



Evaluación de las Emisiones de CO₂ en Sistemas Climáticos Eficientes Implementados en Ocho Municipios del Departamento del Magdalena

Andreína Bretssy Polo Silva
Carlos Andrés Reyes Ardila

Universidad Magdalena

Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Electrónica
Santa Marta, Colombia
2021



Evaluación de las Emisiones de CO₂ en Sistemas Climáticos Eficientes Implementados en Ocho Municipios del Departamento del Magdalena

Andreína Bretssy Polo Silva

Carlos Andrés Reyes Ardila

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de: Ingeniero Electrónico

Director:

Ph.D. Carlos Arturo Robles Algarín

Codirectores:

Msc. Diego Andrés Restrepo Leal

Ph.D. Adalberto José Ospino Castro

Msc. Juan Fernando Tobón Pérez

Línea de Investigación: Sistemas, Señales y Energía

Grupos de Investigación: Magma Ingeniería y Efimag

Universidad del Magdalena

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

Santa Marta, Colombia

2021

Nota de aceptación:

Aprobado por el Consejo de Programa en cumplimiento de los requisitos exigidos por el Acuerdo Superior N° 11 de 2017 y Acuerdo Académico N° 41 de 2017 para optar al título de Ingeniero Electrónico

Jurado

Jurado

Santa Marta, ____ de ____ de ____

Dedicatoria

Carlos Andrés Reyes Ardila

A mis padres, familiares y amigos que siempre apoyaron mi proceso desde el día en que se inició, a mis compañeros de programa quienes siempre estuvieron allí, como ayuda y apoyo en equipo para que siempre nos mantuviésemos en la lucha para nunca darnos por vencidos en el largo y duro camino que nos acobijó siempre.

Andreína Bretssy Polo Silva

Agradezco mucho a mi familia por todo su apoyo a lo largo de toda mi formación profesional y sobre todo por darme ánimos y acompañamiento para culminar este proyecto, agradezco mucho a todos mis compañeros de los cuales aprendí mucho, a mis amigos que siempre me animaron, comprendieron y ayudaron a superar cada obstáculo. Gracias a todos por hacer parte de mi formación académica y sobre todo en mi formación integral.

AGRADECIMIENTOS

Nos permitimos dar parte de conmemoración y mención a las personas que hicieron posible la inclusión de nuestros nombres como participantes de este proyecto, que así mismo también ayudaron en gran parte para el desarrollo de este, al profesor y director del proyecto Ph.D. Carlos Arturo Robles Algarín quien nos guio paso a paso para lograr realizar una excelente tarea, a los codirectores: Msc. Diego Andrés Restrepo Leal, Ph.D. Adalberto José Ospino Castro, Msc. Juan Fernando Tobón Pérez, quienes también aportaron su capacidad de entendimiento e investigación para lograr optar por las mejores opciones de desarrollo del proyecto.

Por otro lado, al grupo Magma Ingeniería, así como también al grupo de investigación Efimag y a la línea de investigación: Sistemas Señales y Energía.

De esta manera queremos dar un rotundo agradecimiento a estos grupos y personas que permitieron nuestra participación en esta investigación. Por último, también dar mención al cuerpo de maestros y profesionales que a lo largo de nuestra carrera nos inculcaron buenos valores y brindaron los conocimientos necesarios para que se hiciese posible este proyecto bajo nuestra capacidad de desarrollo.

Resumen

En la presente investigación se evaluó el impacto de los sistemas climáticos eficientes en la variación de las emisiones de dióxido de carbono producidas por el consumo doméstico de energía eléctrica en las áreas de influencia de los municipios de Chibolo, Nueva Granada, Plato, Sabanas de San Ángel, Zona Bananera, Sitio Nuevo, Guamal y Santa Bárbara de Pinto del departamento del Magdalena. Este trabajo de investigación está articulado con el proyecto denominado *“Investigación de los efectos de la variabilidad climática y el cambio climático sobre el recurso hídrico, biodiversidad y actividades agropecuarias en el departamento del Magdalena”* financiado con recursos del Sistema General de Regalías a través de la Gobernación del Magdalena, en el cual participa la Universidad del Magdalena y es administrado por la Universidad de la Costa. De esta forma, se determinó el impacto de la instalación de sistemas fotovoltaicos y de recubrimiento de pintura termoaislante en la fachada de viviendas familiares en los ocho municipios del departamento del Magdalena priorizados por el proyecto de investigación, con lo que se pudo establecer la efectividad de las soluciones implementadas en el proceso de transición energética del departamento disminuyendo las emisiones de CO₂ y por ende la huella de carbono en los municipios intervenidos. Los mejores efectos se lograron con los sistemas fotovoltaicos, que demostraron un buen potencial para mejorar las condiciones energéticas de las zonas rurales del departamento del Magdalena al tiempo que se disminuyen las emisiones.

Palabras clave: Cambio climático, Emisiones de CO₂, Sistemas fotovoltaicos, Pinturas termoaislantes

ABSTRACT

In this research, the impact of efficient climate systems on the variation of carbon dioxide emissions produced by domestic electricity consumption was evaluated, using as study area the municipalities of Chibolo, Nueva Granada, Plato, Sabanas de San Ángel, Zona Bananera, Sitio Nuevo, Guamal y Santa Bárbara de Pinto in the Departamento del Magdalena. This research work is articulated with the project "*Investigación de los efectos de la variabilidad climática y el cambio climático sobre el recurso hídrico, biodiversidad y actividades agropecuarias en el departamento del Magdalena*" financed with resources from the Sistema General de Regalías through the Gobernación del Magdalena, in which the Universidad del Magdalena participates as co-executor and the Universidad de la Costa as administrator. This way, the impact of the installation of photovoltaic systems and heat-insulating paint coating in the front of family homes in the eight municipalities of the Magdalena department prioritized in the project was determined, with which it was possible to establish the effectiveness of the solutions implemented in the energy transition process, reducing CO₂ emissions and the carbon footprint in the intervened municipalities. The best effects were achieved with photovoltaic systems, which showed good potential to improve energy conditions in rural areas of the Departamento del Magdalena while reducing emissions.

Keywords: Climate change, CO₂ emissions, Photovoltaic systems, Thermal insulating paints

Contenido

	Pág.
Lista de Figuras	XI
Lista de Tablas.....	XIII
Lista de símbolos	XV
Introducción.....	1
1. Objetivos	5
1.1 Objetivo General.....	5
1.2 Objetivos Específicos	5
2. Fundamentación Teórica	7
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Emisiones de CO ₂	9
2.2.1. Huella de Carbono	9
2.2.2. Métodos de cálculo de emisiones al nivel nacional e internacional	9
2.3 Disminución de Emisiones de Gases con Energías Limpias.....	11
3. Materiales y Métodos	13
3.1 Zona de Estudio	13
3.2 Diseño Experimental.....	13
3.2.1. Recubrimiento Termoaislante.....	15
3.2.2. Sistema de Monitoreo	17
3.2.3. Sistema Fotovoltaico.....	18
3.3 Estimación del Consumo Eléctrico.....	20
3.3.1. Consumos Históricos de Energía Eléctrica.....	20
3.4 Variación en el Consumo Energético	25
3.4.1. Medición del Consumo Energético por Municipio	25
3.4.2. Medición de la Energía Generada por la Red Fotovoltaica en cada Municipio	26
3.5 Análisis de las Viviendas con Pinturas Termoaislantes.....	29
3.5.1. Muestreo con Datalogger	29
3.6 Cálculo de las Emisiones de CO ₂	31
3.7 Variación en las Emisiones de CO ₂	33
4. Resultados	34
4.1 Resultados de Consumos Eléctricos Históricos	34
4.2 Resultados de Consumos Eléctricos Medidos	37
4.2.1. Resultados de Consumos Eléctricos Medidos en cada Municipio	37
4.2.2. Resultados de Energía Generada por los Sistemas Fotovoltaico	38

4.3	Resultados Obtenidos con las Pinturas Termoaislantes	42
4.3.1.	Resultados de Temperaturas para Viviendas Pintadas Comparadas con las Viviendas de Control	42
4.3.2.	Resultados de Humedad para Viviendas Pintadas Comparadas con las Viviendas de Control	47
4.3.3.	Análisis de los Resultados de Temperatura y Humedad para las Viviendas Pintadas y las de Control.....	48
4.3.4.	Relación de Consumo Energético Mensual con el Tipo de Clima	49
4.4	Resultados Obtenidos para las Emisiones de CO ₂	52
4.4.1.	Emisiones de CO ₂ a partir del Consumo de Energía Histórico (2018-2019).....	52
4.4.2.	Emisiones de CO ₂ a partir del Consumo Energético Medido.....	53
4.4.3.	Comparación de Emisiones de CO ₂ a partir de Consumos Históricos y Consumos Actuales	55
4.5	Variación en las Emisiones Evitadas de CO ₂	56
4.5.1.	Escenario ideal	56
4.5.2.	Escenario con Generación FV medida.....	60
4	Conclusiones.....	65
	Bibliografía	67

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1. Ubicación de los municipios en estudio.....	13
Figura 2. Vivienda en Sitio Nuevo con pintura termoaislante	16
Figura 3. Diagrama de bloques del Datalogger de Temperatura y Humedad Relativa .	17
Figura 4. Datalogger instalado en el Municipio de Santa Bárbara de Pinto	18
Figura 5. Diagrama de bloques del sistema fotovoltaico implementado en las 40 viviendas	19
Figura 6. Sistema fotovoltaico en una vivienda del municipio de Zona Bananera	19
Figura 7. Información pertinente de la facturación de energía eléctrica	21
Figura 8. Consumo mensual kWh de cada usuario en el municipio de Plato, Magdalena	23
Figura 9. Costo mensual por usuario en el municipio de Plato, Magdalena	24
Figura 10. Mapa de las viviendas de estudio ubicadas en el municipio de Plato, Magdalena.....	27
Figura 11. Muestreo de consumo kWh en un día ID: 67	28
Figura 12. Registro de las variables muestreadas por los sensores instalados (temperatura, humedad)	31
Figura 13. Calculadora de emisiones de CO2.....	32
Figura 14. Consumo histórico mensual promedio de un (1) usuario por municipio (kWh)	36
Figura 15. Relación consumo promedio mensual vs costo promedio mensual para una vivienda en cada municipio	36
Figura 16. Consumo energético promedio mensual medido para una vivienda en cada municipio	38
Figura 17. Generación FV promedio mensual de una (1) vivienda por cada municipio (kWh).....	39
Figura 18. Consumo energético promedio mensual y energía FV generada promedio mensual en una vivienda	40
Figura 19. Comparación de consumos históricos vs consumos medidos.....	41
Figura 20. Temperaturas obtenidas para viviendas con recubrimiento y viviendas de control.....	42

Figura 21. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Guamal (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control).....	43
Figura 22. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Santa Bárbara de Pinto (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control).....	44
Figura 23. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Nueva Granada (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control)	44
Figura 24. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Plato (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control).....	45
Figura 25. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Chibolo (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control).....	45
Figura 26. Gráficos de temperatura de caja de bigote de San Ángel (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control).....	46
Figura 27. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Zona Bananera (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control)	46
Figura 28. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Sitio Nuevo (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control).....	47
Figura 29. Humedad relativa para viviendas con recubrimiento y viviendas de control	47
Figura 30. Emisiones de kgCO ₂ por consumo de energía histórico mensual de una (1) vivienda por municipio	53
Figura 31. Emisiones de kgCO ₂ por consumo de energía medida mensual para una (1) vivienda en los 8 municipios	54
Figura 32. Emisiones de kgCO ₂ de una vivienda: obtenida con los equipos de medición versus obtenida con los datos de consumo histórico.....	55
Figura 33. Emisiones de kgCO ₂ y consumo energético promedio mensual de una vivienda para escenarios histórico y actual.....	56
Figura 34. Emisiones de kgCO ₂ mensuales versus emisiones ideales evitadas con los sistemas FV en una vivienda.....	58
Figura 35. Emisiones generadas vs las emisiones ideales evitadas con los sistemas FV, considerando todas las 120 viviendas intervenidas en el proyecto	59
Figura 36. Emisiones de kgCO ₂ mensuales versus emisiones reales evitadas con los sistemas FV en una vivienda.....	61
Figura 37. Emisiones generadas vs las emisiones reales evitadas con los sistemas FV, considerando todas las 120 viviendas intervenidas en el proyecto	61

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. Diseño experimental para la instalación de las soluciones del sistema de eficiencia energética	14
Tabla 2. Ficha técnica de las pinturas termoaislantes Thermo Sköld	15
Tabla 3. Información de los usuarios y soluciones del sistema de eficiencia energética del municipio de Plato Magdalena	23
Tabla 4. Consumo de KWh y costos mensuales por usuario en el municipio de Plato Magdalena.....	24
Tabla 5. Consumo mensual medido en kWh de usuarios en Plato, Magdalena	25
Tabla 6. Energía generada mensualmente por la red fotovoltaica en el municipio de Plato, Magdalena.....	28
Tabla 7. Cálculo de las emisiones de CO ₂ en el municipio de Plato, Magdalena	33
Tabla 8. Promedio de consumo mensual de un (1) usuario para los municipios en estudio	34
Tabla 9. Costo mensual estimado promedio que puede facturar un (1) usuario por municipio	35
Tabla 10. Consumo eléctrico promedio mensual de una vivienda en los 8 municipios.	37
Tabla 11. Promedio de energía mensual en kWh generada por los sistemas FV en una (1) vivienda.....	39
Tabla 12. Comparación de energía consumida vs la energía FV generada en una vivienda	41
Tabla 13. Temperaturas externas e internas de las viviendas pintadas y las viviendas de control por municipio.....	43
Tabla 14. Humedad relativa externa e interna de las viviendas pintadas y las viviendas de control por municipio.....	48
Tabla 15. Relación de consumo energético con temperatura (clima)	49
Tabla 16. Emisiones de kgCO ₂ mensuales por consumo histórico de una (1) vivienda en los 8 municipios	52
Tabla 17. Emisiones de kgCO ₂ mensuales por consumo medido en una (1) vivienda para los 8 municipios	54
Tabla 18. Emisiones mensuales generadas versus emisiones ideales evitadas por una vivienda en cada municipio (Escenario ideal)	57

Tabla 19. Porcentaje de emisiones ideales mensuales evitadas por municipio considerando todas las 120 viviendas intervenidas	59
Tabla 20. Emisiones mensuales generadas versus emisiones reales evitadas por una vivienda en cada municipio (Escenario ideal)	60
Tabla 21. Porcentaje de emisiones mensuales reales evitadas por municipio considerando todas las 120 viviendas intervenidas	62
Tabla 22. Resumen de porcentaje de emisiones mensuales evitadas por municipio considerando todas las 120 viviendas intervenidas (Escenarios Ideal y Real).....	63

Lista de símbolos

Símbolo	Significado
Kg	Kilogramo
CO₂	Dióxido de carbono
HC	Huella de carbono
FE	Factor de emisión
MDL	Mecanismo de desarrollo limpio
SIN	Sistema interconectado nacional
FV	Fotovoltaico
CONV	Convencional

Introducción

Las emisiones CO₂ en el planeta siempre han estado presente, aun cuando respiramos estamos emitiendo cierta cantidad de este gas a la atmósfera, pero en los últimos años la generación de estas emisiones se ha multiplicado presentando un acelerado crecimiento, exponiendo así al planeta a un cambio climático. Hay diversos emisores de este tipo de gases de efecto invernadero, ejemplo: la quema de combustible fósil que a diario el sector industrial viene promoviendo, empresas generadoras de energía, automóviles y todo tipo de transporte a base de combustible, fábricas y otros sistemas que promueven un avance científico y tecnológico en el planeta, dejan una gran huella de carbono emitida en la atmósfera terrestre entorpeciendo de esta manera nuestro ecosistema [1].

Es bien conocido que las emisiones de CO₂ están consideradas como las de mayor influencia en términos del calentamiento global, por lo que se han realizado numerosos esfuerzos para la reducción de las emisiones de este compuesto químico. No obstante, en la actualidad existen muchos elementos que deben ser profundizados, principalmente en términos de flujos de carbono y emisiones atmosféricas [2].

