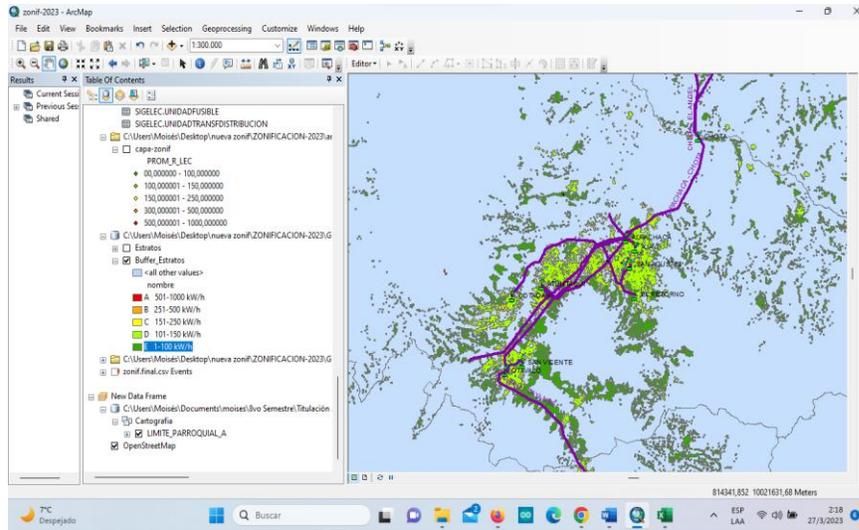


Fig. 14 Usuarios georreferenciados divididos en grupos de consumo o estratos en formato Buffer.

La Figura. 14, muestra a los usuarios georreferenciados por ruta de lectura y por colores según su demanda definida por estratos. En este caso se puede apreciar que la mayoría de los usuarios se encuentran entre los límites de consumo; [0,000000 - 100,000000] (estrato E), [150,000001- 150,000000] (estrato D), [150,000001- 250,000000] (estrato C), [250,000001- 500,000000] (estrato B) y [500,000001- 1000,000000] (estrato A).

Conclusiones:

Se ha determinado que los parámetros más relevantes para la clasificación de abonados residenciales según su categoría de consumo son: tipo y número de clientes, el consumo, eliminación de valores atípicos, lo que permite utilizar las diferentes metodologías analizadas y establecer por medio de la varianza, las medidas de posición y el histograma, la distribución de los abonados en estratos de acuerdo a su consumo.

Existen algunos métodos para conseguir resultados satisfactorios, esto de acuerdo a lo desarrollado en este trabajo de grado, cuyos resultados, comparados con la estratificación inicial, son similares, utilizando la metodología de Dalenius-Hodges y Raíz de Frecuencias, no así con la metodología del Quintil de valores agrupados.

Los resultados obtenidos a través de la agrupación y cálculo de promedios por ruta de lectura son muy satisfactorios sobre todo en el mapeo de estratos de clientes residenciales en el ArcGIS ya que esto define un solo estrato a un determinado grupo de usuarios en un área, además, este estudio será corroborado cuando se lo emplee en el campo práctico, lo cual, será de gran utilidad para la realización del cálculo de demanda y diseño de proyectos eléctricos dentro de la concesión EmelNorte.

Recomendaciones:

Se recomienda utilizar este trabajo de grado como guía práctica para actualizar el estrato de abonados residenciales por nivel de consumo, lo que permitirá establecer capacidades de los transformadores adecuados a lo largo del tiempo y distribuirlos de manera espacial en el área de concesión de EmelNorte.

