



**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA**

**TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO
DE INGENIERO ELECTRICO.**

TEMA:

**“ANALISIS GEOESPACIAL DE LA DEMANDA ELECTRICA DE LAS
PRINCIPALES CIUDADES DE LA ZONA SUR DE MANABI”**

Autor:

AVILA SANTOS JEFFERSON STEVEN

Docente:

Dr. MARCOS PONCE, Msc.

MANTA-MANABI-ECUADOR

2026

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Carrera de Electricidad de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante AVILA SANTOS JEFFERSON STEVEN con C.I. 1312621066-3, legalmente matriculado/a en la carrera de electricidad, período académico 2025 (2), cumpliendo con el proyecto investigativo titulado “ANALISIS GEOESPACIAL DE LA DEMANDA ELECTRICA DE LAS PRINCIPALES CIUDADES DE LA ZONA SUR DE MANABI”

La investigación fue desarrollada acorde al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 30 de enero de 2026.

Lo certifico,



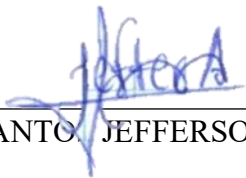
Dr. Marcos Ponce Jara, MSc.
Docente Tutor(a)

Área: Automatización Industrial

AUTORIA DEL PROYECTO

La Autoría del Proyecto es netamente responsabilidad de AVILA SANTOS JEFFERSON STEVEN con C.I 131621066-3, por tanto, se exime a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí de cualquier proceso legal por el contenido del presente proyecto.

De igual manera se acepta su uso para la publicación en el Repositorio Institucional de la institución.



AVILA SANTO JEFFERSON STEVEN

C.I. 131621066-3

DEDICATORIA

La realización de esta tesis es dedicada a mis padres y familiares cercanos que me han apoyado en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida y que me han encomendado siempre por el camino del bien. Siempre brindándome ayuda cuando más se lo necesitaba y dando palabras de aliento en momentos en los que se veía lejano la obtención de este título universitario, que han sido testigos de mi proceso durante toda la carrera y de los sacrificios realizados.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a la Universidad Eloy Alfaro de Manabí y en concreto a la Facultad de Ingeniería por brindarme el conocimiento pertinente para poder afrontar situaciones complejas en la vida laboral, además agradecer a todos los docentes que conforman la carrera de Ingeniería Eléctrica por compartir sus conocimientos y vivencias laborales.

En concreto, extendiendo un agradecimiento especial al Dr. Marcos Ponce Jara, Msc, por guiarme de forma adecuada para la ejecución de este proyecto.

RESUMEN

Este estudio analizo la demanda energética de clientes Residenciales, Comerciales e Industriales y su diversificación por rangos de consumo mensual (Grandes, Medianos y Pequeños) de los cantones Manta, Montecristi y Jaramijó basándose en datos proporcionados por CNEL MANABÍ para representarlos espacialmente mediante herramientas graficas como los Mapas de calor. En base a la información obtenida se identificaron parroquias con alto, medio y bajo consumo energético de clientes residenciales y comerciales, para posteriormente analizar la viabilidad tanto técnica como económica de la implementación de diferentes sistemas de generación fotovoltaica con objetivos de autoabastecimiento. El estudio evidencio que la rentabilidad para clientes residenciales de bajo consumo (menor a 150 kWh mensual) es muy baja, teniendo periodos del retorno de la inversión inicial de hasta 21 años, mientras que, para clientes con alto consumo, así también para los comerciales de pequeño consumo los periodos de retorno son menores a 10 años y con ganancias de hasta el 350% de la inversión inicial en un lapso de 20 años.

Palabras claves: *Geoespacial, fotovoltaica, QGIS, mapas de calor.*

ABSTRACT

This study analyzed the energy demand of residential, commercial, and industrial customers and its diversification by monthly consumption ranges (large, medium, and small) in the cantons of Manta, Montecristi, and Jaramijó, based on data provided by CNEL Manabí. This data was spatially represented using graphical tools such as heat maps. Based on the information obtained, parishes with high, medium, and low energy consumption were identified among residential and commercial customers. Subsequently, the technical and economic feasibility of implementing different photovoltaic generation systems for self-sufficiency purposes was analyzed. The study showed that profitability for low-consumption residential customers (less than 150 kWh per month) is very low, with payback periods of up to 21 years. In contrast, for high-consumption customers, as well as for low-consumption commercial customers, payback periods are less than 10 years, with returns of up to 350% of the initial investment over a period of 20 years.

Keywords: *Geospatial, photovoltaics, QGIS, heat maps.*

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido

1.1 Introducción.....	17
1.2 Planteamiento del Problema.	19
1.3 Justificación del Problema.	20
1.4 Objetivos.....	22
1.4.1 Objetivo General.....	22
1.4.2 Objetivos Específicos.....	22
1.5 Antecedentes.....	22
2. Marco Teórico.....	26
2.1. Sistemas eléctricos y demanda de energía.....	26
2.1.1. Conceptos básicos de demanda y carga eléctrica.....	26
2.1.2. Pérdidas técnicas y no técnicas en redes de distribución.....	27
2.2. Planificación energética, eficiencia y transición energética.....	29
2.2.1. Desarrollo sostenible y planificación del sistema eléctrico.....	29
2.2.2. Eficiencia energética en sistemas de distribución.....	30
2.2.3. Transición energética y papel de la generación distribuida fotovoltaic.....	31
2.3. Fundamentos de información geoespacial.....	32
2.3.1. Espacio geográfico y georreferenciación.....	32
2.3.2. Datos espaciales: modelos vectorial y ráster.....	33
2.3.3. Bases de datos espaciales y estructuras de almacenamiento geográfico.....	35
2.4. Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	35
2.4.1. Definición, componentes y funcionalidades de un SIG.....	36
2.4.2. Aplicaciones de los SIG en planificación de redes eléctricas y análisis de demanda.....	37
2.4.3. Software SIG: soluciones comerciales y de código abierto.....	38
2.4.4. QGIS como herramienta principal del estudio.....	40
2.5. Técnicas de análisis espacial aplicadas al estudio.....	40
2.5.1. Mapas de calor y análisis de densidad en datos de demanda eléctrica.....	40
2.5.2. Método de densidad de Kernel: fundamentos y aplicaciones.....	42
2.5.3. Interpolación IDW (Inverse Distance Weighting).....	43

2.6 Aplicaciones Previas de SIG en sector eléctrico.....	44
2.6.1 Estudios Internacionales sobre demanda eléctrica y SIG.....	44
2.6.2 Experiencias en America Latina	46
3. Caracterización del Área de Estudio	48
3.1 Ubicación geografía de la zona de Estudio.....	50
3.2 Dinámica Demográfica.	51
3.3 Expansión del número de clientes regulados.....	53
3.4 Relevancia energética de la zona de Estudio.....	57
4. Metodología.....	60
4.1 Enfoque y Diseño Metodológico.....	60
4.2 Fuentes de datos utilizadas.....	60
4.3 Procesamiento de datos.....	62
4.3.1 Normalización de Coordenadas.....	62
4.3.2 Clasificación de datos (Anual, Semestral, Mensual).....	64
4.3.3 Integración de datos.....	65
4.3.4 Diferenciación de Clientes por Tipo de Tarifa.....	66
4.3.5 Diferenciación por rangos de consumo.....	67
4.3.6 Resumen de Información.....	69
4.4 Procedimiento de análisis geoespacial.....	71
4.4.1 Generación de Mapas de Calor.....	78
4.4.1.1 Kernel Density Estimation.....	78
4.4.1.2 Interpolación IDW.....	80
4.4.1.3 Parámetros para el análisis de los datos y elección de paleta de colores.....	83
5. Propuesta y Resultados.....	87
5.1 Análisis Técnico.....	87
5.1.1 Recurso Solar Disponible.....	88
5.1.3 Perfiles Horarios.....	88
5.1.2 Espacio Disponible en Viviendas.....	89
5.1.4 Mapas de Calor Anuales para dimensionamiento de SGDA	89
5.1.5 Dimensionamiento del sistema de generación distribuida para autoabastecimiento por Parroquia para Clientes Residenciales.....	95
5.1.6 Dimensionamiento del sistema de generación distribuida para autoabastecimiento por Parroquia para Clientes Comerciales.....	96

5.2 Análisis Regulatorio.....	96
5.3 Análisis financiero y presentación de las zonas de impacto mediante mapas de calor.	98
6. Conclusiones.....	116
7. Recomendaciones.....	117
8. Anexos.....	118
9. Referencias Bibliográficas.	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Georreferenciación.</i>	33
Figura 2 <i>Capa Ráster.</i>	34
Figura 3 <i>Mapa de Calor.</i>	41
Figura 4 <i>Análisis demográfico de los clientes regulados en Manta, Montecristi y Jaramijo.</i>	49
Figura 5 <i>Evolución del número de habitantes en la Provincia de Manabí.</i>	49
Figura 6 <i>Ubicación Geográfica de Manta, Montecristi y Jaramijó.</i>	51
Figura 7 <i>Aumento Poblacional Manta, Montecristi y Jaramijó 2010-2022.</i>	52
Figura 8 <i>Porcentaje Poblacional de los 3 cantones.</i>	53
Figura 9 <i>Ubicación de las principales centrales de Generacion Electrica en Manta, Montecristi y Jaramijó.</i>	59
Figura 10 <i>Parámetros de clasificación de la base de datos.</i>	61
Figura 11 <i>Asistente de Excel para convertir texto en columnas.</i>	63
Figura 12 <i>Normalización de Coordenadas Geográficas.</i>	63
Figura 13 <i>Parámetros de Clasificación temporal.</i>	64
Figura 14 <i>Esquema de Creación de Bases de datos unica.</i>	65
Figura 15 <i>Columna usada para clasificación de datos y generación de archivo por tipo de cliente.</i>	67
Figura 16 <i>Rangos de consumo para clientes residenciales.</i>	68
Figura 17 <i>Columna usada para clasificación por rango de consumo energético.</i>	69
Figura 18 <i>Resumen de Información utilizados para la ejecución del estudio.</i>	70
Figura 19 <i>Mensaje emergente con el resumen de todos los clientes.</i>	70
Figura 20 <i>Agregar capa de datos.</i>	71
Figura 21 <i>Parámetros requeridos para agregar una capa de datos mediante Excel de texto.</i>	72
Figura 22 <i>Definición de la geometría de la capa.</i>	73

Figura 23	<i>Vista previa de los datos de la capa.</i>	73
Figura 24	<i>Configuración del tipo de carácter en la columna de ID.</i>	74
Figura 25	<i>Configuración de los caracteres en las columnas de coordenadas.</i>	74
Figura 26	<i>Visualización de la capa de puntos agregada.</i>	75
Figura 27	<i>Opciones del complemento QuickMapServices.</i>	75
Figura 28	<i>Capa de puntos dentro del mapa geográfico de la Provincia de Manabí.</i>	76
Figura 29	<i>Clasificación de capas dentro del proyecto.</i>	77
Figura 30	<i>Configuración adicional de la capa de puntos.</i>	77
Figura 31	<i>Estimación de Densidad de Núcleo en QGIS.</i>	79
Figura 32	<i>Parámetros necesarios para la realización de Mapa de Calor por densidad de Kernel.</i>	80
Figura 33	<i>Interpolación IDW en QGIS.</i>	81
Figura 34	<i>Parámetros necesarios para la realización de Interpolación IDW.</i>	82
Figura 35	<i>Configuración coeficiente P de distancia.</i>	83
Figura 36	<i>Tamaño X y Tamaño Y de Pixel.</i>	84
Figura 37	<i>Ruta de guardado para renderizado de mapas de calor.</i>	84
Figura 38	<i>Renderizado inicial de mapa de calor.</i>	85
Figura 39	<i>Rampa de calor escogida para representar la demanda eléctrica en los mapas de calor.</i>	85
Figura 40	<i>Rampa de calor a detalle para clientes residenciales de pequeño consumo.</i>	86
Figura 41	<i>Mapa de Calor Clientes residenciales de pequeño consumo en Manta, Montecristi y Jaramijo.</i>	86
Figura 42	<i>Horas de Irradiancia Solar Media Global en la ciudad de Manta.</i>	88
Figura 43	<i>Mapa de Calor de demanda energética anual residencial en Manta, Montecristi y Jaramijó del Año 2023.</i>	90
Figura 44		90

Figura 45 Mapa de Calor de demanda energética anual industrial en Manta, Montecristi y Jaramijó del Año 2023.....	91
Figura 46 <i>Consumo Energético Anual por rangos de consumo del Cantón Manta Año 2023.</i>	92
Figura 47 <i>Consumo Energético Anual por rangos de consumo del Cantón Montecristi Año 2023.</i>	92
Figura 48 <i>Consumo Energético Anual por rangos de consumo del Cantón Jaramijó Año 2023.</i>	93
Figura 49 <i>Mapa de Calor de demanda energética anual de clientes residencial de bajo consumo en Manta, Montecristi y Jaramijó Año 2023.</i>	104
Figura 50 <i>Mapa de Calor de demanda energética anual de clientes residencial de medio consumo en Manta, Montecristi y Jaramijó Año 2023.</i>	107
Figura 51 <i>Mapa de Calor de demanda energética anual de clientes residencial de alto consumo en Manta, Montecristi y Jaramijó Año 2023.</i>	110
Figura 52 <i>Mapa de Calor de demanda energética anual de clientes comerciales de bajo consumo en Manta, Montecristi y Jaramijó Año 2023.</i>	113
Figura 53 <i>PAYBACK estimado para Sistemas FV en parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó.</i>	114
Figura 54 <i>ROI estimado para Sistemas FV en parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó</i>	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Antecedentes</i>	25
Tabla 2 <i>Análisis comparativo entre softwares SIG de código abierto.</i>	39
Tabla 3 <i>Tipos de KERNELS</i>	43
Tabla 4 <i>Clientes Regulados por parroquia en Manta 2020-2023</i>	54
Tabla 5 <i>Clientes Regulados por Tarifa en Manta 2020-2023.</i>	54
Tabla 6 <i>Clientes Regulados por parroquia en Montecristi 2020-2023.</i>	55
Tabla 7 <i>Clientes Regulados por Tarifa en Montecristi 2020-2023.</i>	55
Tabla 8 <i>Clientes Regulados por parroquia en Jaramijó 2020-2023</i>	56
Tabla 9 <i>Clientes Regulados por Tarifa en Jaramijo 2020-2023.</i>	56
Tabla 10 <i>Consumo promedio mensual de energía eléctrica (kWh-mes).</i>	62
Tabla 11 <i>SGDA requerido y aproximado para las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó por rango de consumo para clientes Residenciales.</i>	95
Tabla 12 <i>SGDA requerido y aproximado para las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijo por rango de consumo para clientes Comerciales.</i>	96
Tabla 13 <i>Análisis económico para la implementación de sistema fotovoltaico de 1 kWp para clientes residenciales de pequeño consumo de las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó.</i> 102	
Tabla 14 <i>Análisis económico para la implementación de sistema fotovoltaico de 3,24 kWp para clientes residenciales de mediano consumo de las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó.</i> 105	
Tabla 15 <i>Análisis económico para la implementación de sistema fotovoltaico de 11,34 kWp para clientes residenciales de grandes consumos de las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó.</i>	108
Tabla 16 <i>Análisis económico para la implementación de sistema fotovoltaico de 6,48 kWp para clientes comerciales de pequeño consumo de las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó.</i> ..	111

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1	<i>Macro usado para dividir clientes por tipo de tarifa.</i>	118
Anexos 2	<i>Macro para clasificar por rango de consumo energético.</i>	118
Anexos 3	<i>Macro para visualizar resumen energético por parroquia.</i>	119
Anexos 4	<i>Macro para dividir por consumo energético para clientes residenciales.</i>	119
Anexos 5	<i>Proforma de Sistemas Fotovoltaicos para análisis financiero.</i>	120
Anexos 6	<i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Residenciales Pequeño</i>	
	Enero 2023	120
Anexos 7	<i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Residenciales Mediano</i>	
	Enero 2023	121
Anexos 8	<i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Residenciales Grande Enero</i>	
	2023	121
Anexos 9	<i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Comerciales Pequeño Enero</i>	
	2023	122
Anexos 10	<i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Comerciales Mediano</i>	
	Enero 2023	122
Anexos 11	<i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Industriales Pequeño Enero</i>	
	2023	123
Anexos 12	<i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Industriales Mediano Enero</i>	
	2023	123
Anexos 13	<i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Industriales Grande Enero</i>	
	2023	124
Anexos 14	<i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Residenciales Pequeño</i>	
	Diciembre 2023	124

Anexos 15 <i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Residenciales Mediano</i>	
<i>Diciembre 2023</i>	125
Anexos 16 <i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Residenciales Grande</i>	
<i>Diciembre 2023</i>	125
Anexos 17 <i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Comerciales Pequeño</i>	
<i>Diciembre 2023</i>	126
Anexos 18 <i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Comerciales Mediano</i>	
<i>Diciembre 2023</i>	126
Anexos 19 <i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Industriales Pequeño</i>	
<i>Diciembre 2023</i>	127
Anexos 20 <i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Industriales Mediano</i>	
<i>Diciembre 2023</i>	127
Anexos 21 <i>Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Industriales Grandes</i>	
<i>Diciembre 2023</i>	128

1.1 Introducción.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para ámbitos operativos dentro de la sociedad como lo pueden ser en lo social, cultural y específicamente en el energético, ha tenido un aumento paulatino a lo largo de los años, debido a que permite realizar análisis espaciales de información temática para el ámbito energético en cada una de las etapas que lo componen (Generación, Transmisión y Distribución). El lograr visualizar datos tales como demandas eléctricas, generación distribuida o potencial de generación eólica o solar de forma geográfica precisa, además de poder superponer diferentes capas geográficas permiten reflejar patrones que pueden pasar desapercibidos si se enfoca netamente en los datos. Esta capacidad de integrar datos espaciales y operativos se ha vuelto especialmente relevante en contexto donde la expansión de la red y la transición energética requiere diagnósticos precisos y basados en evidencias.

A nivel mundial se las ha utilizado para realizar monitoreos de parámetros importantes para el sistema eléctrico como lo son la cargabilidad de alimentadores o transformadores mediante el análisis de demandas zonificadas del país y en conjunto a esto se lo emplea para la planificación de mejoras futuras, como ejemplos se tiene a Europa, donde países como Alemania y España utilizan los SIG para facilitar el acoplamiento e integración de fuentes de energías renovables en sus redes eléctricas, así también como para la evaluación de expansiones futuros del sistema eléctrico y reconocimiento de zonas con valor o potencial para la creación de centrales eólicas o solares (Zorzano Santamaria, 2015). En Estados Unidos en cambio, el Departamento de Energía (DOE) usa los Sistemas de Información Geográfica para poder localizar áreas vulnerables a apagones con suma precisión, para de esta forma poder evitar eventualidades adversas que pongan en peligro su sistema eléctrico

(U.S Department of Energy, 2018). Estos antecedentes muestran la consolidación de los SIG como herramientas estratégicas para mejorar la planificación energética, optimizar redes, anticipar riesgos y facilitar la integración de energías renovables a gran escala.

Por su parte en Latinoamérica se los emplea en su mayoría para proyecciones de demandas eléctrica futuras, identificación de la capacidad de trabajo de la red y optimización de infraestructura la cual es especialmente útil para la incorporación de nuevos sistemas de generación fotovoltaica, pudiendo modelar de forma integral estos sistemas y promoviendo una planificación más eficiente. Como ejemplos se tiene a países como Colombia, Chile o Brasil que cuentan con mapas interactivos que permite visualizar las centrales de generación renovable, los recursos renovables y datos de demanda (Buzai D & Robinson J, 2022).

Para Ecuador la inclusión de estos recursos informáticos ha sido limitado, pero instituciones como el Ministerio de Energía y minas en sus análisis para la creación de mapas eléctricos de Ecuador en el Plan Maestro de Electricidad los han estado aplicando con el fin de generar la gestión energética (Agencia de Regulación y Control de energía y recursos naturales no renovables, 2022). A pesar de ello, no existen estudios publicados que analicen la distribución eléctrica en ciudades claves de la provincia de Manabí, ni que integren datos operativos de CNEL con entornos SIG para la generación de mapas de calor que ayuden a identificar patrones especiales o zonas críticas. La falta de información limita la toma de decisiones para mantenimientos, expansiones y priorización de inversiones en el sector eléctrico.

En este trabajo se propone la realización de un análisis geoespacial de la demanda eléctrica en las principales provincias del sur de Manabí (Manta, Jaramijó y Montecristi) ya que de acuerdo a con reportes se tiene que Manta desde 2010 hasta 2022 ha experimentado

una tasa de crecimiento poblacional de alrededor del 19%, mientras que Montecristi y Jaramijó presentan tasas de crecimiento poblacional cercanas a 42% y 55% respectivamente, lo cual justifica la necesidad de análisis espacial específico de estas áreas en el ámbito energético (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2024). De igual manera, la ausencia de estudios georreferenciados de este eje urbano-industrial presentan oportunidades para generar evidencia técnica que apoye la planificación energética local.

El aporte principal del estudio radica en la generación de mapas geoespaciales inéditos de demanda eléctrica en el eje Manta-Montecristi-Jaramijó, con el fin de identificar zonas de altos consumos energéticos y su evolución a lo largo de los años. Además, con esta investigación se busca el sentar las bases para una planificación eléctrica más precisa con datos proporcionados por CNEL, proporcionando insumos técnicos de valor para instituciones públicas, empresas eléctricas y gobiernos locales aportando a la transición energética del país.

1.2 Planteamiento del Problema.

A medida que las principales ciudades de la zona sur de Manabí experimentan un crecimiento urbano sostenido, también tienden a incrementar la demanda eléctrica; estadísticamente en el año 2016 se tuvo una facturación de 1.228,70 GWh, mientras que para el año 2024 fue de 1.544,58 GWh. De igual forma este aumento se ve reflejado en el crecimiento de las pérdidas eléctricas técnicas que se estiman en alrededor de 216,16 GWh debido a que se encuentra fluyendo mayor cantidad de energía por la red y también de las pérdidas no técnica, que alcanzan 529,50 GWh debido al creciente hurto de energía y poca implementación de medidas que ayuden a evitarlo como lo pueden ser Medidores Inteligentes o sistemas de tele gestión (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2024).

Al contar solo con datos generales de demanda eléctrica de forma pública de toda la provincia, suministrados por la empresa eléctrica competente (CNEL) y en los pliegos publicados por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, existe una vista poco específica del consumo energético de cantones y parroquias que conforman la provincia de Manabí. Si bien CNEL suele tener información debidamente sectorizada y analizada, el conocimiento de estos datos geoespaciales no resulta una tarea sencilla más aun en el ámbito académico, lo que genera un vacío importante a la hora de poder identificar diversos patrones de consumo eléctrico que se desarrollan tanto por factores territoriales, climáticos y socioeconómicos.

Lograr proyectar de forma geográfica los datos anteriormente mencionados y obtener una visualización general mapeada de la demanda eléctrica de ciudades como Manta, Jaramijó y Montecristi, permitirá identificar las diferentes zonas de mayor consumo para poder seccionar o encontrar soluciones estratégicas para el mejor manejo del sistema eléctrico de la provincia de Manabí.

1.3 Justificación del Problema.

La utilización de Sistemas de Información geográfica para el análisis geoespacial de la demanda eléctrica nos brinda un panorama mucho más extenso y valioso a la hora de planificar una transformación energética en la zona sur de la Provincia de Manabí. Al obtener una visualización geográfica con gran exactitud de ciertas zonas con alto, bajo y mediano consumo de la provincia, se puede identificar patrones energéticos y realizar comparativas históricas que indiquen el crecimiento energético que se ha experimentado a lo largo de los años.

Además de tomar decisiones mejores fundamentadas en el ámbito de la planificación, también nos sirve para promover modelos energéticos sostenibles, tomando en cuenta características particulares y retos de la región como lo pueden ser el crecimiento urbano y la dependencia de fuentes convencionales, además de estudios complementarios relacionados con la parametrización adecuada de las pérdidas técnicas y no técnicas que tanto afecta a países como Ecuador. La aplicación de tecnologías con datos geoespaciales responderá a tendencias actuales en cuanto a la gestión energética y brindará un plus o valor agregado al diseño de políticas públicas sostenibles en la región, de esta forma contribuyendo al fortalecimiento del sistema eléctrico y bienestar de las comunidades involucradas.

En este contexto, la justificación central para la realización de este estudio es que actualmente no existen análisis geoespaciales de demandas eléctricas debidamente filtrada y categorizadas tanto por tipos de clientes como por tiempo (Anual, Semestral y Anual), y en el caso de existir no son de libre acceso, por tanto, existe un desconocimiento generalizado de estos temas que son muy importantes en el ámbito técnico.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General

Analizar geoespacialmente la demanda eléctrica de las principales ciudades de la zona sur de Manabí mediante la utilización de Mapas de Calor como herramientas descriptivas graficas propias del software QGIS.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Recolectar y procesar datos de consumo residencial de **Manta, Montecristi y Jaramijó.**
- Analizar el consumo energético de **Manta, Montecristi y Jaramijó.**
- Generar mapas de calor de la demanda energética utilizando QGIS.
- Reconocer zonas de alto, mediano y bajo consumo en estas ciudades.
- Proponer un sistema fotovoltaico de generación distribuida para los sectores residencial y comercial, a nivel conceptual y preliminar, a partir del análisis geoespacial de la demanda eléctrica.

1.5 Antecedentes.

El análisis y correspondiente planeación energética siempre ha sido un tema primordial en el funcionamiento del Sistema Nacional Interconectado, con esto, se han implementado diversidad de herramientas para realizar estos procesos de manera sencilla, entre las cuales se tienen los Sistemas de Información Geográfica, debido a que permiten integrar variables espaciales y modelos técnico de simulación territorial. Para conveniencia del presente trabajo de titulación resulta esencial revisar diversos antecedentes o aportes nacionales e internacionales que han tenido relevancia en cuanto a la utilización de SIGs para

evaluación de potencial de generación renovable, cargabilidad de alimentadores y análisis de demandas eléctricas, con el fin de identificar limitaciones y orientar esfuerzos a la aplicabilidad de estos sistemas en la provincia de Manabí.

Como antecedentes internacionales, Ferrari et al. (2021) en *“A GIS-Based Procedure for Estimating the Energy Demand Profiles of Buildings towards Urban Energy Policies”* presenta procedimientos para estimación de perfiles de demanda mediante la utilización de SIG, usando sistemas térmicos referenciados en conjunto con modelos horarios de densidad energética en un conjunto de edificios en Milán (Italia) y que fueron validados con datos reales de balance energético anual de la ciudad. Este estudio nos permite dimensionar el potencial del análisis espacial para representar patrones energéticos con las características geográficas que nos ofrecen estas herramientas, lo cual aporta solidez metodológica a la aplicación de Sistemas de Información Geográfica para la estimación de demandas eléctricas.

Como análisis energéticos no solo se consta de demandas eléctricas, sino también de potenciales de generación eléctrica, con esto Langer et al. (2023) en el estudio *“Geospatial analysis of Indonesia's bankable utility-scale solar PV potential using elements of project finance”* aplica datos geoespaciales de origen técnico, ambientales y financieros para estimar el potencial de generación eléctrica en Indonesia. Con esto se trata de destacar la versatilidad que tienen los SIG en estudios energéticos.

Como precedente nacional, Tipán Charro Luis Esteban (2022) en su trabajo *“Estimación de la demanda para Micro-zonas basado en el modelo Autorregresivo integrado de promedio móvil”* estima demandas energéticas en microzonas de Quito, aunque no utiliza directamente Sistemas de Información Geográfica, sino que modelos autorregresivo integrados de promedio móvil o también conocido por sus siglas ARIMA,

permite poder identificar patrones de consumo mediante su análisis predictivo y que podrían complementarse a análisis espacial para realizar planificación de proyectos de generación eléctrica o de redes de distribución. Este estudio nos presenta modelos más útiles para poder adaptar proyecciones para la estimación de demandas en la provincia de Manabí, ya que también se trata de demandas urbanas con crecimientos similares.

Para la adopción de generación eléctrica mediante recursos renovables, Vicente & Sánchez (2021) en su investigación *“Evaluación general de la matriz energética ecuatoriana y el aporte de las energías renovables no convencionales a la descarbonización de la generación eléctrica con énfasis en el potencial geotérmico”* describe y analiza cómo ha ido creciendo la matriz energética Ecuatoriana entre los años 2008 y 2018, todo esto mediante la adopción de generación de origen renovable como lo pueden ser la eólica, solar, geotérmica, etc. Con esto se evidencia la necesidad de fortalecer la planeación de fuentes de generación renovable, con el fin de mejorar el funcionamiento del Sistema Nacional Interconectado y a la vez de cumplir con estándares ambientales, por lo cual los SIG pueden resultar como una herramienta fundamental para la evaluación del potencial energético mediante datos espaciales.

En la Tabla 1 se presentan los estudios más relevantes usados para la ejecución de este proyecto, específicamente en las estimaciones y visualización de demandas energéticas:

Tabla 1*Antecedentes*

Autor	Título Estudio	Aportes Principales	Relación con el Trabajo
Ferrari et al. (2021)	<i>“A GIS-Based Procedure for Estimating the Energy Demand Profiles of Buildings towards Urban Energy Policies”</i>	• Uso de SIG para estimación de densidad energética. • Identificación de patrones Energéticos.	Indica el uso de SIG para identificación de patrones energéticos como la densidad, conocimiento clave para poder interpolar a la demanda eléctrica.
Langer et al. (2023)	<i>“Geospatial analysis of Indonesia's bankable utility-scale solar PV potential using elements of project finance”</i>	• Uso de datos geoespaciales. • Utilización de SIG para estimación del potencial de generación eléctrica.	Analizar demandas eléctricas con el fin de implementar generación renovable en áreas de altos consumos energéticos.
Tipán Charro Luis Esteban (2022)	<i>“Estimación de la demanda para Micro-zonas basado en el modelo Autorregresivo integrado de promedio móvil”</i>	• Comparativa de métodos para el análisis de patrones de consumo. • Uso de datos espaciales con otros modelos de estudio.	Permite conocer diferentes métodos que se tienen para estimar patrones de consumo y a su vez, reconocer la versatilidad que tienen los datos espaciales para este tipo de análisis.
Vicente & Sánchez (2021)	<i>“Evaluación general de la matriz energética ecuatoriana y el aporte de las energías renovables no convencionales a la descarbonización de la generación eléctrica con énfasis en el potencial geotérmico”</i>	• Evaluación de la matriz Energética Ecuatoriana. • Necesidad de implementación de generación renovable en zonas con alto consumo energético.	Brinda panorama de la Matriz Energética Ecuatoriana, presentando principales necesidades y desafíos que se pueden atacar usando análisis energéticos mediante SIG.

Fuente: Elaboración Propia

2. Marco Teórico.

Para la ejecución de este proyecto de titulación se deberá de dejar en claro algunos de los conceptos que serán fundamentales y que permitirán un mayor conocimiento con respecto a los ejes que lo constituyen. Debido a esto se dividirán en diferentes secciones temáticas, la primera será orientada al ámbito netamente energético con temas como lo son Sistemas eléctricos, demanda de Energía y Planificación, eficiencia y transición energética, como segunda temática será orientada a elementos que conforman a los SIG como la información espacial, definiciones, técnicas y aplicaciones que se pueden realizar son SIG.

2.1. Sistemas eléctricos y demanda de energía.

Identificar los diferentes elementos que constan un sistema eléctrico es esencial a la hora de analizar comportamientos energéticos históricos dentro de un conjunto de datos. Además de elementos tangibles como lo pueden ser líneas eléctricas, transformadores, medidores, etc., es de suma importancia conocer elementos intangibles que determinan el funcionamiento de este tipo de sistemas como lo pueden ser la demanda o Energía demandada y los tipos de carga eléctrica por los que se encuentran conformado la red, con el fin de la diversificación de cada uno de los clientes regulados.

2.1.1. Conceptos básicos de demanda y carga eléctrica

Demanda: De acuerdo con Rendón et al. (2021) la demanda eléctrica es la cantidad total de electricidad que es utilizada en un momento, su análisis es importante para la comprensión de los patrones de consumo de los usuarios y su relación con los ciclos económico y climático, además de la identificación de uno de los elementos que afecta la

formación de precio, tanto spot (al contado o bolsa de energía) como en contratos de venta a futuro.