Un factor principal en las emisiones de CO₂ a la atmósfera es la electricidad generada por la combustión cuando se utilizan fuentes no convencionales de energía basadas en combustibles fósiles; que se definen como *“la oxidación intencional del combustible dentro de un aparato diseñado para suministrar calor o trabajo mecánico a un proceso, o para utilizar fuera del aparato”*. Durante el proceso de combustión, dependiendo si esta es completa o incompleta se generan diferentes tipos de gases, como el dióxido de carbono (CO₂) para el primer escenario y monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxidos de azufre (SO₂), entre otros, para el segundo escenario [3].

Además de lo anterior, es importante considerar las emisiones de carbono producto del consumo de energía eléctrica. Para el caso de Colombia, conocer el proceso de emisiones de CO₂ generado a partir de térmicas, es fundamental, debido a su ubicación en el trópico, se plantean fuertes alteraciones por cambio climático, principalmente en las regiones costeras, que en ultimas van a llevar a un incremento en la demanda de energía

termoeléctrica, debido a las diferentes afectaciones que se puedan dar sobre el recurso hídrico [4].

Las emisiones de CO₂ generan un impacto geo-ambiental en el planeta. Bien sabemos que este gas hace parte de los gases de efecto invernadero (GEI), los cuales tienen la propiedad de absorber una parte de las radiaciones solares reflejadas por la superficie de la tierra y devolverlos nuevamente fuera de la atmosfera terrestre, sin embargo, por el aumento de los GEI la radiación solar queda atrapada en la atmosfera, lo cual genera un incremento considerablemente alto en la temperatura del planeta e inundaciones, en un fenómeno que llamamos: cambio climático o calentamiento global [5].

El departamento del Magdalena (ubicado en la región Caribe de Colombia) es una de las regiones con más afectaciones debido al cambio climático producido por el aumento de CO₂ en la atmósfera, debido a que en estas zonas se presentan climas tropicales y/o áridos, por lo que sus temperaturas permanecen altas la mayor parte del año, lo que causa que sus habitantes consuman gran parte de suministro eléctrico residencial en acondicionar de algún modo sus viviendas durante el día. A largo plazo, la demanda de electricidad incrementa a medida que aumentan las altas temperaturas en estas zonas, lo que conlleva al crecimiento de las emisiones de atribuidas a la electricidad [6].

Estas afectaciones a futuro causarían gran impacto ambiental en el departamento del Magdalena puesto que significa un cambio dramático en el régimen de lluvias anuales y vientos, además del aumento en el nivel del mar que rodea gran parte de los municipios del departamento. No obstante, existen estrategias renovables y pasivas para mejorar el confort de una vivienda con las cuales la cantidad de emisiones de dióxido de carbono de un hogar disminuyen [7].

Por otra parte, se debe destacar que la búsqueda de la comodidad no es el único factor que influye en las emisiones de los hogares, existe una estrecha relación con el origen territorial y geográfico, el grado de urbanización, el nivel de desarrollo regional, la demografía del hogar, las condiciones del inmueble, entre otros componentes, socioculturales [8]. Por lo anterior, en el desarrollo de esta investigación se presenta una comparación del comportamiento de las soluciones fotovoltaicas y termoaislantes en diversos hogares a lo largo de ocho municipios del departamento, con el fin de establecer

el impacto de estas soluciones en el consumo eléctrico y las emisiones de CO₂. En ese sentido, inicialmente se muestra la metodología abordada en el trabajo y posteriormente se presentan los resultados con el análisis estadístico de los datos obtenidos para la zona en estudio.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Analizar las emisiones de CO₂ en sistemas climáticos eficientes implementados en ocho municipios del departamento del Magdalena.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar los consumos eléctricos totales de los hogares participantes en la investigación.
- Establecer la variación del consumo energético de las unidades experimentales, respecto a la aplicación de una solución de eficiencia energética.
- Calcular las emisiones generadas por el consumo de energía eléctrica en las viviendas de los municipios en estudio.
- Estimar las variaciones en las emisiones de carbono considerando la implementación de los métodos de eficiencia energética.

2. Fundamentación Teórica

2.1 Antecedentes

En el proyecto *“Huella de carbono real y estimada de una vivienda unifamiliar. Propuestas para su reducción”* se realizó un análisis de consumo energético de una vivienda unifamiliar con el fin de cuantificar y estimar la generación de emisiones de CO₂ el cual incide sobre el fenómeno del calentamiento global [9].

Utilizando la herramienta informática de certificación energética CE3X, pudieron establecer las emisiones de CO₂ y su impacto en las instalaciones de las viviendas y sus aspectos físicos. También se realizaron comparaciones utilizando el consumo energético en kWh de cada día en la vivienda en estudio.

En los resultados y conclusiones obtenidas de la aplicación de las metodologías, se determinó que las familias tienen un confort térmico aceptable, y solo utilizan los dispositivos de acondicionamiento en situación puntuales de variaciones energéticas. De esta forma, la propuesta para este tipo de viviendas consistió en la implementación de sistemas fotovoltaicos que ayuden a reducir el consumo energético y minimizar las emisiones, aunque se plantea la desventaja de este tipo de sistemas respecto a los tiempos de amortización de la inversión.

Este antecedente es un referente para nuestro proyecto para verificar los resultados obtenidos en contextos similares, puesto que el estudio se realiza en viviendas familiares de cuatro familias, con condiciones climáticas distintas, donde se puede observar que el factor de temperatura es un factor común en ambos proyectos y que resulta de un mayor consumo de energía y que este determina la factibilidad de aplicar una solución fotovoltaica.

De otra parte, en el trabajo *“Análisis beneficio-costos de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el campus aguas claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, Meta”*, se evaluó la factibilidad de implementar un sistema FV para el campus Aguas Claras, considerando como insumos el consumo de energía y el potencial solar, así como aspectos financieros, ambientales y otras consideraciones técnicas [10].

La investigación se desarrolló utilizando un enfoque mixto que combina aspectos cualitativos y cuantitativos, mientras que en el plano ambiental implementaron el método de Gómez Orea, el cual fue la hoja de ruta para determinar el impacto ambiental que se genera con los sistemas FV posterior a cumplir su vida útil de aproximadamente 25 años. Los resultados mostraron que la implementación del sistema FV requiere de una alta inversión económica, pero que a largo plazo permiten disminuir el consumo de energía y mitigar los efectos adversos al medio ambiente. La mejor opción se presentó con los sistemas FV aislados con relación a la amortización de la inversión.

Esta investigación fue útil para nuestro trabajo desde el punto de vista de análisis de costos, debido a que la inversión estipulada además de evaluar el costo beneficio de la instalación, evaluó además los beneficios ambientales.

Otro antecedente importante para este trabajo fue el proyecto “*La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*”, en el que se contextualizaron procesos de la huella de carbono además de su cuantización con respecto al consumo de bienes y servicios [11].

En los resultados obtenidos se demostró que al reducir las emisiones producidas por la huella de carbono a partir de la implementación de producción de energía convencional, aunque son más eficientes, existen serias desventajas ante un escenario que contemple compromisos energéticos con alternativas sostenibles, que además de ser eficientes, disminuyen en un porcentaje significativo la huella de carbono.

Este antecedente fue relevante para nuestro proyecto, puesto que nos permitió corroborar el análisis que se obtuvo con respecto al cálculo de las emisiones de CO₂ antes y después a la implementación de la solución fotovoltaica con el fin de establecer el porcentaje de emisiones evitadas en cada uno de los municipios estudiados.

2.2 Emisiones de CO₂

2.2.1. Huella de Carbono

La huella de carbono se refiere a las emisiones de los GEI que producimos a diario, y no solamente se trata de dióxido de carbono, sino, también de gases como el metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, gases que provienen también del azufre, entre otros. Estos gases son producidos en gran parte, por la quema de combustibles fósiles, tales como el carbono y todo el proceso que interviene al momento de extraer el producto para luego comercializarlo, en los alimentos que consumimos a diario, incluso, en el proceso respiratorio, cuando exhalamos estamos emitiendo cierta cantidad de dióxido de carbono hacia la atmosfera [12].

De esta manera, estos gases son emitidos a la atmosfera terrestre, lo cual causa que esta sea un poco más densa y que los rayos del sol queden atrapados dentro de ella produciendo un calentamiento excesivo, lo que hoy conocemos como cambio climático o el calentamiento global.

2.2.2. Métodos de cálculo de emisiones al nivel nacional e internacional

Según estudios previos sobre el cambio climático, calcular nuestra huella de carbono y las emisiones de GEI a la atmosfera, es simple y sencillo. Bastaría con solo conocer las fuentes de emisión de la empresa casa u organización a la cual se le requiere realizar el estudio. La huella de carbono de cada tipo de fuente es calculada basándose en cómo trabaja cada una de estas, bien sea por la quema de combustible fósil o también la utilización en consumo de energía eléctrica [12][13].

El factor de emisión es el valor que permite la conversión de datos de actividad energética a emisiones de gases de efecto invernadero. La siguiente ecuación simplifica los resultados de los GEI.

$$\text{Emisiones GEI} = \text{consumo en kW/h} \times \text{f. de emision}$$

$$\text{Kg CO2e} = \text{Kg, L, ha, Kw/h} \times \text{Kg CO2e /cantidad}$$

Basado en estudios realizados por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) de Colombia, que tiene como misión realizar la planeación del desarrollo sostenible de los sectores de Minas y Energía de Colombia, se han planteado soluciones de tipo ambiental basadas en el estudio del consumo energético y el cálculo de las emisiones de GEI que promueven el cambio climático.

Para todo esto, la UPME consigna su evaluación hacia el cálculo de la huella de carbono que se genera en el sector minero energético colombiano, información que validan aportando soluciones para mitigar las consecuencias que hoy conocemos. El valor calculado de las emisiones lo determina el factor de emisión (FE) de CO₂ para el transporte de la energía que es producida por el sistema interconectado. Este factor es determinado por el cálculo del margen combinado que resulta de promediar y ponderar el factor de emisión por margen de operación y el factor de emisión por margen de construcción [14].

El margen de operación dicta el factor de emisión del grupo de plantas de generación de energía que están en proceso, donde el mecanismo de desarrollo limpio es el responsable directo de esta generación energética. El proceso para calcular el factor de emisión consiste en calcular primero los parámetros de margen construcción (MC), margen de operación (MO) y luego si, hacer el cálculo para obtener el factor de emisión total.

A. MO simple

En este método el factor de emisión es calculado por promedio de emisiones de CO₂ por unidad de generación eléctrica, es decir tCO₂/MWh considerando las plantas de generación eléctrica que estén operando en sistema interconectado nacional (SIN). El método MO simple solo puede ser implementado en los cálculos cuando las plantas low-cost/must-run representan menos del 50% de la generación promedio total de los últimos 5 años [14].

B. MO simple ajustado

Este método representa una variación del método simple, puesto que implementa dos grupos de plantas, las low-cost/must-run y las plantas generadoras. Los cálculos son

realizados considerando la generación de cada planta a la red eléctrica con sus respectivos factores de emisión.

Para el año 2020, último año disponible reportado por la UPME, el Factor de Emisión para Huella de Carbono es de 0,166 KgCO₂/kWh puede ser empleado para [14]:

- Proyectos relacionados con emisiones de GEI.
- Mediciones de los GEI por consumo energético.
- Inventario de las emisiones de GEI.
- Mediciones de las huellas de carbono a nivel corporativo para las empresas.

2.3 Disminución de Emisiones de Gases con Energías Limpias

Las energías limpias o renovables son producto de los recursos naturales que nos brinda el planeta, es importante tener en cuenta la relevancia de estos recursos, dado que a través de estos podemos dar una mejora sustancial a largo plazo a nuestro planeta.

Estos recursos inagotables proporcionados por la naturaleza nos hacen obtener energías limpias que, a diferencia de las energías obtenidas por la quema de combustibles fósiles, no generan gases de efecto invernadero ni emisiones contaminantes, por ende, no influyen en el cambio climático.

Según la Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas (FIIAPP), en la conferencia de París sobre el cambio climático, celebrada en diciembre de 2015, establece un plan de acción mundial que pone un límite del calentamiento global bajo los 2°C en un lapso de 10 años desde 2020 hasta 2030, haciendo uso de las energías limpias [15].

También menciona que según la Agencia Internacional de Energías Renovables, IRENA, si la cantidad de cuotas energéticas renovables se duplicaría en el panorama energético mundial, hasta alcanzar un incremento del 32% en 2030, lo cual traerá consigo un aumento del 3,7% en el bienestar, así como también una suma considerable de nuevos empleos se

unirían en esta área. Así, hasta más de 24 millones de personas tendrían oportunidades de empleo, algo que ciertamente ayudaría también más en el ámbito económico mundial. De esta manera podemos apreciar que, al momento de la obtención de esta energía renovable, difiere en gran forma a la manera en cómo se obtiene la energía convencional, dado a que esta energía es obtenida bajo la quema de combustibles fósiles y este como todo proceso industrial, genera una gran cantidad de emisiones de GEI hacia a la atmosfera, siendo este uno de los principales responsables del calentamiento global, se estima que casi el 80% de las emisiones de GEI y un 85% de estas emisiones que hacen parte del CO₂ están relacionadas con la energía, mientras que por otra parte, la energía limpia tiene un proceso de extracción impecable cuando se trata de emisiones de GEI y emitir menos de estos gases supondría dar un golpe en la mesa ante los combustibles fósiles en favor de las energías renovables, principalmente en la energía solar y eólica.

3. Materiales y Métodos

3.1 Zona de Estudio

Macro localización: Departamento del Magdalena-Colombia

Micro Localización: Municipios de Chibolo, Nueva Granada, Plato, Sabanas de San Ángel, Zona Bananera, Guamal, Sitio Nuevo y Santa Bárbara de Pinto (Ver Figura 1).

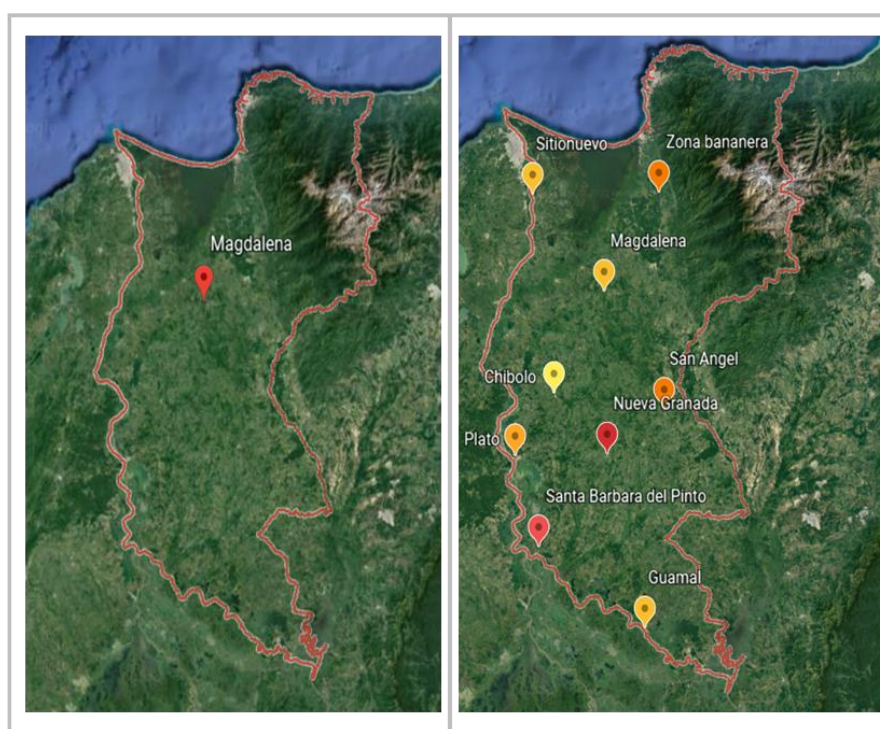


Figura 1. Ubicación de los municipios en estudio

Fuente. Google Earth Pro

3.2 Diseño Experimental

La presente es una investigación proyectiva de naturaleza cuantitativa en la que se evaluó la eficiencia, en términos de la reducción de emisiones de CO₂, de sistemas climáticos implementados en hogares de ocho municipios del departamento del Magdalena. Este proyecto se apoyó en un diseño de campo considerando que la recolección de datos de los sistemas climáticos y parámetros de los hogares en general se realizó en diferentes

zonas de influencia de los municipios Chibolo, Nueva Granada, Plato, Sabanas de San Ángel, Zona Bananera, Sitio Nuevo, Guamal y Santa Bárbara de Pinto.