Bibliografía:

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2018). *PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS*. Obtenido de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf>
- Ariza, A. (2013). *MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL PRONÓSTICO DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN*. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/ee2fb283-daa7-4987-b747-faa1e42e9711/content>
- Ayala, S. (2020). *Estadística*. Obtenido de Cuartiles, Deciles, Percentiles: https://www.uaeh.edu.mx/division_academica/educacion-media/repositorio/2010/6- semestre/estadistica/cuartiles-deciles-y-ercentiles.pdf
- Bazán, J. (2008). *APLICACIONES DE DISEÑOS MUESTRALES A ESTUDIO DE CASOS DE OPINIÓN PÚBLICA*. Obtenido de <https://docplayer.es/8343487-Aplicaciones-de-disenos-muestrales-a-estudio-de-casos-de-opinion-publica.html>
- Campoverde, D., & Sanchez, J. (2012). "DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA EN TRANSFORMADORES, PARA LOS SERVICIOS DE COMERCIALIZACIÓN EN BASE A LOS USOS DE ENERGÍA, EN LA EMPRESA ELECTRICA REGIONAL CENTROSUR PARA LA CIUDAD DE CUENCA". En D. Campoverde, & J. Sanchez. Cuenca, Ecuador.
- Carvajal, J. (2018). *Zonificación del mercado de consumo eléctrico de la empresa eléctrica Azogues*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31541/1/Trabajo%20de%20titulaci%20c3%b3n.pdf>
- Castaño, S. (2006). *Redes de Distribucion de Energía*. Obtenido de <https://es.calameo.com/read/0000021409242af0c63b8>
- DIRECCION DE PLANIFICACION EMELNORTE. (2015). *ACTUALIZACIÓN PLAN ESTRATÉGICO 2014-2017*. Ibarra.
- Donoso, M. (2021). *Diagrama de Caja y Bigotes*. Obtenido de http://inst-mat.atalca.cl/tem/sitioImde/primer/guias-liceo/recuperacion/Diagrama_de_Caja_y_Bigotes-2.pdf

- Escarcega, D. (2022). *¿Cómo hacer un muestreo estratificado?* Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/como-hacer-un-muestreo-estratificado/>
- ESRI. (2002). *EL SISTEMA ArcGIS.* Obtenido de http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_/what-is-arcgis-spanish.pdf
- Fernández, J. (2020). *Muestreo aleatorio, Sesgo.* Obtenido de http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esomatematicasB/estadistica/quincena_11_presenta_1a.htm
- Hernández, G. (08 de 2017). *Estratificación o muestreo estratificado.* Obtenido de <https://aprendiendocalidadyadr.com/estratificacion/>
- Hubert.M, V. (2008). *An adjusted boxplot for skewed distributions.* Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167947307004434>
- Institutoclaret.cl. (2020). *Medidas de Posición.* Obtenido de Cuartiles, Quintiles, Deciles y Percentiles: <https://institutoclaret.cl/wp-content/uploads/2020/03/Medidas-de-posicion.pdf>
- León, R. d. (2017). *Revista educativa CursosOnlineWeb.com.* Obtenido de Clases de estratificación: <https://cursosonlineweb.com/estratificacion.html>
- Lepe, L. (2015). DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA INTRODUCCIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN COMPACTA EN EL PARQUE ECOLÓGICO CIUDAD NUEVA, UBICADO EN LA ZONA 2 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA. Guatemala.
- Llamas, J. (2023). *Excel.* Obtenido de Definición Técnica: <https://economipedia.com/definiciones/excel.html>
- Matos, F., Contreras, F., & Olaya, J. (09 de 2020). *ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA Y PROBABILIDAD PARA LAS CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN ON EL USO DELSPSS.* Obtenido de <http://eprints.rclis.org/40470/1/ESTADISTICA%20DESCRIPTIVA.pdf>
- Montesdeoca, J. (2005). *DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE DISEÑO PARA ABONADOS RESIDENCIALES EN LA ZONA DE CONCESIÓN DE EMELNORTE S.A.* Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7017/1/T2436.pdf>
- Ochoa, C. (2015). *Muestreo probabilístico o no probabilístico.* Obtenido de <https://www.netquest.com/blog/es/blog/es/muestreo-probabilistico-o-no-probabilistico-ii>