Carga eléctrica: La carga eléctrica es la energía que una unidad, aparato o proceso utiliza mientras está en funcionamiento, esta noción es esencial en el diseño, la gestión y la distribución de energía eléctrica; los dos tipos de cargas eléctricas suelen ser cargas resistivas y cargas reactivas, donde las cargas resistivas incluyen calentadores, bombillas incandescentes y tostadoras que transforman la energía eléctrica directamente en calor o incluso luz con poco cambio de fase, por otro lado las cargas reactivas, a su vez, incluyen dispositivos como motores y transformadores que necesitan potencia activa (potencia real) para trabajar y potencia reactiva (potencia imaginaria) para establecer campos magnéticos o voltajes (Knudsen, 2025). En lo que respecta a las unidades que representan a la carga eléctrica normalmente son vatios (W) o kilovatios (kW) para la energía energética y voltios-amperios (VA) para la potencia aparente (Chamba, 2021)

2.1.2. Pérdidas técnicas y no técnicas en redes de distribución

Parámetros complementarios relacionados con la demanda energética son las pérdidas, que se dividen en técnicas y no técnicas, las cuales afectan de manera negativa al sistema pero que en el caso de las técnicas son producto de elementos de la red o el tipo de carga que se tiene, mientras que las no técnicas son producto de agentes externos difícilmente controlable relacionado con el hurto de energía. Ambas pérdidas disminuyen la eficiencia de la red afectando los niveles de potencia necesarios para solventar las necesidades de todo el sistema.

Pérdidas Técnicas

Las pérdidas técnicas dependen de las características y operación de la red, y se pueden clasificar en pérdidas técnicas fijas (se presentan en el sistema por solo el hecho de energizar el circuito o el transformador en el cual se producen) y pérdidas técnicas variables (son aquellas que dependen de la demanda); cabe destacar que aunque no es posible eliminar las pérdidas técnicas, pueden ser reducidas, de esa forma si las pérdidas son reducidas, las redes disminuirán sus niveles de cargabilidad y consecuentemente los usuarios mejorarán sus perfiles de tensión. en el sistema de distribución han representado históricamente un alto costo a los usuarios y a las empresas prestadoras del servicio (Díaz & Silva, 2022).

Carmona & Echeverri (2020) indica que aproximadamente dos terceras partes del total de pérdidas del sistema corresponden a pérdidas técnicas, ocasionadas en conductores y transformadores del sistema eléctrico, en donde específicamente cerca del 70% de las pérdidas técnicas ocurre en las redes de distribución, específicamente, en conductores de los circuitos primarios y secundarios, y en los transformadores de distribución.

Pérdidas no técnicas

Las perdidas no técnicas se tratan de las perdidas producidas debido a la energía consumida y no facturada por los usuarios, que se producen en relación a las ineficiencias en los sistemas de medición y facturación, fraude y robo. Se destaca que una tercera parte de las pérdidas en el sector eléctrico corresponde a pérdidas no técnicas en relación a las perdidas técnicas (Carmona & Echeverri, 2020).

Macías & Rezabala (2024) afirman que la reducción de las pérdidas no técnicas es un punto fundamental atacar dentro del sistema eléctrico ecuatoriano, ya que reduciría el

volumen de energía que los usuarios de distribución deben adquirir para satisfacer la demanda aparente que no puede facturar, e incrementa el volumen de energía eléctrica efectivamente vendida.

2.2. Planificación energética, eficiencia y transición energética

Manta, Montecristi y Jaramijó al presentar un crecimiento urbano y energético sostenido, deben de apuntar hacia planificaciones y transiciones energéticas que ayuden a mantener el sistema eléctrico nacional en niveles estables. Al contar con información geoespacial de la demanda energética, realizar planificaciones energéticas se vuelve más sencillo debido a que se puede visualizar principales puntos de consumo por tipo de tarifa, para poder presentar propuestas ya sea del ámbito de la generación o análisis de energía facturada y energía demandada en alguna zona de interés.

Por ende, es fundamental entender que comprende avanzar hacia un desarrollo sostenible y su relación con la implementación o transición energética del país.

2.2.1. Desarrollo sostenible y planificación del sistema eléctrico

De acuerdo con Chiara (2021) en tanto a la planificación del sistema eléctrico va a permitir la anticipación de desafíos potenciales, tales como abastecer una demanda de energía creciente, alcanzar metas de política energética, cumplir con compromisos ambientales, entre otros. Mediante la utilización de datos geoespaciales la predicción de demandas energéticas emergente se vuelve mucho más sencilla, debido a que se cuentan con datos históricos y localización geográfica de la demanda energética, de esta forma pudiendo visualizarse de forma clara posibles zonas con alta demanda energética futura. Con el vínculo entre los conceptos de desarrollo sostenible y la planificación de los sistemas eléctricos de potencia se

busca garantizar el suministro de energía confiable, económicamente viable y ambientalmente responsable, sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones.

2.2.2. Eficiencia energética en sistemas de distribución

La eficiencia energética debe ser garantizada en consideración a los problemas reales causados por el consumo cada vez mayor de energía eléctrica, el estado inadecuado de los segmentos que conforman la red eléctrica y el impacto ambiental negativo de las tradicionales fuentes de generación de electricidad. La identificación y mapeo de los tipos de cargas o clientes (Residencial, Comercial e Industrial) dentro de un sistema eléctrico es fundamental para entender el funcionamiento de la red, al contar con la ubicación aproximada de cada uno de los tipos de clientes se deduce el tipo de carga con el que se consta. (Erazo & Guamán, 2022).

Por ejemplo, clientes tanto como Comerciales e Industriales cuentan por lo general con cargas no lineales que originan corrientes armónicas que se propagan en las redes de transmisión y distribución eléctrica, afectando los índices de calidad del suministro de energía, en comparación a los clientes Residenciales los cuales se caracterizan por ser cargas netamente resistivas que no producen incidencias negativas a la red (Erazo & Guamán, 2022).

Además, visualizar geoespacialmente las demandas energéticas dentro de una zona ayuda a señalar porcentajes de pérdidas no técnicas en dicha zona, mediante balances de energía entregada por la distribuidora (tomando en cuenta pérdidas técnicas) y la facturación que se tiene. Al disminuir este tipo de factores adversos (pérdidas no técnicas) se aumenta la eficiencia del sistema tanto de forma monetaria como operacional, ya que la red no tendría que “llevar” potencia adicional que luego no representaría un rédito monetario o en el caso de regular este tipo de clientes, significaría un aumento de ingresos que podrían ser usados

para mantenimiento o adopción de nuevas redes que mejoren la eficiencia del sistema eléctrico.

2.2.3. Transición energética y papel de la generación distribuida fotovoltaica

La transición energética es un tema el cual se lo asocia comúnmente con el desarrollo sostenible y que se menciona a menudo en el ámbito energético del país, pero que ha ido avanzando de a poco. Como puntos principales para una transición energética se toma la diversificación de la generación eléctrica, se apunta a generar mediante recursos renovables como lo pueden ser aprovechando la luz solar, energía eólica, mareomotriz, etc.

Es aquí donde Kazimierski (2020) menciona que puede ser abordado en dos niveles: (1) a nivel técnico, se trata de un proceso de transición desde una estructura basada en energías fósiles y nucleares, hacia un sistema basado en energías renovables y limpias relativamente descentralizadas; y (2) a nivel político, como un proceso de lucha desde abajo que se opone no sólo a las energías contaminantes ya sean nucleares o fósiles, sino también a la centralidad de las estructuras de poder que dominan el sector.

Tomando como ejemplo la adopción de módulos fotovoltaicos, para poder dimensionar los elementos que comprenden a estos sistemas se deben de conocer información fundamental de la red a la que se vaya a conectar como lo es la Demanda Eléctrica, además de conocer parámetros solares del sitio en el cual se vaya a instalar este sistema. Por esto, resulta fundamental la representación de este tipo de parámetros en sistemas que permitan visualizar de manera sencilla y con gran nivel de exactitud geográfica como lo son los SIG, donde se puede reconocer zonas con demandas energéticas grandes,

medianas y pequeñas, con el fin de implementar sistemas de generación extras que ayuden a diversificar la matriz energética y a disminuir la cargabilidad de la red.

Además si se toma desde un tema monetario Ramos (2022) da a conocer que el incremento de los precios de la energía impacta en todos los consumidores, la subida del precio del gas, además se las sequías ha aumentado del mismo modo el precio de la electricidad, por lo que la búsqueda de alternativas de consumo más sostenibles económica y ambientalmente, han derivado que exista una transición energética, con ello el uso de energía solar fotovoltaica ha disparado el número de solicitudes de información y saturado el sector de instaladores fotovoltaicos.

2.3. Fundamentos de información geoespacial

Para la realización de análisis espaciales de manera correcta, es necesario tener claro conceptos que a simple vista suelen resultar similares, pero al momento de trabajar son softwares SIG pueden variar los resultados de forma significativa. Principalmente identificar que es un espacio geográfico y cómo influye en la georreferenciación, así también, la representación de los datos que se pueden usar (Vectorial y Ráster) y las características con las que debe de contar una base de datos geoespacial para funcionar de forma correcta.

2.3.1. Espacio geográfico y georreferenciación

Espacio geográfico

Este es considerado una porción concreta de la superficie terrestre que puede ser considerada, a una escala determinada, en su conjunto, en cada uno de sus lugares, en sus relaciones internas y en sus relaciones externas con los demás espacios (Salinas et al., 2023).

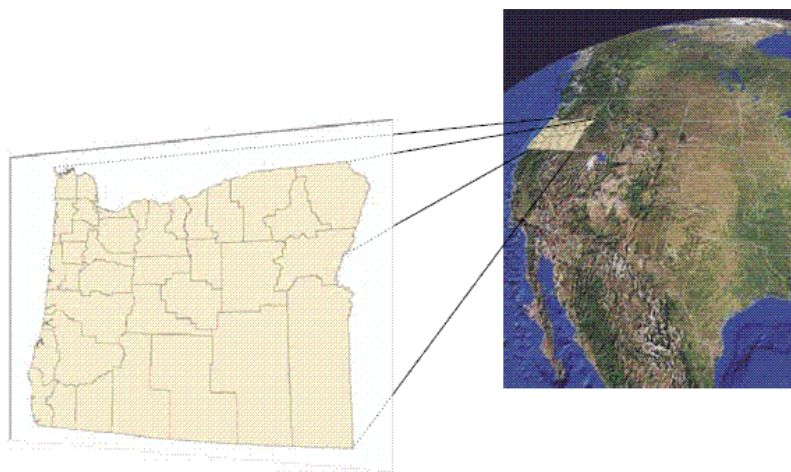
Georreferenciación

Es la asignación de una localización geográfica específica de una información, se puede representar usualmente mediante una capa satelital (Figura 1). Es decir, la georreferenciación implica relacionar los puntos de un conjunto de datos, de un mapa, de una fotografía aérea o una imagen con un espacio geográfico o sistema de coordenadas geográfico en el terreno.

Georreferenciar permite definir el lugar donde cada una de estas fuentes se encuentra en él, este proceso vincula los elementos en diferentes fuentes de datos capturados de manera remota con sus homólogos en el mundo real, destacando características que hace que la información geoespacial sea única es la georreferenciación debido a que, por medio de esta es que los datos se relacionan espacial y temporalmente (Zamora et al., 2025).

Figura 1

Georreferenciación.



Fuente: (ESRI, 2025)

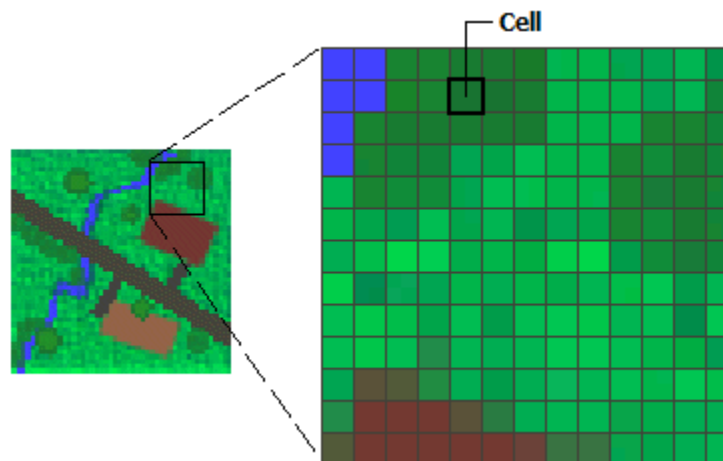
2.3.2. Datos espaciales: modelos vectorial y ráster

Dentro de la georreferenciación existen diferentes tipos de representar la información y que según Barrera (2023) indica que son 2:

1. El modelo de datos **ráster** representa el mundo como una cuadrícula de celdas espaciadas regularmente (Figura 2), donde cada celda contiene un valor (como la elevación) o un conjunto de valores (como la radiancia detectada por un instrumento de Teledetección en varias bandas espectrales).
2. Mientras que el modelo **vectorial** representa el mundo como una colección de entidades, donde cada entidad está asociada con una o más geometrías definidas como secuencias de pares de coordenadas (generalmente puntos, líneas o polígonos) y otras propiedades o valores (Gabriel et al., 2023)

Figura 2

Capa Ráster.



Fuente: (DESKTOP, 2021)

Ambos modelos pueden reflejar cambios de algunas propiedades a través del tiempo, sin embargo, ninguno es aplicable en todas las situaciones, y los dos modelos se consideran complementarios, siendo preferible el ráster para representar variables que cambian continuamente en el espacio, mientras que el vectorial es más adecuado para describir elementos que pueden ser individualizados por los humanos (Masó & Pons, 2024).

2.3.3. Bases de datos espaciales y estructuras de almacenamiento geográfico

Identificados los tipos de representación de datos geográficos, estos datos deben de contar con cierta información necesaria para su proyección dentro de un mapa. Rojas & Guarguatin (2024) afirman que las bases de datos permiten describir los objetos espaciales que la forman a través de tres características básicas: atributos, localización y topología, aquellos atributos representan características de los objetos que nos permiten saber qué es lo que son.

La localización, representada por la geometría del objeto y su ubicación espacial de acuerdo con un sistema de referencia, permite saber dónde está el objeto y qué espacio ocupa, finalmente, la topología definida por medio de las relaciones conceptuales y espaciales entre los objetos permite mejorar la interpretación semántica del contexto y establecer ciertas jerarquías de elementos a través de sus relaciones (Rojas & Guarguatin, 2024).

Los datos geográficos pueden estar almacenado en servidores, discos duros o archivos simples con el fin de tratar los datos de manera más sencillas, pero se deben de comprender de soporte, donde el Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2022) da a conocer que las estructuras de almacenamiento geográficos son una estructura de almacenamiento de información geográfica, cartográfica, alfanumérica, metadatos y mapas para facilitar la gestión y análisis de la información geoespacial asociada a los proyectos, obras o actividades que puedan llevarse a cabo.

2.4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Teniendo identificado los elementos relacionados al análisis espacial, ahora se debe de conocer las herramientas con las cuales realizar los procesos de georreferenciación, es decir, introducir los Sistemas de Información Geográfica, que son, funcionalidades, tipos de

softwares que pertenecen a estos sistemas y relacionar como pueden ayudar al análisis de la demanda energética dentro de un área especificada.

2.4.1. Definición, componentes y funcionalidades de un SIG

Un Sistema de información geográfica (SIG) es un tipo de tecnología de representación cartográfica y análisis de datos que puede servir para un gran abanico de ámbitos tanto sociales, culturales o técnicos.(Environmental Systems Research Institute [Esri], 2025). Su uso puede ir desde el análisis de datos de criminalidad, pasando por estudios medioambientales o como es el presente caso de estudio para visualizar demandas eléctricas, pero constando con componentes esenciales como ubicaciones geográficas.

Como componentes que integran a los SIG Santiago (2024) menciona que se encuentra en primera instancia los datos geográficos los cuales comprenden información espacial en diferentes formas, como representaciones vectoriales y ráster, modelos digitales de terreno, datos topográficos y atributos, estos elementos contienen la información necesaria para la los cuales se refieren a la estructura de la base de datos geográfica que representa cómo se almacena, organiza y mantiene la información. De una forma más concisa, son 5 los elementos principales: Datos, métodos, software, hardware y factor organizativo (personas) (Santiago, 2024).

En lo que respecta a sus funcionalidades, los SIG se catalogan como una herramienta fundamental para la planificación de ciudades, facilitando la integración de múltiples fuentes de datos para el desarrollo sostenible y eficiente de los espacios urbanos, de otra forma, esta facilita la comprensión de un territorio y, en consecuencia, planificar mejor y anticipar lo que puede suceder en él. Algunas de sus ventajas son la integración de datos, su análisis y la representación visual de los resultados (Moran & Mogro, 2024).

2.4.2. Aplicaciones de los SIG en planificación de redes eléctricas y análisis de demanda.

Para la ejecución de este trabajo se eligió Sistemas de Información Geográfica por su gran versatilidad en la visualización de datos de manera precisa, en específico de demandas eléctricas para luego realizar análisis tomando en cuenta datos históricos y estimar elementos generadores que ayuden al aumento de la eficiencia del sistema.

Pero no son los únicos casos en los que se pueden usar SIG en el ámbito energético, si se cuentan con datos de alimentadores, cargabilidad de transformadores, etc. se pueden realizar diversidad de análisis con el fin de la mejora del sistema, como menciona Techane et al. (2022) un SIG tienen aplicaciones amplias en el análisis de fallas, la optimización de redes, la previsión de carga, la estimación de costos y la selección de áreas.

Esta herramienta se vincula en la gestión de las redes eléctricas, desde el mapeo de los activos hasta la recolección de datos en tiempo real, pasando por el análisis de las condiciones operativas, el sistema permite monitorear e intervenir de manera efectiva en cada elemento de la red, es de gran ayuda para las empresas eléctricas, reduciendo así el costo del mantenimiento manual de los mapas y permite la evaluación simultánea de factores técnicos, financieros y ambientales.(Techane et al., 2022)

Además, las SIG han demostrado ser un sistema viable en aplicaciones que involucran la conexión de información de bases de datos como la facturación, la contabilidad de materiales, el análisis de distribución y los informes de interrupciones en las empresas eléctricas (Larico et al., 2023).

2.4.3. Software SIG: soluciones comerciales y de código abierto

Para la resolución de problemas sociales los SIG son usados en diversos ámbitos pudiendo mencionar entre los más destacados para análisis ambiental, criminal y agrícola, resultando como una herramienta importante debido a su versatilidad para la visualización de datos geográficos dentro de un área determinada. Por su parte Olivo (2019) afirma que los Sistemas de Información Geográfica en la actualidad se han convertido en una herramienta útil en el campo ambiental demostrando ser importante para el manejo de la conservación, regularización y restauración de un determinado territorio, en este sistema existen los softwares SIG comerciales como lo son ArcGIS, Global Mapper, Arcview, Geomedia y Mapinfo Professional y entre los softwares SIG de código abierto, se mencionan a QGIS, Saga Gis, Diva Gis, Grass Gis y GvSIG.

En lo que respecta a los softwares comerciales tienen como principal desventaja tener un alto coste, sin embargo, ofrece un tipo de soporte técnico que otros SIG no presentan, además los SIG de tipo comercial se categorizan por dar un contenido de información más completo en cuanto a la calidad y producto, lo que garantiza un trabajo más detallado y permitiendo realizar con sus resultados análisis de mayor complejidad, precisión y exactitud (Santiago, 2024).

Por otro lado, es posible determinar que los softwares de código abierto o también llamados libres, presentan menos detalles lo que los hace poco útiles para escalas grandes, por ellos son comúnmente utilizados cuando no se cuenta con un presupuesto; comúnmente con fines académicos (Olivo, 2019).

Tabla 2*Análisis comparativo entre softwares SIG de código abierto.*

SIG	Ventajas	Desventajas
<i>QGIS</i>	• Interfaz Intuitiva. • Actualizaciones Regulares. • Potencia Alta en análisis matemáticos. Compatibilidad con diversidad de formatos de datos.	• Consumo alto de recursos en proyectos grandes.
<i>SAGA GIS</i>	• Adecuado para modelado de terrenos. • Potencia Media para análisis espaciales.	• Análisis vectorial básico. • Interfaz limitada.
<i>GvGIS</i>	• Orientado a ordenamiento territorial y gestión municipal. • Multiplataforma.	• Poco soporte por parte de la comunidad. • Escases de plugin y complementos.
<i>GRASS GIS</i>	• Fuerte en análisis ráster. • Usado para investigaciones científicas. • Alta eficiencia computacional.	• Interfaz poco amigable. • Visualización cartográfica básica. • Importación de datos CSV más compleja.

Fuente: Elaboración Propia.

La utilización de QGIS como software idóneo para el análisis de demandas eléctricas se lo baso en un balance entre ventajas y desventajas de los SIG de código abierto antes mencionados (SAGA GIS, GvGIS y GRASS GIS) (Tabla 2). Se priorizo la potencia de realización de análisis espaciales, su continua actualización y soporte que le brinda su comunidad para obtener un software robusto, que garantice resultados óptimos para la realización de este trabajo. Además, en primera instancia se descartaron SIG comerciales debido a altos costos para la adquisición de licencias y las limitaciones presupuestarias y/o técnicas que se tenían para la ejecución de este estudio.

2.4.4. QGIS como herramienta principal del estudio

Quantum GIS (QGIS) es una aplicación profesional de SIG es un Software Libre y de Código Abierto (FOSS), siendo así un Sistema de Información Geográfica licenciado bajo GNU - General Public License, oficialmente de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Este Software funciona sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos (Morales, 2020).

Moncayo (2023) describe que el estudio mediante softwares como QGIS posibilita la creación, visualización, análisis, edición y publicación de información geoespacial; su objetivo es proporcionar una plataforma de software para la gestión y análisis de datos geoespaciales de forma fácil y accesible, es utilizado por profesionales en SIG hasta estudiantes y entusiastas del análisis de datos geográficos. QGIS ofrece una amplia gama de herramientas y funciones para el procesamiento de datos geoespaciales, lo que incluye la capacidad de crear y visualizar mapas, importar y exportar datos en diversos formatos de archivo, crear y editar objetos geográficos, realizar análisis espaciales y generar informes y gráficos (Moncayo, 2023)

2.5. Técnicas de análisis espacial aplicadas al estudio

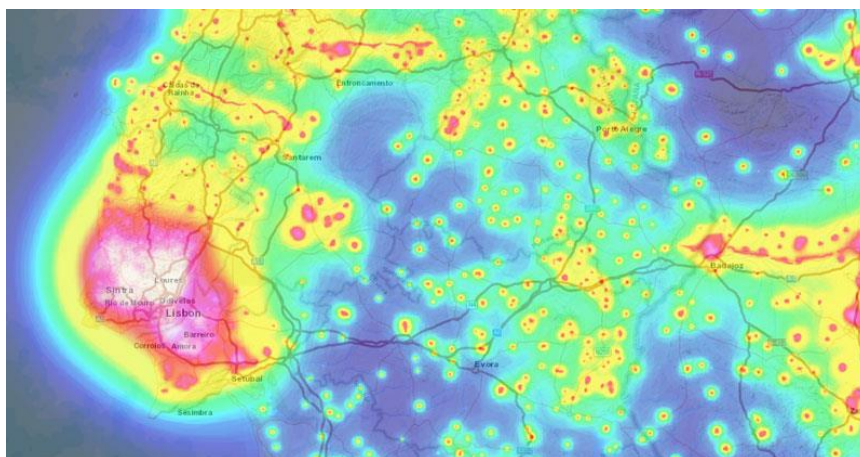
2.5.1. Mapas de calor y análisis de densidad en datos de demanda eléctrica

Una de las representaciones gráficas utilizadas en los SIG para el análisis de la información son los mapas de calor o heatmaps, un mapa de calor es una representación gráfica de un elemento que utiliza un código de colores para reflejar diferentes estados de actividad; donde habitualmente, el rojo representa a los valores altos y el azul a la actividad

más baja, por consiguiente los valores intermedios se reflejan con los colores que separan al rojo y azul en el espectro luminoso: naranja, amarillo y verde (Gutiérrez, 2022).

Figura 3

Mapa de Calor.



Fuente: (BEERS, 2019)

Enfocados en el análisis de densidad de datos, principalmente en parámetros como la demanda eléctrica, se considera que los mapas de calor son una representación gráfica idónea que clasifica mediante colores puntos de baja, media y alta demanda energética en un área con el fin de detectar oportunidades para la implementación de proyectos de generación eléctrica; dichas zonas pueden ser localidades, barrios, sectores con varios grandes clientes, o un único gran cliente sumado a zonas residenciales aledañas, donde los grandes clientes son: áreas de edificios y condominios de alta densidad, edificios públicos, barrios cívicos, industrias con requerimientos de calor de proceso, áreas comerciales, hospitales o clínicas, campus universitarios o grandes escuelas (Fierro et al., 2021).

2.5.2. Método de densidad de Kernel: fundamentos y aplicaciones

De la Cruz et al. (2024) señalan que el método de Densidad de Kernel es una técnica estadística que permite la visualización de datos espaciales en forma de mapas de calor, facilitando la identificación de patrones y áreas de alta congestión. Este método utiliza una función matemática (Kernel) para ponderar los eventos en función de su distancia a cada punto del mapa, generando así una superficie que representa la densidad de eventos por unidad de área, esto no solo muestra dónde ocurren los eventos con mayor frecuencia, sino que también proporciona una indicación más precisa de su distribución espacial (Torres, 2021).

La fórmula usada para este tipo de estimaciones es la siguiente:

$$f(x, y) = \frac{1}{nh_1h_2} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h_1}, \frac{y - Y_i}{h_2}\right) \quad (\text{Ec.1})$$

Donde

X e Y representan puntos bidimensionales desde donde se estima la densidad.

X_i e Y_i son valores variables.

K es el símbolo de tipo Kernel

h_1 y h_2 son Anchos de banda para las coordenadas.

Dependiendo del tipo de objetivo que se tenga se tienen diferentes tipos de Kernel, en el cual vendrá dado de acuerdo al valor del símbolo K, aunque en su gran mayoría se obtienen valores similares en cada uno de ellos. En la Tabla 3 se muestran los diferentes tipos que se tienen.

Tabla 3*Tipos de KERNELS*

TIPOS DE KERNELS	
KERNEL	K (u)
Uniforme	$\frac{1}{2}$, para $ u < 1$
Triangular	$(1 - u)$, para $ u \leq 1$
Epanechnikov	$\frac{3}{4} (1 - u^2)$, para $ u < 1$
Cuártico o Biweight de Tukey	$\frac{15}{16} (1 - u^2)^2$, para $ u \leq 1$
Triweight	$\frac{35}{32} (1 - u^2)^3$, para $ u \leq 1$
Gaussiano	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} u^2\right)$
Coseno	$\frac{\pi}{4} \cos\left(\frac{\pi}{2} u\right)$, para $ u \leq 1$
K ₂ de Silverman	$\frac{3}{\pi} (1 - u^2)^2$, para $ u \leq 1$

Fuente: (Pérez-Aguilar, 2021)**2.5.3. Interpolación IDW (Inverse Distance Weighting)**

Realizar la interpolación de un conjunto de datos permite predecir de gran manera los valores de una variable a partir de valores conocidos dentro de un territorio determinado. Uno de los modelos más usados para poder lograr una ponderación eficiente dentro de una serie de parámetros para poder realizar mapas de calor con “peso” en los datos y no netamente en la densidad de los puntos es la Interpolación mediante distancia inversa ponderada o Inverse Distance Weighting.

Como principal fuente de información Quintero (2022) señala que la interpolación de datos ofrece la ventaja de proyectar mapas o superficies continuas a partir de datos discretos, manipulando información espacial para extraer información novedosa y significativa a partir de los datos originales. En el método de interpolación IDW, los puntos de muestreo se ponderan durante la interpolación de tal manera que la influencia de un punto en relación con

otros disminuye con la distancia desde el punto desconocido que se desea crear, donde la fórmula que se usa para realizar la interpolación es la siguiente:

$$z(s_o) = \sum_{i=1}^n p_i(s_o)z(s_i) \quad (\text{Ec.2})$$

Donde

Z es la variable en cuestión.

La sumatorias de s serían las localizaciones.

$p_i(s_o)$ es el peso.

s_o y s_i son la distancia entre puntos.

(Vargas Diaz et al., 2023).

La ponderación es asignada a los puntos de muestreo mediante la utilización de un coeficiente de ponderación que controla cómo la influencia de la ponderación decae mientras la distancia hacia el punto nuevo se incrementa, mientras más grande sea el coeficiente de ponderación menor será el efecto que los puntos tendrán si están lejos del punto desconocido durante el proceso de interpolación, conforme el coeficiente se incrementa, el valor de los puntos desconocidos se aproxima al valor del punto de observación más cercano (Beltran, 2020).

2.6 Aplicaciones Previas de SIG en sector eléctrico.

Reconocer los estudios en los que se han integrado SIG para realización de análisis energéticos en general ayuda a dimensionar el punto del estudio en el que se encuentra y a identificar posibles falencias, tanto a nivel nacional como internacional.

2.6.1 Estudios Internacionales sobre demanda eléctrica y SIG.

La utilización de Sistemas de Información Geográfica en el sector eléctrico ha ido creciendo de forma exponencial a nivel internacional, debido a las grandes ventajas

estadísticas y visuales que se obtienen. Senen & Jamian (2025) propuso un modelo para la estimación o predicción de demanda eléctrica combinando análisis multivariantes y la obtención de alta resolución espacial que minimice los errores propios de estos análisis. Se utilizan Grids geográficos de dimensiones aproximadas de 1.5 km por 1.5 km por celda, lo cual permite obtener un alto nivel de precisión estadística teniendo un coeficiente de determinación cercano a 0,98 y con un Error porcentual Absoluto Medio (MAPE) de 3,36%.

Wang & Sun (2022) propone el pronóstico de demandas eléctricas en zonas urbanas, mediante el uso de SLD (Spatial Load Density) el cual se lo realiza mediante el método denominado SELF-HE en donde se enlazan herramientas como teledetección de alta resolución y sistemas de información geográfica. El principal objetivo es el de extraer características espaciales de edificaciones ubicadas en zonas urbanas de rápido desarrollo a partir de imágenes satelitales con alta resolución, tomando como premisa que la distribución y tipología del uso de suelo se encuentran estrechamente relacionada con los patrones de consumo eléctrico. Además, con experimentos realizados en zonas urbanas de china demuestran que este método supera enfoques tradicionales como modelos basados en series históricas o cercanía espacial.

Enfocado más en la planeación urbana Buonomano et al. (2026) propone el uso de SIG para el diseño de comunidades urbanas (Nápoles) enmarcadas en la transición energética europea, se plantea que mediante los Sistemas de Información geográfica se puede integrar información territorial y datos de consumo energético con el fin de analizar el potencial de generación renovable. Igual que el objetivo del presente trabajo, se presentan escenarios energéticos orientados a la autosuficiencia energética y consolida la idea de que la demanda eléctrica debe de tratarse como un fenómeno territorial.

Como otro tipo de análisis con SIG Antic & Capuder (2023) indica su uso para la revisión energética de redes de distribución de baja tensión en ciudades croatas, haciendo énfasis en la calidad del suministro eléctrico. Este estudio utiliza información de la red proveniente de medidores inteligentes para analizar la distribución espacial de la demanda y cómo influye en el desempeño de la red, además demuestra que los desequilibrios de la red y problemas de voltaje deben de analizarse considerando su localización geográfica.

Para la realización de este estudio, la revisión internacional de antecedentes con respecto al uso de SIG en el ámbito energético fue de suma importancia, ya que ayudo a contemplar nuevas iniciativas que se utilizaran en base al análisis de los mapas de calor de la demanda eléctrica como lo son, el de estimar demandas futuras o analizar viabilidad de generación renovable en base a las características geográficas en la que se encuentra.

2.6.2 Experiencias en America Latina

Entre las aplicaciones más relevantes de SIG en America Latina se tiene la de Chávez & Molina (2025) realizado en Perú, que trata la demanda eléctrica desde un punto o perspectiva espacial, aquí se introducen conceptos de forecasting espacial donde las predicciones se realizan tomando en cuenta información de zonas cercanas estructurada de forma matricial para estimar influencias de zonas aledañas y usando convoluciones espaciales para el modelado territorial. Se emplea principalmente para la planificación eléctrica, donde se estiman redimensionamientos de redes de distribución o implementación de unidades de generación para abastecimiento de diversas zonas.