Además, la metodología implementada para cumplir con los objetivos del trabajo fue la Estructura de Descomposición del Trabajo por su flexibilidad y porque permite detallar en forma jerarquizada el trabajo a realizar hasta el nivel de actividad o tarea según el detalle que se requiera. Este tipo de desglose facilita además la programación y el control del proyecto en lo que tiene que ver con la asignación de responsabilidades, recursos y la distribución del tiempo.

El estudio se realizó para 120 viviendas en el Departamento del Magdalena, siendo 15 viviendas favorecidas en cada uno de los 8 municipios previamente identificados, distribuidas en 3 unidades con la solución fotovoltaica, 5 unidades con la solución de recubrimiento térmico, 2 más, con la unión de ambas propuestas, y 5 controles sin soluciones aplicadas (Ver Tabla 1). Es de anotar que las instalaciones de los sistemas FV, térmicos y dispositivos de monitoreo fueron ejecutadas por el contratista del proyecto macro en el que se articula esta propuesta *“Investigación de los efectos de la variabilidad climática y el cambio climático sobre el recurso hídrico, biodiversidad y actividades agropecuarias en el departamento del Magdalena”*. Además, las casas de control no influyen en la disminución de las emisiones de CO₂, pero son importantes para establecer la eficiencia de las soluciones con pinturas termoaislantes.

Tabla 1. Diseño experimental para la instalación de las soluciones del sistema de eficiencia energética

Municipio	Solución fotovoltaica	Solución termoaislante	Solución fotovoltaica y termoaislante	Control (sin solución, con medidores)	TOTAL
Guamal	3	5	2	5	15
Santa Bárbara de Pinto	3	5	2	5	15
Nueva Granada	3	5	2	5	15
Sitio Nuevo	3	5	2	5	15
Zona Bananera	3	5	2	5	15
Chibolo	3	5	2	5	15
Sabanas de San Ángel	3	5	2	5	15
Plato	3	5	2	5	15
TOTAL	24	40	16	40	120

Fuente. Elaboración propia

3.2.1. Recubrimiento Termoaislante

G-Cover es una empresa Mexicana dedicada a la fabricación de productos para proteger hogares y construcciones industriales y comerciales, con el fin de obtener ahorros considerables en el consumo de energía y mejoras en los procesos de producción. Dentro de estos productos están el Thermo Sköld, Epoxi Sköld, Primer Sköld y Flame Kontroll.

En el caso particular de la presente investigación, se utilizó el producto Thermo Sköld, la cual es una pintura termoaislante que se caracteriza por ser ignífuga e hidrófuga, permitiendo que sea ideal para proteger contra el calor, fuego, humedad y salitre. Según datos proporcionados por el fabricante, este tipo de pintura tiene las siguientes ventajas [16]:

- Ahorro energético hasta en un 50%.
- Disminución de la temperatura de hasta 30°C en lámina galvanizada.
- Impermeabilidad del 100% en superficies de concreto.
- Fácil preparación y aplicación.
- Ignífuga e hidrófuga.
- Pintura a base de agua amigable con el medio ambiente.
- Rendimiento de hasta 38 m² por una cubeta de 19 litros.
- Flexibilidad del 400% que impide el paso de agua.
- Refracción del 82% de los rayos de ultravioleta.

En la Tabla 2 Tabla 2 se muestra la ficha técnica de las pinturas implementadas en la investigación macro en la que se enmarca el presente proyecto [16].

Tabla 2. Ficha técnica de las pinturas termoaislantes Thermo Sköld

Parámetro	Valor
Color	Blanco – Rojo – Verde
Preparación De Material	Listo De Fabrica
Toxicidad	Ninguna
Viscosidad Brookfield	38200 cP
Flamabilidad	Auto Extinguible
Densidad	1.25 g/m ³ Astm D-1475 1
Densidad Aparente	485.40 kg/m ³
Conductividad Térmica	$\lambda = 0,0556 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
Elongación	395%

Espesor Recomendado	0.50 mm
Emulsificante	Agua
Adherencia en Húmedo	464.8 g/cm
Resistencia Ambiente Acido	Excelente
Resistencia Ambiente Alcalino	Excelente
Resistencia Rocío Salino	Sin Efecto 100 Hrs.
Secado Al Tacto En Minutos	60 min
Choque Térmico	No cuartea
Crecimiento De Hongos O Bacterias	Nulo

Fuente. G-Cover® Thermo Sköld

Esta pintura fue aplicada por el servicio técnico de la Empresa Energesis Natura S.A.S en un total de 56 viviendas, donde están incluidas las unidades que solo cuentan con pinturas termoaislantes y las unidades híbridas que tienen pinturas y sistemas fotovoltaicos. En la Figura 2 se muestra una de las viviendas intervenidas en el Municipio de Sitio Nuevo en la que solo se implementó la solución termoaislante.



Figura 2. Vivienda en Sitio Nuevo con pintura termoaislante

Fuente. Proyecto cambio climático

3.2.2. Sistema de Monitoreo

Para el monitoreo de la temperatura y humedad relativa de cada una de las viviendas en estudio, el contratista Energesis diseñó e instaló un Datalogger con capacidad de conexión de hasta 4 sensores de humedad y temperatura, y envío de datos por medio de GPRS/GSM. Este equipo incluye antena GPRS/GSM, adaptador de 12V, memoria externa, reloj interno con batería, Simcard con plan y caja protectora IP65 con prensaestopas para las conexiones externas.

El Datalogger fue instalado en las 120 viviendas en estudio, lo que incluye incluso las viviendas de control, con el fin de obtener datos de referencia para realizar comparaciones. De esta forma, en cada vivienda se realiza la medición de temperatura y humedad en el interior y exterior. En la Figura 3 se muestra el diagrama de bloques del Datalogger implementado para las mediciones.

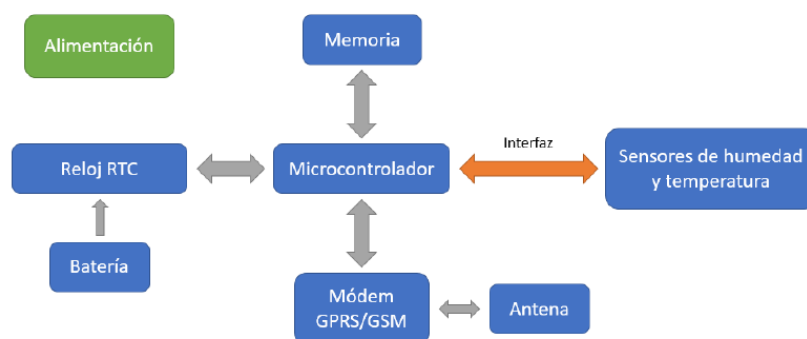


Figura 3. Diagrama de bloques del Datalogger de Temperatura y Humedad Relativa

Fuente. Proyecto cambio climático

El Datalogger cuenta con los siguientes dispositivos:

- Regulador LM2596 para energizar el dispositivo
- Arduino, Memoria microSD de 256 MB
- Reloj de tiempo real RTC
- Modem GPRS/GSM
- Batería CR2032
- Sensor de Temperatura y Humedad Relativa SHT20

En la Figura 4 se muestra el Datalogger implementado en una de las viviendas del municipio de Santa Bárbara de Pinto.



Figura 4. Datalogger instalado en el Municipio de Santa Bárbara de Pinto

Fuente. Proyecto cambio climático

3.2.3. Sistema Fotovoltaico

En el marco del proyecto global se instalaron 40 sistemas fotovoltaicos, que incluyen las 24 viviendas que sólo cuentan con este tipo de sistemas y las 16 que cuentan con la solución híbrida. Así, se implementaron sistemas fotovoltaicos con capacidad de generar hasta 6 kW/día, considerando que según el mapa solar el departamento del Magdalena tiene entre 6 y 7 horas de sol, sin contar la ciudad de Santa Marta. En la figura 5 se muestra el diagrama de bloques del sistema implementado.

Cada sistema fotovoltaico está compuesto por los siguientes elementos:

- 4 módulos fotovoltaicos de 260 Wp a 12 VDC.
- Protecciones.
- Batería gel ciclo profundo de 250 Ah a 12 VDC.
- Medidor inteligente monofásico.
- Inversor Híbrido Solar Off-grid 40A MPPT Cargador Baterías MUST.
- Sistema de puesta a tierra y Gabinete metálico.

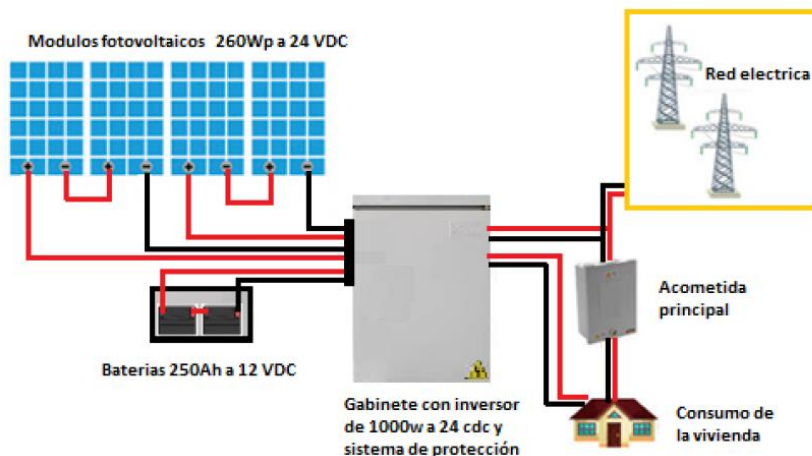


Figura 5. Diagrama de bloques del sistema fotovoltaico implementado en las 40 viviendas

Fuente. Proyecto cambio climático

En la Figura 6 se muestra el sistema fotovoltaico instalado en una de las viviendas que incluye solo este tipo de tecnología en el Municipio de Zona Bananera.



Figura 6. Sistema fotovoltaico en una vivienda del municipio de Zona Bananera

Fuente. Proyecto cambio climático

3.3 Estimación del Consumo Eléctrico

El consumo de la electricidad no solo abarca el desarrollo y el crecimiento económico de una población, sino que también abarca los impactos ambientales que requieren de la implementación de recursos menos invasivos y más contribuyentes para el medio ambiente con el fin de preservar la calidad de vida de las personas y de los ecosistemas que conforman un área geográfica.

De este modo, determinar el consumo histórico de energía eléctrica en las viviendas de interés social en las que se llevó a cabo el estudio sobre la eficiencia para variar las emisiones de CO₂ de sistemas climáticos eficientes permite analizar dicha información de las condiciones ambientales en un determinado tiempo (corto, medio, largo plazo).

Los consumos eléctricos promedio mensual, de un usuario tipo por vivienda en cada municipio, fueron calculados de dos formas:

- A partir del consumo histórico de energía obtenido de los recibos expedidos por la empresa comercializadora (14 meses desde Marzo de 2018 hasta Abril de 2019).
- Utilizando los registros de consumos de energía reportados por los medidores instalados en el proyecto de cambio climático.

3.3.1. Consumos Históricos de Energía Eléctrica

Para el análisis exhaustivo de los consumos históricos de energía eléctrica de cada vivienda de estudio por municipio, se efectuó un análisis por un periodo de 14 meses (Marzo de 2018 hasta Abril de 2019) previos a la instalación de las alternativas fotovoltaicas y termoaislantes con la finalidad de compararlos con posterioridad y determinar el ahorro de consumo de energía además de la disminución de la huella CO₂ generada por los sistemas de energías convencionales. Con estos datos se obtuvo el consumo promedio mensual de cada vivienda por municipio.

A. Recopilación de información

Los datos de consumo se recopilaron con la información pertinente del titular de cada una de las viviendas, la cual fue obtenida de las facturas emitidas por la empresa

comercializadora de energía. Para este proceso contamos con el apoyo de usuarios de algunas viviendas de los 8 municipios en estudio, quienes facilitaron copia de los recibos de energía los cuales fueron utilizados para calcular el consumo promedio de energía de una casa en cada municipio. Los datos del titular se registraron en la página web de la correspondiente distribuidora eléctrica del departamento del Magdalena, en este caso, Air-e.com para obtener la siguiente información:

- Energía consumida en el periodo de facturación, así como el precio del kWh aplicado (especificada como costo estimado mensual).
- Potencias máximas registradas mensualmente lo cual es útil para determinar las emisiones de CO₂ producidas por cada vivienda.



Figura 7. Información pertinente de la facturación de energía eléctrica

Fuente. Obtenida en la web de la empresa Air-e.com

Con la información de los consumos históricos se obtuvo el promedio de kWh consumidos por cada municipio mes a mes y el costo estimado promedio que se factura mensualmente, previos a la implementación de las soluciones de eficiencia energética. Se contó con información de 8 municipios: Plato, Santa Bárbara de Pinto, Chibolo, Granada, Guamal, Sabanas de San Ángel, Zona Bananera y Sitio Nuevo.

A partir de los perfiles de consumo eléctrico histórico recopilado por cada uno de los municipios de estudio, se establecieron una serie de pasos que permiten estimar los promedios de tarifas y energías consumidas, por lo que se consideraron simultáneamente para observar, además, la viabilidad económica y ambiental del proyecto debido a la favorabilidad que tienen en el desarrollo y análisis de los datos que permiten identificar patrones de consumo que contribuyen directamente a las emisiones de CO₂.

Para ilustrar el proceso desarrollado en cada uno de los municipios, se presentará el análisis que se realizó con el municipio de Plato, el cual es el mismo que se implementó para cada uno de los municipios restantes. Es de anotar que en algunos municipios la colaboración de los usuarios fue mejor que otros, donde no fue fácil obtener copia de recibos de consumo de diversidad de usuarios.

B. Estimación del consumo histórico de una vivienda promedio (ejemplo de Plato)

Según el plan de desarrollo de Plato, Magdalena, la vivienda promedio en el municipio tiene entre 2 y 4 habitaciones donde conviven varias personas o familias; lo cual se traduce en que un hogar habitado por varias personas existe un mayor uso en los equipos eléctricos, sobre todo los correspondientes a mitigar las altas temperaturas del municipio.

En la Tabla 3 se muestran los datos de los usuarios que facilitaron la información para estimar el consumo energético promedio de una vivienda en el municipio de Plato. Es de anotar que todas las viviendas intervenidas en el municipio tienen perfiles de consumo similares, por lo que los datos aportados permiten conocer el promedio de consumo para todas las viviendas de este municipio.

Utilizando la información de los usuarios disponibles, se graficaron y tabularon los datos de consumo y costo mensual de cada vivienda. En la Figura 8 se muestran en detalle los datos de consumo mensual para cada uno de los usuarios del municipio de Plato. En la Figura 9 se muestran los costos mensuales por consumo de energía para cada uno de los usuarios.