- Ochoa, C. (2015). *Muestreo probabilístico: muestreo estratificado*. Obtenido de <https://www.netquest.com/blog/es/blog/es/muestreo-probabilistico-muestreo-estratificado>
- Orellana, C., & Pañi, M. (2015). "INCIDENCIA DEL PROGRAMA „COCCIÓN EFICIENTE“ EN LA DEMANDA MÁXIMA UNITARIA EN EL SECTOR RESIDENCIAL RURAL DE LA CIUDAD DE CUENCA". Cuenca, Ecuador.
- Orellana, I., & Ramón, P. (2017). *DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CARGA Y PÉRDIDAS EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN POR ESTRATOS DE CONSUMO EN EL ÁREA DE CONCESIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.* Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14767/1/UPS-CT007257.pdf>
- Pablo, V. (2014). *Detección de datos atípicos para datos funcionales asimétricos*. Obtenido de https://cms.dm.uba.ar/academico/carreras/licenciatura/tesis/2014/Pablo_Vena.pdf
- PROBABILIDADyESTADISTICA.net. (2022). *Diagrama de caja y bigotes (boxplot)*. Obtenido de <https://www.probabilidadyestadistica.net/diagrama-de-caja-y-bigotes-boxplot/>
- Ramírez, S. (2012). *Redes de Distribución de Energía*. Obtenido de <http://blog.espol.edu.ec/econde/files/2012/08/libro-redes-de-distribucion.pdf>
- Reyes, T. (2006). *EL SISTEMA ELÉCTRICO DE EMELNORTE S.A.* Obtenido de *ÁREA DE CONCESIÓN DE EMELNORTE S.A.:* <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2554/1/CD-0286.pdf>
- Riquelme, M. (2022). *Varianza en Estadística (Uso, definición y formula)*. Obtenido de <https://www.webyempresas.com/varianza/>
- Robayo-Botiva, D. (2020). *Medidas de posición en variable continua y discreta – datos desagrupados con Microsoft Excel*. Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. doi:doi: <https://doi.org/10.16925/gcgp.26>
- Rodríguez, J. (30 de 08 de 2018). *SIGNIFICADO DE LA MEDIA ARITMÉTICA Y EL USO DE LA PALABRA PROMEDIO PARA LOS ESTUDIANTES DE GRADO UNDÉCIMO DE UNA INSTITUCIÓN EDUCATIVA DE IBAGUÉ*. Obtenido de <https://repository.ut.edu.co/server/api/core/bitstreams/9ef1da41-ffff-4ab9-b0b1-4dccc184aafe/content>

- Roldán, P. (2019). *Muestreo estratificado*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/muestreo-estratificado.html>
- Rosales, A. (2020). Informe Ejecutivo Rendición de cuentas 2020. En *Empresa Electrica EMELNORTE*. Ibarra. Obtenido de Obtenido de Rendicion de cuentas 2020.
- Ruíz, R. (2021). INFORME EJECUTIVO RENDICIÓN DE CUENTAS 2021. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- Sánchez, G. (2022). *LA ESTADÍSTICA APLICADA AL ANÁLISIS ECONÓMICO*. Obtenido de <http://www.economia.unam.mx/profesor/barajas/estadis/parte2.pdf>
- SCINCE. (2010). *Sistema para la Consulta de Información Censal 2010*. Obtenido de Nota técnica Estratificación multivariada: <http://gaia.inegi.org.mx/scince2/documentos/scince/fichaTecnica.pdf>
- SIGSA. (2022). *¿Qué es ArcGIS?* Obtenido de <https://www.sigsa.info/es-mx/arcgis/about-arcgis/overview>
- Vásquez, R. (2019). ADECUACION DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE EMELNORTE, DIMENSIONAMIENTO DE TRANSFORMADORES Y MÉTODO DE CÁLCULO DE CAÍDAS DE VOLTAJE EN REDES SECUNDARIAS DE DISTRIBUCIÓN. Ibarra, Ecuador.
- Yanza, J. E. (2016). *Implementación de metodología de zonas y consumos para el cálculo de*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/3652/1/T-UTC-000027.pdf>

Anexos:

Anexo 1: Métodos planteados para la estratificación

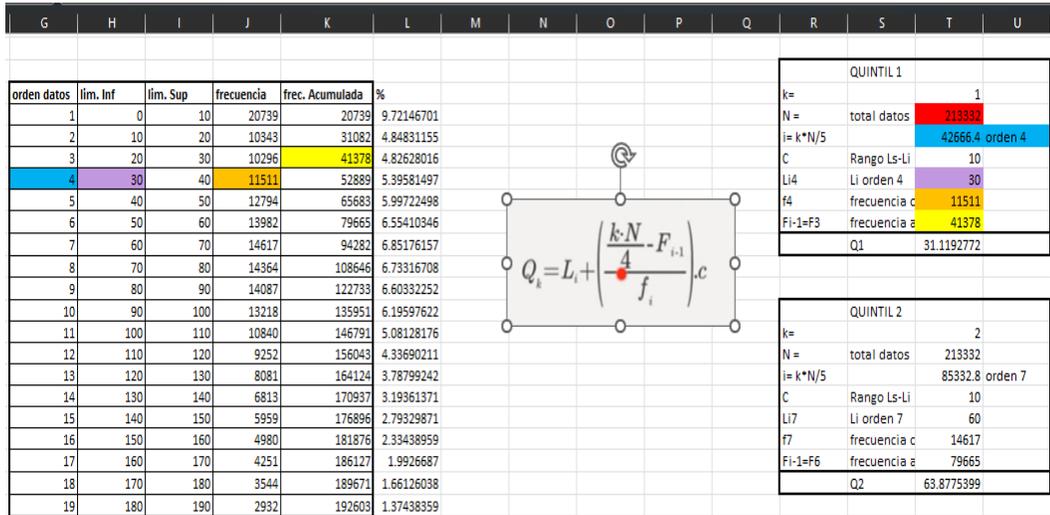


Fig. 15 Estratificación por método de quintil

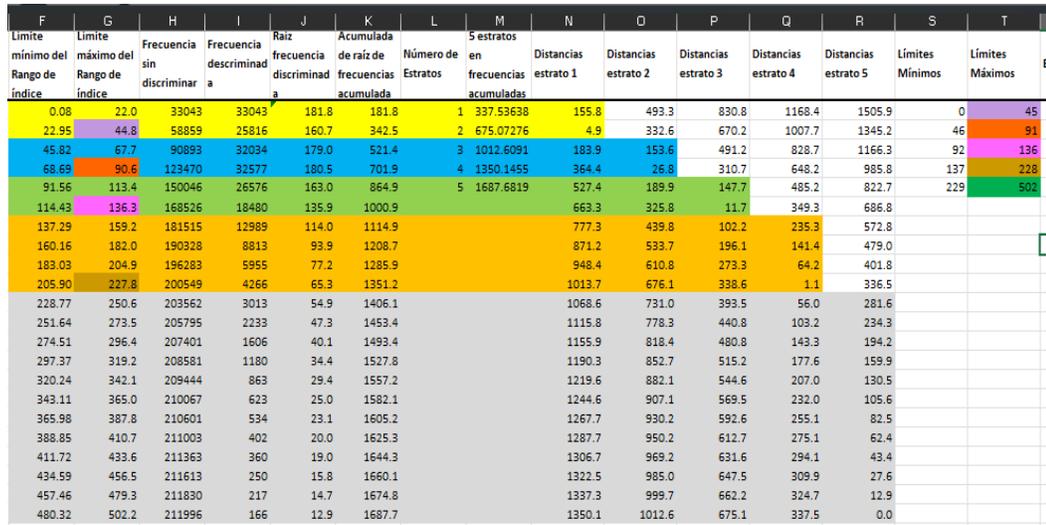


Fig. 16 Estratificación por método de Dalenius-Hodges

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
clase	lim. Inf	lim. Sup	frecuencia	frec. Acumulada	Raiz frecuencia (f)	Raiz frecuencia acumulada (Fi-1)	Símbolo	Descripción					
1	0	10	20739	20739	144.010416	144.010416	Rf	total raiz frecuencia acumul	2575.73977				
2	10	20	10343	31082	101.700541	245.710957	k	num. de estratos =	5				
3	20	30	10296	41378	101.469207	347.180164	q=	Rf/k	515.147954				
4	30	40	11511	52889	107.289328	454.469493	A	Amplitud de intervalos	10				
5	40	50	12794	65683	113.110565	567.580058	kwh	valor consumo					
6	50	60	13982	79665	118.245507	685.825565							
7	60	70	14617	94282	120.900786	806.726351	ki	ki*q=			estrato 1		
8	70	80	14364	108646	119.849906	926.576257	1	515.1479539			clase	5	
9	80	90	14087	122733	118.688668	1045.26493	2	1030.295908			kWh	50	
10	90	100	13218	135951	114.969561	1160.23449	3	1545.443862			ki*q(i=1)	515.147954	
11	100	110	10840	146791	104.115321	1264.34981	4	2060.591816			fi	113.110565	
12	110	120	9252	156043	96.1873173	1360.53712	5	2575.739769			Fi-1	454.469493	
13	120	130	8081	164124	89.8943825	1450.43151					A	10	
14	130	140	6813	170937	82.540899	1532.97241					k1	=0+H(O10-O12)/O11	
												*013	