Como otras formas de aprovechar SIG juntándolo con herramientas de modelado la propone Jiménez Baldivieso & Galarza Zambrano (2025) el cual, mediante datos de la red, implementó ArcGIS Pro y modelado 3D para representar y analizar la demanda eléctrica

urbana de la zona centro de Guayaquil. También usa elementos mucho más específicos como el análisis termográfico de seccionadores y curvas de demanda por tipo de cliente (Residencial, Comercial e Industrial) para poder predecir demandas hasta el año 2035, permitiendo proponer estrategias para mejorar la eficiencia energética. Esto demuestre la versatilidad que tienes los SIG para trabajar en conjunto con otras herramientas, además de proveer información relevante en ámbitos mucho más específicos.

Por último, como recurso comparativo para la adopción de tipos de generación Domínguez et al. (2024) presenta un modelo para comparar opciones de viabilidad en diferentes tipos de generación eléctrica mediante el análisis espacial de la demanda y los recursos energéticos. Se realizó mediante el software ArcGIS en la comunidad de Guasasa en Cuba donde se calculó el LEC (Levelized Energy Cost) comparando generación solar, a Diesel e híbridas según la variabilidad espacial de la demanda, además se enfatiza que una planificación energética eficiente debe considerar tanto la geografía como los patrones de demanda local. Este estudio se acerca mucho al objetivo del presente proyecto, ya que requirió datos geoespaciales de la demanda energética para poder dimensionar módulos de generación solar y analizar su viabilidad tanto en costos como de manera técnica.

3. Caracterización del Área de Estudio

Para la realización de este proyecto de titulación se usará un análisis cuantitativo para poder delimitar y filtrar los datos suministradas por CNEL EP Manabí, entre los ejes principales que se tomarán en cuenta para toda la ejecución y graficado de los datos serán:

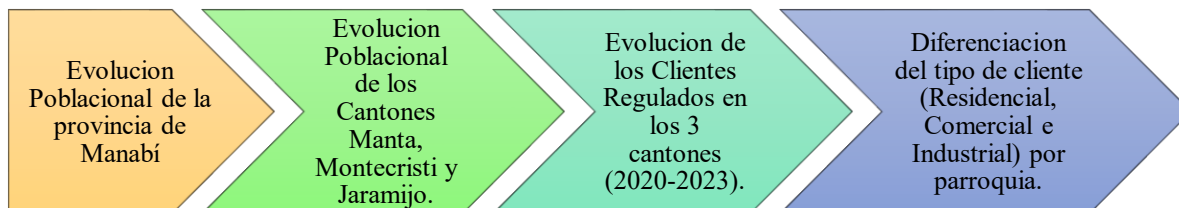
1. Demandas Eléctricas.
2. Número de Clientes Regulados.
3. Tipos de consumidores.

Al tratarse de datos históricos de las diferentes ciudades competentes a este proyecto, se debe de estimar de forma precisa y con margen de error muy bajo características como lo son consumos de electricidad y el incremento de usuarios. Para poder obtener una vista mucho más mas específica y técnica de los consumos energéticos de las provincias seleccionadas, es recomendable la utilización de softwares estadístico o de información geográfica como lo pueden ser ArcGIS o QGIS.

Como parte del análisis demográfico de los cantones seleccionados realizado más adelante, se seguirá el orden indicado en la Figura 4 y que comenzará con la identificación del crecimiento poblacional experimentado en la provincia de Manabí entre los años 2010-2022 (Figura 5). Con esto se busca conectar desde datos generales como la población en Manabí a datos específicos como la cantidad de clientes Residenciales, Comerciales e Industriales en cada parroquia.

Figura 4

Análisis demográfico de los clientes regulados en Manta, Montecristi y Jaramijo.

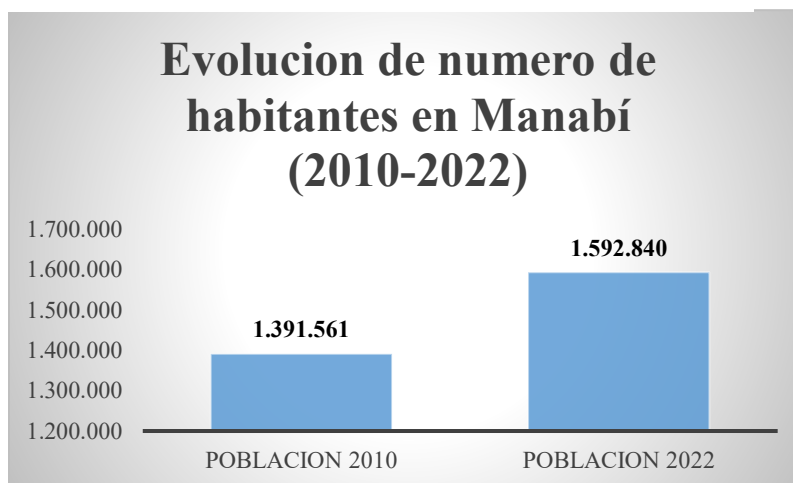


Fuente: Elaboración Propia.

Como se logra observar en la Figura 5, Manabí ha experimentado un crecimiento porcentual de 14,5% entre los años 2010-2022 dando como resultado 1.592.840 habitantes. Esta información funciona bien como base para tener una perspectiva global del lugar en donde se desarrollará el estudio, pero para objetivo prácticos se necesita desglosar esta información entre los 3 cantones seleccionados (Manta, Montecristi y Jaramijó) para que al final conjunto de una serie de clasificaciones que se explicaran a lo largo de la metodología se puedan diferenciar los datos de demanda energética y finalizar con la creación de los mapas de calor.

Figura 5

Evolución del número de habitantes en la Provincia de Manabí.



Fuente: (INEC, 2024)

3.1 Ubicación geografía de la zona de Estudio.

El proyecto se desarrolla en los principales cantones de la zona sur de la Provincia de Manabí: Manta, Montecristi y Jaramijó (Figura 6), se eligió debido a que cuentan con un perfil costanero continuo que caracteriza los principales ejes de la economía de la provincia, teniendo una gran presencia de clientes Residenciales, Comerciales e Industriales. Como primer Cantón se tiene a Manta, que consta uno de los principales centros urbanos y a la vez económicos de la provincia lo que ha impulsado el desarrollo de actividades portuarias e industriales, junto a su gran atractivo turístico se ha elevado su actividad económica, de esta forma favoreciendo una elevada densidad urbana y al ser el segundo cantón más poblado de toda la provincia de Manabí cuenta con una gran cantidad de clientes residenciales (grandes, medianos y pequeños) (Samada Grasst, 2022).

Por otro lado, tenemos a Montecristi que se encuentra ubicado al sureste de Manta comprendido por un área territorial de alrededor de $705,6 \text{ km}^2$. Sus principales actividades comerciales se basan en la creación de artesanías tradicionales y el turismo, así también, por su cercanía a Manta se desenvuelven en la logística portuaria. En los últimos años ha experimentado un crecimiento urbano y residencial significativo, lo que se traduce en incremento de consumo energético y ampliación de cobertura del servicio de distribución (Samada Grasst, 2022).

Por su parte Jaramijó se encuentra ubicado al suroeste de Manta, abarcando un área total de $96,58 \text{ km}^2$. Al igual que la ciudad de Manta, cuenta con salida hacia el mar, lo que permite la ejecución de actividades pesqueras que son el principal motor económico de este cantón, por esta razón se tiene que la mayor parte de la población de este cantón se dedica a la pesca artesanal. Pese a contar con menor territorio que Manta y Montecristi, presenta un

crecimiento urbano progresivo enfocándose en zonas residenciales cercanas al frente costeros, además teniendo las principales industrias pesqueras en las fronteras con Manta, lo que aumenta considerablemente su demanda eléctrica (Arcentales Veliz, 2022).

Figura 6

Ubicación Geográfica de Manta, Montecristi y Jaramijó.



Fuente: (ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, 2010)

3.2 Dinámica Demográfica.

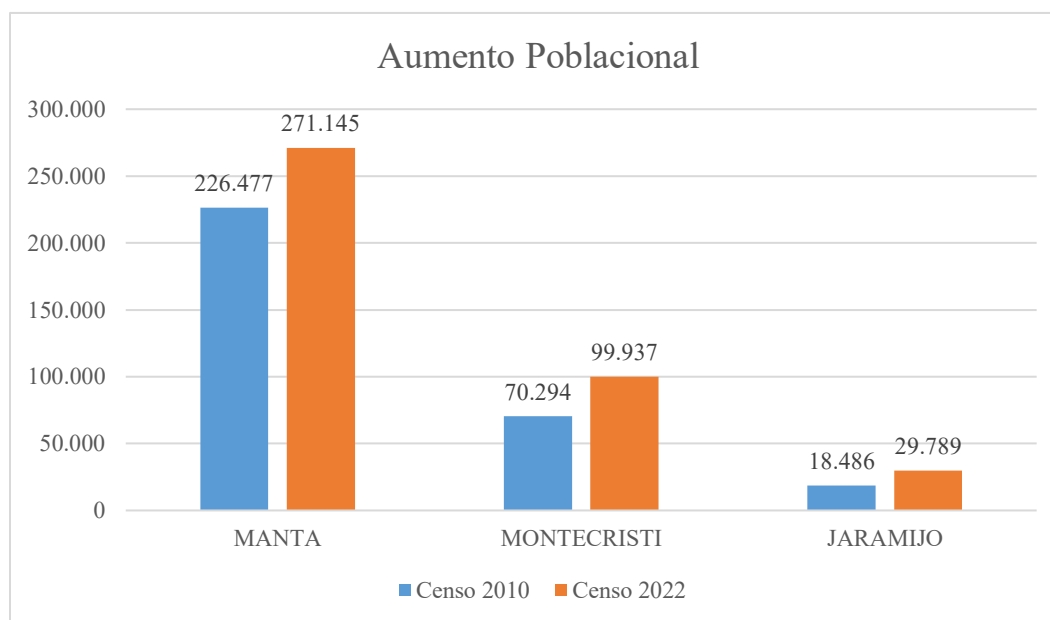
Identificar el crecimiento poblacional que se ha tenido en estas 3 ciudades nos presenta una perspectiva amplia del crecimiento de estos cantones, como bases comparativas se usaran datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos, específicamente de su base de datos de 2010 como antecedente principal y del Censo 2022 como datos actualizados. Con esto se busca dimensionar porcentualmente el crecimiento

poblacional que se obtenido en estos 12 años, tanto de forma general como año a año (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2023).

Con esta información se pudo estimar el aumento poblacional que se tuvo en el lapso de 12 años en estos 3 cantones, tomando en cuenta datos netamente porcentuales se tuvo que el cantón con mayor aumento poblacional fue Jaramijó con alrededor del 55,7 %, seguido por Montecristi con 42,1 % y por último Manta con casi el 20 %. Tomando netamente datos de habitantes, Manta tuvo un aumento de 44.668 habitantes, Montecristi de 29.643 y Jaramijó de 11.303 habitantes totales (Figura 7), lo cual a grandes rasgos se puede traducir en mayor demanda energética tanto en ámbitos residenciales como comerciales.

Figura 7

Aumento Poblacional Manta, Montecristi y Jaramijó 2010-2022.



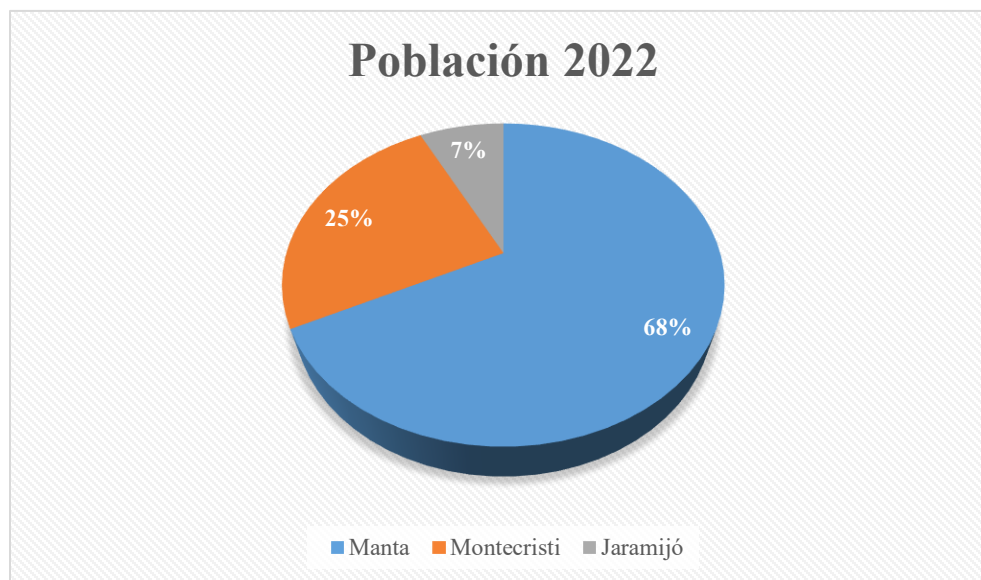
Fuente: Elaboración Propia.

Además, es importa representar el porcentaje total de habitantes que tienen cada uno de los cantones con respecto a la suma de los 3 (Figura 8), para dimensionar el relieve

poblacional que existe entre cada cantón y que luego se presentara mucho más a detalle en la diferenciación de clientes regulados por parroquia.

Figura 8

Porcentaje Poblacional de los 3 cantones.



Fuente: Elaboración Propia.

3.3 Expansión del número de clientes regulados.

Como se identificó anteriormente, el aumento de la población de 2010 a 2022 tuvo aumentos pronunciados debido a diferentes factores que no son relevantes en este trabajo, pero que nos sirven de indicador para relacionarlo al aumento de clientes regulados en CNEL unidad de negocios Manabí. Según estadísticas proporcionadas por las bases de datos de CNEL y que se han filtrado por cantones, entre los años 2020 a 2023 se obtuvo un aumento paulatino de los clientes regulados en cada una de las parroquias que comprenden a los 3 cantones y que se mostraran a continuación cada de ellas.

Manta.**Tabla 4***Clientes Regulados por parroquia en Manta 2020-2023*

Parroquias	2020	2021	2022	2023	Crecimiento Porcentual
Tarqui	21.216	21.789	21.886	22.866	7,77 %
Manta	28.798	29.379	29.451	30.293	5,19 %
Los Esteros	20.409	21.229	21.466	22.138	8,47 %
Eloy Alfaro	11.543	11.837	11.774	11.942	3,45 %
San Lorenzo	1.328	1.423	1.494	1.582	19,12 %
San Mateo	1.446	1.541	1.595	1.717	18,74 %
Santa Marianita	1.016	1.066	1.082	1.131	11,31 %

Fuente: Elaboración Propia**Tabla 5***Clientes Regulados por Tarifa en Manta 2020-2023.*

Año	Residenciales	Comerciales	Industriales	Otros
2020	69.513	4.621	117	581
2021	72.381	5.012	117	608
2022	75.200	5.355	118	622
2023	79.875	5.857	121	670

Fuente: Elaboración Propia

Montecristi**Tabla 6***Clientes Regulados por parroquia en Montecristi 2020-2023.*

Parroquias	2020	2021	2022	2023	Crecimiento Porcentual
<i>Leónidas Proaño</i>	4.826	4.960	4.825	4.949	2,5 %
<i>General Eloy Alfaro</i>	3.815	4.037	4.150	4.498	17,9 %
<i>Isabel Muentes</i>	2.180	2.246	2.622	2.876	31,9 %
<i>Colorado</i>	2.366	2.475	2.568	2.715	14,75 %
<i>Montecristi</i>	7.182	7.740	7.756	8.198	14,14 %
<i>Aníbal San Andrés</i>	3.361	3.512	3.564	3.942	17,82 %
<i>La Pila</i>	767	788	780	803	4,48 %

Fuente: Elaboración Propia**Tabla 7***Clientes Regulados por Tarifa en Montecristi 2020-2023.*

Año	Residenciales	Comerciales	Industriales	Otros
<i>2020</i>	20.386	614	38	63
<i>2021</i>	21.686	701	38	65
<i>2022</i>	23.071	771	40	66
<i>2023</i>	25.378	854	44	75

Fuente: Elaboración Propia

Jaramijó.**Tabla 8***Clientes Regulados por parroquia en Jaramijó 2020-2023.*

Parroquias	2020	2021	2022	2023	Crecimiento anual porcentual
<i>Jaramijó</i>	7.470	7.915	7.990	8.240	10,31 %
<i>Cabecera C</i>					

Fuente: Elaboración Propia**Tabla 9***Clientes Regulados por Tarifa en Jaramijo 2020-2023.*

Año	Residenciales	Comerciales	Industriales	Otros
<i>2020</i>	5.773	178	26	63
<i>2021</i>	6.217	199	26	65
<i>2022</i>	6.675	223	27	66
<i>2023</i>	7.172	269	28	75

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, las parroquias con mayores números de clientes regulados son Manta y Tarqui con alrededor de 30000 y 22000 clientes aproximadamente (Tabla 4), Manta al ser una zona muy urbana el ámbito residencial forma la gran parte de todos los clientes regulados del cantón teniendo un aumento de 10.362. (Tabla 5).

Por su parte el cantón Montecristi, la parroquia del mismo nombre centra un total de 8.198 clientes regulados, seguida por General Eloy Alfaro con 4.498 y Leónidas Proaño que

es la parroquia más próxima a Manta con 4.949 clientes, aquí se puede resaltar que 5 de las 7 parroquias cuentan con un crecimiento porcentual mayor al 10%, siendo el de mayor crecimiento la parroquia Isabel Muentes con 31,9 % (Tabla 6). De igual manera la dinámica energética es predominada por clientes residenciales con 25.378, seguida por la comercial con 854 clientes regulados (Tabla 7).

Por último, en los datos suministrados por CNEL, Jaramijó solo cuenta con una sola “Parroquia” con 8.240 clientes regulados (Tabla 8), predominados principalmente de tipo residencial con 7.172 (Tabla 9). Toda esta información nos da un indicio de cómo será la dinámica energética de cada uno de los cantones, donde principalmente se logran observar clientes residenciales y que servirá como guía para la clasificación de capas para la ejecución de Mapas de Calor.

3.4 Relevancia energética de la zona de Estudio.

Manta, Montecristi y Jaramijó no se caracterizan por ser grandes generadores de energía, pero debido a que son el eje económico del norte de Manabí tienen una gran importancia energética debido a su infraestructura, actividades económicas y al gran crecimiento urbano e industrial que se ha tenido en los últimos años.

Manta al contar con una de los puertos pesqueros más grandes del país, debe de complementar sus actividades con procesos operativos y de producción, por esta razón junto a Jaramijó han formado un eje Industrial sólido compuesto por industrias pesqueras y tratamiento de derivados, frigoríficos, empacadoras y de logística portuaria lo cual demandan altos consumos energéticos; además debido al creciente desarrollo urbano se ha experimentado una gran concentración de infraestructura comercial como hoteles, edificios y centros comerciales (Samada Grasst, 2022).

Por su parte Montecristi se caracteriza principalmente por su alto componente urbano-residencial, teniendo incidencia industrial relacionada con la manufactura y procesados de alimentos. También contando con una incidencia intermedia de comercios, pudiendo tener una perspectiva distinta de la dinámica energética en comparación a Manta y Jaramijó.

En relación a la generación eléctrica los proyectos más destacables se encuentran en Jaramijó con la Central Térmica Jaramijó con una potencia instalada de 149,3 MW, en Manta con la Central Miraflores con potencia nominal de 27 MW y la Central Manta II con una potencia nominal de 20,4 MW. Además, la principal planta de generación renovable proyectada en esta región es la del proyecto de generación fotovoltaica “El Aromo” en Montecristi que contara con una potencia de 200 MW (Figura 9), ayudando al funcionamiento del Sistema Nacional Interconectado (MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, 2020).

Principalmente la selección de estos 3 cantones se debe a su interconexión territorial y a su importancia estratégica dentro de la provincia, así también como a su sostenido desarrollo urbano y diversa dinámica energética óptima para la realización de análisis de demanda eléctrica, con el fin de visualizar las variaciones anuales, mensuales y semestrales de los tipos de clientes (Residencial, Comercial e Industrial).

Figura 9

Ubicación de las principales centrales de Generacion Electrica en Manta, Montecristi y Jaramijó.



Fuente: Google Earth.

4. Metodología.

4.1 Enfoque y Diseño Metodológico.

El presente trabajo actúa bajo un enfoque cuantitativo, debido a que se usan datos numéricos provenientes de la base de datos de clientes con la que cuenta CNEL MANABI, con parámetros como consumos energéticos y distribución tarifarias, lo que permite el cálculo, segmentación por rangos de consumo y clasificación del consumo energético mediante herramientas propias de Excel.

De igual manera se enfoca descriptivamente, ya que permite visualizar la distribución de clientes y el comportamiento de la demanda energética sin buscar causas del comportamiento de la misma, ya que el principal objetivo es el muestreo de datos de forma clara y precisa.

Y por último consta de un enfoque geoespacial con el cual se representarán los datos mencionados anteriormente con Sistemas de Información Geográfica, que ayudarán a dimensionar territorialmente el aporte energético de cada uno de los clientes, con el fin de identificar zonas de alto consumo energético y encontrar posibles soluciones a estas eventualidades.

4.2 Fuentes de datos utilizadas.

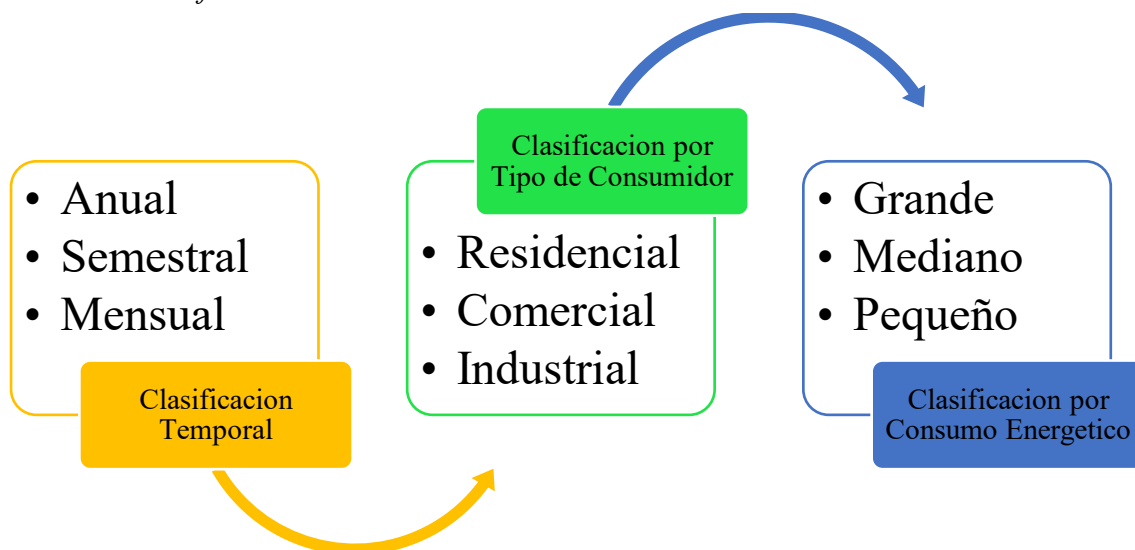
Como se ha mencionado con anterioridad los datos a utilizar para poder graficar los mapas de calor fueron proporcionados por CNEL MANABI, estos al ser datos numéricos y para facilitar su manejo se los tiene en archivos Excel. Se distinguen 2 tipos de archivos los cuales contienen información complementaria y útil para la ejecución de este proyecto, el primero contiene la energía facturada junto a datos como el ID único de cada cliente,

cantón, parroquia, tarifa dividida en las 3 franjas de consumo, ruta en la que se realiza la lectura, Año y Mes.

El segundo archivo contiene datos iguales como ID, cantón y parroquia los cuales se usaron para poder enlazar y complementar la información entre ambos, además se obtiene parámetros relevantes como el Barrio/Dirección, Alimentador en el que se encuentra conectado, el tipo de tarifa (Residencial, Comercial e industrial) y el dato más relevante que son las coordenadas UTM que ayudaran a representar espacialmente toda la información. Una vez integradas las 2 bases de datos se realizarán clasificaciones por tiempo y consumo energético de forma secuencial como se muestra en la Figura 10:

Figura 10

Parámetros de clasificación de la base de datos.



Fuente: Elaboración Propia

Realizar esta clasificación facilita dimensionar consumos energéticos por tipos de clientes de forma temporal, en el caso del análisis semestral se usaron la estacionalidad (invierno y verano) para dividir en 2 franjas. Para la clasificación por Consumo Energético se utilizó la Tabla 10 que nos indica los consumos promedios mensuales por cada tipo de

clientes y que ayudara a analizar las zonas en las cuales se concentran clientes de Grande, Mediano y Pequeño consumo.

Tabla 10

Consumo promedio mensual de energía eléctrica (kWh-mes).

Sector	Actividad	Grande	Mediano	Pequeño
Secundario	Industrial	Mayor a 500 000	Entre 20 000 y 500 000	Menor a 20 000
	Comercial	Mayor a 500 000	Entre 20 000 y 500 000	Menor a 20 000
Terciario	Público	Mayor a 500 000	Entre 20 000 y 500 000	Menor a 20 000
	Residencial	Mayor a 1 500	Entre 300 y 1 500	Menor a 300

Fuente: (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2021)

4.3 Procesamiento de datos.

Filtrar datos es un paso fundamental a la hora de realizar mapas de calor energéticos, debido a que se debe de tener mucha precisión a la hora de elegir correctamente cada una de las coordenadas geográficas referidas a los puntos que se presentaran en el mapa, para evitar posibles inconsistencias al momento de su presentación. Para este trabajo se realizaron múltiples procesos de tratamiento y filtrado de datos para evitar posibles inconsistencias que llegaran a comprometer la claridad de presentación de los datos, los cuales se presentaran a continuación.

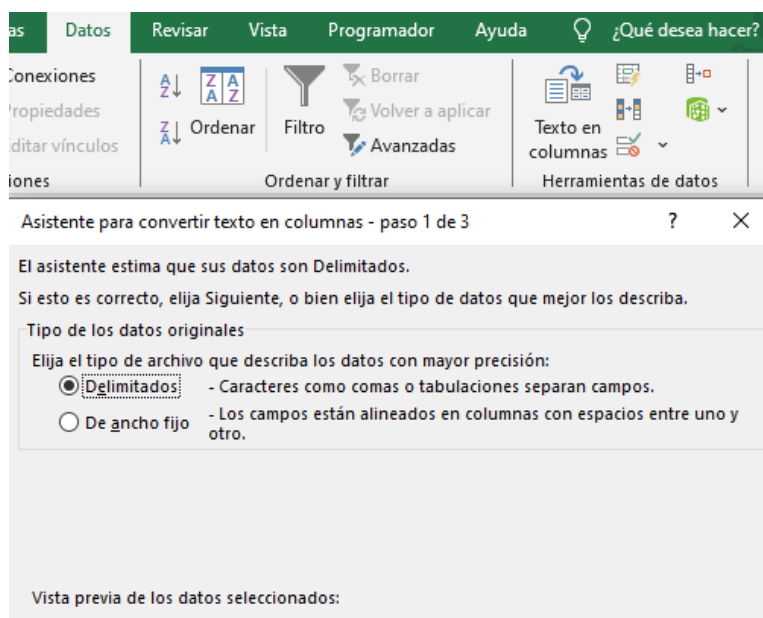
4.3.1 Normalización de Coordenadas.

Como primer paso para realizar un correcto filtrado se tiene que dividir las coordenadas geográficas suministradas, debido a que en el archivo origen estas se encontraban dentro de una celda (tanto la coordenada X como la Y), lo cual iba a dificultar

su adopción como capa vectorial en el software QGIS más adelante. Para esto se utilizó la opción Texto en columnas de Excel (Figura 11) para separar la coordenada en su componente Y y X, de tal forma que cada componente quede en una celda independiente (Figura 12) y permita el correcto tratamiento geoespacial de los datos en QGIS.

Figura 11

Asistente de Excel para convertir texto en columnas.



Fuente: Excel

Figura 12

Normalización de Coordenadas Geográficas.

ANTES		DESPUES	
Coordenadas UTM		Coordenadas UTMX	Coordenadas UTM Y
526728.56925; 9892601.82062		526728.56925	9892601.82062
526728.56925; 9892601.82062		526728.56925	9892601.82062
526728.56925; 9892601.82062		526728.56925	9892601.82062
526728.56925; 9892601.82062		526728.56925	9892601.82062
526728.56925; 9892601.82062		526728.56925	9892601.82062

Fuente: Elaboración Propia

Lo que permite esto es trabajar con las coordenadas diferenciadas y con el formato correcto, es decir, sin contar con puntos o comas decimales que provoquen inconsistencias al momento de importar la capa de puntos vectoriales y brinden información precisa geográficamente de los consumos energéticos.

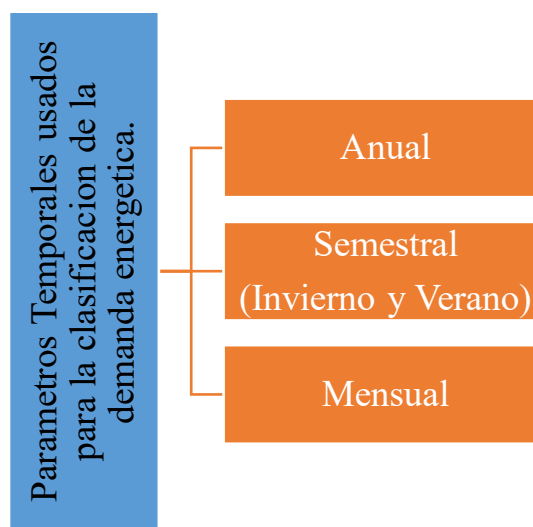
4.3.2 Clasificación de datos (Anual, Semestral, Mensual)

La representación de la demanda energética para su correcto análisis debe de seguir parámetros tales como el tiempo, para este proceso de clasificación se benefició de los filtros propios de los datos suministrados por CNEL, pero acompañado del componente manual para ir seccionando la base de datos en diferentes archivos con el fin de obtener un orden que luego se usara para la agrupación de las capas en QGIS.

Los parámetros de tiempo a utilizar son los presentados en la Figura 13 y que fueron seleccionados principalmente para analizar estacionalidades e información histórica de la demanda energética en Manta, Montecristi y Jaramijó.

Figura 13

Parámetros de Clasificación temporal.



Fuente: Elaboración Propia

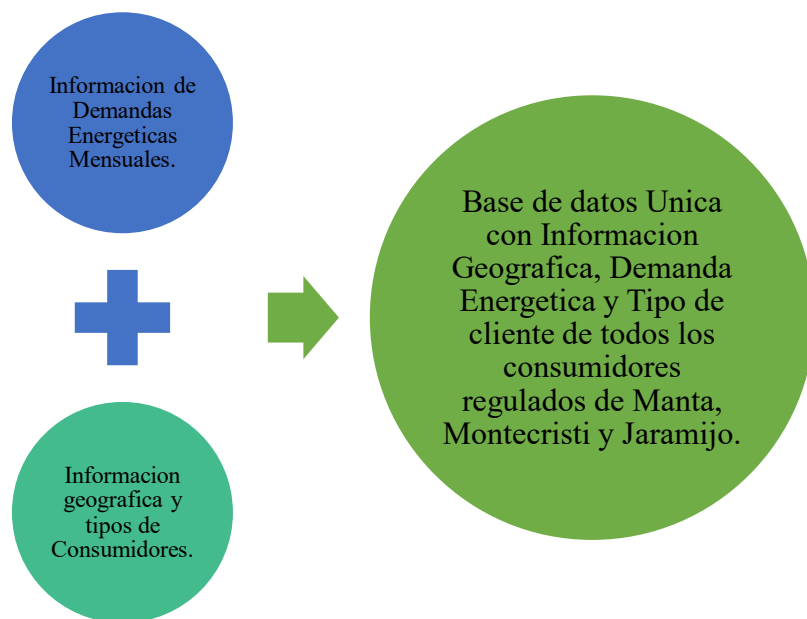
Cabe mencionar que en esta clasificación no se tomaron en cuenta los tipos de clientes, cantones o parroquias, debido a que se la realizó netamente para seccionar y como preámbulo para conectar toda la información existente en las 2 bases de datos con el fin de obtener una general que se usara a lo largo de todo el estudio.