Tabla 3. Información de los usuarios y soluciones del sistema de eficiencia energética del municipio de Plato Magdalena

ID	Titular	NIC	Dirección	Sensor	Pintura	Panel
04	Galindo Almendrales Yudith Esther	7858005	Sector 1 Mz 21-18. Urb Juan XXIII	X		
08	Rodríguez Rivera Nicolasa Antonia	7857250	Sector 1 Mz 16-15. Urb Juan XXIII	X		
130	Galindo Ramírez Juan Boanerges	7857246	Sector 1 Mz 16-13. Urb Juan XXIII	X	X	X
09	Guerrero Jerez Félix	7853651	Sector 1 Mz 12-26. Urb Juan XXIII	X		
06	Ochoa Flórez Dina Luz	7857626	Sector 1 Mz 18-15. Urb Juan XXIII	X	X	
01	Caballero Martínez Derli del Carmen	7853772	Sector 1 Mz 13-5. Urb Juan XXIII	X		
67	Cabarcas Villa Ignacia Victoria	7853791	Sector 1 Mz 13-7. Urb Juan XXIII	X		X

Fuente. Elaboración propia

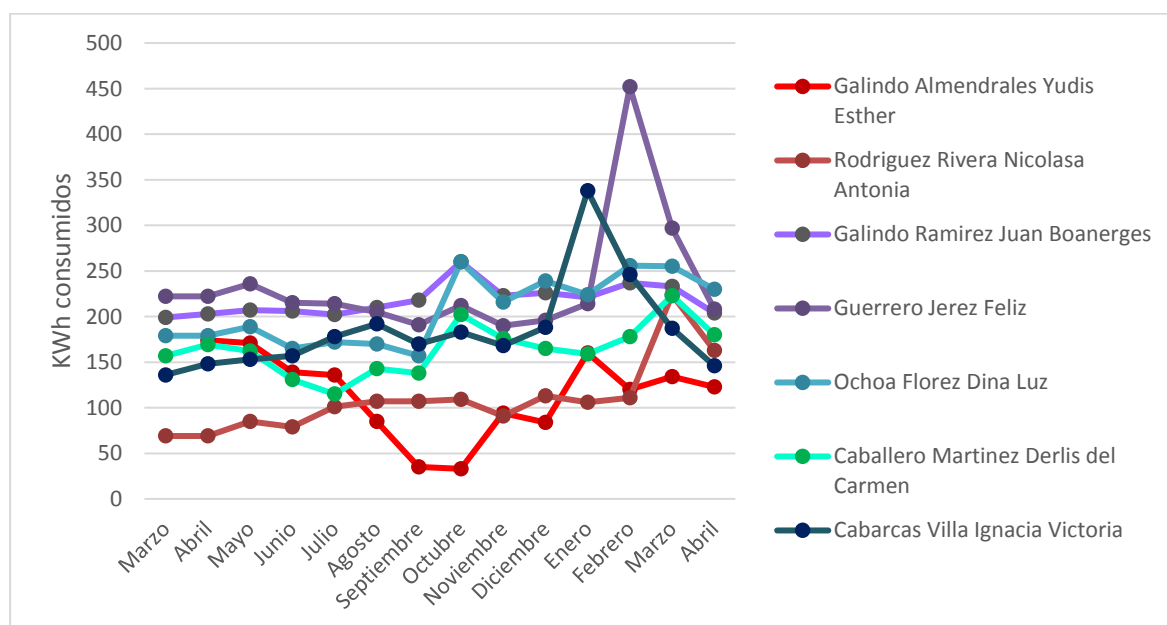


Figura 8. Consumo mensual kWh de cada usuario en el municipio de Plato, Magdalena

Fuente. Elaboración propia

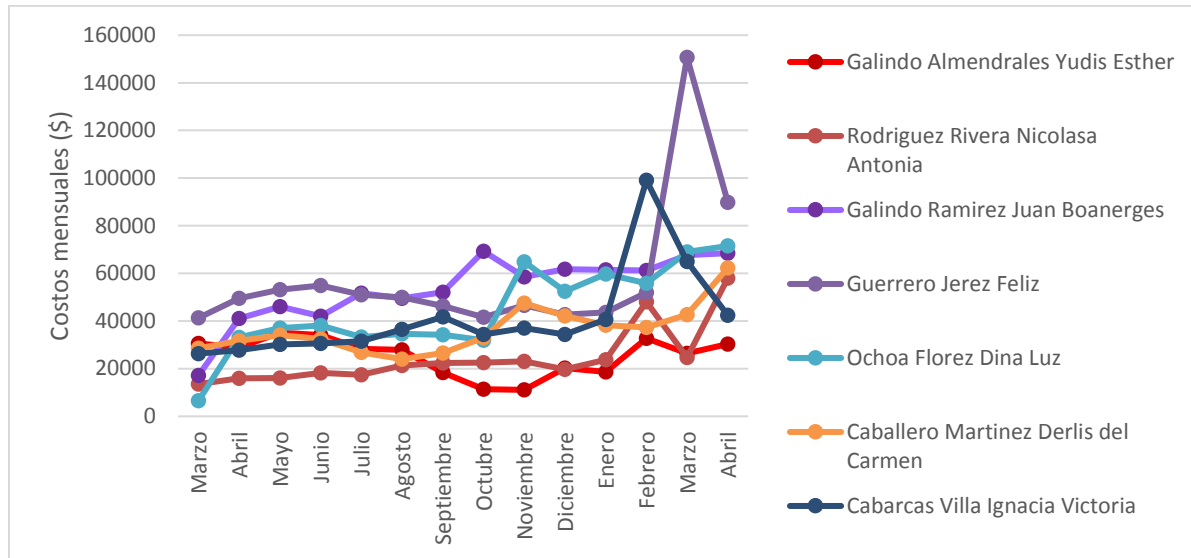


Figura 9. Costo mensual por usuario en el municipio de Plato, Magdalena

Fuente. Elaboración propia

Los datos de consumo promedio mensual y costo estimado de cada uno de los usuarios fueron tabulados para obtener información como la presentada en la Tabla 4, los cuales se obtuvieron con los registros históricos de consumo en el periodo de Marzo de 2018 - Abril de 2019, es decir por un lapso de 14 meses.

Tabla 4. Consumo de KWh y costos mensuales por usuario en el municipio de Plato Magdalena

Titular	Promedio de Consumo mensual (kWh)	Costo estimado promedio mensual
Galindo Almendrales Yudis Esther	114,46	\$25.313,97
Rodríguez Rivera Nicolasa Antonia	109,57	\$24.636,49
Galindo Ramírez Juan Boanerges	217,79	\$53.435,06
Guerrero Jerez Feliz	233,86	\$58.100,91
Ochoa Flórez Dina Luz	206,50	\$44.456,74
Caballero Martínez Derlis del Carmen	164,14	\$36.256,89
Cabarcas Villa Ignacia Victoria	185,00	\$41.266,91
Promedio	175,90	\$40.495,28

Fuente. Elaboración propia

Los datos de la Tabla 4 posteriormente fueron promediados para obtener el consumo promedio de un usuario (tipo) en Plato, Magdalena, a partir de los consumos energéticos históricos.

El interés económico es un factor importante al momento de realizar un análisis con respecto al ahorro de consumo de energía eléctrica, puesto que estos representan un valor fijo en la inversión salarial de un núcleo familiar, por lo que también se tomaron en cuenta los costos estimados en el tiempo de estudio. Por esta razón, con cada municipio se realizó un análisis de costo/energía que permite visualizar el comportamiento de ambas variables.

3.4 Variación en el Consumo Energético

Conocidos los consumos históricos de cada municipio, se procedió a procesar la información de consumo energético actual de algunas de las viviendas en estudio, según la disponibilidad de datos y equipos de medición en cada uno de los municipios. Se tomaron datos de consumo de viviendas con sistemas fotovoltaicos instalados y de algunas viviendas con sistemas combinados (fotovoltaico y pinturas), los cuales fueron descargados de la plataforma de cambio climático climamagdalena <https://www.cclimamagdalena.com/>.

3.4.1. Medición del Consumo Energético por Municipio

Luego de calcular la energía generada por cada sistema fotovoltaico, se procedió a registrar los datos de consumo de cada vivienda, utilizando los mismos usuarios de la sección anterior. Es decir, usuarios que tienen instalados sistemas fotovoltaicos y equipos de medición de la energía consumida. En la Tabla 5 se muestra la forma en la que se tabularon los datos para el municipio de Plato, en los meses entre Julio de 2020 y Febrero 2021, los cuales corresponden a la energía consumida por cada usuario.

Tabla 5. Consumo mensual medido en kWh de usuarios en Plato, Magdalena

ID	Municipio	Titular	Julio	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Febr
6	Plato	Cabarcas Villa Ignacia	178	192	170	183	168	188	338	246
67	Plato	Ochoa Flórez Dina Luz	172	170	157	260	216	239	224	256
130	Plato	Juan Galindo Ramírez	202	210	218	260	223	226	221	237
Prom mensual de consumo en kWh			184,00	190,67	181,67	234,33	202,33	217,67	261,00	246,33
Promedio de Energía Consumida por una vivienda al mes (kWh)			214, 75							

Fuente. Elaboración propia

A partir de los datos anteriores se obtuvo el consumo energético promedio mensual de una vivienda en el municipio de Plato, utilizando los datos reales de consumo reportado por los equipos de medición. El mismo procedimiento fue aplicado para los demás municipios.

3.4.2. Medición de la Energía Generada por la Red Fotovoltaica en cada Municipio

Posterior a las instalaciones de las soluciones energéticas, principalmente la de los sistemas fotovoltaicos, se realizó un muestreo de las lecturas de energía aportada por los sistemas fotovoltaicos para un acumulado de ocho meses, desde el mes de Julio de 2020 hasta Febrero de 2021, debido a que ocho meses es una muestra suficiente para corroborar los aportes producidos por el impacto de consumo y de Huella de Carbono. Para esto, se muestra el proceso realizado con el municipio de Plato.

Es de anotar, que para cada municipio se contó con información de diferente cantidad de viviendas. En la Figura 10 se muestra la distribución de viviendas de Plato en la plataforma. En la Figura 11 se puede observar el muestreo que se realizó en la plataforma para una vivienda de Plato con el fin de obtener los datos de energía generada por el sistema fotovoltaico. De esta forma, revisando el comportamiento del consumo diario del mes de junio del titular ID:67, se determinó que en promedio ese titular en el mes de julio consume 2,34 kWh por día aportados por el sistema FV.

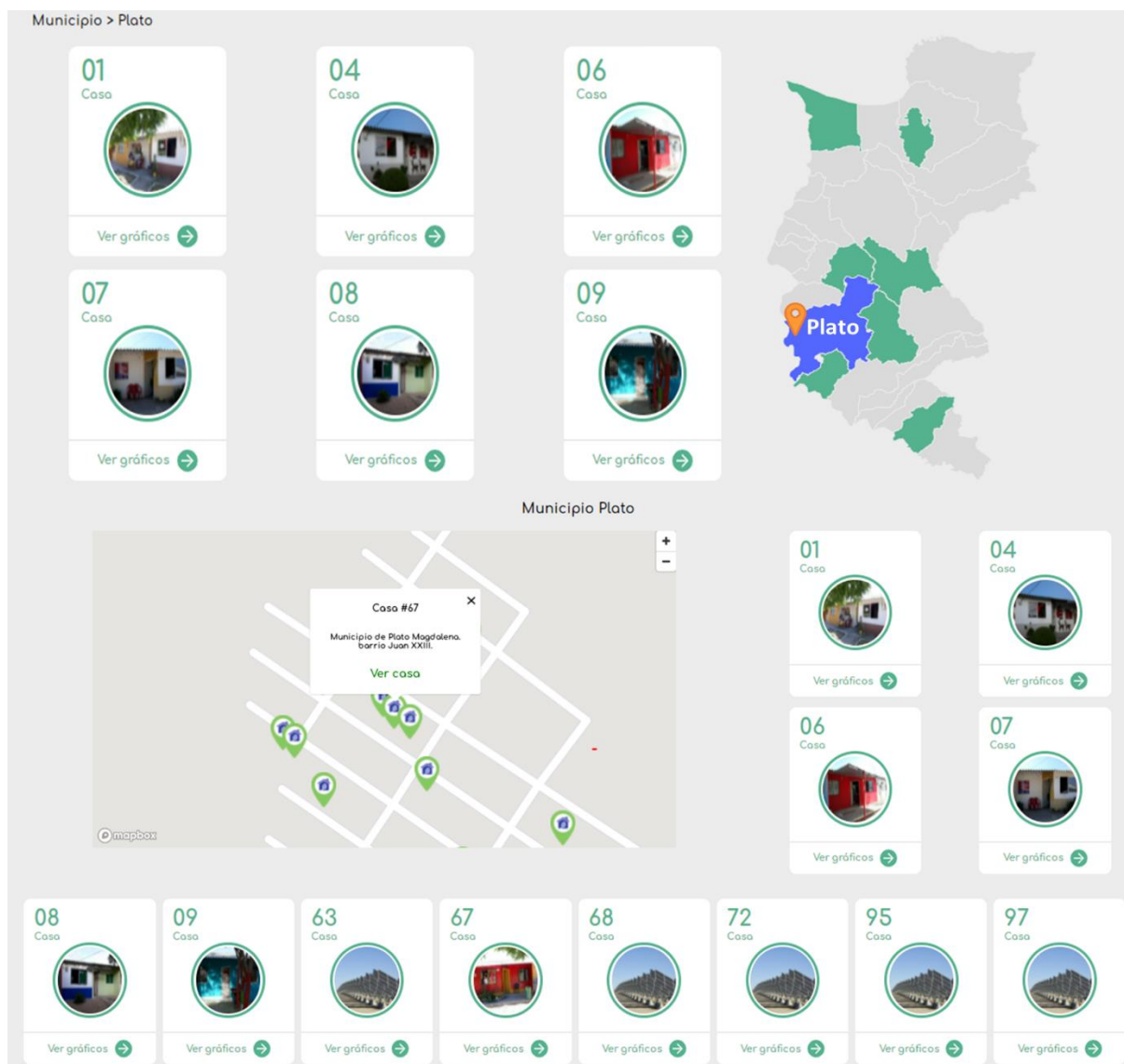


Figura 10. Mapa de las viviendas de estudio ubicadas en el municipio de Plato, Magdalena

Fuente. C-Climamagdalena, Sistemas bioclimáticos sostenibles

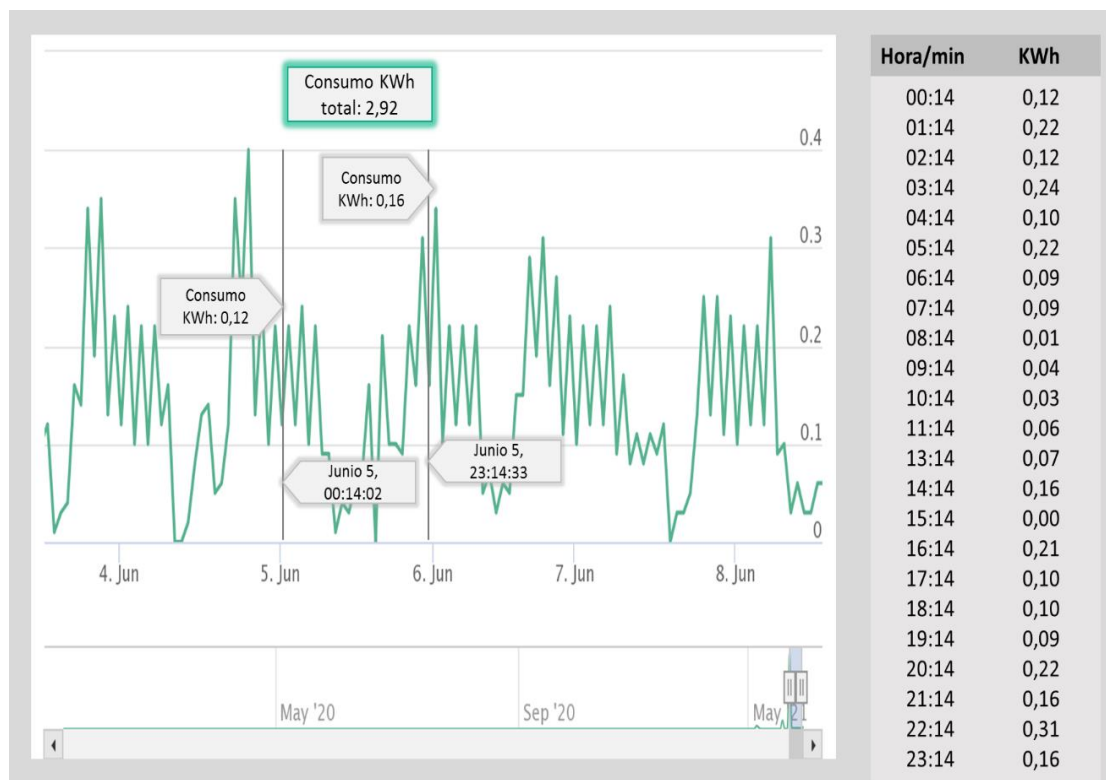


Figura 11. Muestreo de consumo kWh en un día ID: 67

Fuente. C-Climamagdalena, Sistemas bioclimáticos sostenibles

Con el procedimiento descrito se realizó el cálculo de la energía generada con los sistemas FV. En la Tabla 6 se muestran los datos obtenidos para 3 usuarios del municipio de Plato, con los cuales se calculó el promedio de potencia entregada por cada sistema FV en el municipio. Se puede observar la potencia promedio entregada por cada sistema FV durante los meses de Julio de 2020 a Febrero de 2021.