Fig. 17 Metodo de raiz acumulada de frecuencia

Anexo 2: Estratificación por Ruta de Lectura

U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
ITR	Estrato	MIN	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	ITR	ERROR%
37.20	E	15.0819537	38	38	38	37	37	37	37	37	36	37	37	37	37.19667832	0%
88.90	E	36.044155	96	97	96	93	91	85	77	77					88.89583333	0%
165.27	C	141.09326	204	174	167	167	162	153	149						165.2660985	0%
352.45	B	283.434152	400	399	392	381	377	365	354	350	286	304	307	315	352.4484848	0%
299.22	B	240.630334									277	344	277		299.2222222	0%
128.02	D	113.066072		131	136	125	114						126	137	128.0166667	0%
237.17	C	202.483999	245	245	247	248	250	245	238	225	214	220	228	242	237.1746212	0%
122.44	D	108.137639	126	126	124	123	123	121	119	118					122.436553	0%
98.94	E	40.1173895									98	97	97	104	98.94166665	0%
44.35	E	17.9818126	47	48	50	50	49	50	50	50	42	35	35	26	44.34861111	0%
31.36	E	12.7169613	32	32	32	32	32	32	32	32	30	30	30	29	31.36388888	0%
57.52	E	23.3232517	67	65	64	61	60	57	55	55	54	51	51	51	57.52222222	0%
12.45	E	5.04916637	12	13	13	13	15	14	14	14	11	11	11	11	12.45277778	0%
23.20	E	9.40678954	22	22	19	20	23	23	24	24	23	26	26	27	23.19999999	0%
96.31	E	39.0513542	127	124	122	120	118	112	110	110	49	54	54	58	96.31249999	0%
9.56	E	3.87444397	11	11	10	10	10	10	9	9	8	8	8	9	9.555555551	0%
36.93	E	14.9757396	39	38	38	37	36	36	35	35	37	36	36	39	36.93472222	0%
72.96	E	29.5809292	52	51	53	54	55	59	64	64	119	106	106	94	72.95555555	0%
246.99	C	210.861585	255	252	250	246	246	241	234	234	250	250	250	256	246.9875	0%

Fig. 18 Promedio de consumos de 12 meses por abonado

codigoclic	Medidor	X	Y	ITR	Estrato	Codigo de ruta	Prom. por r	Estrato
174690	11980	810347.569	10037011.9	58.6833333	E	1301E005	289.7396474	B
193352	B39854	809904.109	10034222.5	511.895455	A	1301E005	289.7396474	B
210722	B319400	810244.187	10037149.5	465.078788	B	1301E005	289.7396474	B
22091	40376	807298.672	10037428.4	58.0409091	E	1301E005	289.7396474	B
221089	M2126093	815513.875	10037996.5	26.25	E	1301E005	289.7396474	B
223841	M2135008	810149.861	10039756.8	700.449	A	1301E005	289.7396474	B
396903	1001143757	809976.39	10036733.9	351.361667	B	1301E005	289.7396474	B
42446	A198	809949.129	10036784.5	63.069697	E	1301E005	289.7396474	B
42447	201136	809904.26	10036863.5	846.156061	A	1301E005	289.7396474	B
42474	19567	809903.495	10036492.3	81.9133333	E	1301E005	289.7396474	B
42674	M258368	809422.017	10036812.2	24.2378788	E	1301E005	289.7396474	B
100115	M2175139	819911.322	10040136.7	79.7347107	E	1301M001	113.1097176	D
100352	2.017E+11	820015.838	10040064.6	249.86452	C	1301M001	113.1097176	D
104994	186005	819775.613	10040228.6	96.0360882	E	1301M001	113.1097176	D
107297	175812	819626.481	10040224.2	153.770833	E	1301M001	113.1097176	D
11243	1001100193	819827.2	10040061.8	195.805934	C	1301M001	113.1097176	D
114002	186123	819714.099	10040228.2	91.8686869	E	1301M001	113.1097176	D
11558	185992	819660.595	10040148.6	133.158144	D	1301M001	113.1097176	D
11636	181090_01	819825.855	10040138.4	131.451705	D	1301M001	113.1097176	D
116931	181055_01	819669.885	10040198.6	142.297348	D	1301M001	113.1097176	D