4.3.3 Integración de datos.

Contando con los 2 archivos Excel con toda la información requerida, se identificó parámetros que conecten ambas bases de datos, los cuales fueron: ID cliente, Parroquia y Canton, para poder contar con toda la información Energética y geográfica de cada cliente (Figura 14). Se especificó el orden en el cual deben de constar en la base de datos para que su manejo sea mucho más fácil.

Figura 14

Esquema de Creación de Bases de datos unica.



Fuente: Elaboración Propia

Para unir las 2 bases de datos se utilizaron herramientas Macros de Excel, para que el proceso de filtrado fuera mucho más rápido y efectivo, así también, para evitar posibles errores humanos producto de clasificar parámetros uno por uno que lleven a producir inconsistencias en los resultados. A grandes rasgos el Macro identifica parámetros complementarios entre los 2 archivos y los enlaza con la información restante, para luego copiarlo a una base de datos única lista para ser trabajada.

Además, agrega un filtrado extra en el apartado de coordenadas para elegir coordenadas con un formato específico (que contengan comas o puntos), debido a que ciertos ID de clientes constan con 2 o 3 coordenadas geográficas y por ende con información de Tipo de Consumidor, Canton y Parroquia, que si se seleccionan incorrectamente pueden generar errores en la generación de los mapas de calor.

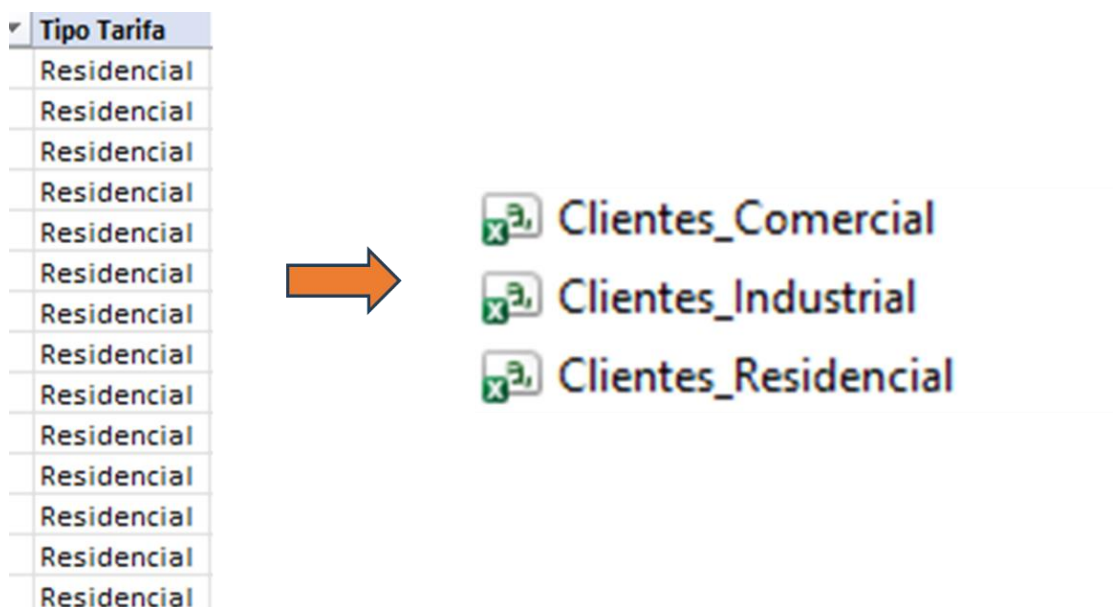
4.3.4 Diferenciación de Clientes por Tipo de Tarifa.

Para poder realizar los mapas de calor de forma adecuada, uno de los primeros pasos debía ser la clasificación de los clientes por el Tipo de Tarifa, para luego clasificarlos por rangos de consumo. Para esta diferenciación el principal parámetro a tomar en cuenta fue la columna de Tarifa, que contaban con tipos como Residencial, Comercial e Industrial.

La clasificación se hizo gracias al uso de macros de Excel, con el fin de que al momento de ejecutar el algoritmo se obtengan 3 archivos distintos (Hojas de cálculo de Excel) que contengan la información de cada tipo de cliente (Anexo 1). En la Figura 15 se presentan la columna que funcionara como parámetro principal de la clasificación y la respectiva creación de archivos para cada tipo de cliente.

Figura 15

Columna usada para clasificación de datos y generación de archivo por tipo de cliente.



Fuente: Elaboración Propia.

Cabe mencionar que igual que en el apartado anterior, se tomó el mismo orden de la Información con el fin de trabajar la base de datos de forma igualitaria y evitar problemas al momento de graficar cada uno de los puntos en QGIS.

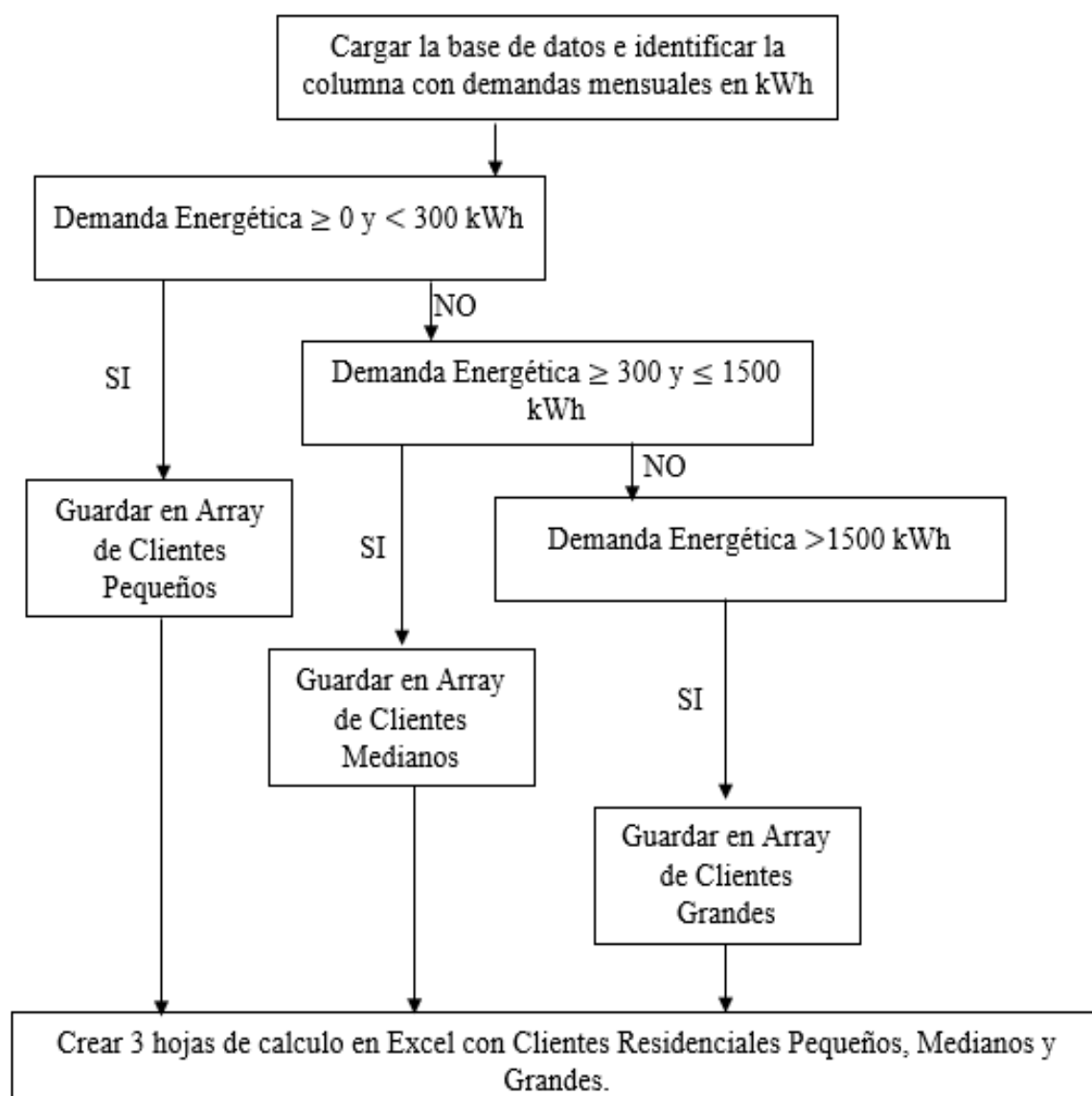
4.3.5 Diferenciación por rangos de consumo.

Una vez teniendo los clientes diferenciados por tipos de tarifas se realizó un filtrado más, que sería el de seleccionar datos de acuerdo a la demanda energética y dividirlos de acuerdo a rangos de consumo (Grande, Mediano y Pequeño), para que de esta forma al momento de realizar los mapas de calor se pueda observar de mejor manera la diversificación de cada uno de los clientes. La única diferencia con el macro anteriormente utilizado (Anexo 2), es que ahora ya no se va a seleccionar la columna de tipo de tarifas sino los datos energéticos propios de cada cliente de forma mensual (Anexo 4), siguiendo la tabla de rango de consumos (Tabla 10). Los datos a cambiar irán variando en consecuencia al cliente o

también en consecuencia del rango del tiempo de la medida, es decir, para datos de demanda energética semestral y anual se multiplicará por 6 o por 12 respectivamente (Figura 16).

Figura 16

Rangos de consumo para clientes residenciales.

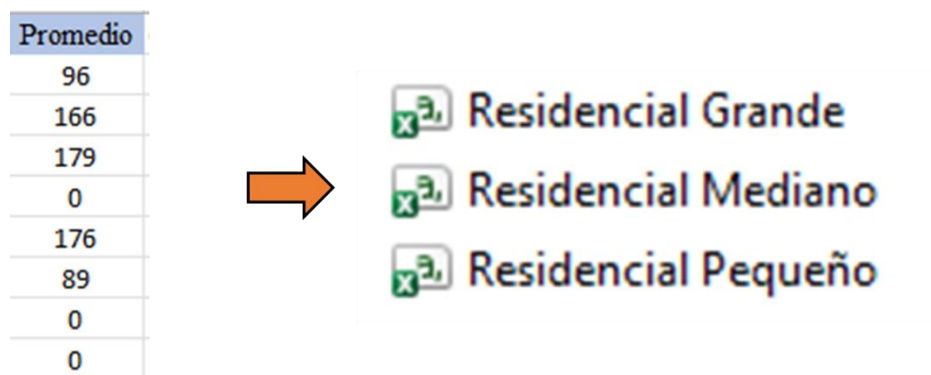


Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 17 se presenta la columna que se usó para realizar la clasificación de los consumos energéticos y la creación de archivos por cada rango de consumo.

Figura 17

Columna usada para clasificación por rango de consumo energético.



Fuente: Elaboración Propia

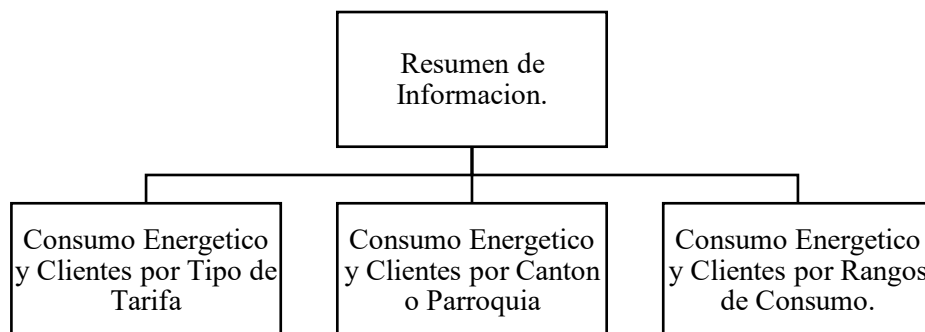
Se nombro a la columna que contenía la información de consumo energético como “Promedio” para mayor facilidad en el trabajo con los macros, pero estos datos son netamente mensuales y para su clasificación de forma Semestral y Anual se realizaron sumas sucesivas de meses que comprendían los periodos establecidos.

4.3.6 Resumen de Información.

Para realizar análisis posteriores como lo pueden ser dimensionamientos de módulos de generación renovable, se requiere de identificar datos muy concretos de las zonas a las que se tiene como objetivo realizar el análisis. Por esta razón es necesario tener un algoritmo que permita resumir toda la información existente en la base de datos y pueda mostrarlo de manera sencilla mediante una pantalla emergente (Anexo 3), en la Figura 18 se muestra los diferentes parámetros que se pueden seleccionar para realizar resumen de información que agilice el muestreo de los datos.

Figura 18

Resumen de Información utilizados para la ejecución del estudio.

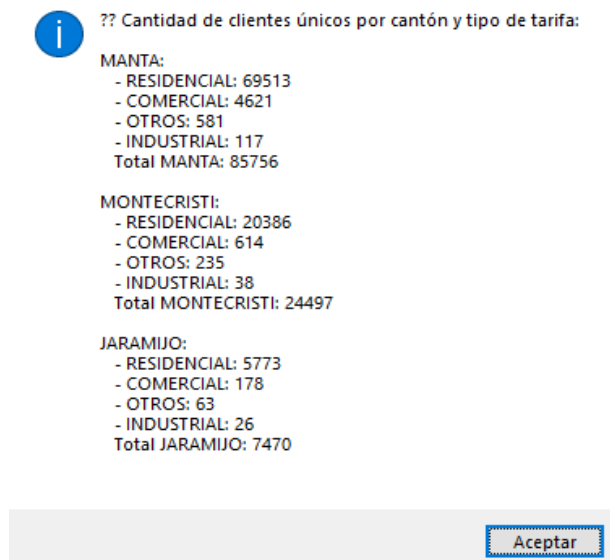


Fuente: Elaboración Propia

Para una mejor presentación, se agregó en el macro que la información sea presentada mediante un mensaje emergente siguiendo un orden seleccionado, primero los datos de Manta, luego Montecristi y por último Jaramijó. En la Figura 19 se tiene un ejemplo del conteo de clientes por Tipo de Tarifa en cada uno de los cantones del año 2020.

Figura 19

Mensaje emergente con el resumen de todos los clientes.



Fuente: Macros de Excel.

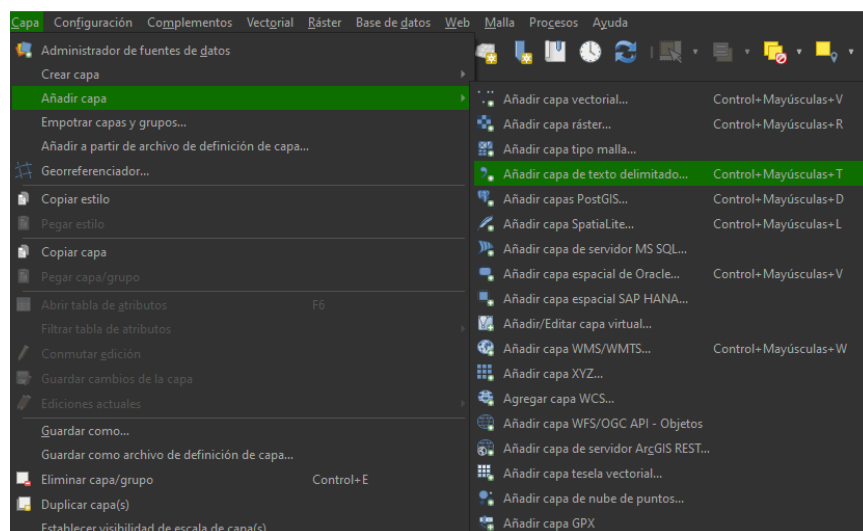
4.4 Procedimiento de análisis geoespacial

Una vez que se tienen los datos filtrados para cada tipo de caso como lo serían clientes (Residenciales, Comerciales e Industriales) o por Demandas Energéticas (Mensuales, Semestrales y Anuales), se tiene que exportar esta información hacia el Software QGIS, el cual nos ayudara a poder visualizar mediante un mapa geográfico los diferentes puntos distribuidos de la información obtenidos con los datos espaciales dados por CNEL.

QGIS consta de múltiples opciones al momento de agregar capas, entre las más relevantes se encuentran tipo vectorial, tipo ráster, tipo malla, mediante SQL, con configuración WMS o también poder exportar de otros Softwares relacionados a la misma temática como puede ser ArcGIS (Figura 20). En este caso, debido a que se consta con datos en Excel se elegirá la opción de añadir capa de texto delimitado, por esto nuestro archivo que se encuentra en una extensión .xlsx se lo deberá de convertir en tipo .csv.

Figura 20

Agregar capa de datos.



Fuente: QGIS

Una vez seleccionada la opción de añadir capa de texto delimitado, se presentará una pantalla emergente (Figura 21) donde se deberá de buscar el archivo en cuestión y configurar parámetros adicionales que se explicaran a continuación.

Figura 21

Parámetros requeridos para agregar una capa de datos mediante Excel de texto.

The image shows the 'Add Delimited Text Layer' dialog box in QGIS. The 'Formato de archivo' section has 'Delimitadores personalizados' selected. The 'Definición de geometría' section has 'Coordenadas del punto' selected. The 'Configuraciones de capa' section is visible at the bottom.

Fuente: QGIS

En formato de Archivo por defecto se encuentra seleccionada la opción CSV (Valores separados por comas), debido a que no es el caso de nuestro archivo se elige la opción Delimitadores personalizados y luego en punto y coma. Para que el Software logre identificar los puntos espaciales se deben de colocar las columnas que cuentan con las coordenadas de cada uno de los clientes, en este caso se les denomino Coord X y Coord Y respectivamente en cada campo y además la zona horaria WGS 84/UTM zone 17S que es en la que se encuentra el país (Figura 22).

Figura 22*Definición de la geometría de la capa.*
Fuente: QGIS

Los datos se deben de observar ordenados por columnas y filas en una pequeña presentación denominada Datos de ejemplo (Figura 23).

Figura 23*Vista previa de los datos de la capa.*

Datos de ejemplo						
	ID Cliente	Barrio/Dirección	Cantón	Parroquia	Promedio	
	Entero (32 bit)	Texto (cadena)	Texto (cadena)	Texto (cadena)	Entero (32 bit)	
1	125	CALLE 117 Y AV. 109	MANTA	TARQUI	3089	532
2	1057	CALLE 118 Y AVENIDA 111	MANTA	TARQUI	1140	532
3	1792	VICTOR VELEZ S/N	MANTA	TARQUI	2490	534
4	1933	CALLE 122 Y AVENIDA 111	MANTA	TARQUI	3866	532

Fuente: QGIS

En este apartado se puede visualizar el tipo de carácter con el que se encuentra dispuesta cada fila, la mayoría se debe de encontrar en Tipo Texto ya que solo son palabras que identifican tanto zonas, como cantones, parroquias y tipos de clientes. Las columnas de ID Cliente y Promedio (Suma en otros casos) se deben colocar en tipo Entero (32 bits) (Figura 24) para poder usarse en las representaciones de mapas de calor y las coordenadas deben de estar en tipo decimal para poderse graficar espacialmente (Figura 25).

Figura 24

Configuración del tipo de carácter en la columna de ID.

	ID Cliente
	Entero (32 bit) ▼
1	125
2	1057
3	1792
4	1933

Fuente: QGIS

Figura 25

Configuración de los caracteres en las columnas de coordenadas.

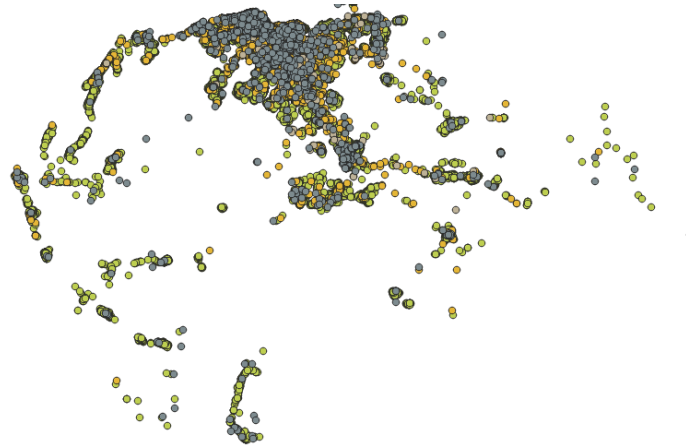
Coord X	Coord Y
Decimal (doble) ▼	Decimal (doble) ▼
532660,1169	9894243,299
532650,181	9894136,255
534356,9525	9890053,73
532712,5688	9893887,44

Fuente: QGIS

Al momento de añadir se podrán visualizar los diferentes puntos dentro de la pantalla principal de QGIS como se muestra en la Figura 26. Debido a que esto no genera un correcto dimensionamiento geográfico de cada una de las localizaciones, se debe de agregar una imagen referencial de un mapa para obtener una perspectiva correcta, pero al ser una imagen plana no se podrían diferenciar zonas más pequeñas dentro del cantón; por eso se utilizó el apartado complementos para instalar QuickMapServices y poder obtener una vista geográfica mucho más versátil.

Figura 26

Visualización de la capa de puntos agregada.

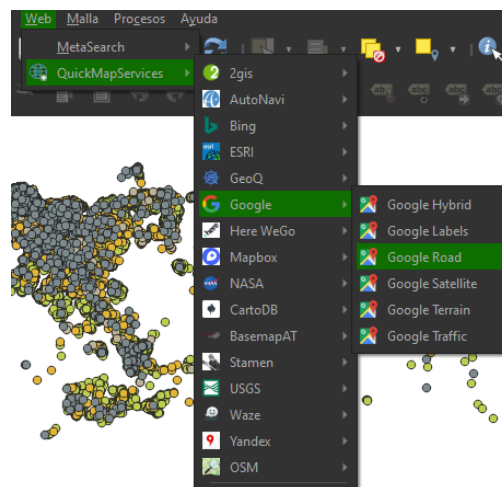


Fuente: QGIS

Se lo activa directamente desde el apartado web, allí se visualiza el nombre del complemento y se puede elegir entre todos los tipos de mapas web que se muestran, en este caso por motivos visuales se usara Google Road (Figura 27)

Figura 27

Opciones del complemento QuickMapServices.

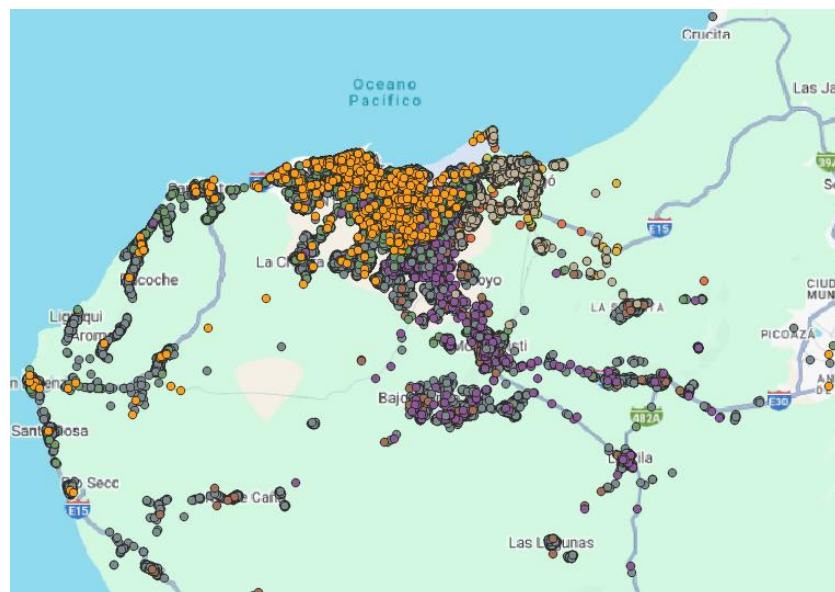


Fuente: QGIS

Una vez activado el complemento y con los puntos reflejados en el mismo (Figura 28) se puede identificar de manera fácil la cantidad de clientes que se tienen en cada parroquia y cantón correspondiente con el fin de analizar la distribución total de cada uno de ellos.

Figura 28

Capa de puntos dentro del mapa geográfico de la Provincia de Manabí.



Fuente: QGIS

Cada una de las capas agregadas se las puede ir visualizando y clasificando dentro del panel de capas (Figura 29), desde este mismo apartado se pueden configurar propiedades de las capas con el fin de obtener una mayor claridad a la hora del análisis de puntos.

Para la correcta distribución de cada una de las capas debido a que la mayoría consta con los mismos nombres, se optó por usar grupos y subgrupos para definir a que tipos de datos pertenecen, es aquí que se dividió de forma mensual y a su vez por tipo de clientes, es decir, cada grupo consta del nombre de cada mes del año y dentro del mismo tendrá subgrupos con clientes residenciales, comerciales e industriales. Para fines de mejor

presentación de los puntos se tiene el apartado de propiedades (Figura 30), en la sección de simbología se puede modificar tanto el color, tamaño, opacidad, rotación y el estilo.

Figura 29

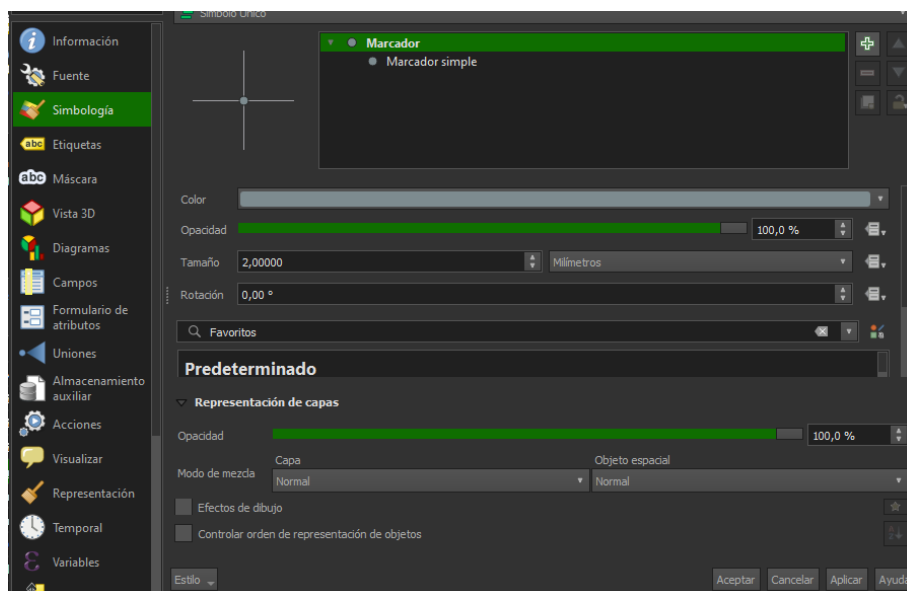
Clasificación de capas dentro del proyecto.



Fuente: QGIS

Figura 30

Configuración adicional de la capa de puntos.



Fuente: QGIS

4.4.1 Generación de Mapas de Calor.

Para la ejecución y realización de los mapas de calor se barajaron diferentes opciones, con el objetivo de buscar el método idóneo para mezclar tanto aporte de densidad de clientes cercanos dentro de una zona como la ponderación de la demanda energética. La primera opción que se tomo fue la realización mediante Estimación de densidad de Kernel, ya que era la primera opción que se encontraba al momento de buscar mapas de calor en QGIS y la más usada en diferentes proyectos tales como análisis de criminalidad, agrícolas, climáticos, etc.

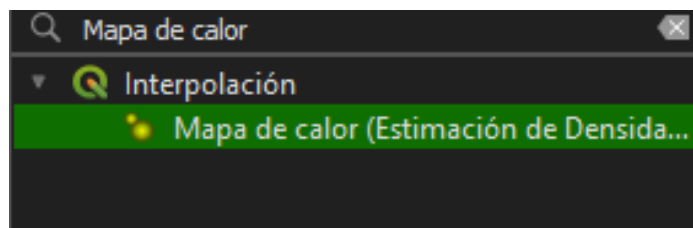
Se identifico rápidamente que al usar este tipo de análisis se obtenían ponderaciones con respecto a la densidad de puntos en una zona, que se tenían parámetros de ponderación por datos en específico pero que no eran lo suficientemente “fuertes” para la utilización en este proyecto. Allí se contempló la opción de la interpolación IDW que resultaba un método más acorde para la realización de este proyecto, pero aun realizando diferentes pruebas comparativas entre ambas para analizar su viabilidad.

4.4.1.1 Kernel Density Estimation

Como se explicó anteriormente, este método se utiliza principalmente para analizar la densidad de núcleo de un conjunto de puntos, es decir, entre más puntos se encuentren agrupados dentro de un área determinada se va a visualizar un aumento de la concentración dentro de un punto específico de área variable, esto permite transformar puntos diversos en una superficie continua. En el software QGIS se lo puede encontrar en la caja de herramientas de procesos con el nombre “Mapas de Calor (Estimación de Densidad de Núcleo)” (Figura 31).

Figura 31

Estimación de Densidad de Núcleo en QGIS.



Fuente: QGIS

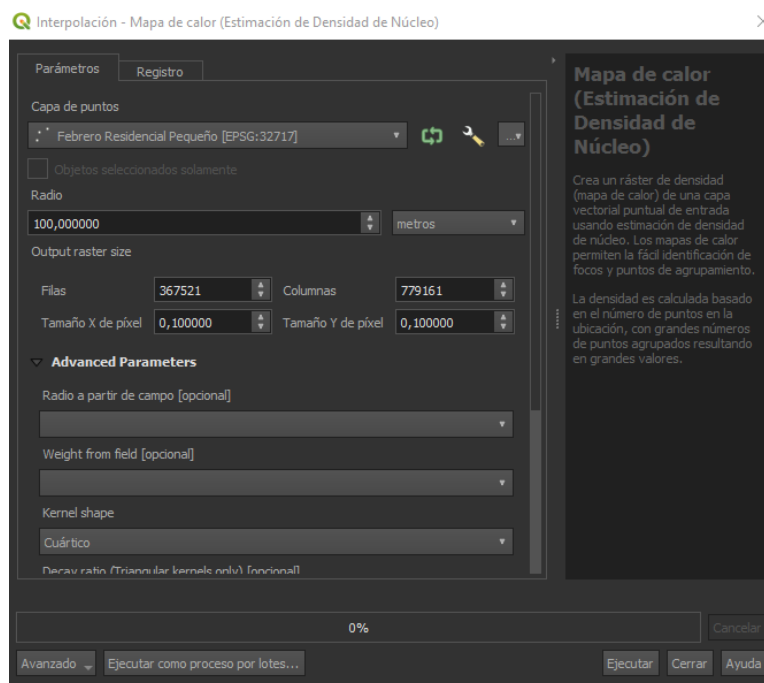
Donde se cuenta con una variedad de parámetros configurables que diversifican la representación de datos geográficos, con el fin de poder realizar diferentes análisis en base a la creación de mapas de calor.

Entre los parámetros que más impacto generan en la creación de mapas de calor son, el radio, el peso que se le puede otorgar a cada valor dentro de un rango y el tipo de kernel que se va a utilizar (Figura 31).

1. **Capa de puntos:** Se deberá seleccionar la capa de puntos en el que se realizará la estimación
2. **Radio:** El radio o distancia máxima de influencia de cada punto
3. **Output Raster Size:** El tamaño por el que estará conformado el ráster de la salida y los pixeles de resolución que tendrá.
4. **Radio a partir del Campo:** Permite que cada punto tenga su propio radio.
5. **Weight from field:** Ponderación de la influencia de cada punto.
6. **Kernel Shape:** Tipo de Kernel a usar para la estimación.

Figura 32

Parámetros necesarios para la realización de Mapa de Calor por densidad de Kernel.



Fuente: QGIS

Cabe mencionar que cada vez que se realiza alguien proceso de estimación o creación de mapa de calor se debe de guardar el archivo dentro de una carpeta la cual contenga a su vez el archivo general del proyecto en QGIS para su ejecución más rápida.