Tabla 6. Energía generada mensualmente por la red fotovoltaica en el municipio de Plato, Magdalena

ID	Municipio	Titular	Julio	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Febr
6	Plato	Cabarcas Villa Ignacia	70,2	74,7	67,8	71,7	66,9	72,6	123,9	97,5
67	Plato	Ochoa Flórez Dina Luz	68,4	67,8	65,7	102	84,6	93,6	87,3	100,5
130	Plato	Juan Galindo Ramírez	79,5	82,8	86,1	102	88,2	88,8	87,3	92,7
Prom por mes kWh generado por FV			72,70	75,10	73,20	91,90	79,90	85,00	99,50	96,90
Promedio de Energía FV Generada por una vivienda al mes (kWh)						88,43				

Fuente. Elaboración propia

3.5 Análisis de las Viviendas con Pinturas Termoaislantes

Con el fin de establecer el funcionamiento de las pinturas termoaislantes, se realizó un análisis comparativo de las temperaturas interiores y exteriores de las viviendas en las que fueron aplicadas las pinturas con las viviendas de control en las que no se aplicó ningún tipo de recubrimiento. Las viviendas de control cuentan con sensores de temperatura instalados para este propósito.

Con el anterior análisis se buscó definir el efecto de las pinturas sobre el confort térmico de las viviendas intervenidas en cada uno de los municipios y su posible impacto en la reducción del consumo energético y por ende en la reducción de las emisiones de CO₂.

Según el Centro de Investigación de Oceanografía Operacional: climatología del Caribe y el IDEAM, en el departamento del Magdalena existen dos temporadas de lluvias bien delimitadas, la primera que ocurre entre abril y mayo, y la segunda que se presentan entre los meses de septiembre y noviembre. Se presentan una temporada con lluvias menores entre junio y agosto, y finalmente hay una temporada secan entre diciembre y marzo. Es por esto, que normalmente en el segundo semestre de estudio el consumo de energía eléctrica incrementa conforme va aumentando en la temperatura y la humedad del ambiente [17].

El contexto anterior resalta que la temperatura es una variable importante en el consumo de energía debido a que los usuarios deben o no contar con equipamiento para el acondicionamiento de los hogares. Para cada municipio se realizó una tabla que permite relacionar el consumo energético mensual con la temperatura, a través de una escala de colores.

3.5.1. Muestreo con Datalogger

El Datalogger utilizado cuenta con 4 sensores de humedad y 4 sensores de temperatura. De esta forma, en cada vivienda se realiza la medición de temperatura y humedad en el interior y exterior:

Sensores de humedad internos:

Humedad2

Humedad4

Sensores de humedad externos:

Humedad1

Humedad3

Sensores de temperatura internos:

Temperatura2

Temperatura4

Sensores de temperatura externos:

Temperatura1

Temperatura3

Los registros de cada sensor se realizaron en el menor tiempo posible, para este caso, se recopilaron automáticamente datos las 24 horas del día, cada un minuto en el tiempo de muestreo estipulado para la implementación de las soluciones energéticas.

Como mencionamos anteriormente, las lecturas de los sensores implementados para medir las variables climáticas (temperatura, humedad) se obtuvieron de la plataforma de cambio climático Cclimamagdalena, como se observa en la siguiente figura.

Para todos los municipios de obtuvieron datos de temperaturas promedios y humedad promedio para las casas de control y las intervenidas con las soluciones termoaislantes. Se muestran además, la cantidad de registros realizados (count), el registro promedio (mean), el registro estándar (std); y el valor promedio (Min, 25%, 50%, 75%, Max).

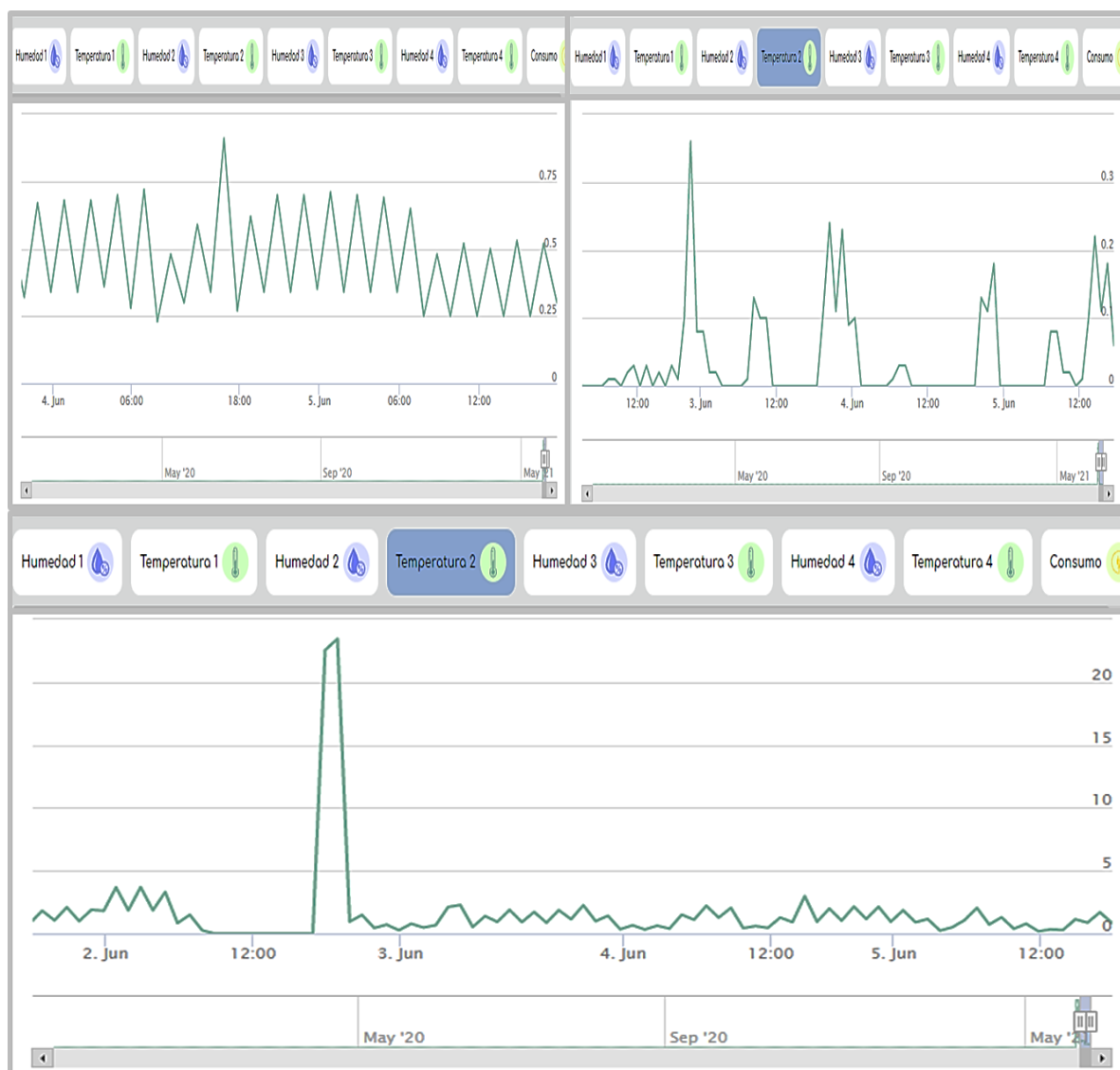


Figura 12. Registro de las variables muestreadas por los sensores instalados (temperatura, humedad)

Fuente. C-Climamagdalen, Sistemas bioclimáticos sostenibles

3.6 Cálculo de las Emisiones de CO₂

La huella de carbono fue calculada con el último Factor de Emisión entregado por la UPME correspondiente al año 2019, pero emitido en el año 2020. Además, para procesos de verificación se utilizó la herramienta FECOC 2016, la cual tiene como objeto facilitar el cálculo de las emisiones de CO₂ generadas por el uso de la energía eléctrica de los aparatos eléctricos y electrónicos de los hogares seleccionados para el proyecto en desarrollo.



Figura 13. Calculadora de emisiones de CO2

Fuente. Calculadora FECOC 2016

De esta forma, se utilizó un factor de emisión para el año 2019 de 0.166 kgCO₂/kWh estipulado por la UPME. Además de la implementación en los cálculos del Factor de Emisión (FE) proporcionado por FECOC, se implementó la siguiente ecuación que ayuda al complemento del cálculo de la huella de carbono de las viviendas de los municipios estudiados.

$$HC = \left(\sum \text{KgCo}_2 \right) * FE(19)$$

Donde:

KgCO₂(19) = Emisión de CO₂ para los meses pertenecientes al año 2019

FE (19) = Factor de emisión estipulado por FECOC para el año 2019, el cual es de 0,166.

Con lo anterior, se obtuvieron las emisiones mensuales por cada usuario en cada municipio, y posteriormente se obtuvo el promedio mensual de emisiones de CO₂ en cada municipio por el consumo de energía eléctrica. En la Tabla 7 se muestra como ejemplo el procedimiento implementado en el caso del municipio de Plato.

Tabla 7. Cálculo de las emisiones de CO₂ en el municipio de Plato, Magdalena

Usuario	Consumo kWh Prom	Emisiones KgCO₂ Prom
Galindo Almendrales Yudis Esther	114,46	19,0
Rodríguez Rivera Nicolasa Antonia	109,57	18,2
Galindo Ramírez Juan Boanerges	217,79	36,2
Guerrero Jerez Feliz	233,86	38,8
Ochoa Flórez Dina Luz	206,50	34,3
Caballero Martínez Derlis del Carmen	164,14	27,2
Cabarcas Villa Ignacia Victoria	185,00	30,7
Prom consumo kWh y emisiones KgCO₂ mensual de una Vivienda	175,90	29,20

Fuente. Elaboración propia

3.7 Variación en las Emisiones de CO₂

Las variaciones en las emisiones de CO₂ fueron calculadas a partir de los datos de consumo histórico, consumos medidos con los equipos de medición instalados, porcentaje de generación con los sistemas FV y potencia teórica máxima de generación de los sistemas FV. Los datos de temperatura fueron analizados pero no aportaron en el proceso de reducción de la huella de carbono, debido al poco efecto de las pinturas termoaislantes en el confort térmico de las viviendas.

En ese sentido, se definieron diferentes escenarios para establecer el impacto de la instalación de los sistemas FV en la reducción de huella de carbono. Estos escenarios parten consumos históricos y datos medidos. La potencia teórica máxima utilizada por cada sistema FV es 6 kWh por día, la cual fue calculada considerando 6 horas sol para los municipios del departamento.

4. Resultados

4.1 Resultados de Consumos Eléctricos Históricos

Con la información de los consumos históricos de los usuarios, se obtuvo el promedio de kWh consumidos consumido por un (1) usuario de cada municipio en un mes (Tabla 8) y el costo estimado promedio que se factura mensualmente por cada usuario en todos los municipios (Tabla 9), previos a la implementación de las soluciones de eficiencia energética. Para el caso de Sitio Nuevo no se contó con la información de costos.

Estos resultados se obtuvieron para los 8 municipios: Plato, Santa Bárbara de Pinto, Chibolo, Granada, Guamal, Sabanas de San Ángel, Zona Bananera y Sitio Nuevo, a partir de los recibos de energía y soportados en información de las cargas utilizadas por los usuarios en esta ventana de tiempo.

Tabla 8. Promedio de consumo mensual de un (1) usuario para los municipios en estudio

Fecha	Plato (kWh)	Santa B. de Pinto (kWh)	Chibolo (kWh)	Granada (kWh)	Guamal (kWh)	San Ángel (kWh)	Zona Bananera (kWh)	Sitio Nuevo (kWh)
Prom. de mar-18	160,3	148,8	121,75	178,7	182,7	177,8	198,9	149,6
Prom. de abr-18	166,3	146,5	125	163	152,5	174,7	177,9	152,1
Prom. de may-18	171,9	142,1	100,75	190,3	146,3	186	207,0	157,4
Prom. de jun-18	156	153,4	120	168,3	177,5	174,2	193,3	161,1
Prom. de jul-18	159,7	151,8	119,5	174,3	146,2	192,8	186,7	177,4
Prom. de ago-18	158,9	134,5	112,5	174,3	167,7	171,2	180,8	174,3
Prom. de sep-18	145,1	124,3	113,25	160,7	143,7	159,7	174,4	168,1
Prom. de oct-18	179,9	158,7	131,25	176,7	153,3	235,5	212,8	163,2
Prom. de nov-18	165,4	149,8	110,75	164	172,7	164,5	192,6	154,9
Prom. de dic-18	173	168,2	120,5	203	186,2	139,7	183,8	155,7
Prom. de ene-19	203,1	155,6	108	137,3	164,5	164	185,3	157,8
Prom. de feb-19	228,6	166,8	107,25	213,7	146	171,2	178,2	144,7
Prom. de mar-19	221,9	161,6	129,75	200	156	156,5	189,3	142,7
Prom. de abr-19	179,1	167,6	106,75	151,3	156,8	179,2	181,4	158,1
Prom. consumo por municipio	176,4	152,1	116,2	175,4	160,9	174,8	189,6	158,36

Fuente. Elaboración propia

Tabla 9. Costo mensual estimado promedio que puede facturar un (1) usuario por municipio

Fecha	Plato	Santa B. de Pinto	Chibolo	Granada	Guamal	San Ángel	Zona Bananera
Prom. de mar-18	\$23.453,6	\$32.282	\$14.498,9	\$37.131,1	\$33.071,4	\$26.473,3	\$32.403,5
Prom. de abr-18	\$32.576,9	\$33.639	\$19.528,2	\$49.676,1	\$40.981,7	\$8.076,3	\$41.745,9
Prom. de may-18	\$35.948	\$47.265	\$17.054,4	\$59.264,8	\$29.341,1	\$25.173,7	\$37.363,3
Prom. de jun-18	\$35.806,9	\$37.570,3	\$13.286,7	\$60.531,5	\$26.384,7	\$30.777,5	\$25.860,0
Prom. de jul-18	\$34.319,4	\$52.843,5	\$20.045	\$57.808,1	\$34.474,9	\$80.870,3	\$39.622,6
Prom. de ago-18	\$34.843,8	\$35.981,2	\$18.441,4	\$49.962,4	\$31.800,9	\$31.393,1	\$30.856,5
Prom. de sep-18	\$34.545,2	\$35.778	\$14.251,9	\$57.927,2	\$34.040,4	\$23.637,3	\$37.181,5
Prom. de oct-18	\$34.882,9	\$40.769,2	\$19.163,4	\$49.904,1	\$28.487,3	\$33.782	\$35.589,6
Prom. de nov-18	\$41.237,6	\$37.151,6	\$17.584,5	\$41.280,7	\$30.719,2	\$55.590,2	\$30.833,0
Prom. de dic-18	\$39.074,9	\$43.057,5	\$16.712,4	\$48.168,8	\$33.690,8	\$23.695,5	\$29.930,9
Prom. de ene-19	\$40.880,4	\$46.112,7	\$14.972	\$35.076,5	\$37.989,9	\$23.129,3	\$38.514,1
Prom. de feb-19	\$55.197,7	\$54.914,8	\$16.017	\$61.519,5	\$33.999,9	\$29.689,4	\$37.348,7
Prom. de mar-19	\$57.151,05	\$56.831,4	\$16.885,3	\$63.951,5	\$40.200,2	\$35.680,7	\$43.903,3
Prom. de abr-19	\$44.120,85	\$64.996,6	\$28.794,5	\$44.976,8	\$35.422,3	\$32.649,6	\$36.881,7
Prom. costo por municipio	\$38.859,94	\$44.228,06	\$17.659,69	\$51.227,08	\$33.614,62	\$32.901,30	\$35.573,9

Fuente. Elaboración propia

Los resultados obtenidos muestran un perfil de consumo histórico similar para la mayoría de los 8 municipios en estudio, con excepción del municipio de Chibolo que muestra un consumo mensual promedio de 116,2 kWh por cada usuario. El consumo de un usuario en el municipio de Guamal, 160,9 kWh, es el que más se aproxima al consumo promedio de todos los usuarios de los demás municipios, 163,63 kWh. En la Figura 14 se muestra de forma resumida el consumo promedio mensual de cada usuario en los municipios, mientras en la Figura 15 se puede observar la relación del consumo con los costos pagados por un usuario, con excepción del municipio de Sitio Nuevo.