Fig. 19 Estrato por Ruta de Lectura

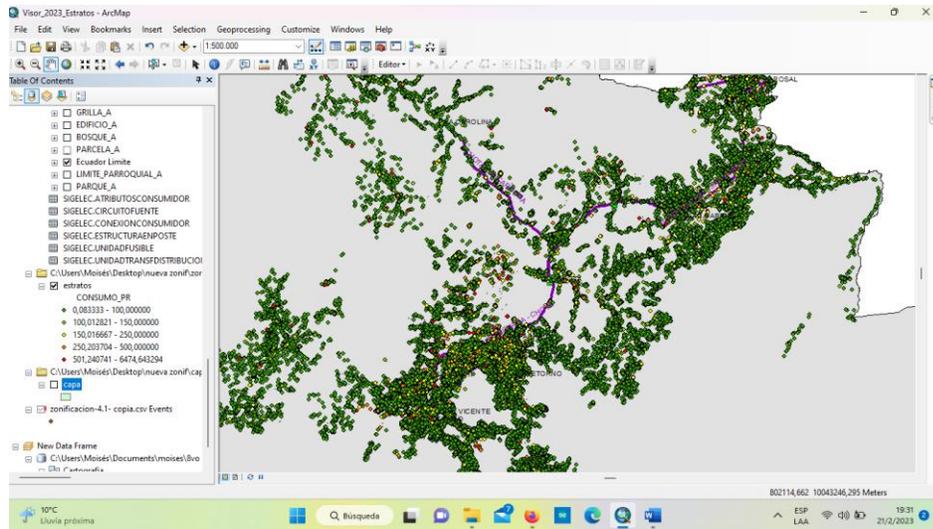


Fig. 20 Ubicación geográfica de abonados en ArcGIS.

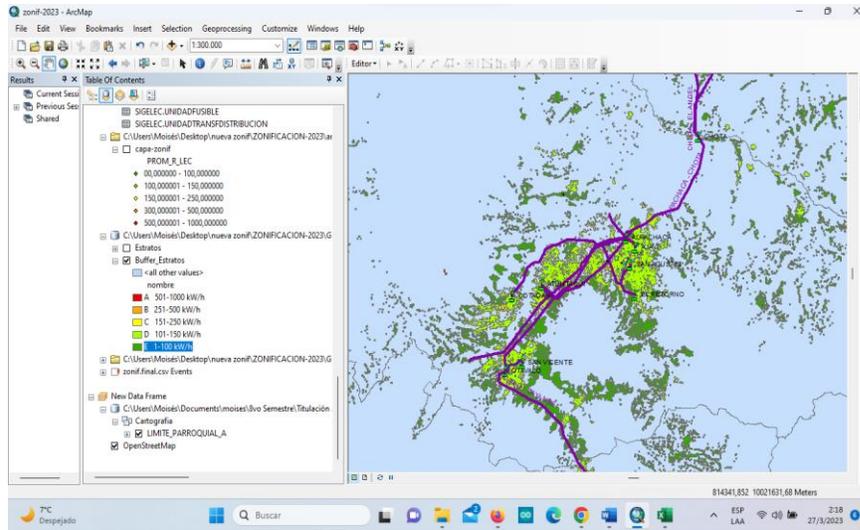


Fig. 21 Ubicación Georreferenciada en formato Buffer