4.4.1.2 Interpolación IDW.

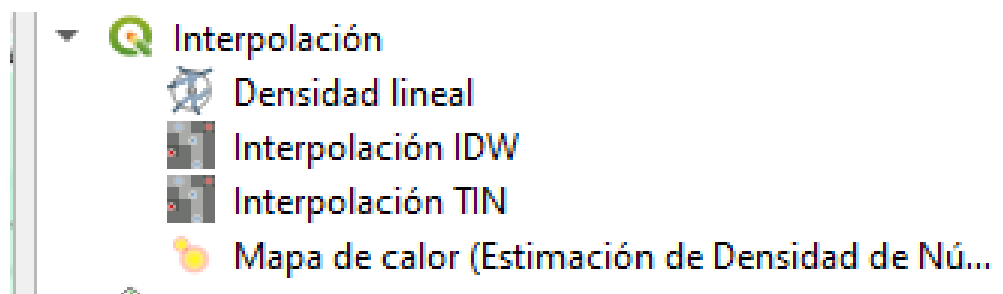
La opción de Análisis de densidad de Kernel era una buena opción para realizar este trabajo, pero al momento de ejecutarla no se mostraban los resultados esperados ya que tomando como ejemplo los clientes residenciales, al tener una aglomeración muy notoria de clientes en zonas céntricas se visualizaba los picos más altos en el mapa de calor, lo cual al verificar con la capa de puntos no se observaba que las demandas energéticas fueran excesivamente altas en estos lugares.

Debido a esto se consultó diferente bibliografía con el fin de poder encontrar el método más adecuada para representar datos energéticos en mapas de calor y se eligió la Interpolación IDW ya que se puede configurar la influencia que pueden tener puntos próximos en un mapa, pero lo más importante es que se le puede asignar parámetros de “peso” para obtener estadísticas más realistas.

En QGIS como con el análisis de Kernel, este método también se lo encuentra en la caja de herramienta de procesos (Figura 33) junto a otros tipos de Interpolación como TIN (Triangulated Irregular Network) o densidad lineal.

Figura 33

Interpolación IDW en QGIS.



Fuente: QGIS

Al momento de ejecutarlo se deben de seleccionar parámetros parecidos al anterior método presentado, pero con datos extra que permitirán obtener peso en cada uno de los puntos con demandas energéticas más elevadas. Los parámetros requeridos serán

1. **Capa vector:** Capa de puntos con la que se realizara la interpolación.
2. **Atributo de Interpolación:** Parámetro o dato que se tomará como referencia al momento de la interpolación de los puntos y que dará relevancia a los puntos con más demanda energética.

3. **Pantalla de selección:** Lugar de donde se agregarán o eliminarán los parámetros mencionados anteriormente.
4. **Coeficiente P de distancia:** Coeficiente que determinara la influencia entre puntos en el proceso de la interpolación.
5. **Extensión:** Longitud total en el cual se va a realizar la representación, puede elegirse en función de la misma u otra capa de puntos.
6. **Tamaño del Ráster de Salida:** Numero de filas, columnas o cantidad de pixeles que determinara la resolución del mapa de calor.

Figura 34

Parámetros necesarios para la realización de Interpolación IDW.

Interpolación - Interpolación IDW

Parámetros Registro

Capa Vector: Abril Comercial Mediano

Atributo de interpolación: 123 Promedio

☐ Usar coordenada Z para interpolación

Capa Vector	Atributo	Tipo
-------------	----------	------

Coeficiente P de distancia: 2,000000

Extensión:

Tamaño del ráster de salida

Filas: 1 Columnas: 1

Tamaño X de píxel: 0,100000 Tamaño Y de píxel: 0,100000

0%

Cancelar

Ejecutar Cerrar Ayuda

Interpolación IDW

Genera una interpolación de Distancia Inversa Ponderada (DIP) desde una capa vectorial puntual.

Los puntos muestreados son ponderados durante la interpolación de tal manera que la influencia de un punto relativo a otro disminuye con la distancia hacia el punto desconocido que se desea crear.

Fuente: QGIS

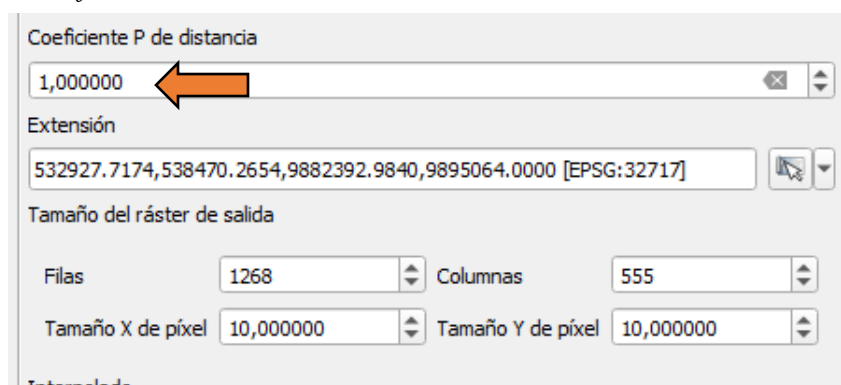
4.4.1.3 Parámetros para el análisis de los datos y elección de paleta de colores.

Una vez identificada la interfaz del método usado para la realización de los mapas de calor (Interpolación IDW), se deben de generalizar los parámetros o configuración que se van a utilizar en cada análisis. La elección de las capas y la extensión de la interpolación siempre van a venir definidas por cada capa, así también el dato que se requiere de interpolar (Demanda Energética) siempre será fijo y se deberá de asegurar su elección en el apartado “Atributo de Interpolación”.

La variación se observará en el coeficiente P y el tamaño de los píxeles con los que contará el renderizado. Para el coeficiente P, en los análisis de clientes residenciales y comerciales se utilizará un valor de 2, que representa una influencia media entre los puntos y, para los clientes residenciales se utilizará el valor de 1 (Figura 35), debido que, al contar con demandas energéticas excesivamente altas, al momento del renderizado se observará zonas muy grandes de influencia que no representa los datos de este tipo de cliente.

Figura 35

Configuración coeficiente P de distancia.



Coeficiente P de distancia

1,000000

Extensión

532927.7174,538470.2654,9882392.9840,9895064.0000 [EPSG:32717]

Tamaño del ráster de salida

Filas 1268 Columnas 555

Tamaño X de píxel 10,000000 Tamaño Y de píxel 10,000000

Interpolado

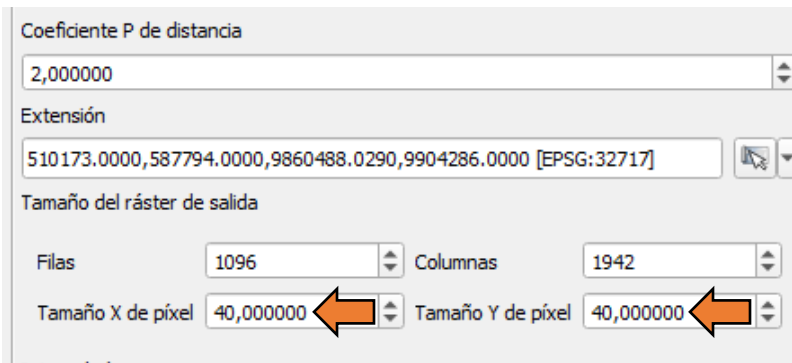
Fuente: QGIS

En el caso de los píxeles, por lo general las filas y columnas vendrán definidos por la extensión de la capa, pero que variarán de acuerdo al tamaño X y tamaño Y del píxel. Para

todos los análisis excepto para los residenciales pequeños se usarán 10 para cada uno, debido que al contar con una gran cantidad de clientes y extensión el renderizado conllevará mucho más tiempo de ejecución, por tanto, se eligió un valor de 40 para cada uno (Figura 36).

Figura 36

Tamaño X y Tamaño Y de Pixel.

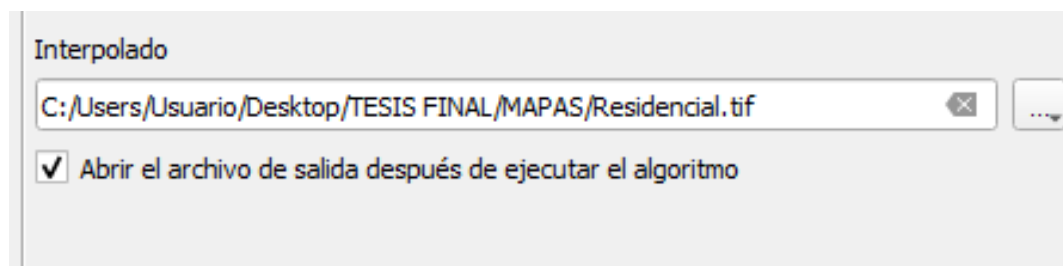


Fuente: QGIS

Cabe mencionar que todos los mapas de calor renderizados deben de constar con una ruta de guardado, ya que son archivos temporales y la única manera de conservarlo al momento de abrir o cerrar QGIS es asignándole una ruta (Figura 37).

Figura 37

Ruta de guardado para renderizado de mapas de calor.



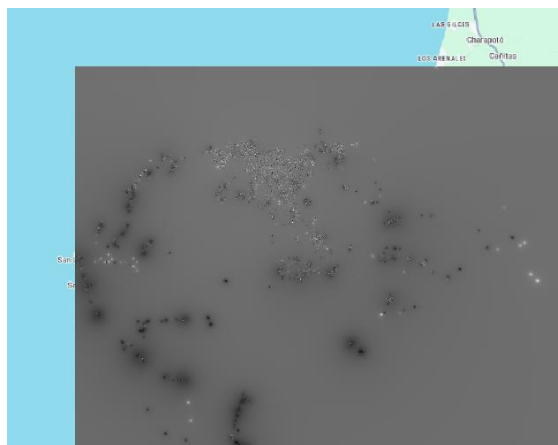
Fuente: QGIS

Una vez configurado el análisis, el mapa de calor en primera instancia se representará en tonalidades Gris Monobanda (Figura 38) que dificulta la apreciación de la demanda eléctrica en el mapa. Para mejorar la visualización se han elegido 4 colores que tendrán

asignada una serie de valores con el fin de representar consumos energéticos, donde los colores más fuertes simularán mayor concentración (Figura 39).

Figura 38

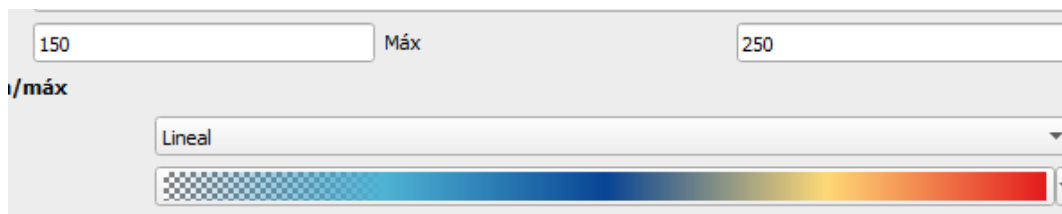
Renderizado inicial de mapa de calor.



Fuente: QGIS

Figura 39

Rampa de calor escogida para representar la demanda eléctrica en los mapas de calor.



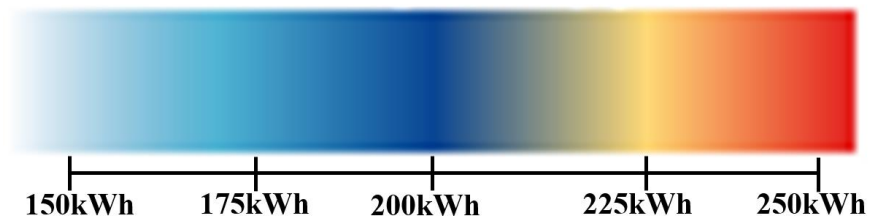
Fuente: QGIS

El caso presentado es para los clientes residenciales con pequeño consumo mensual (menores de 300 kWh), donde el valor mínimo será representado por una franja transparente debido a que la mayoría de clientes cuenta con valores menores a 150 kWh mensual, por tanto, si se asigna un color la mayoría de la capa se verá envuelta en esa tonalidad y no se podrán identificar zonas dentro del mapa. Y el valor máximo (250 kWh mensuales) será

representado por el color rojo, teniendo los clientes con igual o mayor consumo tonalidades naranjas y rojas (Figura 40).

Figura 40

Rampa de calor a detalle para clientes residenciales de pequeño consumo.

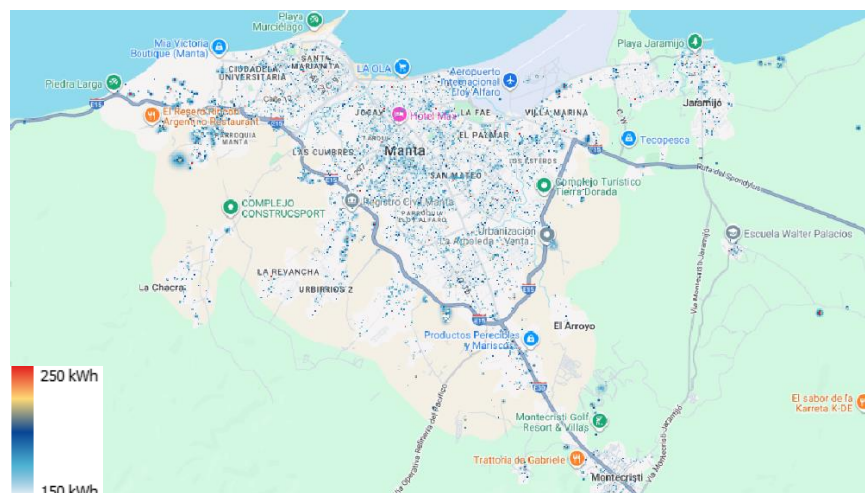


Fuente: Elaboración Propia.

Siguiendo toda esta parametrización se logran resultados como el presentado en la Figura 41 donde se puede observar cómo cada cliente se ve representado por un color dentro de la escala de colores que indica su consumo energético mensual en kWh. Los mapas de calor restantes representados por diferentes escalas temporales y demás clientes serán presentados en el apartado de Anexos, con el fin de seguir un orden para su visualización.

Figura 41

Mapa de Calor Clientes residenciales de pequeño consumo en Manta, Montecristi y Jaramijo.



Fuente: QGIS.

5. Propuesta y Resultados.

Los Mapas de calor nos dan una vista detallada de las demandas energéticas que existen en las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó. Esta información es muy importante para los objetivos de este trabajo, debido a que permite identificar zonas con mayor o menor consumo energético por tipo de cliente y poder analizar la viabilidad para la implementación de sistemas de generación renovable en la provincia.

Un correcto análisis de viabilidad debe de constar con 4 puntos principales que son:

- **Ámbito Técnico.**
- **Ámbito Económico.**
- **Ámbito Regulatorio.**
- **Ámbito Operativo.**

Para la realización de este estudio se tomarán en consideración 3 de ellos: Técnico, Económico y Regulatorio. Cabe mencionar que gran parte del análisis se realizara en base a ejercicios de aproximación, debido a que las estimaciones de potencia pico obtenidas para cada sistema fotovoltaico no representan un diseño técnico definitivo, sino que se busca identificar un potencial aproximado para aplicaciones de sistemas de generación distribuida.

5.1 Análisis Técnico.

Se deben de tomar en cuenta aspectos como el recurso solar disponible, perfiles horarios de demanda eléctrica y espacio aproximado que ocuparía la implementación de un sistema fotovoltaico. Para todos estos parámetros se realizarán estimaciones generales, es decir, se tomarán datos generales con el fin de realizar un análisis que englobe la mayoría de clientes tanto Residenciales como Comerciales.

5.1.1 Recurso Solar Disponible.

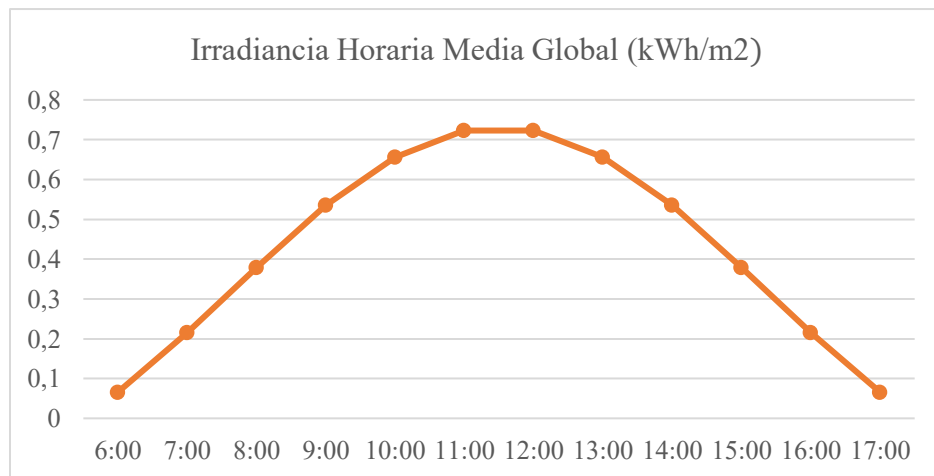
El recurso solar con el que cuenta una región se mide en Horas Solar Pico (HSP), la cual indica la cantidad de energía solar que recibe una superficie en un día, para diferentes cantones de Manabí se estiman HSP diario de entre 4,6 y 5,38 h/dia . Si bien para el análisis se puede tomar el valor más bajo, para estimar el peor escenario de generación, se prefirió especificar la zona en cuestión y se tomó el estudio de Ponce-Jara et al. (2022) donde se estima las horas solares pico en la ciudad de Manta en alrededor de 4,8 h/dia .

5.1.3 Perfiles Horarios.

Para complementar la información de las horas solares pico también se necesita estimar el perfil horario en el cual el sistema alcanza su punto de generación eléctrica máxima en el día, se tomó como base el estudio de Cárdenas Alava (2021) el cual menciona que el horario de mayor irradiancia solar media global en la ciudad de Manta se encuentra entre las 10:00 Am y las 13:00 Pm como se muestra en la Figura 42.

Figura 42

Horas de Irradiancia Solar Media Global en la ciudad de Manta.



Fuente: Elaboración Propia.

5.1.2 Espacio Disponible en Viviendas.

Es importante también reconocer las dimensiones que tendrán los paneles solares, con el fin de dimensionar el espacio necesario para la implementación del sistema. La empresa ECOZAQUE INGENIERIA (2026) oferta paneles solares de 330 Wp que constan con dimensiones de 1956 X 992 X 40 mm, que equivalen a un aproximado de $1,94 \text{ m}^2$ por panel, mientras que la empresa ECOFLOW (2026) promociona paneles de 580 Wp con dimensiones de 2279X1134X30 mm ($2,58 \text{ m}^2$ por panel).

Con esta información y la correspondiente estimación de las capacidades fotovoltaicas para la implementación de SGDA, se puede identificar el área aproximada con el cual debe de contar la vivienda o el lugar donde se vaya a colocar el sistema, para su instalación. Además, se deberá de tomar en cuenta la inclinación del lugar y la inclinación con la que debe de contar el panel, los cuales son parámetros fundamentales para la generación eléctrica del sistema pero que no serán tratados a detalle en este estudio.

5.1.4 Mapas de Calor Anuales para dimensionamiento de SGDA

Para tener una vista mucho más concreta de la demanda energética anual en las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó, nos ayudaremos de los mapas de calor anuales por cada tipo de cliente del año 2023. Con esto se busca identificar zonas con mayor consumo energético para para realizar análisis de implementación de SGDA, como se visualiza en la Figura 43 la mayor concentración de demanda residencial se centra en la parroquia Manta.

Figura 43

Mapa de Calor de demanda energética anual residencial en Manta, Montecristi y Jaramijó del Año 2023.

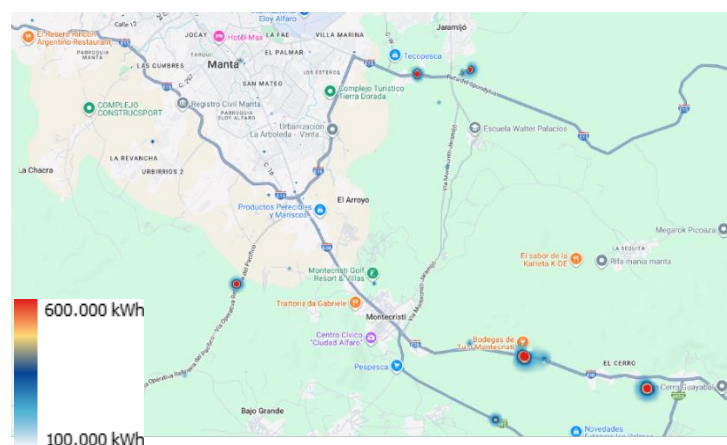


Fuente: QGIS.

Con respecto a clientes Comerciales e Industriales la concentración se ve más dirigida hacia zonas aledañas a Manta, es decir, en comercial se concentra en Montecristi y Jaramijó (Figura 44), mientras que para los industriales la zona colindante entre Manta y Jaramijó es donde se concentra más la demanda. Esto se explica debido a la gran cantidad de industrias que existen entre la vía Manta-Colisa (Figura 45).

Figura 44

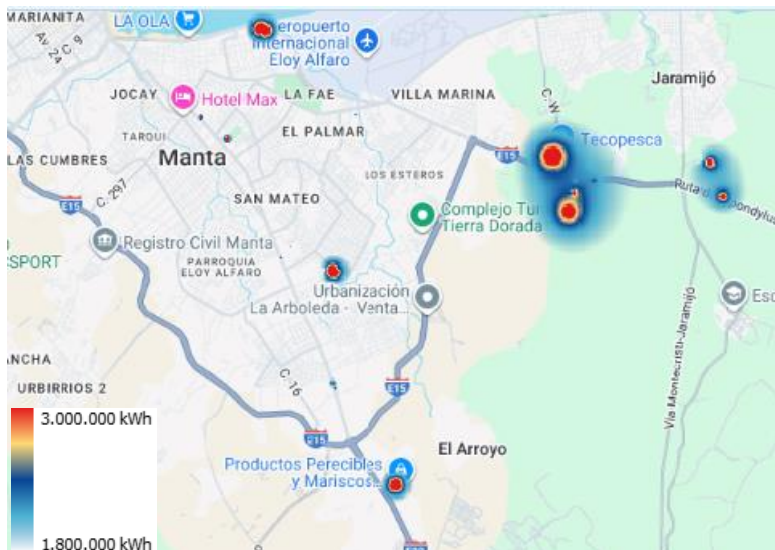
Mapa de Calor de demanda energética anual comercial en Manta, Montecristi y Jaramijó del Año 2023.



Fuente: QGIS.

Figura 45

Mapa de Calor de demanda energética anual industrial en Manta, Montecristi y Jaramijó del Año 2023.

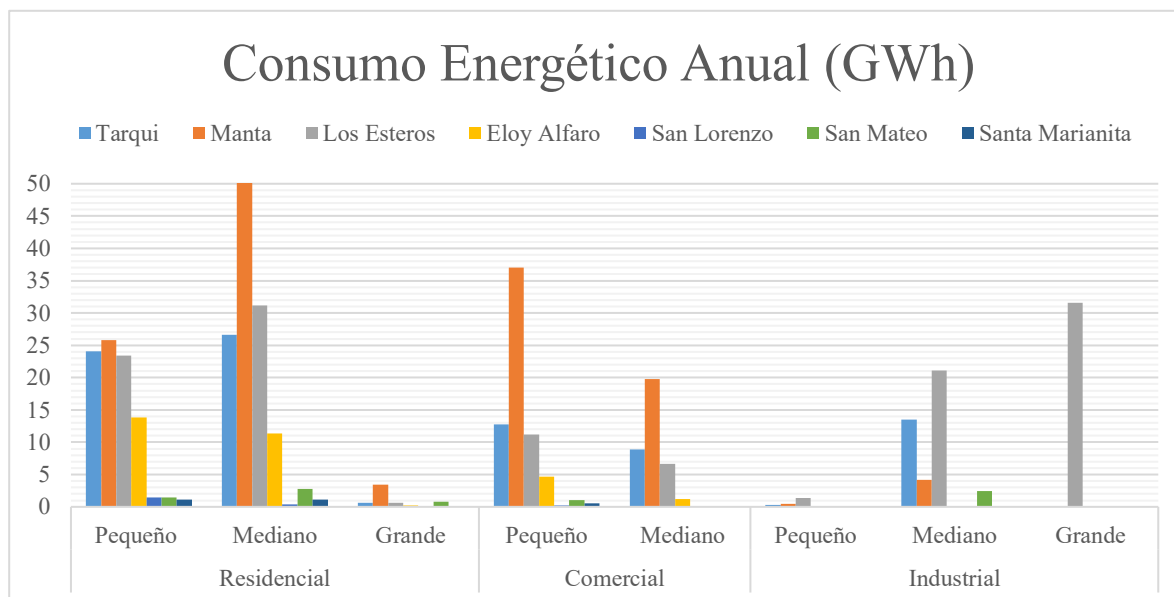


Fuente: QGIS

Para realizar un análisis más específico, se dividirán las demandas anuales de cada parroquia por rangos de consumo (Grande, Mediano y Pequeño) de clientes Residenciales, Comerciales e Industriales, con el fin de dimensionar los Sistemas FV para cada caso con respecto a la demanda energética promedio por cliente (Tabla 46, 47 y 48).

Figura 46

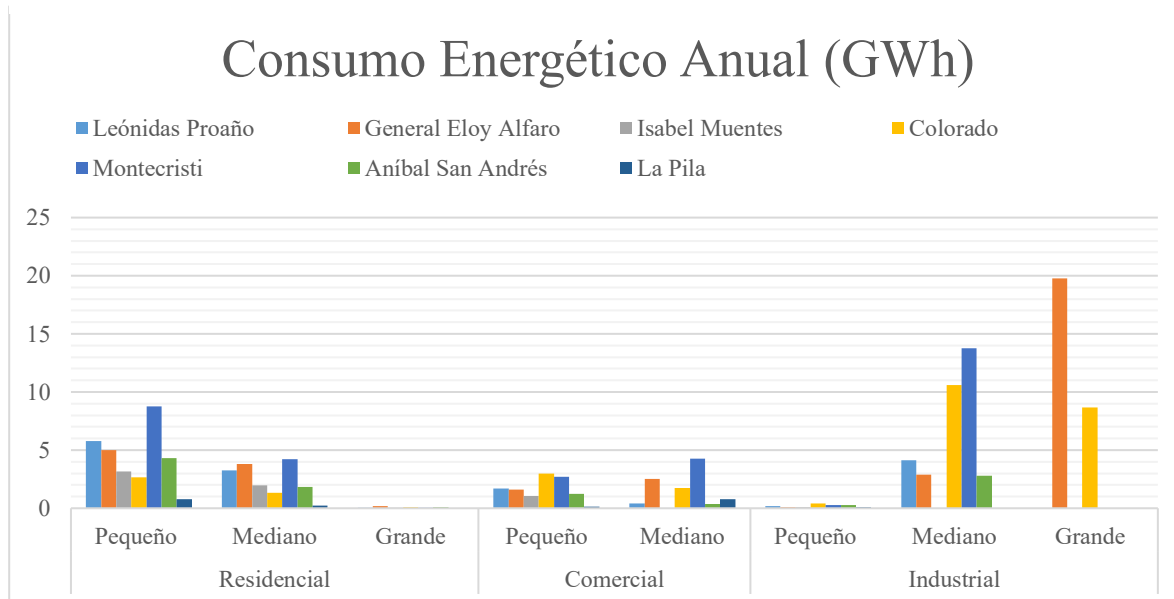
Consumo Energético Anual por rangos de consumo del Cantón Manta Año 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 47

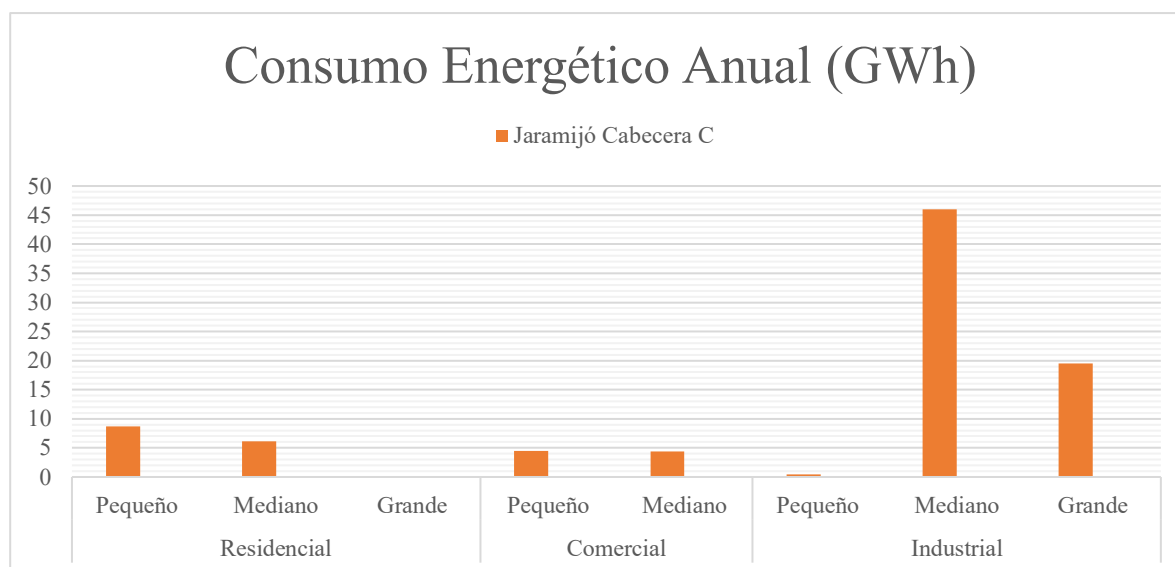
Consumo Energético Anual por rangos de consumo del Cantón Montecristi Año 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 48

Consumo Energético Anual por rangos de consumo del Cantón Jaramijó Año 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

El consumo energético anual por parroquia es esencial para poder calcular las capacidades de módulos fotovoltaicos, debido a que con esta información se pueden estimar demandas promedio por clientes de cada rango de consumo, con el fin de obtener aproximaciones que ayuden al dimensionamiento más realista de los sistemas de autogeneración.

Debido a que la cantidad de parroquias y división por consumo energético presentan variedad de casos diferentes para dimensionar sistemas de autogeneración, solo se elegirán ciertas zonas que cuenten que con un consumo anual elevado para presentar propuestas que generen impacto medio-alto tanto en el ámbito energético como económico. Con esto se busca calcular la capacidad aproximada para poder satisfacer parcialmente el consumo energético anual promedio de parroquias seleccionadas en Manta, Montecristi y Jaramijó.

Además, para parroquias en las que se estimen capacidades de generación similares y que sean representados por el mismo rango de consumo, se estimaran análisis iguales con el fin de priorizar la presentación de análisis diferentes. Las fórmulas para determinar la potencia pico del sistema de generación distribuida para clientes que cuenten con consumos anuales cercanos al promedio de cada parroquia analizada será las siguientes:

$$E_{anual} = \frac{E_{total}}{n} \quad (Ec.3)$$

Donde:

E_{anual} : Consumo Energético Anual promedio que se desea cubrir en kWh

E_{total} : Energía total anual en kWh.

n : Número de clientes.

$$P_{pico} = \frac{E_{anual}}{HSP_{dia} \times PS \times N} \quad (Ec.4)$$

P_{pico} : Potencia Pico del sistema fotovoltaico en kWp.

E_{anual} : Consumo Energético Anual Promedio que se desea cubrir en kWh.

HSP_{dia} : Horas solares pico en h/dia

PS : Indicador de eficiencia operativa global del sistema (0,8).

N : Número de días del año.

El indicador de eficiencia operativa global del sistema dependerá de condiciones concretas del sistema fotovoltaico que se va a utilizar, pero se eligió el valor de 80% por el estudio de Hortelano & Guerra (2023) que indica el performance ratio de un sistema correctamente diseñado y con mantenimiento regular. Además, cabe mencionar que para un correcto dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos se deberá ajustar al consumo anual individual de cada usuario, conforme a la normativa vigente.

5.1.5 Dimensionamiento del sistema de generación distribuida para autoabastecimiento por Parroquia para Clientes Residenciales.

Se determinaron el consumo energético anual promedio (Ec.3) y la potencia pico del sistema fotovoltaico (Ec.4) para clientes residenciales en los cantones Manta, Montecristi y Jaramijó. Con esto se identificó el sistema fotovoltaico referencial que pueda abastecer el requerimiento energético anual promedio por cliente de cada parroquia, de esta forma pudiendo dividirlo también por clientes de pequeño, mediano y grande consumo (Tabla 11), además de identificar su consumo promedio y costo mensual de energía con el fin de usarlo como guía para el análisis financiero correspondiente.

Tabla 11

SGDA requerido y aproximado para las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó por rango de consumo para clientes Residenciales.