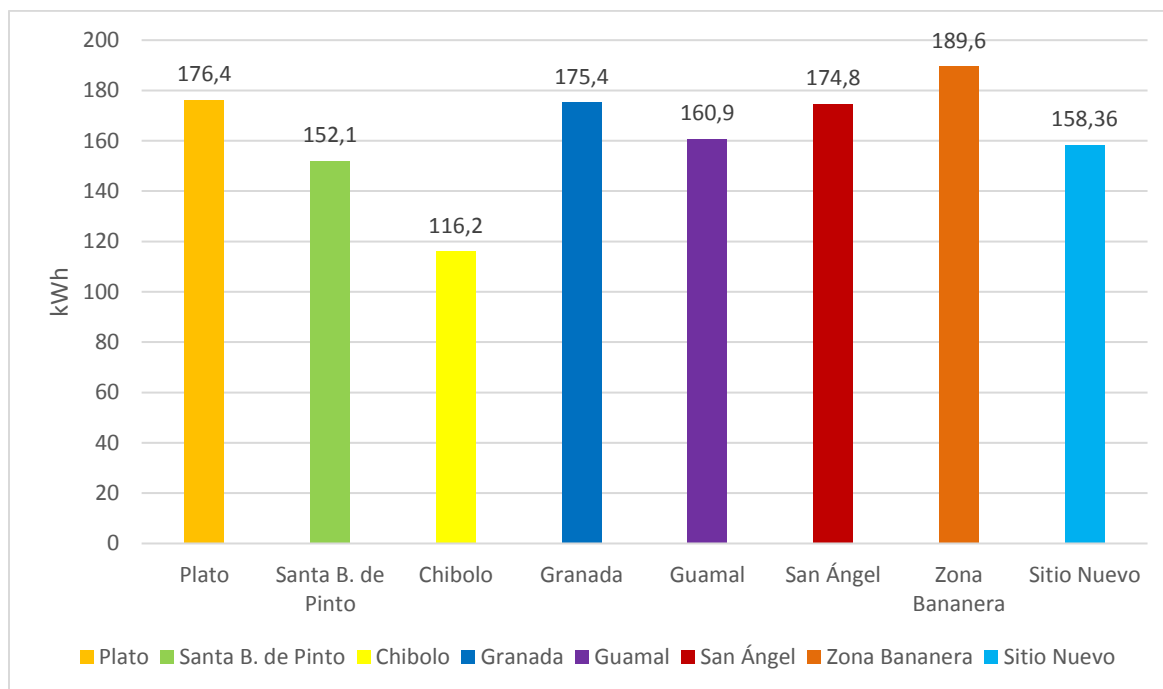


Figura 14. Consumo histórico mensual promedio de un (1) usuario por municipio (kWh)

Fuente. Elaboración propia

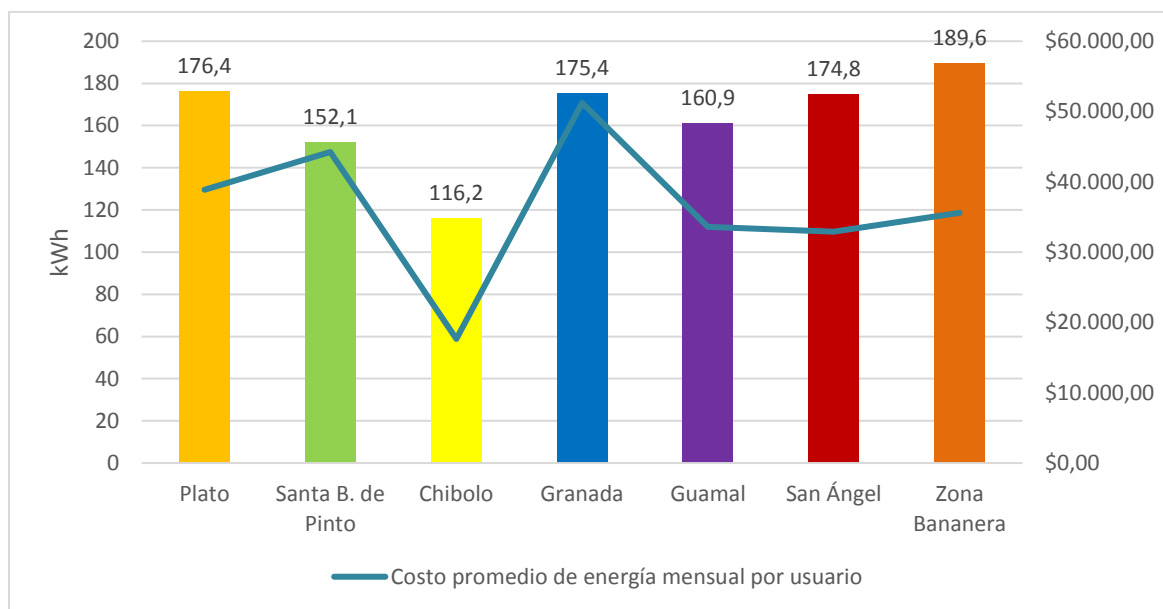


Figura 15. Relación consumo promedio mensual vs costo promedio mensual para una vivienda en cada municipio

Fuente. Elaboración propia

4.2 Resultados de Consumos Eléctricos Medidos

4.2.1. Resultados de Consumos Eléctricos Medidos en cada Municipio

En la siguiente tabla se pueden ver los resultados obtenidos de los consumos eléctricos mensuales en kWh para una vivienda en cada municipio, obtenidos a partir de los datos de 8 meses (Julio 2020 – Febrero 2021) para los usuarios con equipos de medición instalados. En la Figura 16 se muestra el resumen de los promedios de consumo por municipio para una vivienda. Se puede observar que el municipio de Plato tiene un consumo promedio superior al de los demás municipios, mientras que el municipio de Zona Bananera está muy cercano al consumo promedio de los 8 municipios en estudio.

Tabla 10. Consumo eléctrico promedio mensual de una vivienda en los 8 municipios

Fecha	Plato	Santa B. del Pinto	Chibolo	Granada	Guamal	San Ángel	Zona Bananera	Sitio Nuevo
Prom. Julio	184,00	159,50	119,50	198	109,67	189,00	156,20	139,60
Prom. Agosto	190,67	143,50	112,50	171	118,67	147,50	160,20	161,00
Prom. Septiembre	181,67	138,00	113,25	135	99,33	113,00	121,20	151,80
Prom. Octubre	234,33	197,50	131,25	142	108,67	107,00	186,20	153,00
Prom. Noviembre	202,33	218,00	110,75	154	153,33	108,50	185,40	156,20
Prom. Diciembre	217,67	199,50	120,50	213	154,00	99,50	143,60	148,00
Prom. Enero	261,00	229,50	108,00	191	121,67	107,00	159,40	150,60
Prom. Febrero	246,33	217,50	107,25	191	136,00	100,50	163,40	164,40
Prom. consumo por municipio	214,75	187,88	115,38	174,38	125,17	121,50	159,45	153,08

Fuente. Elaboración propia

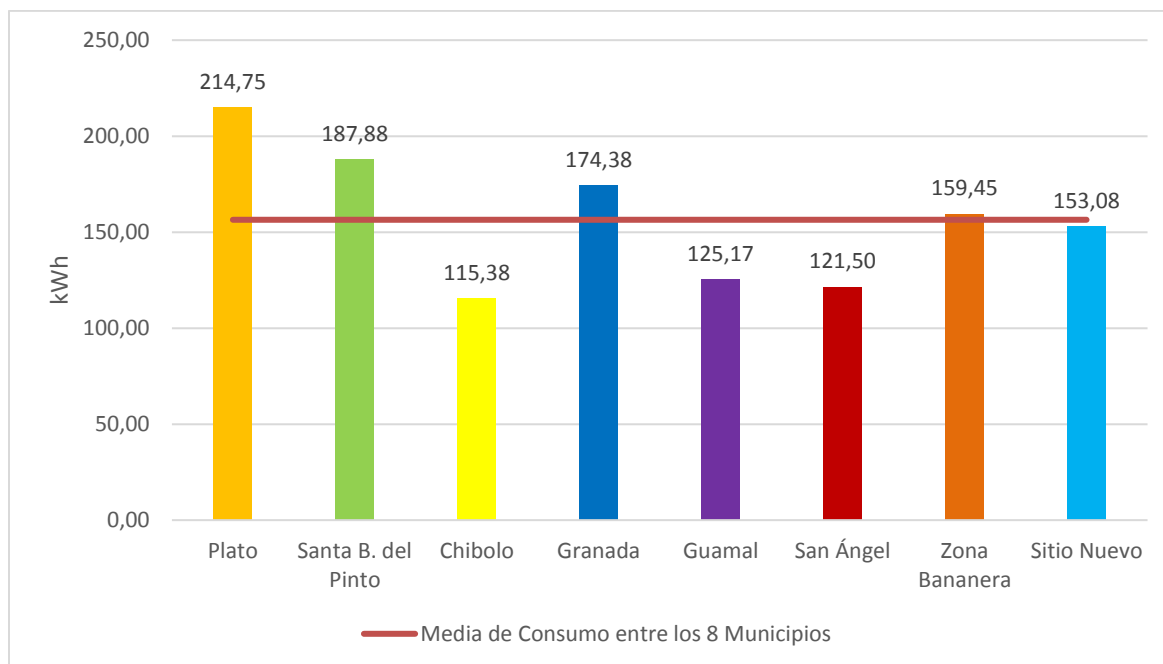


Figura 16. Consumo energético promedio mensual medido para una vivienda en cada municipio

Fuente. Elaboración propia

4.2.2. Resultados de Energía Generada por los Sistemas Fotovoltaico

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del promedio de energía mensual en kWh generados por los sistemas FV para una (1) vivienda en los 8 municipios. Estos datos fueron obtenidos de los equipos de medición instalados en algunas de las viviendas con sistemas FV instalados. Con esta información se determina el porcentaje de energía que están aportando actualmente los sistemas FV a cada vivienda.

En la Figura 17 se muestra promedio de generación fotovoltaica de una vivienda en cada municipio, donde se puede ver que en Municipios como Plato es donde los usuarios están aprovechando de mejor forma el potencial de los sistemas FV instalados.

Tabla 11. Promedio de energía mensual en kWh generada por los sistemas FV en una (1) vivienda

Fecha	Plato	Santa B. del Pinto	Chibolo	Granada	Guamal	San Ángel	Zona Bananera	Sitio Nuevo
Prom. Julio	72,70	64,20	51,30	76,8	44,50	75,45	60	56,58
Prom. Agosto	75,10	61,80	49,20	69	46,90	58,20	59,52	68,46
Prom. Septiembre	73,20	60,30	49,80	58,5	41,20	47,40	49,62	62,4
Prom. Octubre	91,90	78,30	55,65	61,2	43,60	46,80	64,2	64,92
Prom. Noviembre	79,90	85,65	48,45	64,8	63,70	48,00	70,74	60
Prom. Diciembre	85,00	80,55	52,05	83,7	63,70	44,55	59,88	61,56
Prom. Enero	99,50	89,55	47,03	74,1	52,70	46,80	72	64,5
Prom. Febrero	96,90	86,10	46,65	74,1	56,70	43,20	69,3	67,02
Prom energía FV generada	84,3	75,8	50,0	70,3	51,6	51,3	63,2	63,2

Fuente. Elaboración propia

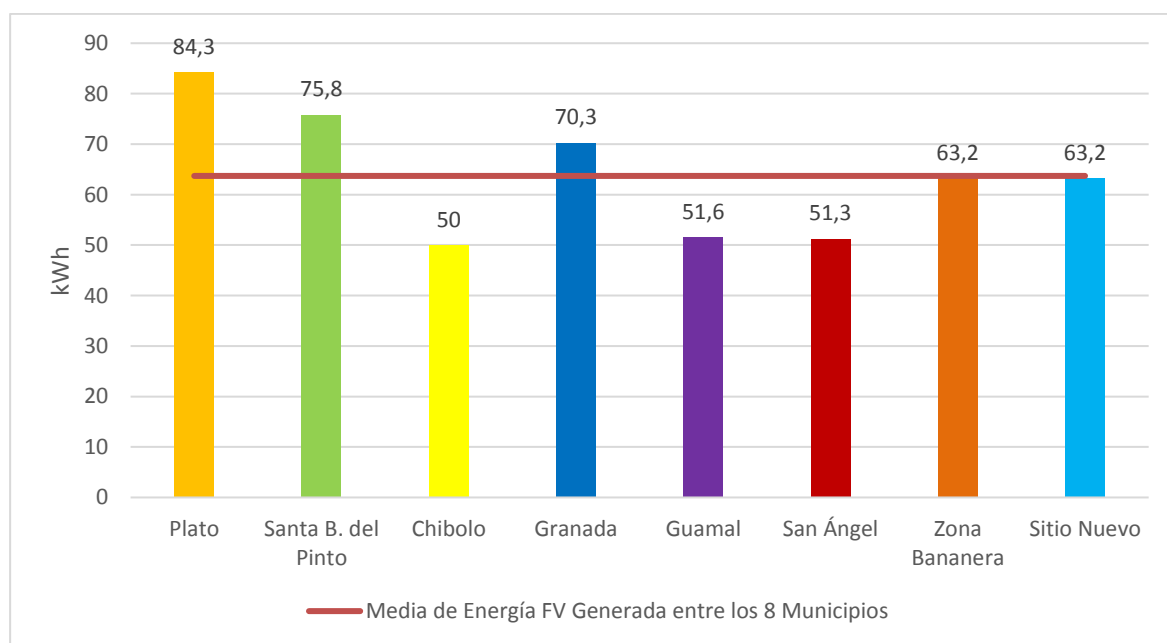


Figura 17. Generación FV promedio mensual de una (1) vivienda por cada municipio (kWh)

Fuente. Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra una comparación de los consumos energéticos mensuales y la energía mensual promedio generada con los sistemas FV para una vivienda en cada municipio.

Se puede observar que en ninguno de los municipios los sistemas FV suplen la necesidad energética total de una vivienda, pero en todos los casos representan un porcentaje que ronda el 40% del total necesario para satisfacer la demanda energética total de las viviendas en cada municipio (Ver Tabla 12).

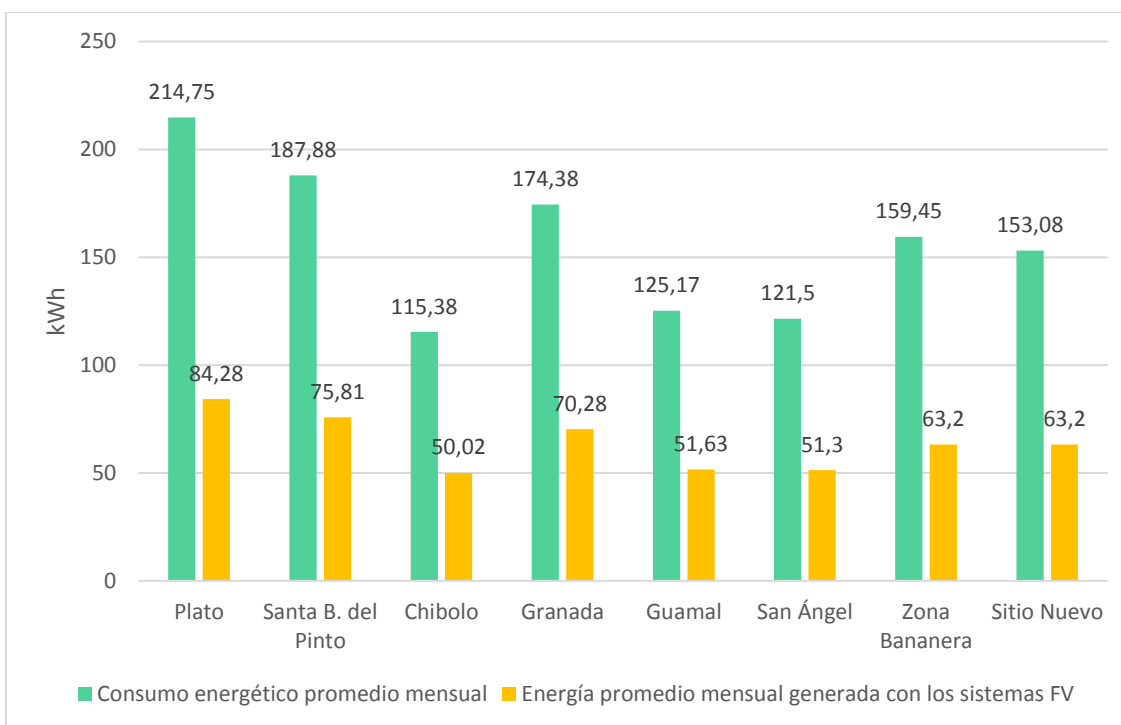


Figura 18. Consumo energético promedio mensual y energía FV generada promedio mensual en una vivienda

Fuente. Elaboración propia

Tabla 12. Comparación de energía consumida vs la energía FV generada en una vivienda

Municipio	Consumo Energía Mensual	Energía Mensual Generada con Sistema FV	Energía FV/ Consumo Energía (%)
Plato	214,75	84,28	39,2%
Santa B. del Pinto	187,88	75,81	40,4%
Chibolo	115,38	50,02	43,4%
Granada	174,38	70,28	40,3%
Guamal	125,17	51,63	41,2%
San Ángel	121,5	51,30	42,2%
Zona Bananera	159,45	63,2	39,6%
Sitio Nuevo	153,08	63,2	41,3%

Fuente. Elaboración propia

Finalmente, en esta sección se muestran los resultados de comparar los consumos históricos con los consumos medidos en un periodo reciente por los equipos de medición instalados. No existe un patrón claro de consumo, puesto que algunos municipios han incrementado su consumo promedio, como el caso de Plato y Santa Bárbara de Pinto; mientras que otros han mantenido el mismo perfil de consumo como Chibolo, Granada y Sitio Nuevo. El caso de Guamal, San Ángel y Zona Bananera, muestra un mayor consumo en el registro histórico.

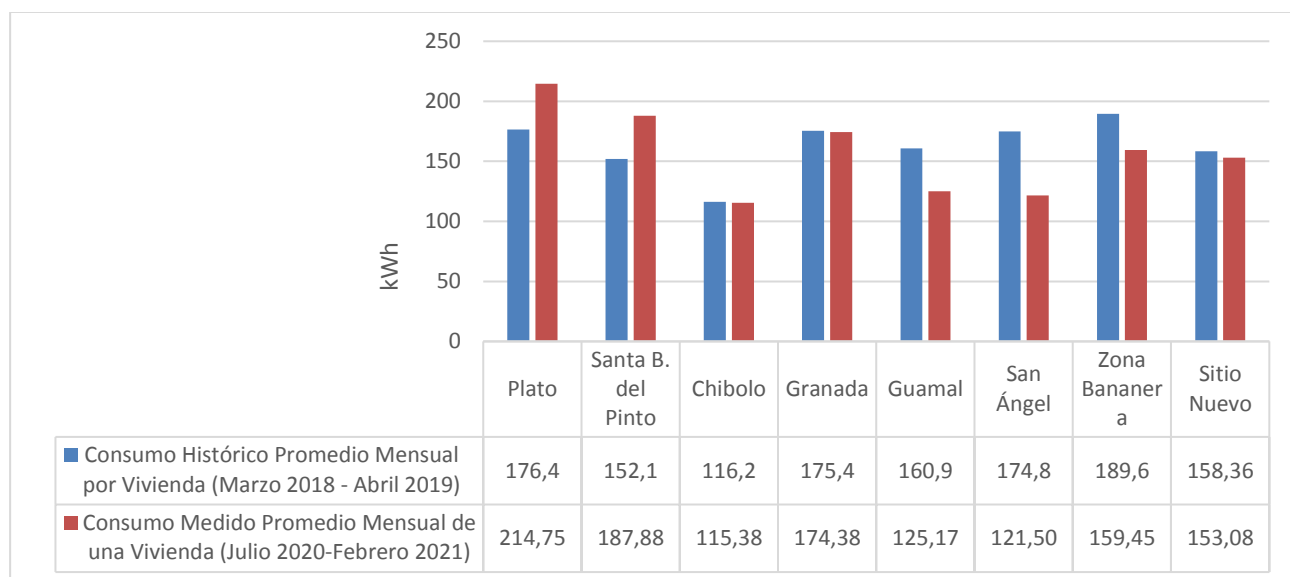


Figura 19. Comparación de consumos históricos vs consumos medidos

Fuente. Elaboración propia

4.3 Resultados Obtenidos con las Pinturas Termoaislantes

4.3.1. Resultados de Temperaturas para Viviendas Pintadas Comparadas con las Viviendas de Control

Para establecer el efecto de las pinturas sobre el confort térmico de las viviendas, se presentan los resultados de temperatura por municipio, en el que se promediaron la temperatura interna y externa para las viviendas con recubrimiento y las de control.

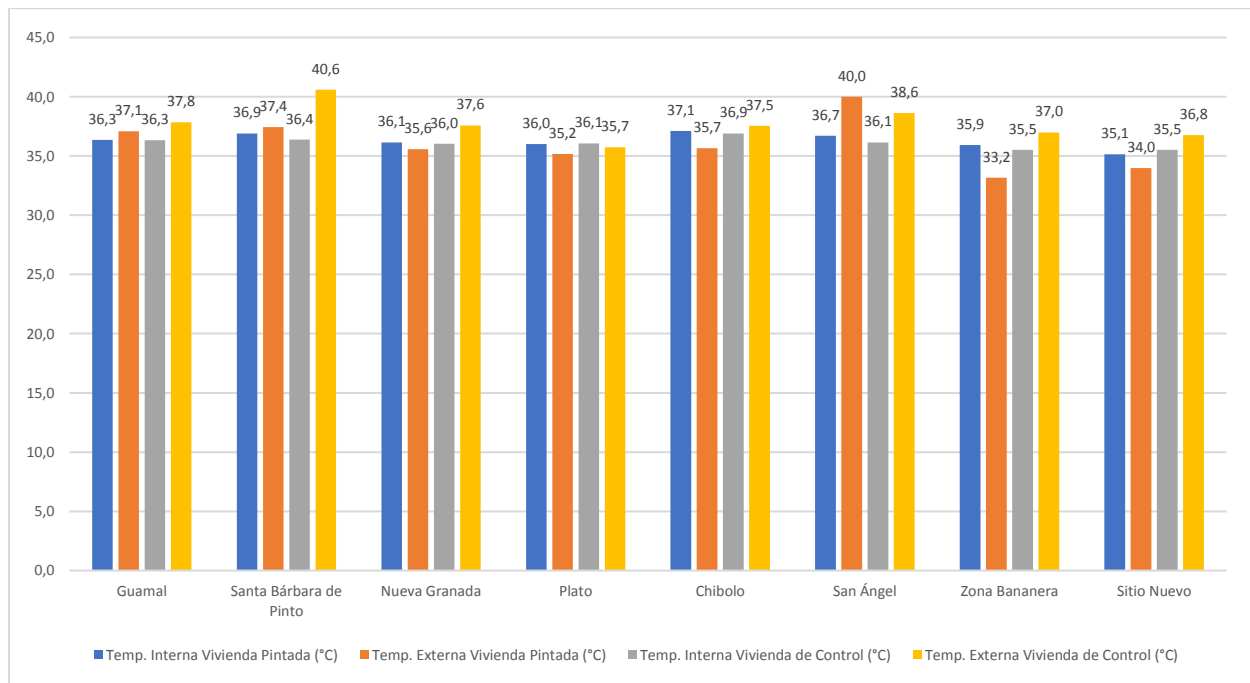


Figura 20. Temperaturas obtenidas para viviendas con recubrimiento y viviendas de control

Fuente. Elaboración propia

Los resultados resumidos para todos los municipios se muestran en la siguiente tabla. Además, se presentan los diagramas de caja de bigote que se obtuvieron por municipio para las casas pintadas y para las de control.

Tabla 13. Temperaturas externas e internas de las viviendas pintadas y las viviendas de control por municipio

Municipio	Temp. Interna Vivienda Pintada (°C)	Temp. Externa Vivienda Pintada (°C)	Temp. Interna Vivienda de Control (°C)	Temp. Externa Vivienda de Control (°C)
Guamal	36,35	37,09	36,34	37,84
Santa Bárbara de Pinto	36,91	37,45	36,38	40,60
Nueva Granada	36,14	35,57	36,04	37,58
Plato	36,02	35,16	36,05	35,74
Chibolo	37,11	35,67	36,90	37,54
San Ángel	36,71	39,99	36,14	38,62
Zona Bananera	35,93	33,17	35,53	36,98
Sitio Nuevo	35,15	33,99	35,51	36,76

Fuente. Elaboración propia

Guamal

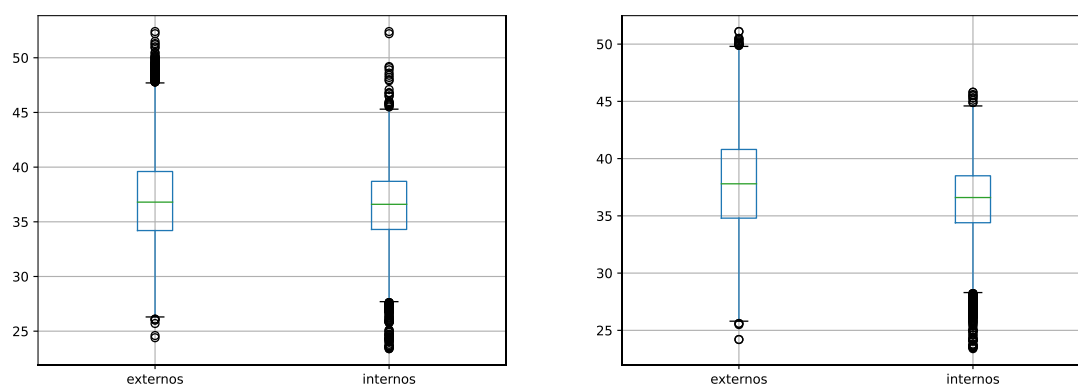


Figura 21. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Guamal (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control)

Fuente. Elaboración propia

Santa Bárbara de Pinto

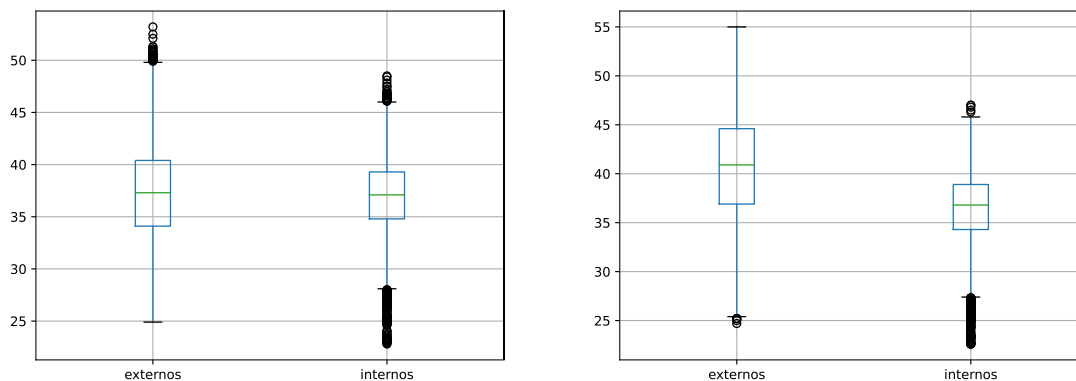


Figura 22. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Santa Bárbara de Pinto (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control)

Fuente. Elaboración propia

Nueva Granada

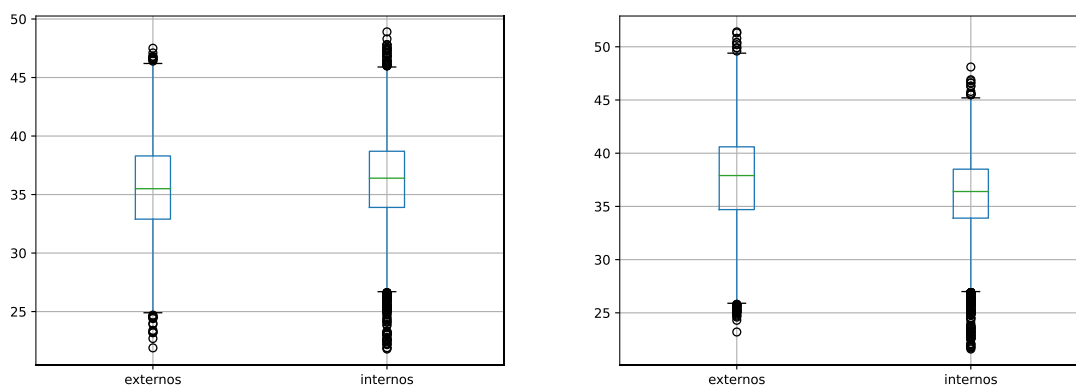


Figura 23. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Nueva Granada (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control)

Fuente. Elaboración propia

Plato

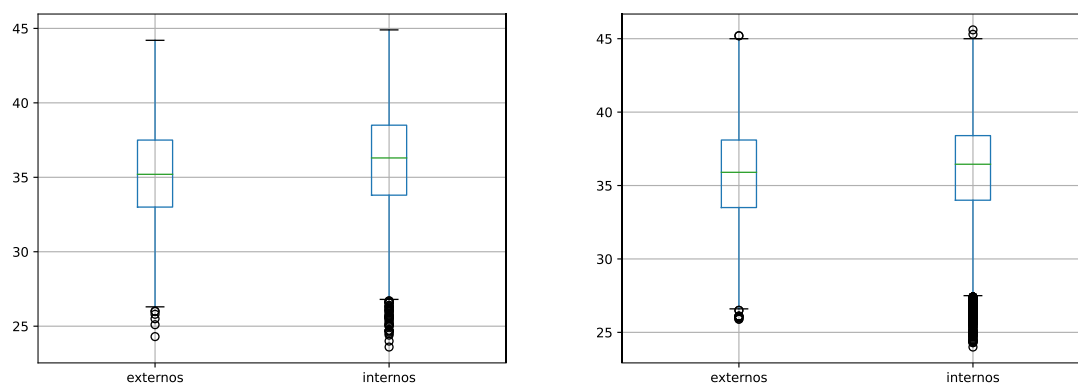


Figura 24. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Plato (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control)

Fuente. Elaboración propia

Chibolo

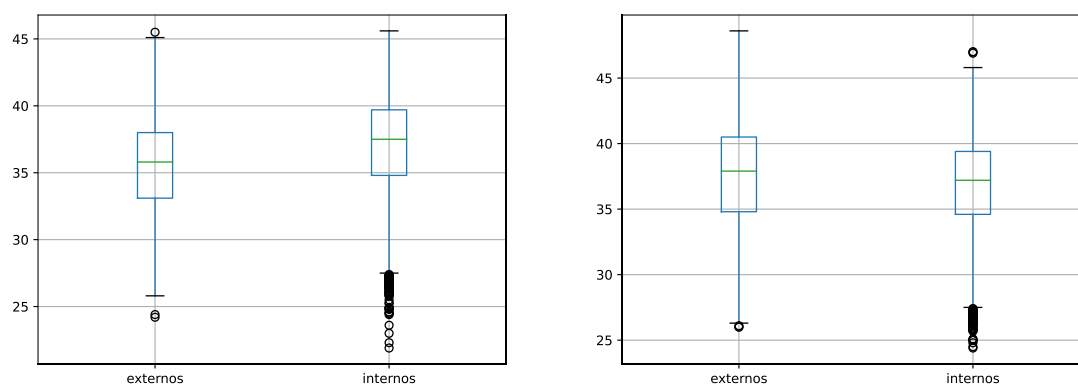


Figura 25. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Chibolo (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control)