		Potencia Fotovoltaica Pico requerida (kWp)	Sistema Fotovoltaico Aproximado (kWp)	Consumo Promedio Mensual (kWh)	Costo de Energía (USD/kWh- mes)	Costo Mensual de Energía (USD)
Pequeño	Tarqui	1,129	1	131,90	0,095	12,53
	Manta	1,118	1	130,68	0,095	12,41
	Los Esteros	1,183	1	138,27	0,095	13,14
	Eloy Alfaro	1,169	1	136,63	0,095	12,98
	Montecristi	0,99	1	115,89	0,095	11,01
	Jaramijó	1,06	1	124,81	0,095	11,86
Mediano	Tarqui	4,192	3,24	489,91	0,105	51,44
	Manta	4,840	3,24	565,32	0,1285	72,64
	Los Esteros	4,249	3,24	496,29	0,105	52,11
	Montecristi	4,001	3,24	467,37	0,105	49,07

Grande	Tarqui	16,755	11,34	1938,63	0,2752	533,51
	Manta	16,597	11,34	1957,07	0,2752	538,59
	Los Esteros	15,696	11,34	1833,33	0,2752	504,53

Fuente: Elaboración Propia.

5.1.6 Dimensionamiento del sistema de generación distribuida para autoabastecimiento por Parroquia para Clientes Comerciales.

Se realizó el mismo procedimiento del apartado anterior, pero solo enfocado en clientes comerciales de pequeño consumo, con el fin de identificar el sistema fotovoltaico referencial que pueda abastecer el consumo anual promedio por cliente de cada parroquia, centrando principalmente en los comerciales de pequeño consumo (Tabla 12).

Tabla 12

SGDA requerido y aproximado para las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijo por rango de consumo para clientes Comerciales.

		Potencia Fotovoltaica Pico requerida (kWp)	Sistema Fotovoltaico Aproximado (kWp)	Consumo Promedio Mensual (kWh)	Costo de Energía (USD/kWh- mes)	Costo Mensual de Energía (USD)
Pequeño	Tarqui	8,032	6,48	992,05	0,09	89,28
	Manta	8,493	6,48	938,20	0,09	84,44
	Los Esteros	9,050	6,48	1057,10	0,09	95,14

Fuente: Elaboración Propia.

5.2 Análisis Regulatorio.

Para la implementación del SGDA la AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD (ARCONEL) (2024) menciona que se deben de cumplir con condiciones específicas para su puesta en marcha, entre las principales se encuentran:

- El consumidor regulado debe de encontrarse ubicado en la misma área de servicio de la distribuidora.
- Debe abastecer la demanda de uno varios consumidores regulados.

En cuanto a la potencia nominal en el Art.7 menciona que para sistema que no inyectan energía eléctrica a la red, como es el caso de estudio, la potencia nominal del SGDA debe de estar determinada por la potencia máxima registrada por el consumidor y a la capacidad de conexión que apruebe la Distribuidora. Para el dimensionamiento del SGDA menciona en el Art. 9 que es responsabilidad exclusiva del consumidor regulado y debe de ser determinada para cubrir la demanda eléctrica anual, aunque para objetivos prácticos, la producción energética del SGDA de forma anual debe de ser menor o igual que la misma (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD (ARCONEL), 2024).

Además, se deben de considerar los consumos energéticos de los últimos 24 meses, proyecciones de demanda energética durante la vida útil del SGDA y de manera opcional los requerimientos de almacenamiento de energía.

Para el caso de estudio se adoptará la modalidad de autoabastecimiento 1a, lo que significa que el SGDA estará ubicado en el mismo inmueble del cliente regulado con contrato vigente con la capacidad de inyectar o no excedentes a la red. Debido a que el análisis se centra en especialmente en clientes residenciales y comerciales, las capacidades estimadas no serán mayores a 100 kW, por tanto, el representante legal del proyecto quedara exento de pagar todos los trámites legales realizados para la aprobación del SGDA (Factibilidad de conexión, Certificado de habilitación, pruebas y conexión) a la distribuidora (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD (ARCONEL), 2024).

Para el proceso de factibilidad de conexión, se debe de solicitar a la distribuidora mediante un formulario llamado Solicitud de Factibilidad de conexión de un SGDA (presentando en la regulación), en el cual deben de constar datos generales del SGDA e identificación del punto de la red donde se prevé conectar. El Certificado de Habilitación constara con el mismo tiempo de validez que la vida útil del SGDA, para Sistemas Fotovoltaicos la resolución establece 25 años de vida útil, pero por motivos de degradación propia del panel, agentes contaminantes de la zona y a simplificación propios del presente estudio se estimaron un periodo de vida útil de 20 años (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD (ARCONEL), 2024).

Por último, si la empresa distribuidora detecta que el SGDA está afectando al funcionamiento de la red de distribución, dispondrá de la suspensión de la operación hasta que sus parámetros se encuentren en límites permitidos. Por esta razón es importante dimensionar correctamente las capacidades de los SGDA, así también la de analizar factibilidades de conexión para evitar problemas futuros con la empresa distribuidora (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD (ARCONEL), 2024).

5.3 Análisis financiero y presentación de las zonas de impacto mediante mapas de calor.

Una vez estimadas las capacidades fotovoltaicas referenciales como propuesta para cada parroquia seleccionada, se deberá de identificar los sistemas más adecuados que haya en el mercado para reconocer sus valores de inversión. En esta oportunidad se tomó como referencia una proforma de García Romero & Macías López (2022) donde señala el costo de

inversión para una variedad de módulos fotovoltaicos de diferentes capacidades, así también como el número de paneles y el costo por kWp (Anexo 5)

Para realizar el análisis financiero aproximado se eligieron los siguientes parámetros:

1. **Año:** Tiempo estimado anual de operatividad del sistema fotovoltaico y que debe de estar establecido en el contrato de suministro (20 años).
2. **Degradación:** Degradación anual del sistema fotovoltaico, alrededor de 0,8% debido a alta presencia de agentes contaminantes y alta salinidad al presentar el estudio en perfiles costaneros.
3. **Consumo de Energía Promedio:** Consumo promedio anual de Energía por cliente en kWh. En relación a la base de datos obtenida se estimó un aumento anual de demanda del 1,5%.
4. **Energía Producida por el SGDA:** Energía producida anualmente por el sistema fotovoltaico en kWh y calculo en base a:

$$SGDA_{año} = kWp * HSP_{dia} * 365 * PS \quad (Ec.5)$$

Donde:

kWp : Potencia pico del sistema en kWp.

HSP_{dia} : Hora solar pico diaria.

PS : Indicador de eficiencia operativa global del sistema (0,8).

5. **Balance de Energía:** Diferencia entre la Energía consumida y la Energía producida por el SGDA.
6. **Costo de la Energía:** Valor en USD/kWh por mes estipulado en el Pliego Tarifario 2025. (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD, 2025)

7. **Facturación sin el SGDA:** Valor monetario facturado por la empresa distribuidora conforme al pliego tarifario y toda la energía consumida por el cliente (USD).
8. **Facturación con el SGDA:** Valor monetario facturado por la empresa distribuidora conforme al pliego tarifario y la energía consumida de la red por el cliente (USD)
9. **Ahorro Acumulado:** Valor monetario obtenido producto de la diferencia entre la facturación sin SGDA y facturación con el SGDA, acumulado año a año.
10. **Flujo de Caja:** Amortización anual de la inversión inicial con respecto al ahorro (USD).

Además, con el fin de realizar en análisis financiero detallado, se calculará diferentes variables económicas que representan la viabilidad de proyectos energéticos como lo son:

ROI: Indicador que permite definir exactamente cuánto se está ganando con respecto a lo invertido. Concepto importante a la hora de realizar y analizar inversiones calculado en base al Beneficio neto y la inversión inicial (Ec.6) (Acosta & Rosa, 2025).

$$ROI = \frac{Beneficio\ Neto}{Inversion\ Inicial} \times 100\% \quad (Ec.6)$$

VAN: El valor actual neto (VAN) evalúa el valor presente de los flujos futuros considerando una tasa de descuento, resulta de restar la inversión inicial la suma de los flujos descontados (Ec.7), como valores de tasa de descuentos típicos se tiene el 12% (Cardenas-Tafur, 2024).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde:

I_0 : Inversión Inicial.

F_t : Flujo de caja total.

r : Tasa de descuento.

n : Años estimados del proyecto.

TIR: La Tasa interna de retorno (TIR) expresa la rentabilidad mínima que debe de tener un proyecto para ser viable. Se usa la fórmula para calcular el VAN, pero cuando esta tiende a cero, donde se calcula la tasa de descuento r (Vidal-Carreras & Isabel, 2025).

PAYBACK: Tiempo que tarda la inversión en generar flujos de efectivo suficientes para recuperar la inversión inicial, tiene que ver directamente con el año en el que el flujo de caja se vuelve efectivo (Ec.8)(Dias, 2024).

$$PAYBACK = (R_i - 1) + \left(\frac{-F_a}{F_{ri}} \right) \quad (\text{Ec.8})$$

Donde:

R_i : Año del retorno de la inversión.

F_a : Flujo de caja del año anterior (Valor negativo).

F_{ri} : Flujo de caja del año de retorno de la inversión.

Tabla 13

Análisis económico para la implementación de sistema fotovoltaico de 1 kWp para clientes residenciales de pequeño consumo de las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó.

Año	Degradación %	Consumo de Energía Promedio Anual (kWh)	Energía Producida por el SGDA (kWh)	Balance de Energía (kWh)	Costo de la Energía (USD/kWh)	Facturación sin SGDA (USD)	Facturación con SGDA (USD)	Ahorro acumulado (USD)	Flujo de Caja (USD)
0	0	1659,29	1401,6	1401,6	0,095	150,68	0,00	150,68	-2968,00
1	0,8	1684,18	1390,39	293,79	0,095	153,05	25,64	278,09	-2689,91
2	1,6	1709,44	1379,26	330,18	0,095	155,45	28,95	404,59	-2563,41
3	2,4	1735,08	1368,23	366,85	0,095	157,88	32,29	530,18	-2437,82
4	3,2	1761,11	1357,28	403,83	0,095	160,36	35,66	654,88	-2313,12
5	4	1787,53	1346,43	441,10	0,095	162,87	39,05	778,70	-2189,30
6	4,8	1814,34	1335,65	478,69	0,095	164,28	42,47	900,51	-2067,49
7	5,6	1841,55	1324,97	516,59	0,095	166,92	45,92	1021,51	-1946,49
8	6,4	1869,18	1314,37	554,81	0,095	169,60	49,40	1141,71	-1826,29
9	7,2	1897,22	1303,85	593,36	0,095	172,32	52,90	1261,13	-1706,87
10	8	1925,67	1293,42	632,25	0,095	175,08	56,44	1379,76	-1588,24
11	8,8	1954,56	1283,08	671,48	0,095	177,88	60,01	1497,63	-1470,37
12	9,6	1983,88	1272,81	711,07	0,095	180,72	63,61	1614,74	-1353,26
13	10,4	2013,64	1262,63	751,01	0,095	183,61	67,25	1731,10	-1236,90
14	11,2	2043,84	1252,53	791,31	0,095	186,54	70,92	1846,72	-1121,28
15	12	2074,50	1242,51	831,99	0,095	189,51	74,62	1961,62	-1006,38
16	12,8	2105,62	1232,57	873,05	0,095	192,53	78,36	2075,80	-892,20
17	13,6	2137,20	1222,71	914,49	0,095	195,60	81,64	2189,75	-778,25
18	14,4	2169,26	1212,93	956,33	0,095	198,71	85,53	2302,93	-665,07
19	15,2	2201,80	1203,22	998,57	0,095	201,86	89,46	2415,33	-552,67
20	16	2234,82	1193,60	1041,23	0,095	205,07	93,43	2526,97	-441,03

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 13 se muestra el análisis para un cliente con consumo anual aproximado de 1650 kWh, para la implementación del sistema fotovoltaico de 1 kWp se cotizó en \$2968 y en base a la ecuación 5 se determinó la generación anual del sistema. Los resultados de las principales variables económicas fueron los siguientes:

ROI: -14,86% Total.

VAN: -\$2058,42

PAYBACK: > 20 años.

TIR: -2%

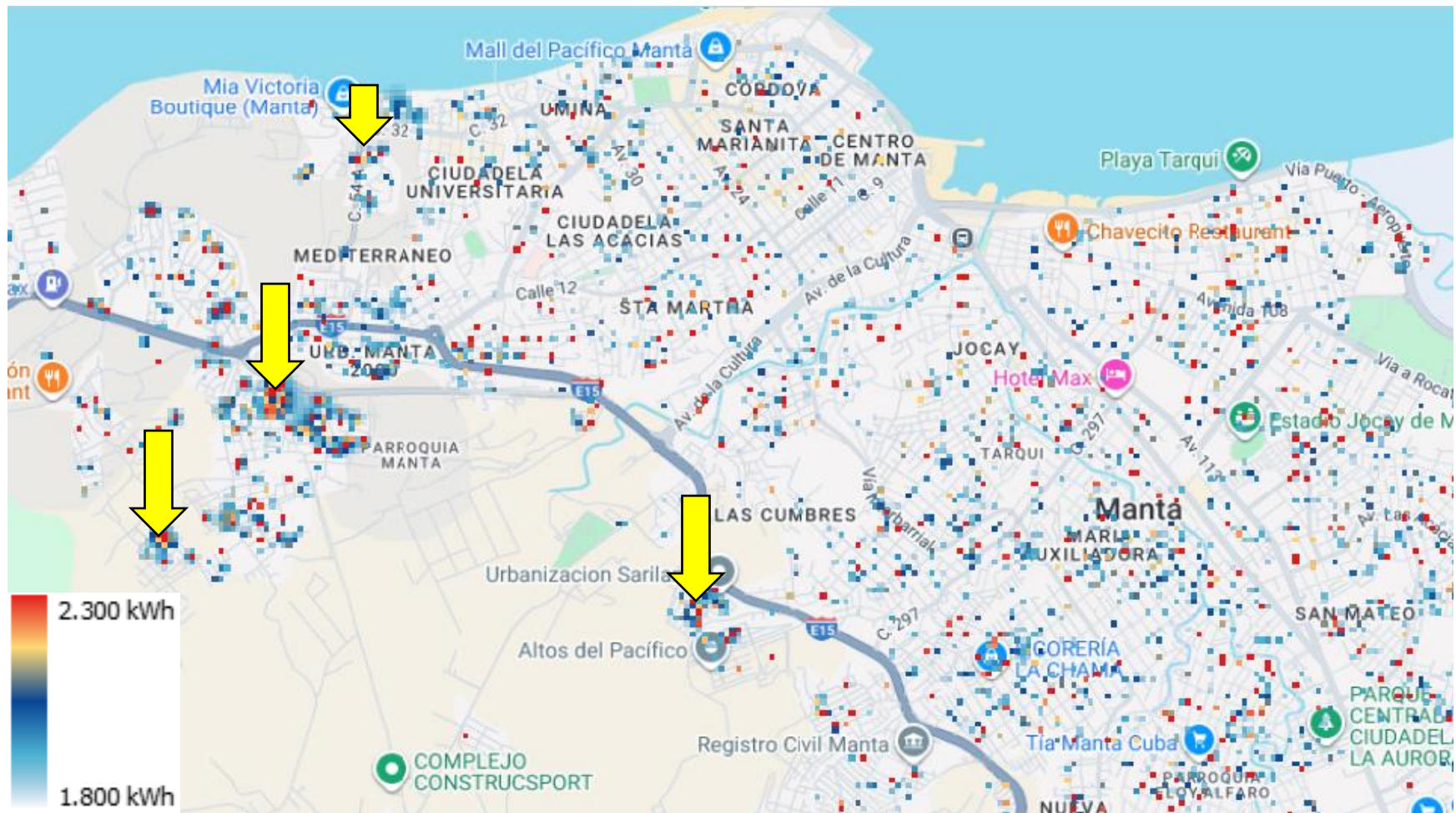
Con esto podemos concluir que en el transcurso de vida útil del proyecto (20 años) no se logra recuperar la inversión en ningún momento, terminando este periodo con un balance negativo de \$-441,03, lo cual se traduce en poca viabilidad por parte del proyecto.

Periodos tan largos de PAYBACK pueden deberse tanto a factores como eficiencias o degradación de los sistemas, como también al sobredimensionamiento de los módulos fotovoltaicos para autoabastecimiento, debido a esto es indispensable realizar análisis con consumos energéticos reales para cada cliente, elegir sistemas que cuenten con alta eficiencia y evitar ubicaciones que presenten alta concentración de agentes contaminantes que contribuyan a la degradación de la capacidad de generación del sistema.

En la Figura 49 se pueden observar a detalle las localizaciones con mayor consumo energético anual residencial comprendido por clientes con consumos menores a 300 kWh mensuales.

Figura 49

Mapa de Calor de demanda energética anual de clientes residencial de bajo consumo en Manta, Montecristi y Jaramijó Año 2023.



Fuente: QGIS.

Tabla 14

Análisis económico para la implementación de sistema fotovoltaico de 3,24 kWp para clientes residenciales de mediano consumo de las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó.

Año	Degradación %	Consumo de Energía Promedio Anual (kWh)	Energía Producida por el SGDA (kWh)	Balance de Energía (kWh)	Costo de la Energía (USD/kWh)	Facturación sin SGDA (USD)	Facturación con SGDA (USD)	Ahorro acumulado (USD)	Flujo de Caja (USD)
0	0	6783,79	4541,18	4541,18	0,1285	686,17	0	0,00	-5456,52
1	0,8	6885,55	4504,85	2380,70	0,1285	699,24	219,22	480,02	-4976,50
2	1,6	6988,83	4468,81	2520,02	0,1285	712,51	232,45	960,09	-4496,43
3	2,4	7093,66	4433,06	2660,60	0,1285	725,99	245,81	1440,26	-4016,26
4	3,2	7200,07	4397,60	2802,47	0,1285	739,66	259,29	1920,63	-3535,89
5	4	7308,07	4362,42	2945,65	0,1285	753,54	274,02	2400,15	-3056,37
6	4,8	7417,69	4327,52	3090,17	0,1285	767,62	288,03	2879,74	-2576,78
7	5,6	7528,95	4292,90	3236,06	0,1285	781,92	302,19	3359,48	-2097,04
8	6,4	7641,89	4258,55	3383,34	0,1285	796,43	316,47	3839,44	-1617,08
9	7,2	7756,52	4224,48	3532,03	0,1285	811,16	331,97	4318,63	-1137,89
10	8	7872,87	4190,69	3682,18	0,1285	826,11	346,84	4797,91	-658,61
11	8,8	7990,96	4157,16	3833,79	0,1285	841,29	361,85	5277,35	-179,17
12	9,6	8110,82	4123,91	3986,92	0,1285	856,69	377,00	5757,04	300,52
13	10,4	8232,48	4090,91	4141,57	0,1285	872,32	393,39	6235,97	779,45
14	11,2	8355,97	4058,19	4297,78	0,1285	888,19	390,01	6734,16	1277,64
15	12	8481,31	4025,72	4455,59	0,1285	903,90	404,37	7233,69	1777,17
16	12,8	8608,53	3993,52	4615,02	0,1285	922,35	418,87	7737,17	2280,65
17	13,6	8737,66	3961,57	4776,09	0,1285	941,07	458,59	8219,65	2763,13
18	14,4	8868,72	3929,88	4938,85	0,1285	960,08	475,35	8704,37	3247,85
19	15,2	9001,76	3898,44	5103,32	0,1285	979,36	492,29	9191,44	3734,92
20	16	9136,78	3867,25	5269,53	0,1285	998,94	510,29	9680,09	4223,57

Fuente: Elaboración Propia.

El presupuesto para un sistema fotovoltaico de 3,24 kWp fue de \$5456,52, estimado para satisfacer un consumo anual promedio de clientes residenciales medianos aproximado de 6783 kWh (Tabla 14). Sus variables económicas que evalúan su viabilidad son:

ROI: 77.40 % Total.

VAN: -\$1858,57

PAYBACK: 11,6 años.

TIR: 6%

A diferencia del ejemplo anterior, en esta ocasión si se obtiene recuperar la inversión inicial del proyecto en aproximadamente 11 años y medio, lo cual expresa un periodo aceptable para la ejecución de este proyecto. Además, al final de los 20 años se obtuvo un retorno de la inversión del 77,40%, lo que equivale a \$4223,57. Aunque a simple vista se observen retornos de la inversión, esto no significa que el proyecto sea viable, para evaluar esto nos basamos en el Valor Actual Neto (VAN) el cual presenta un valor de -\$1858,57, por lo que se puede concluir que el proyecto presenta ganancias a largo plazo pero pierde valor a través del tiempo, por lo tanto no cumple con una tasa mínima de rentabilidad esperada.

En la Figura 50 se muestran las parroquias y localidades de mayor consumo usado para la ejecución de este análisis.

Figura 50

Mapa de Calor de demanda energética anual de clientes residencial de medio consumo en Manta, Montecristi y Jaramijó Año 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 15

Análisis económico para la implementación de sistema fotovoltaico de 11,34 kWp para clientes residenciales de grandes consumos de las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó.

Año	Degradación %	Consumo de Energía Promedio Anual (kWh)	Energía Producida por el SGDA (kWh)	Balance de Energía (kWh)	Costo de la Energía (USD/kWh)	Facturación sin SGDA (USD)	Facturación con SGDA (USD)	Ahorro acumulado (USD)	Flujo de Caja (USD)
0	0	23484,84	15894,14	19867,60	0,2752	3943,58	0,00	0,00	-15961,53
1	0,8	23837,11	15766,99	8070,13	0,2752	4040,53	851,46	3189,07	-12772,46
2	1,6	24194,67	15640,85	8553,82	0,2752	4138,93	913,62	6414,38	-9547,15
3	2,4	24557,59	15515,72	9041,87	0,2752	4238,81	976,33	9676,86	-6284,67
4	3,2	24925,95	15391,60	9534,35	0,2752	4340,18	1039,61	12977,42	-2984,11
5	4	25299,84	15268,47	10031,38	0,2752	4443,07	1103,48	16317,01	355,48
6	4,8	25679,34	15146,32	10533,02	0,2752	4547,51	1167,94	19696,58	3735,05
7	5,6	26064,53	15025,15	11039,38	0,2752	4653,52	1274,82	23075,28	7113,75
8	6,4	26455,50	14904,95	11550,55	0,2752	4761,11	1348,94	26487,45	10525,92
9	7,2	26852,33	14785,71	12066,62	0,2752	4870,32	1423,77	29934,00	13972,47
10	8	27255,12	14667,42	12587,69	0,2752	4981,16	1499,33	33415,83	17454,30
11	8,8	27663,94	14550,08	13113,86	0,2752	5093,67	1602,42	36907,09	20945,56
12	9,6	28078,90	14433,68	13645,22	0,2752	5207,87	1693,23	40421,73	24460,20
13	10,4	28500,08	14318,21	14181,87	0,2752	5323,78	1784,94	43960,57	27999,04
14	11,2	28927,59	14203,67	14723,92	0,2752	5441,43	1877,58	47524,42	31562,89
15	12	29361,50	14090,04	15271,46	0,2752	5560,84	1971,15	51114,11	35152,58
16	12,8	29801,92	13977,32	15824,61	0,2752	5682,05	2065,68	54730,47	38768,94
17	13,6	30248,95	13865,50	16383,45	0,2752	5839,87	1989,28	58581,06	42619,53
18	14,4	30702,69	13754,57	16948,11	0,2752	6037,70	2144,68	62474,08	46512,55
19	15,2	31163,23	13644,54	17518,69	0,2752	6238,49	2301,70	66410,87	50449,34
20	16	31630,67	13535,38	18095,29	0,2752	6442,30	2460,38	70392,79	54431,26

Fuente: Elaboración Propia.

El presupuestó de un sistema de 11,34 kWp se calculó en \$15961,53, estimado para satisfacer un consumo anual promedio de clientes residenciales grandes aproximado de 6783 19800 kWh (Tabla 15). Sus variables económicas se calcularon en:

ROI: 341,02%

VAN: \$9383,03

PAYBACK: 4,90 años.

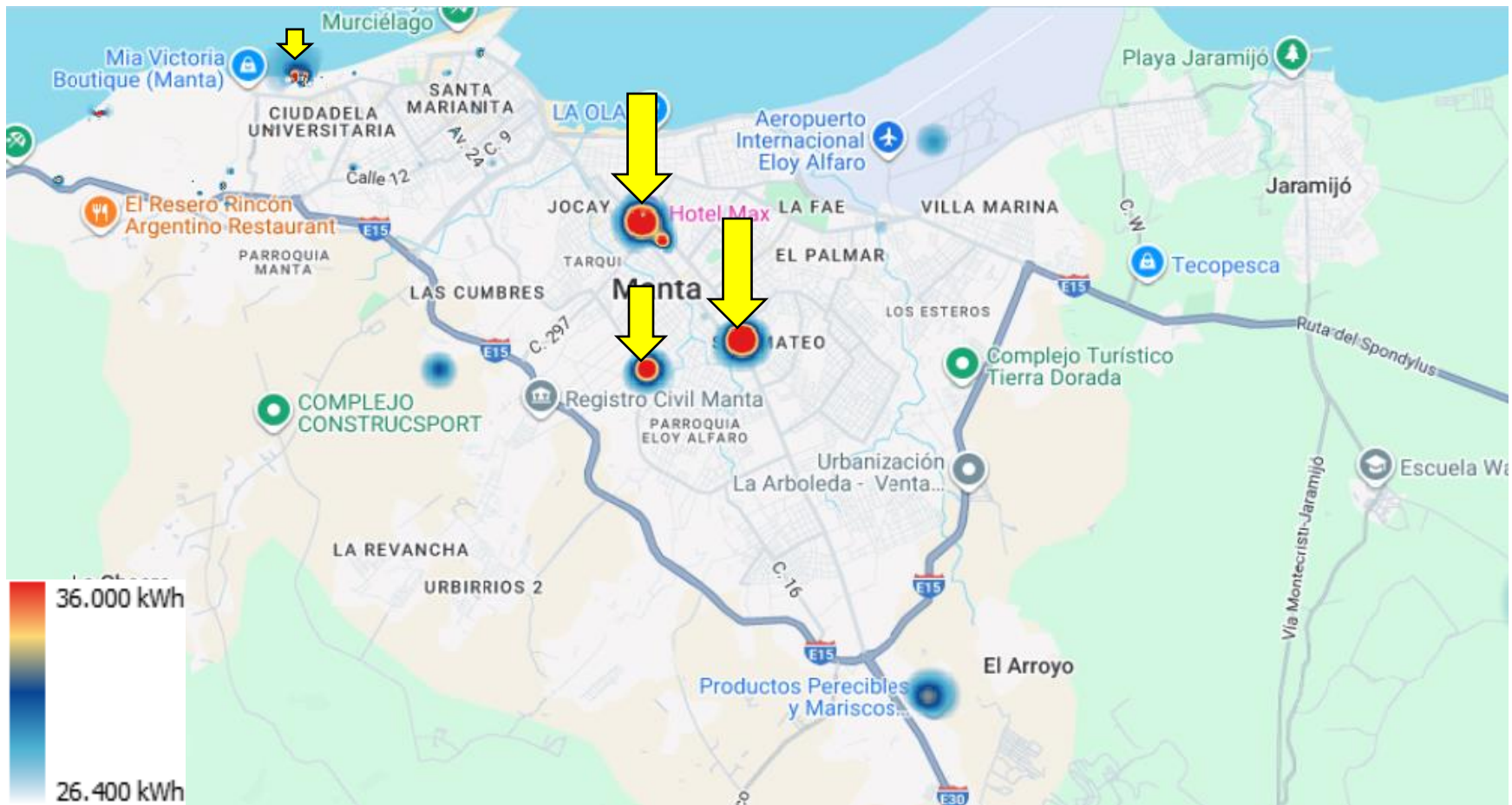
TIR: 20%

Concluyendo que la implementación de sistemas fotovoltaicos de 11,34 kWp para clientes residenciales con gran consumo energético es muy rentable, obteniendo alrededor del 341% de ganancia al final de los 20 años de la vida útil del sistema con respecto a la inversión inicial. El retorno de la inversión se estima en alrededor de 5 años con VAN de \$9383, lo que nos indica la alta rentabilidad en la ejecución de este proyecto y hasta el momento el único que se presenta de manera atractiva para invertir en generación eléctrica en el ámbito residencial.

En la Figura 51 se muestran las zonas seleccionadas para la ejecución de este análisis mediante mapas de calor.

Figura 51

Mapa de Calor de demanda energética anual de clientes residencial de alto consumo en Manta, Montecristi y Jaramijó Año 2023.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 16

Análisis económico para la implementación de sistema fotovoltaico de 6,48 kWp para clientes comerciales de pequeño consumo de las parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó.

Año	Degradación %	Consumo de Energía Promedio Anual (kWh)	Energía Producida por el SGDA (kWh)	Balance de Energía (kWh)	Costo de la Energía (USD/kWh)	Facturación sin SGDA (USD)	Facturación con SGDA (USD)	Ahorro acumulado (USD)	Flujo de Caja (USD)
0	0	12.685,22	9082,37	11352,96	0,09	1264,64	0,00	0,00	-9097,14
1	0,8	12875,50	9009,71	3865,79	0,09	1326,18	354,55	971,63	-8125,51
2	1,6	13068,63	8937,63	4131,00	0,09	1346,07	378,95	1938,75	-7158,39
3	2,4	13264,66	8866,13	4398,53	0,09	1366,26	403,56	2901,45	-6195,69
4	3,2	13463,63	8795,20	4668,43	0,09	1386,75	428,39	3859,81	-5237,33
5	4	13665,58	8724,84	4940,74	0,09	1407,56	453,44	4813,92	-4283,22
6	4,8	13870,57	8655,04	5215,53	0,09	1428,67	478,72	5763,87	-3333,27
7	5,6	14078,63	8585,80	5492,82	0,09	1450,10	504,24	6709,73	-2387,41
8	6,4	14289,81	8517,12	5772,69	0,09	1471,85	552,65	7628,93	-1468,21
9	7,2	14504,15	8448,98	6055,17	0,09	1493,93	581,74	8541,12	-556,02
10	8	14721,72	8381,39	6340,33	0,09	1516,34	611,11	9446,34	349,20
11	8,8	14942,54	8314,34	6628,21	0,09	1539,08	640,77	10344,66	1247,52
12	9,6	15166,68	8247,82	6918,86	0,09	1562,17	670,70	11236,12	2138,98
13	10,4	15394,18	8181,84	7212,34	0,09	1585,60	700,93	12120,79	3023,65
14	11,2	15625,09	8116,38	7508,71	0,09	1609,38	731,46	12998,72	3901,58
15	12	15859,47	8051,45	7808,02	0,09	1633,53	762,29	13869,96	4772,82
16	12,8	16097,36	7987,04	8110,32	0,09	1658,03	793,42	14734,56	5637,42
17	13,6	16338,82	7923,15	8415,68	0,09	1682,90	824,87	15592,59	6495,45
18	14,4	16583,90	7859,76	8724,14	0,09	1708,14	856,65	16444,08	7346,94
19	15,2	16832,66	7796,88	9035,78	0,09	1733,76	888,75	17289,10	8191,96
20	16	17085,15	7734,51	9350,65	0,09	1759,77	921,18	18127,70	9030,56

Fuente: Elaboración Propia.

La cotización del sistema fotovoltaico de 6,48 kWp para autoabastecimiento energético de clientes comerciales de pequeño consumo con demandas energéticas anuales de alrededor de 12,500 kWh fue de \$9097,14 (Tabla 16). Sus variables económicas fueron las siguientes:

ROI: 99,27%

VAN: -\$2131,78

PAYBACK: 10,27 años.

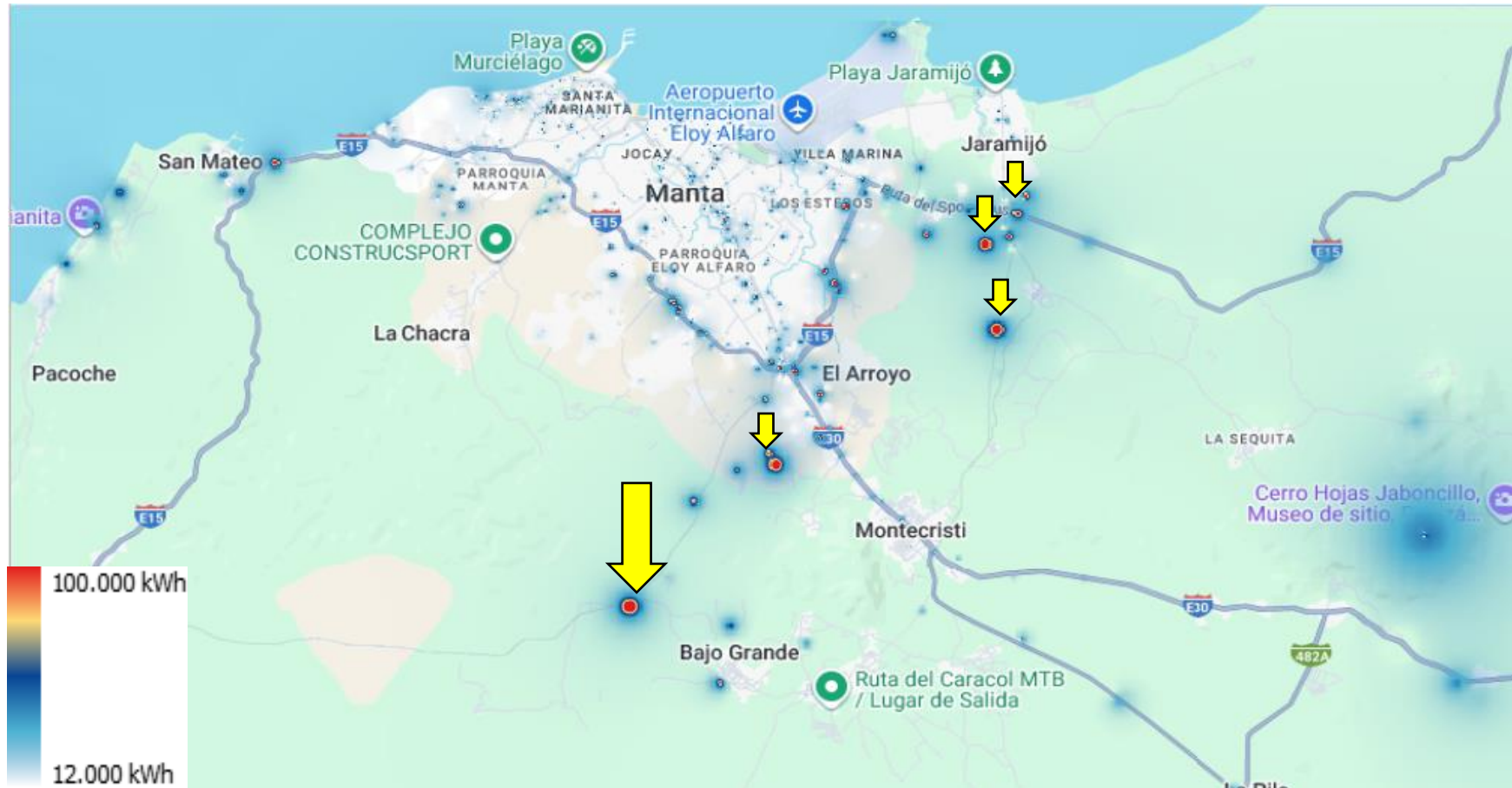
TIR: 8%

Igual que en el caso para clientes residenciales de mediano consumo, la ejecución de este proyecto representa periodos del retorno de la inversión de alrededor de 10 años, obteniendo ganancias netas al finalizar los 20 años de 99,27% con respecto a la inversión inicial. Pero en cuanto al VAN se tiene que el proyecto presenta valores negativos, lo que nos indica que al final de la vida útil del sistema, este pierde valor, lo que representa poca viabilidad y la única manera en que pueda ser rentable es que se tengan tasas de descuentos menores al 8%.

En la Figura 52 se presentan los picos de consumo energético anual, donde se logran identificar los mayores consumos en Montecristi y Jaramijó, pero que por motivos de densidad poblacional parroquias de Manta como Tarqui o Los Esteros suele contar con una demanda energética anual promedio más elevada, por tanto, cobrando relevancia para este análisis.

Figura 52

Mapa de Calor de demanda energética anual de clientes comerciales de bajo consumo en Manta, Montecristi y Jaramijó Año 2023.



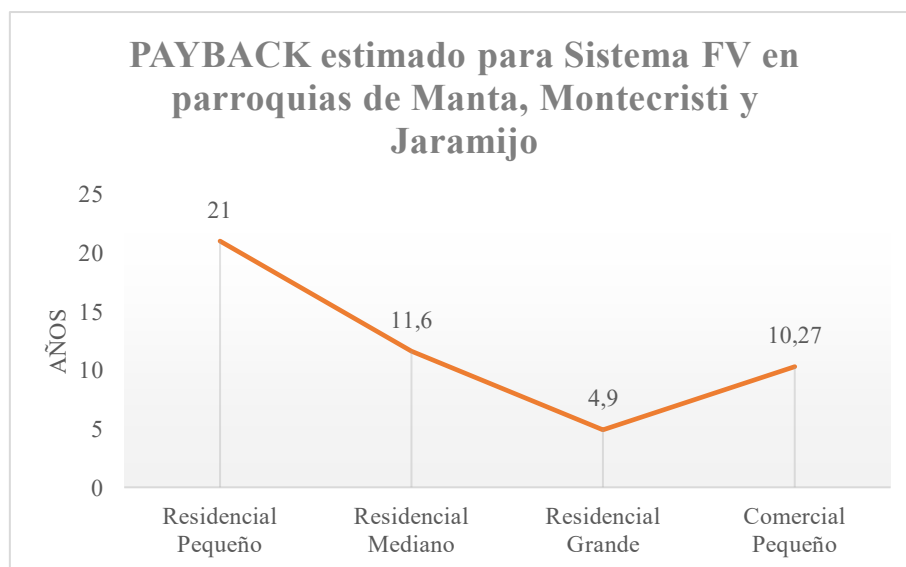
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez ejecutado el análisis financiero correspondiente, se pudo observar que la ejecución de proyectos fotovoltaicos para clientes residenciales de pequeño y mediano consumo resulta poco viable debido a los bajos márgenes de ganancia y a los tiempos prolongado que toma recuperar la inversión.

Por el contrario, para clientes residenciales de alto consumo (mayores a 1500 kWh mensuales) las ganancias económicas a mediano y largo plazo son altas, llegando a tener hasta un 340% en comparación a la inversión inicial en un periodo de 20 años. Otro escenario tiene los clientes comerciales de pequeño consumo (menores a 20000 kWh mensuales) ya que tienen ganancias netas al finalizar la vida útil del proyecto, pero que no genera valor debido a que el VAN se encuentra en -\$2131,78. En la Figura 53 se presentan las comparativas de PAYBACK entre los casos analizados.

Figura 53

PAYBACK estimado para Sistemas FV en parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó.



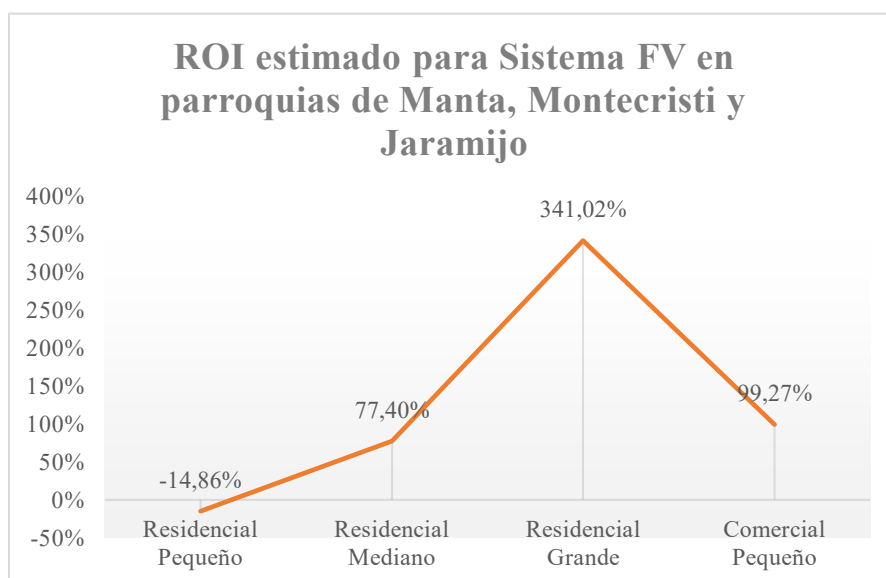
Fuente: Elaboración Propia.

Si se cuentan con PAYBACK elevado como el del sistema fotovoltaico de 1 kwp para sistemas residenciales pequeños, el retorno de la inversión inicial tardara mucho más tiempo en realizarse, debido a esto para analizar si un proyecto puede ser rentable a corto o mediano plazo, debe de constar con PAYBACK menores a 10 años. El proyecto más rentable analizado fue el dimensionado para clientes residenciales de alto consumo que constaba de un sistema de 11,34 kWp, teniendo un tiempo estimado del retorno de la inversión de unos 5 años.

En cuanto a comparativas del ROI (Figura 54), podemos llegar a los mismos resultados, en el caso de clientes residenciales pequeño no se alcanzó a obtener retornos de la inversión al final de los 20 años, mientras que para los de alto consumo se va a tener ganancias de hasta el 300 con respecto al monto inicial invertido al final de la vida útil del proyecto.

Figura 54

ROI estimado para Sistemas FV en parroquias de Manta, Montecristi y Jaramijó



Fuente: Elaboración Propia.

6. Conclusiones

La recolección de datos energéticos y geoespaciales de los principales cantones de la zona sur de la Provincia de Manabí (Manta, Montecristi y Jaramijó) fue un paso importante para la ejecución del estudio, Con esto se pudo analizar los consumos energéticos históricos de los cantones seleccionados, identificando crecimientos anuales, mensuales y semestrales.

Mediante la identificación de propuestas, se pudo agregar una capa más de filtrado que no constaba en la base de datos suministrada por CNEL, basándonos en el Reglamento General de la Ley Orgánica de Eficiencia energética, donde seccionaba a clientes Residenciales, Comerciales e Industriales por rangos de consumo energético mensual (Grande, Mediano y Pequeño). Con esto se pudo incrementar la sectorización de la información con el fin de realizar un análisis mucho más específico, que nos ayude con la identificación de picos de consumo en la zona sur de la Provincia de Manabí.

Con esto se logró generar Mapas de Calor donde se visualizan consumos energéticos de Manta, Montecristi y Jaramijó, con el propósito de poder identificar zonas de alto, medio y bajo consumo, con el objetivo de entender la dinámica energética de los cantones seleccionados.

Como ultimo inciso, se desarrolló un estudio para determinar la viabilidad de ejecución de proyectos fotovoltaicos en clientes residenciales de bajo, medio y alto consumo anual promedio, así también, para clientes comerciales de pequeño consumo. Donde se determinó que, para clientes residenciales con consumo anual promedio bajo y medio, la implementación de sistemas fotovoltaicos de 1kWp y 3,4 kWp no resulta viable, mientras que, para clientes residenciales de alto consumo, la adopción de sistemas de 11,34 kWp

representa réditos económicos del triple de lo invertido al final de los 20 años de vida útil del sistema, de esta forma presentándose como una propuesta atractiva para inversiones futuras.

7. Recomendaciones.

Para analizar la rentabilidad de un proyecto fotovoltaico se deben de identificar parámetros específicos del cliente regulado tales como potencias pico, localizaciones y tipos de cargas que abastecerá el módulo, además de factores propios de la región en la que se encuentra. Por esto, se recomienda realizar estudios con parámetros reales del cliente beneficiario y analizar a detalle cada factor que pueda afectar al media o corto plazo la generación de electricidad, provocando pérdidas económicas.

Además, es recomendable estar siempre informado sobre las regulaciones mas actualizadas que se tengan con respecto a los SGDA, con el fin de cumplir de forma satisfactoria con todos los requerimientos necesarios para su ejecución y evitar posibles multas o dada de baja del sistema.

8. Anexos.

Anexos 1

Macro usado para dividir clientes por tipo de tarifa.

```

rutaArchivo = Application.GetOpenFilename("Archivos de Excel (*.xlsx; *.xslm), *.xlsx; *.xslm", , "Selecciona el archivo con los datos")
If rutaArchivo = False Then Exit Sub
Set wbOrigen = Workbooks.Open(rutaArchivo)
nombreHoja = InputBox("Ingresa el nombre de la hoja donde están los datos:", "Nombre de Hoja")
On Error Resume Next
Set wsOrigen = wbOrigen.Sheets(nombreHoja)
On Error GoTo 0
If wsOrigen Is Nothing Then
    MsgBox "La hoja indicada no existe.", vbExclamation
    wbOrigen.Close False
    Exit Sub
End If
ultimaFila = wsOrigen.Cells(wsOrigen.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row
ultimaColumna = wsOrigen.Cells(filaTitulo, wsOrigen.Columns.Count).End(xlToLeft).Column
colTipo = 0
For i = 1 To ultimaColumna
    If LCase(wsOrigen.Cells(filaTitulo, i).Value) Like "**tipo tarifa*" Then
        colTipo = i
        Exit For
    End If
Next i
If colTipo = 0 Then
    MsgBox "No se encontró ninguna columna con la palabra 'Tipo Tarifa'.", vbExclamation
    wbOrigen.Close False
    Exit Sub
End If
Set tipoTarifas = CreateObject("Scripting.Dictionary")
For Each celda In wsOrigen.Range(wsOrigen.Cells(filaTitulo + 1, colTipo), wsOrigen.Cells(ultimaFila, colTipo))
    If Trim(celda.Value) <> "" Then
        tipoTarifas(Trim(celda.Value)) = 1
    End If
Next celda
Set rngDatos = wsOrigen.Range(wsOrigen.Cells(filaTitulo, 1), wsOrigen.Cells(ultimaFila, ultimaColumna))
rutaGuardar = wbOrigen.Path & "\\"
For Each tipo In tipoTarifas.Keys
    Set wbDestino = Workbooks.Add
    Set wsDestino = wbDestino.Sheets(1)

```

Fuente: Macros de Excel.

Anexos 2

Macro para clasificar por rango de consumo energético.

```

arrMed(1, j) = datos(1, j)
arrGra(1, j) = datos(1, j)
Next j

cPeq = 2: cMed = 2: cGra = 2
For i = 2 To UBound(datos)

    If IsNumeric(datos(i, colProm)) Then
        Dim v As Double
        v = datos(i, colProm)

        If v >= 0 And v < 300 Then
            For j = 1 To ultimaCol
                arrPeq(cPeq, j) = datos(i, j)
            Next j
            cPeq = cPeq + 1

        ElseIf v >= 300 And v <= 1500 Then
            For j = 1 To ultimaCol
                arrMed(cMed, j) = datos(i, j)
            Next j
            cMed = cMed + 1

        ElseIf v > 1500 Then
            For j = 1 To ultimaCol
                arrGra(cGra, j) = datos(i, j)
            Next j
            cGra = cGra + 1
        End If

    End If
Next i
Dim wbP As Workbook, wbM As Workbook, wbG As Workbook
Set wbP = Workbooks.Add

```

Fuente: Macros de Excel.

Anexos 3

Macro para visualizar resumen energético por parroquia.

```
Set wb = Workbooks.Open(archivo)
On Error Resume Next
Set ws = wb.Sheets(nombreHoja)
On Error GoTo 0
If ws Is Nothing Then
    MsgBox "La hoja no existe.", vbCritical
    Exit Sub
End If
Dim h As Range
For Each h In ws.Rows(1).Cells
    If UCase(Trim(h.Value)) = "PROMEDIO" Then colProm = h.Column
    If UCase(Trim(h.Value)) = "PARROQUIA" Then colParroquia = h.Column
Next h
If colProm = 0 Or colParroquia = 0 Then
    MsgBox "No se encontraron las columnas PROMEDIO o PARROQUIA.", vbCritical
    Exit Sub
End If
Set dictParroquias = CreateObject("Scripting.Dictionary")
ultimaFila = ws.Cells(ws.Rows.Count, colProm).End(xlUp).Row
totalEnergia = 0
For fila = 2 To ultimaFila

    valor = Val(ws.Cells(fila, colProm).Value)
    parroquiaStr = Trim(ws.Cells(fila, colParroquia).Value)

    If parroquiaStr = "" Then parroquiaStr = "SIN_PARROQUIA"

    totalEnergia = totalEnergia + valor

    If Not dictParroquias.Exists(parroquiaStr) Then
        dictParroquias.Add parroquiaStr, valor
    Else
        dictParroquias(parroquiaStr) = dictParroquias(parroquiaStr) + valor
    End If
Next fila
```

Fuente: Macros de Excel.

Anexos 4

Macro para dividir por consumo energético para clientes residenciales.

```
For j = 1 To ultimaCol
    arrPeq(cPeq, j) = datos(i, j)
Next j
cPeq = cPeq + 1

ElseIf v >= 300 And v <= 1500 Then
    For j = 1 To ultimaCol
        arrMed(cMed, j) = datos(i, j)
    Next j
    cMed = cMed + 1

ElseIf v > 1500 Then
    For j = 1 To ultimaCol
        arrGra(cGra, j) = datos(i, j)
    Next j
    cGra = cGra + 1
End If
```

Fuente: Macros de Excel.

Anexos 5

Proforma de Sistemas Fotovoltaicos para análisis financiero.

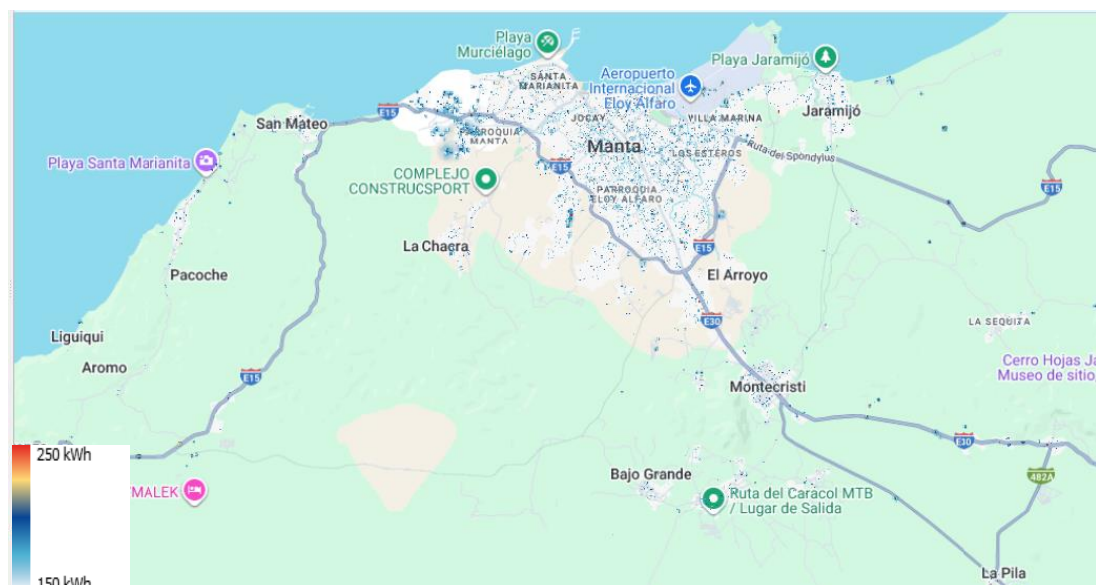
Capacidad (kWp)	Numero de Paneles	Inversor	Estructura y Soporte	Kit de Instalación	Precio por kWp	Inversión (USD)
1	2	1	1	1	2104,80	2968,00
3,24	8	1	1	1	1684,11	5456,52
6,48	16	1	1	1	1403,83	9096,82
11,34	28	1	1	1	1407,54	15961,50

Fuente: Elaboración Propia.

Anexos 6

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Residenciales Pequeño

Enero 2023

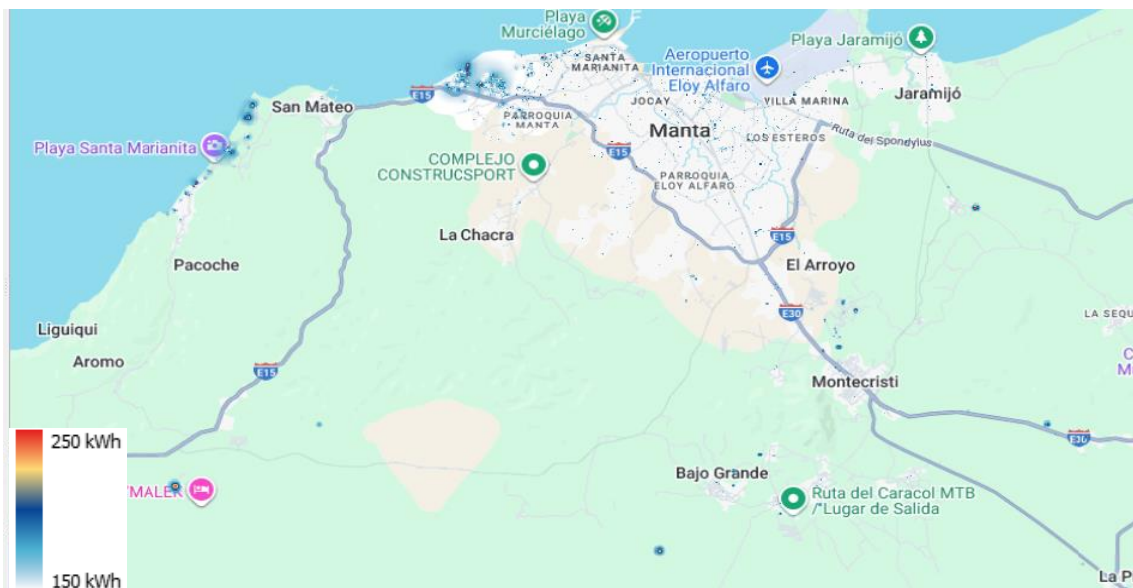


Fuente: QGIS.

Anexos 7

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Residenciales Mediano

Enero 2023

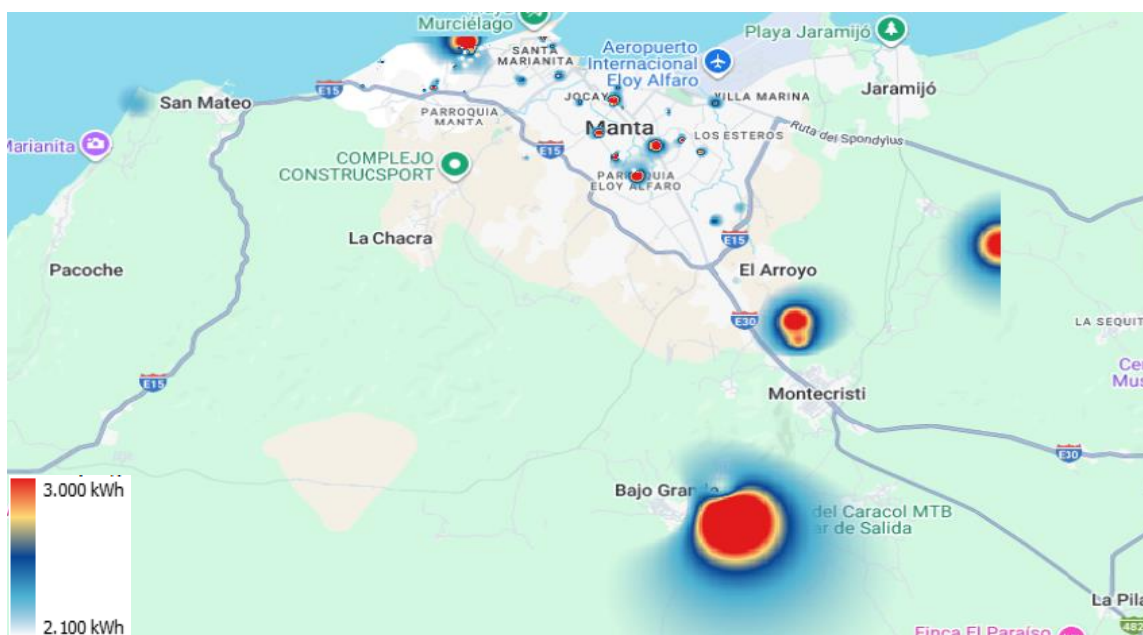


Fuente: QGIS.

Anexos 8

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Residenciales Grande Enero

2023

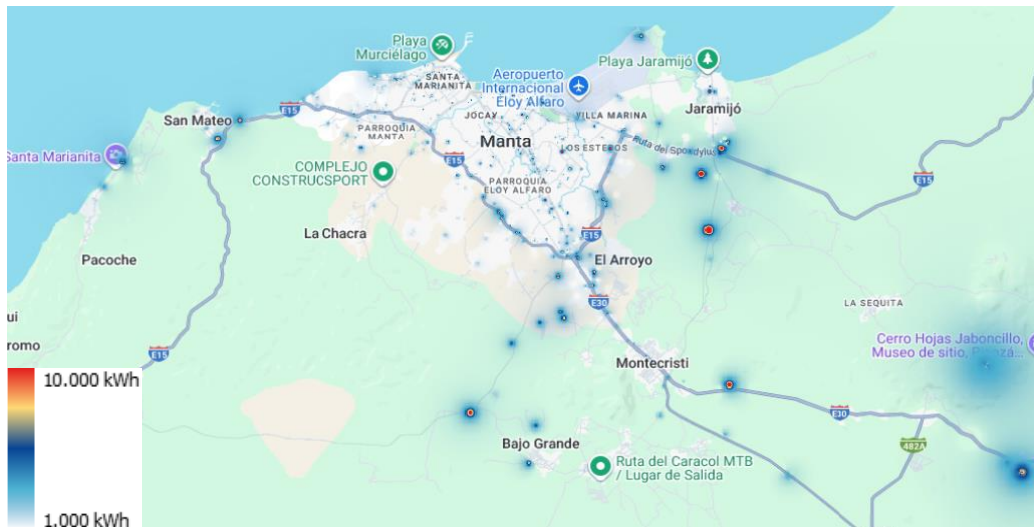


Fuente: QGIS.

Anexos 9

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Comerciales Pequeño Enero

2023

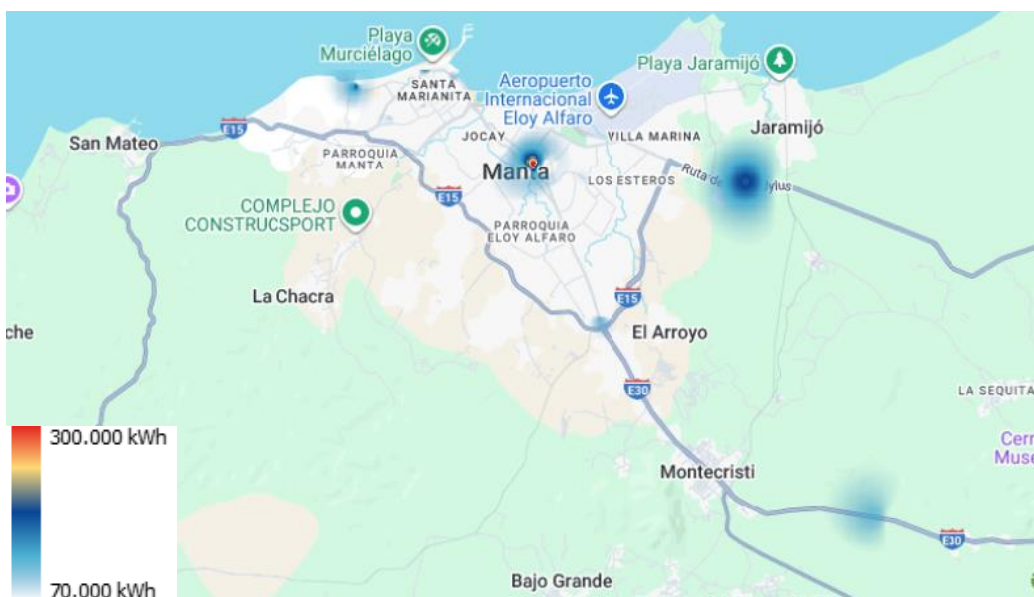


Fuente: QGIS.

Anexos 10

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Comerciales Mediano Enero

2023



Fuente: QGIS.

Anexos 11

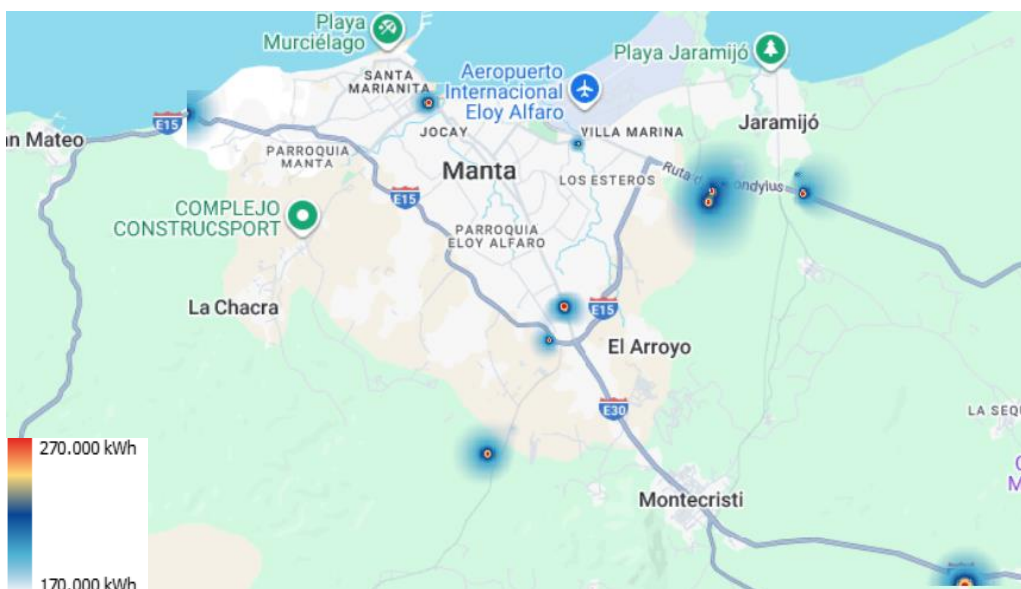
Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Industriales Pequeño Enero 2023



Fuente: QGIS.

Anexos 12

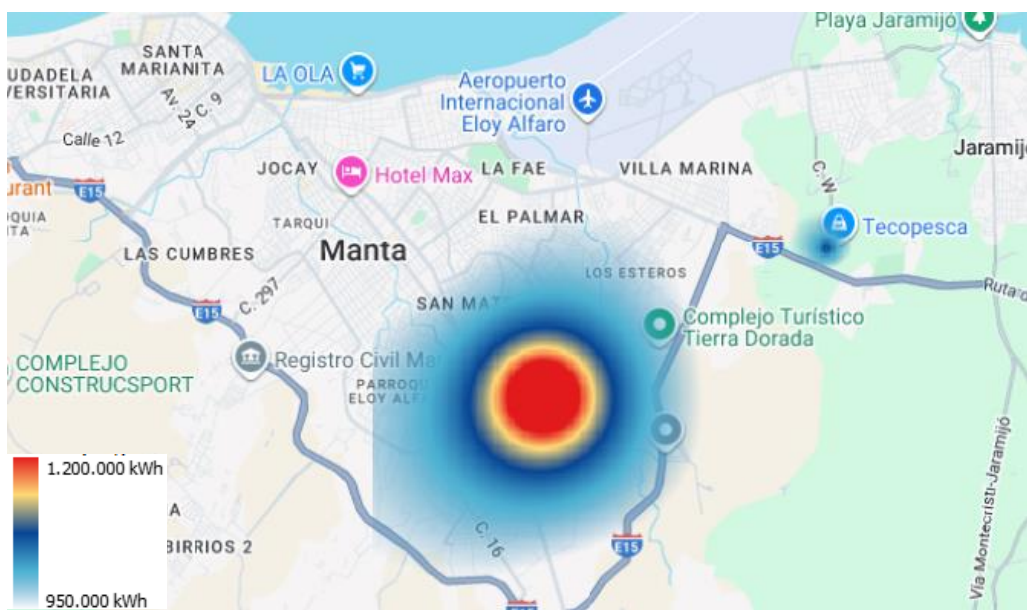
Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Industriales Mediano Enero 2023



Fuente: QGIS.

Anexos 13

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Industriales Grande Enero 2023

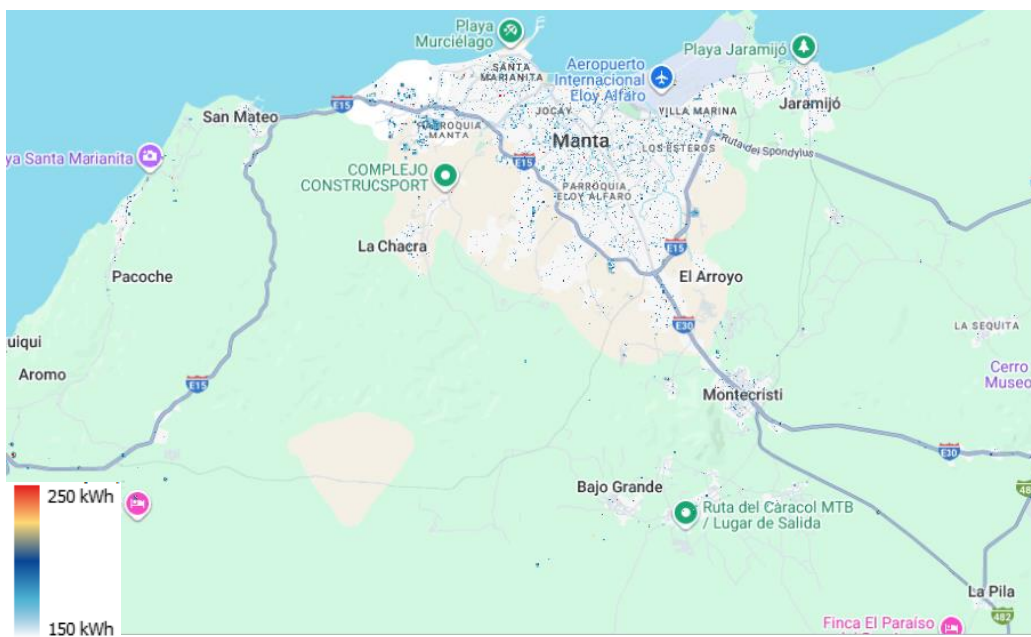


Fuente: QGIS.

Anexos 14

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Residenciales Pequeño

Diciembre 2023

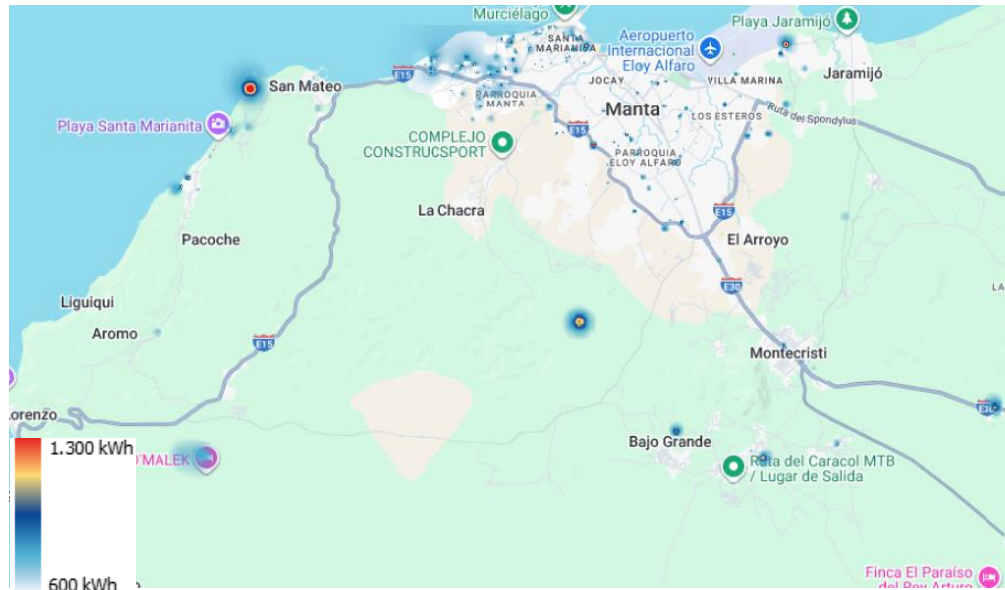


Fuente: QGIS.

Anexos 15

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Residenciales Mediano

Diciembre 2023

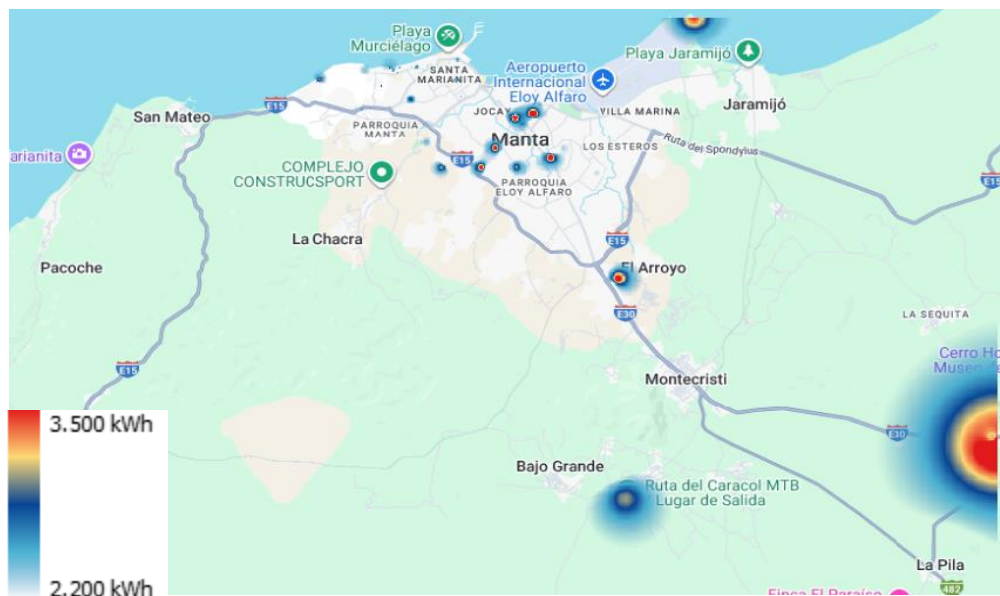


Fuente: QGIS.

Anexos 16

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Residenciales Grande

Diciembre 2023

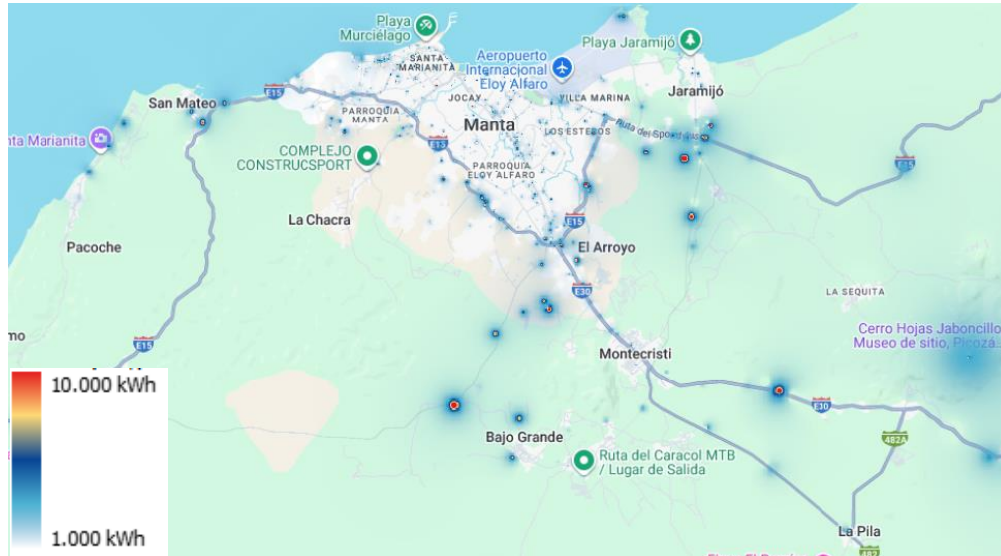


Fuente: QGIS.

Anexos 17

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Comerciales Pequeño

Diciembre 2023

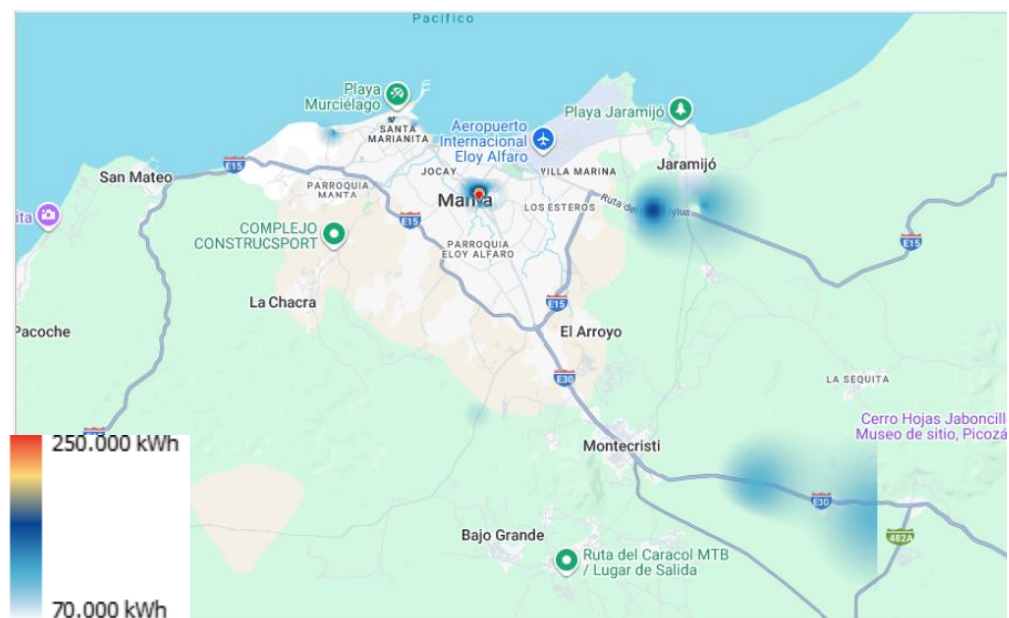


Fuente: QGIS.

Anexos 18

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Comerciales Mediano

Diciembre 2023

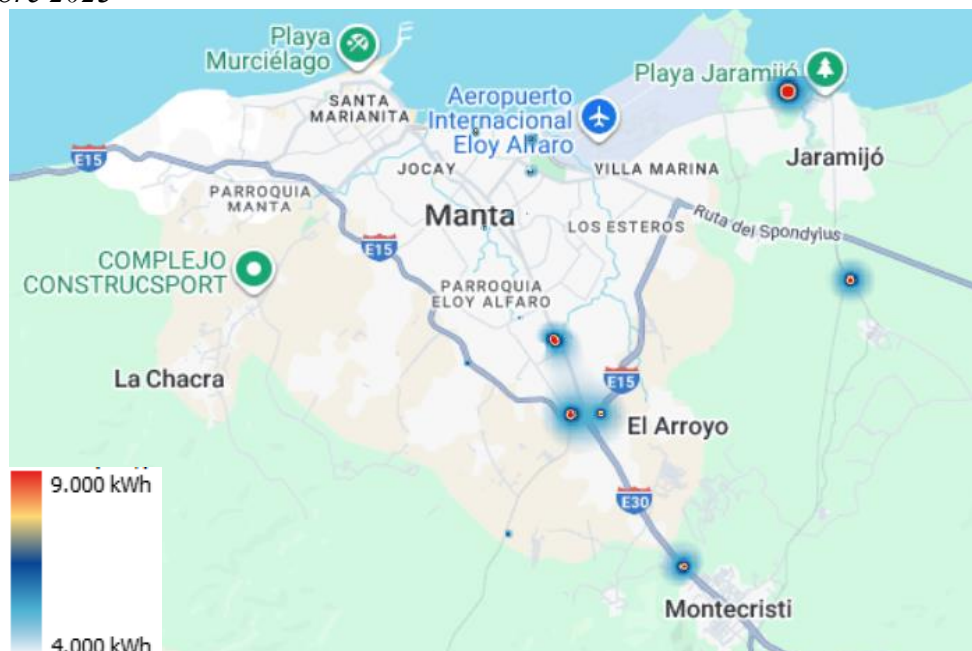


Fuente: QGIS.

Anexos 19

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Industriales Pequeño

Diciembre 2023

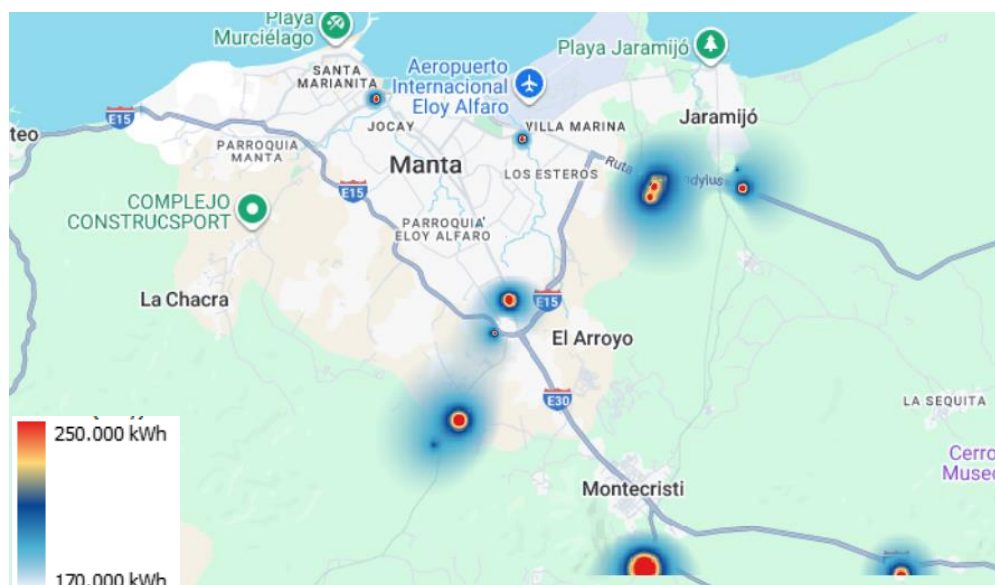


Fuente: QGIS.

Anexos 20

Mapa de Calor de Demanda Electrica Mensual de Clientes Industriales Mediano

Diciembre 2023

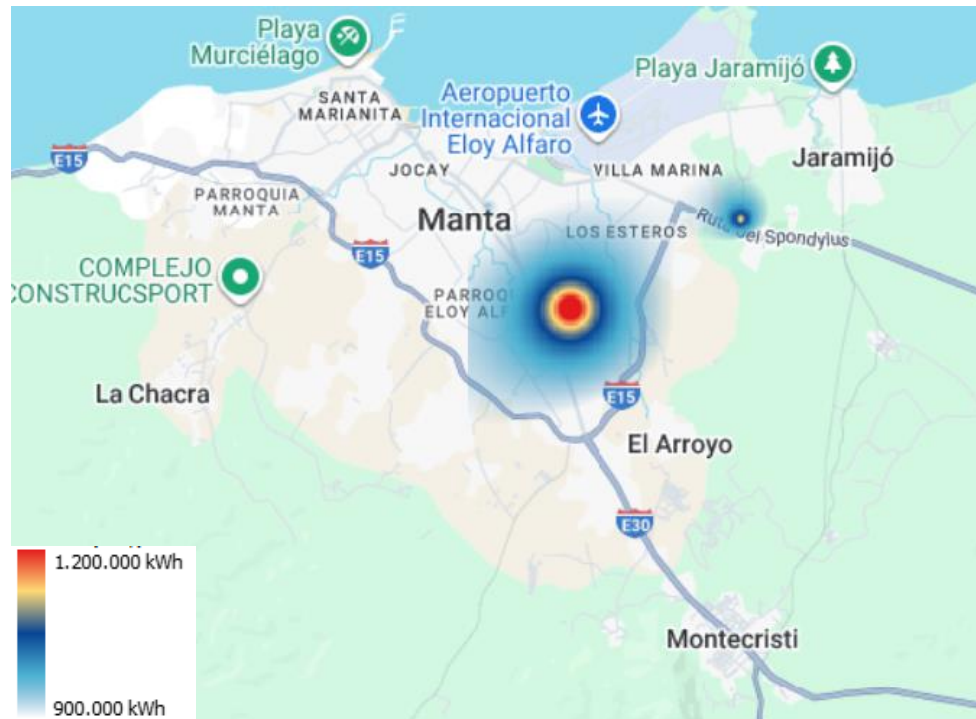


Fuente: QGIS.

Anexos 21

Mapa de Calor de Demanda Eléctrica Mensual de Clientes Industriales Grandes

Diciembre 2023



Fuente: QGIS.

9. Referencias Bibliográficas.

- Acosta, C. E., & Rosa, R. R. de la. (2025). Analisis de la Rentabilidad de Inversion (ROI) en las organizaciones y sus metodologias. *South Florida Journal of Development*, 6(10), e5870. <https://doi.org/10.46932/sfjdv6n10-018>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2024). *Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano 2024*. ARCONEL, Agencia de Regulación y Control de Electricidad. <https://www.ambienteyenergia.gob.ec/plan-maestro-de-electricidad/>
- AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD. (2025). *PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO 2025*. <https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2025/01/2.-Pliego-Tarifario-del-Servicio-Publico-de-Energia-Electrcia-ano-2025.pdf>
- AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD (ARCONEL). (2024). *RESOLUCIÓN NRO. ARCONEL-010/2024*. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2024-12/Regulacion-005_24-Codificada-signed.pdf
- Agencia de Regulación y Control de energia y recursos naturales no renovables. (2022). *Mapas del sector eléctrico ecuatoriano*. <https://www.ambienteyenergia.gob.ec/plan-maestro-de-electricidad/>
- Antic, T., & Capuder, T. (2023). *A geographic information system-based modelling, analysing and visualising of low voltage networks: The potential of demand time-shifting in the power quality improvement*. <http://arxiv.org/abs/2310.00382>
- Arcentales Veliz, M. (2022). *Estudio del impacto socioeconómico en el sector pesquero artesanal del cantón Jaramijó durante los años 2020 y 2021 durante la emergencia sanitaria covid-19*. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/4433/1/ULEAM-ADM-0116.pdf>
- Barrera, A. (2023). *Una estrategia de evaluación de la reusabilidad de los conjuntos de datos de los portales de Infraestructuras de Datos Espaciales* [Universidad Nacional de Catamarca]. <https://riaa-tecno.unca.edu.ar/handle/123456789/1034>
- Beltran, P. A. (2020). *Comparación de técnicas de interpolación espacial (IDW y Kriging) utilizando medidas de campo eléctrico en la Comuna Dos de la ciudad de San José de Cúcuta*. [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/24828>
- Buonomano, A., Giuzio, G. F., Maka, R., Russo, G., & Zizzania, S. (2026). GIS-driven planning of energy communities: optimising renewables, storage, and

- demand aggregation in urban areas. *Renewable Energy*, 256.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.124521>
- Buzai D, G., & Robinson J, D. (2022). *SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN AMÉRICA LATINA (1987-2021): ANÁLISIS DE SU EVOLUCIÓN ACADÉMICA BASADO EN LAS CONFIBSIG*.
<https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/1793/Buzai.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cárdenas Alava, A. A. (2021). *Generación Distribuida en el sector Industrial de Manta: Valoración de Factibilidad técnico, económico y ambiental*.
<https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/3635/1/ULEAM-IEL-0085.pdf>
- Cardenas-Tafur, F. (2024). Debilidades del método del valor actual neto para evaluar y priorizar proyectos de inversión. *593 Digital Publisher CEIT*, 9(5), 619–638.
<https://doi.org/10.33386/593dp.2024.5.2612>
- Carmona, O. G., & Echeverri, M. G. (2020). Pérdidas técnicas en redes secundarias de distribución de energía eléctrica. *Universidad Tecnológica de Pereira*.
<https://repositorio.utp.edu.co/items/2483d3b6-faf2-4807-9e2b-a8602e713aa1>
- Chamba, D. (2021). *Cálculo de la carga instalada, máxima demanda y alimentación de instalaciones eléctricas a las edificaciones* [Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle].
<https://repositorio.une.edu.pe/entities/publication/cf9c3cea-59ba-4446-a1e7-d19deae962ab>
- Chávez, H., & Molina, Y. (2025). Geospatial Forecasting of Electric Energy in Distribution Systems Using Segmentation and Machine Learning with Convolutional Methods. *Energies*, 18(2). <https://doi.org/10.3390/en18020424>
- De la Cruz, E., Estrada, H., Martínez, A., & Pliego, O. (2024). Impacto de la proximidad de los puntos de interés en la congestión de tráfico: un enfoque basado en la densidad de kernel. *Revista Digital de Tecnologías Informáticas y Sistemas*, 8(1), 88–97. <https://doi.org/10.61530/REDTIS.VOL8.N1.2024.210>
- Dias, J. F. (2024). Análise de Melhoria em Estacionamento Rotativo Aplicando Payback. *Advances in Global Innovation & Technology*, 2(4).
<https://doi.org/10.29327/2384439.2.4-7>
- Diaz, S., & Silva, J. I. (2022). *Propuesta de mejoras para reducir las pérdidas de energía eléctrica en la red de subtransmisión del departamento del atlántico* [Universidad de la Costa]. <https://hdl.handle.net/11323/9402>
- Domínguez, J., Bellini, C., Arribas, L., Amador, J., Torres-Pérez, M., & Martín, A. M. (2024). IntiGIS-Local: A Geospatial Approach to Assessing Rural Electrification Alternatives for Sustainable Socio-Economic Development in Isolated

- Communities—A Case Study of Guasasa, Cuba. *Energies*, 17(15).
<https://doi.org/10.3390/en17153835>
- ECOFLOW. (2026). *ECOFLOW*. Paneles Solares.
<https://tienda.heliostrategiaecuador.com/inicio-ecoflow/>
- ECOZAQUE INGENIERIA. (2026). *ECOZAQUE INGENIERIA*. Paneles Solares .
<https://www.ecozaque.com/categoria-producto/paneles-y-estructura/paneles-solares/>
- Environmental Systems Research Institute [Esri]. (2025). *¿Qué son los SIG? | Tecnología de representación cartográfica con sistemas de información geográfica*. Environmental Systems Research Institute [Esri].
<https://www.esri.com/es-es/what-is-gis/overview>
- Erazo, L. A., & Guamán, J. C. (2022). Analysis of energy efficiency in low voltage distribution systems through the reduction of harmonics. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(6), 154–163.
<https://doi.org/10.51798/SIJIS.V3I6.505>
- ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. (2010). *CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA TÉCNICA DE LA ACUICULTURA EN EL CANTÓN MANTA*.
<https://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/45835/1/T-61534%20ANDRADE%20NU%C3%91EZ.pdf>
- Ferrari, S., Zagarella, F., Caputo, P., & Dall’o’, G. (2021). A gis-based procedure for estimating the energy demand profiles of buildings towards urban energy policies. *Energies*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/en14175445>
- Fierro, J. P., Ignacio, P., & Parra, P. (2021). *Diseño de mapas de calor para análisis de prefactibilidad de proyectos de energía distrital en la región de aysen* [Universidad de Concepción]. https://energiaparatodos.cl/wp-content/uploads/2021/10/MT_Pablo_Perez.pdf
- Gabriel, I., Pérez-Guerra, A., Sosa-Franco, I., Machado-García, N., María, I., & Ruiz-Pérez, E. (2023). *Herramientas SIG, revisión de sus fundamentos, tipos y relación con las bases de datos espaciales GIS Tools, Review of their Foundations, Types and Relationship with Spatial Databases*. <https://cu-id.com/2177/v32n3e10>
- García Romero, E. P., & Macías López, L. P. (2022). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE MICRO GENERACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADA EN RED PARA EL AUTOABASTECIMIENTO ELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE MANTA*.

- Gutiérrez, A. E. (2022). *Componente de mapas de calor según datos del censo de población* [Universidad de las Ciencias Informáticas].
<https://repositorio.uci.cu/jspui/handle/123456789/10654>
- Hortelano, A. G., & Guerra, J. A. (2023). *Aplicación de la norma IEC-61724 a la caracterización energética de sistemas fotovoltaicos utilizando MySQL*.
https://oa.upm.es/75628/1/TFM_ANTONIO_GARCIA_HORTELANO.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2023). *Resultados Nacionales Definitivos Censo 2022*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Jiménez Baldivieso, J. J., & Galarza Zambrano, G. A. (2025). *Análisis de la demanda energética urbana con sistemas integrados de georeferenciación en la zona centro de Guayaquil*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/30930/1/UPS-GT006547.pdf>
- Kazimierski, M. (2020). La transición energética como oportunidad de descentralización y desconcentración. Un acercamiento al potencial de la generación distribuida de energía renovable en Argentina y su aplicación en San Juan [Universidad de Buenos Aires]. In *Filo digital*.
<http://repositorio.filo.uba.ar/handle/filodigital/12669>
- Knudsen, L. (2025). *Understanding How Electricity Load Works?* . Lauritz Knudsen.
<https://smartshop.lk-ea.com/blog-articles/post/understanding-how-electricity-load-works.html>
- Langer, J., Kwee, Z., Zhou, Y., Isabella, O., Ashqar, Z., Quist, J., Praktiknjo, A., & Blok, K. (2023). Geospatial analysis of Indonesia's bankable utility-scale solar PV potential using elements of project finance. *Energy*, 283(June), 128555.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128555>
- Larico, I. M., Director, W. A., Herrera, V., & Marcel, R. (2023). Utilización de sistemas de información geográfica para la gestión de la vegetación en empresas de distribución eléctrica peruanas, 2023. *Escuela de Posgrado Newman - EPN*.
<https://repositorio.epnewman.edu.pe/handle/20.500.12892/887>
- Macías, D. A., & Rezabala, Y. A. (2024). La gestión administrativa en relación a los consumos (kilovatios/hora) no facturados y su incidencia en las pérdidas de energía eléctrica en CNEL EP Unidad de Negocio Manabí. *MQRInvestigar* , 8(3), 1136–1163. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.3.2024.1136-1163>
- Masó, J., & Pons, X. (2024). We need data models beyond raster and vector? The sensor observations case/¿ Necesitamos modelos de datos más allá del ráster y el vectorial? El caso de *Geofocus*, 33. <https://doi.org/10.21138/GF.862>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2022). *Modelo de Almacenamiento Geográfico (MAG)*. Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG].

<https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/modelo-de-almacenamiento-geografico-mag/>

MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES.

(2020). *Plan Maestro de Electricidad*. <https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/Plan-Maestro-de-Electricidad-2018-2027.pdf>

Moncayo, E. L. (2023). Análisis de QGIS como plataforma tecnológica de soporte al procesamiento de datos geográficos relacionados con la agricultura en el cantón Pueblo Viejo. [Universidad Técnica de Babahoyo]. In *Universidad Técnica de Babahoyo*. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/14195>

Morales, G. L. (2020). *Sistema de información geográfica, para la visualización del impacto, de la escuela de ingeniería topográfica de la Universidad de Costa Rica en el ámbito* [Universidad Nacional De Costa Rica]. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/21fa788e-b7db-47ab-aeec-1c1033598521/content>

Moran, M. R., & Mogro, Y. V. (2024). Implementación de sistemas de información geográfica en la planificación urbana inteligente. *Innova Science Journal*, 2(4), 1–14. <https://doi.org/10.63618/OMD/ISJ/V2/N4/44>

Olivo, M. (2019). *Comparativas de software sig libre y comercial para estudios Ambientales*. [Universidad Pontificia Católica del Ecuador]. <https://repositorio.puce.edu.ec/bitstreams/ce242a61-d6cb-46a3-b8ae-9621dd59c52c/download>

Pérez-Aguilar, L.-G. (2021). *La realización de mapas de densidad para la investigación del poblamiento antiguo. El entorno del Bajo Guadalquivir (SO de España) entre los siglos ii y iv d.C. como caso de análisis*. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/259977/1/realmapa.pdf>

Ponce-Jara, M. A., Velásquez-Figueroa, C., Reyes-Mero, M., & Rus-Casas, C. (2022). Performance Comparison between Fixed and Dual-Axis Sun-Tracking Photovoltaic Panels with an IoT Monitoring System in the Coastal Region of Ecuador. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031696>

Presidencia de la Republica del Ecuador. (2021). *REGLAMENTO GENERAL DE LA LEY ORGÁNICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA*. https://www.tcsindustrial.com/wp-content/uploads/2022/01/Decreto_Ejecutivo_No._229.pdf

Quintero, L. (2022). *Metodología de interpolación de datos para un mapa topográfico escala 1:25000 mediante información geoespacial libre* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/29270>

- Ramos, L. (2022). La energía solar fotovoltaica en la transición energética. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global*, 159. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8674139.pdf>
- Rendón, J. F., Trespalacios, A., Cortés, L. M., & Villada-Medina, H. D. (2021). Modelización de la demanda de energía eléctrica: Más allá de la normalidad. *Revista de Métodos Cuantitativos Para La Economía y La Empresa*, 32, 83–98. <https://doi.org/10.46661/REVMETODOSCUANTECONEMPRESA.3856>
- Rojas, J. D., & Guarguatin, E. A. (2024). Implementación de un visor geográfico web para consulta y visualización de los avalúos comerciales de la empresa Salmer Ingeniería [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. In *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. <http://hdl.handle.net/11349/40569>
- Salinas, Y. T., Fabio, E., Tovar, N., María, M. A., & León, C. (2023). Desarrollo de Recurso Educativo Digital Abierto en la rama de la geografía para [Universidad de Cartagena]. In *repositorio.unicartagena.edu.co*. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstreams/a0ce9f45-74df-4293-88a0-1e4521f014a2/download>
- Samada Grasst, Y. (2022). *Crecimiento urbano de la ciudad de Manta: consecuencias ambientales y sociales*. <https://orcid.org/0000-0002-8762-5577>
- Santiago, A. D. (2024). *Diseño de interfaz y sistema de funcionamiento de un visor geográfico a partir de herramientas SIG para el almacenamiento, consulta y análisis de la información generada por la subgerencia de información económica de la Unidad Administrativa Especial de ...* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/40837>
- Senen, A., & Jamian, J. J. (2025). An integrated multivariate analysis—GIS framework for accurate microspatial energy demand forecasting. *AIMS Energy*, 13(5), 1241–1272. <https://doi.org/10.3934/energy.2025046>
- Techane, L. B., Salau, A. O., Gebru, Y. W., & Hailu, E. A. (2022). Geographical information system based optimal path routing of distribution networks. *Heliyon*, 8(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09397>
- Tipán Charro Luis Esteban. (2022). *Estimación De La Demanda Para Micro-Zonas Basado En El Modelo Autorregresivo Integrado De Promedio Móvil*. 34. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21696>
- Torres, A. (2021). *Estimación espacio-temporal de procesos Hilbert-valorados Aplicación a la estimación y predicción funcional de mapas de riesgo de enfermedades*. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/69093>
- U.S Department of Energy. (2018). *Eastern Energy Zones Mapping Tool*. <https://www.energy.gov/oe/eastern-energy-zones-mapping-tool>

- Vargas Diaz, R. E., Galindo Pacheco, J. R., Giraldo Henao, R., Varón Ramírez, V. M., Wilches Ortiz, W. A., & Franco Florez, C. V. (2023). Metodologías de interpolación y predicción espacial para el análisis de las propiedades físicas del suelo en la hoya del río Suárez (Colombia). *Siembra*, 10(1), e4118. <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i1.4118>
- Vicente, J., & Sánchez, A. (2021). *Evaluación general de la matriz energética ecuatoriana y el aporte de las energías renovables no convencionales a la descarbonización de la generación eléctrica con énfasis en el potencial geotérmico*. 1–103. <https://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/8555>
- Vidal-Carreras, nombre, & Isabel, P. (2025). *Valor actual neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR): cómo tomar decisiones de inversión*.
- Wang, B., & Sun, H. (2022). Spatial Electric Load Forecasting Method Based on High-Level Encoding of High-Resolution Remote Sensing Images. *Frontiers in Energy Research*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.852317>
- Zamora, J. M., Bastos, S., Ovares, K., & Arroyo, P. M. (2025). Consideraciones técnicas en los procesos de georreferenciación dentro del Marco Geodésico Nacional CR-SIRGAS. *Revista Geográfica de América Central*, 74. <https://doi.org/10.15359/rgac.74-1.2>
- Zorzano Santamaria, P. J. (2015). *Herramientas de planificación de generación distribuida renovable mediante sistemas de información geográfica*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=46124>