Fuente. Elaboración propia

San Ángel

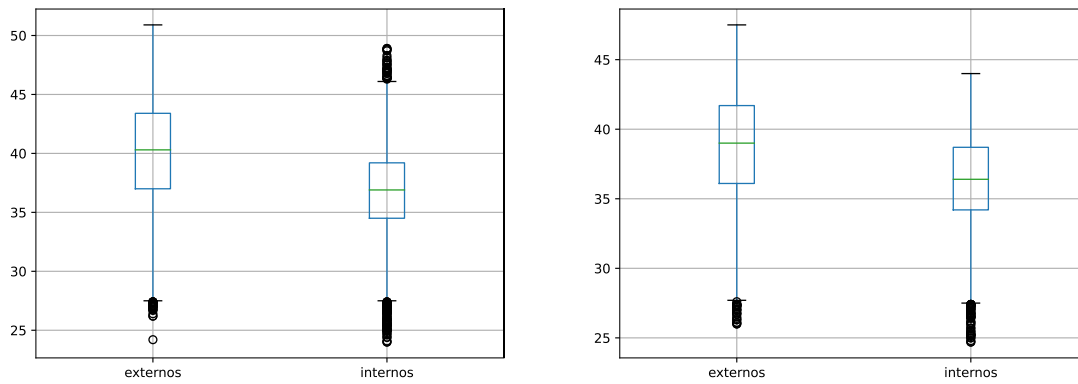


Figura 26. Gráficos de temperatura de caja de bigote de San Ángel (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control)

Fuente. Elaboración propia

Zona Bananera

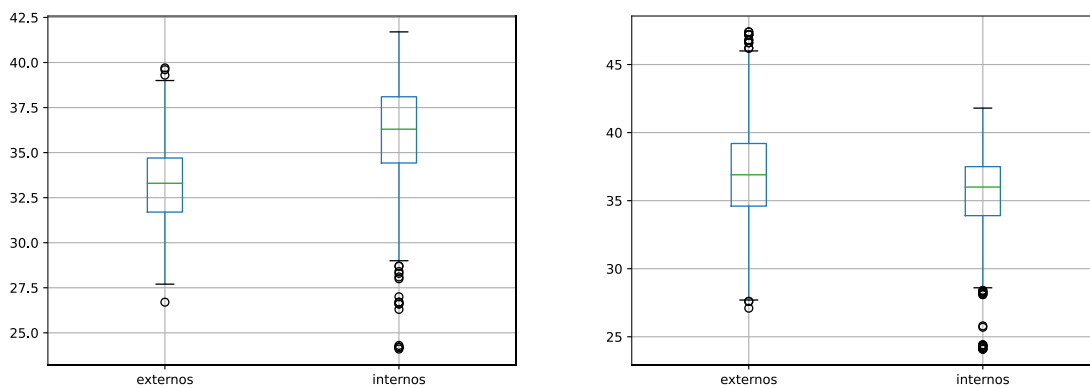


Figura 27. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Zona Bananera (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control)

Fuente. Elaboración propia

Sitio Nuevo

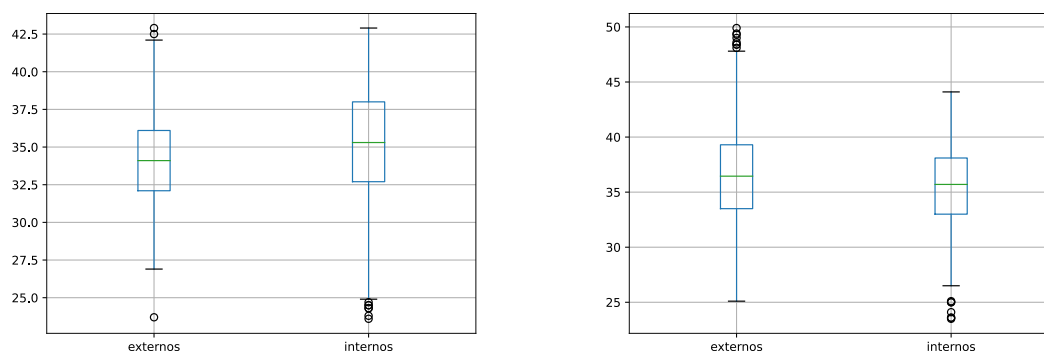


Figura 28. Gráficos de temperatura de caja de bigote de Sitio Nuevo (Izquierda viviendas pintadas, Derecha: viviendas de control)

Fuente. Elaboración propia

4.3.2. Resultados de Humedad para Viviendas Pintadas Comparadas con las Viviendas de Control

De forma similar como se implementó con las temperaturas, a continuación se presentan los resultados de las mediciones de humedad relativa obtenidos de las viviendas con pinturas termoaislantes y de las viviendas de control.

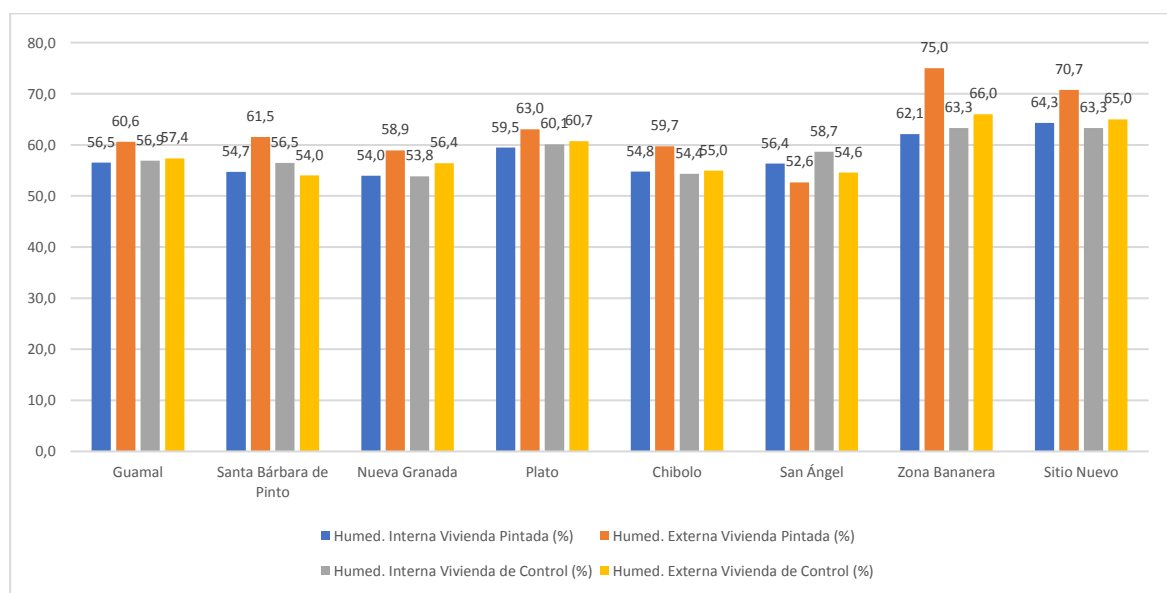


Figura 29. Humedad relativa para viviendas con recubrimiento y viviendas de control

Fuente. Elaboración propia

Tabla 14. Humedad relativa externa e interna de las viviendas pintadas y las viviendas de control por municipio

Municipio	Humed. Interna Vivienda Pintada (%)	Humed. Externa Vivienda Pintada (%)	Humed. Interna Vivienda de Control (%)	Humed. Externa Vivienda de Control (%)
Guamal	56,5	60,6	56,9	57,4
Santa Bárbara de Pinto	54,7	61,5	56,5	54,0
Nueva Granada	54,0	58,9	53,8	56,4
Plato	59,5	63,0	60,1	60,7
Chibolo	54,8	59,7	54,4	55,0
San Ángel	56,4	52,6	58,7	54,6
Zona Bananera	62,1	75,0	63,3	66,0
Sitio Nuevo	64,3	70,7	63,3	65,0

Fuente. Elaboración propia

4.3.3. Análisis de los Resultados de Temperatura y Humedad para las Viviendas Pintadas y las de Control

Con respecto a la implementación de la solución termoaislante, se puede observar que genera finalmente un análisis desfavorable con respecto a la implementación a la solución fotovoltaica, debido a que, se constató anteriormente como influye la temperatura correspondiente al clima de la zona de estudio, en este caso el departamento del Magdalena, debido que para temperaturas altas es notable el mayor uso de los aparatos de acondicionamiento para mitigar en mayor tiempo la sensación térmica afectada por el calor. Por lo tanto, los sensores, tanto internos como externos, aunque presentan variaciones de temperatura y humedad, siguen estando en el rango de sensación térmica que corresponden a altas temperaturas (calor).

La diferencia entre las viviendas que sólo tienen sensores y las que tienen pinturas termoaislantes no presentan diferencias abruptas con respecto a la temperatura y la humedad, es decir, que las viviendas que tienen esta solución con respecto a las que no tienen recubrimiento no tienen ningún impacto al acondicionamiento, debido a que, en ambos casos los índices de temperatura y humedad son relativamente similares.

Por lo tanto, como no se genera un impacto significativo en el ahorro de consumo de energía eléctrica, tampoco genera un impacto en la mitigación de las emisiones de CO₂ y disminución de la huella de Carbono, es decir, que el consumo y las emisiones seguirán

emitiéndose en el mismo porcentaje que se emitía antes de las de la solución termoaislante.

4.3.4. Relación de Consumo Energético Mensual con el Tipo de Clima

La importancia de la relación entre consumo energético y clima radica en el hecho de que los usuarios domésticos, particularmente, pueden llegar a consumir hasta 10 o más veces energía cuando las temperaturas son altas, comparándolo con su consumo a temperaturas inferiores; en el caso de presentarse climas secos y vientos (morado), el consumo es moderado debido a que la temperatura ambiental se mantiene fresca por los vientos; en el caso de presentarse alta humedad (azul), el consumo sube moderadamente ya que la humedad en el ambiente hace que la sensación térmica sea calurosa; y en el caso de altas temperaturas (naranja) el consumo suele ser más alto debido a que temperatura del ambiente es más calurosa de lo habitual, por ende incrementa el tiempo de uso de electrodomésticos de acondicionamiento.

Tabla 15. Relación de consumo energético con temperatura (clima)

Plato			Santa Barbara del Pinto		
Meses	KWH	Temperatura	Meses	KWH	Temperatura
Febrero 19	228,6		Diciembre 18	168,2	
Marzo 19	221,9		Abril 19	167,6	
Enero 19	203,1		Febrero 19	166,8	
Octubre 18	179,9		Marzo 19	161,6	
Abril 19	179,1		Octubre 18	158,7	
Diciembre 18	173		Enero 19	155,6	
Mayo 18	171,9		Junio 18	153,4	
Abril 18	166,3		Julio 18	151,8	
Noviembre 18	165,4		Noviembre 18	149,8	
Marzo 18	160,3		Marzo 18	148,8	
Julio 18	159,7		Abril 18	146,5	
Agosto 18	158,9		Mayo 18	142,1	
Junio 18	156		Agosto 18	134,5	
Septiembre 18	145,1		Septiembre 18	124,3	
Chibolo			Granada		
Meses	KWH	Temperatura	Meses	KWH	Temperatura
Octubre 18	131,25		Febrero 19	213,7	

Marzo 19	129,75		Diciembre 18	203	
Abril 18	125		Marzo 19	200	
Marzo 18	121,75		Mayo 18	190,3	
Diciembre 18	120,5		Marzo 18	178,7	
Junio 18	120		Octubre 18	176,7	
Julio 18	119,5		Julio 18	174,3	
Septiembre 18	113,25		Agosto 18	174,3	
Agosto 18	112,5		Junio 18	168,3	
Noviembre 18	110,75		Noviembre 18	164	
Enero 19	108		Abril 18	163	
Febrero 19	107,25		Septiembre 18	160,7	
Abril 19	106,75		Abril 19	151,3	
Mayo 18	100,75		Enero 19	137,3	
Guamal			San Ángel		
Meses	KWH	Temperatura	Meses	KWH	Temperatura
Diciembre 18	184,6		Octubre 18	235,5	
Marzo 18	177,8		Julio 18	192,8	
Noviembre 18	176		Mayo 18	186	
Junio 18	172,6		Abril 19	179,2	
Agosto 18	166,2		Marzo 18	177,8	
Enero 19	160,6		Abril 18	174,7	
Marzo 19	159		Junio 18	174,2	
Abril 19	156,4		Agosto 18	171,2	
Julio 18	155,6		Febrero 19	171,2	
Octubre 18	152,4		Noviembre 18	164,5	
Abril 18	148		Enero 19	164	
Febrero 19	146,8		Septiembre 18	159,7	
Mayo 18	146,4		Marzo 19	156,5	
Septiembre 18	143,2		Diciembre 18	139,7	
Zona Bananera			Sitio nuevo		
Meses	KWH	Temperatura	Meses	KWH	Temperatura
Noviembre 18	313,8		Julio 18	177,4	
Octubre 18	206,3		Agosto 18	174,3	
Mayo 18	203,7		Septiembre 18	168,1	
Marzo 18	197,0		Octubre 18	163,2	
Junio 18	191,1		Junio 18	161,1	
Marzo 19	189,1		Enero 19	157,8	
Diciembre 18	183,9		Mayo 18	157,4	
Enero 19	182,5		Diciembre 18	155,7	
Abril 19	182,5		Noviembre 18	154,9	
Julio 18	181,7		Abril 18	152,1	

Agosto 18	180,0		Marzo 18	149,6	
Abril 18	179,3		Abril 19	149,6	
Febrero 19	177,8		Febrero 19	144,7	
Septiembre 18	176,4		Marzo 19	142,7	

 Climas secos y vientos
 Alta humedad
 Altas temperaturas
 Fuente. Elaboración propia

4.4 Resultados Obtenidos para las Emisiones de CO₂

4.4.1. Emisiones de CO₂ a partir del Consumo de Energía Histórico (2018-2019)

Utilizando los datos de consumo energético histórico de 14 meses (Marzo 2018- Abril 2019) presentados en la sección 4.1., se realizó el cálculo de las emisiones de CO₂ por una vivienda en los 8 municipios. Estas emisiones corresponden a las emitidas por una vivienda en ese periodo, para el cual se utilizó el factor de conversión proporcionado por la UPME de 0,166.

Tabla 16. Emisiones de kgCO₂ mensuales por consumo histórico de una (1) vivienda en los 8 municipios

Fecha	Plato (kgCO ₂)	Santa B. de Pinto (kgCO ₂)	Chibolo (kgCO ₂)	Granada (kgCO ₂)	Guamal (kgCO ₂)	San Ángel (kgCO ₂)	Zona Bananera (kgCO ₂)	Sitio Nuevo (kgCO ₂)
Prom. de mar-18	26,61	24,70	20,21	29,66	30,33	29,51	33,02	24,83
Prom. de abr-18	27,61	24,32	20,75	27,06	25,32	29,00	29,53	25,25
Prom. de may-18	28,54	23,59	16,72	31,59	24,29	30,88	34,36	26,13
Prom. de jun-18	25,90	25,46	19,92	27,94	29,47	28,92	32,09	26,74
Prom. de jul-18	26,51	25,20	19,84	28,93	24,27	32,00	30,99	29,45
Prom. de ago-18	26,38	22,33	18,68	28,93	27,84	28,42	30,01	28,93
Prom. de sep-18	24,09	20,63	18,80	26,68	23,85	26,51	28,95	27,90
Prom. de oct-18	29,86	26,34	21,79	29,33	25,45	39,09	35,32	27,09
Prom. de nov-18	27,46	24,87	18,38	27,22	28,67	27,31	31,97	25,71
Prom. de dic-18	28,72	27,92	20,00	33,70	30,91	23,19	30,51	25,85
Prom. de ene-19	33,71	25,83	17,93	22,79	27,31	27,22	30,76	26,19
Prom. de feb-19	37,95	27,69	17,80	35,47	24,24	28,42	29,58	24,02
Prom. de mar-19	36,84	26,83	21,54	33,20	25,90	25,98	31,42	23,69
Prom. de abr-19	29,73	27,82	17,72	25,12	26,03	29,75	30,11	26,24
Prom. kgCO₂ mensual	29,28	25,25	19,29	29,12	26,70	29,01	31,33	26,29

Fuente. Elaboración propia

En la siguiente figura se pueden ver las emisiones mensuales de kgCO₂ generadas por el consumo energético promedio de una vivienda por municipio. Lógicamente los municipios con viviendas con mayor consumo son los que reportan mayores emisiones de CO₂, como es el caso del municipio de Zona Bananera.

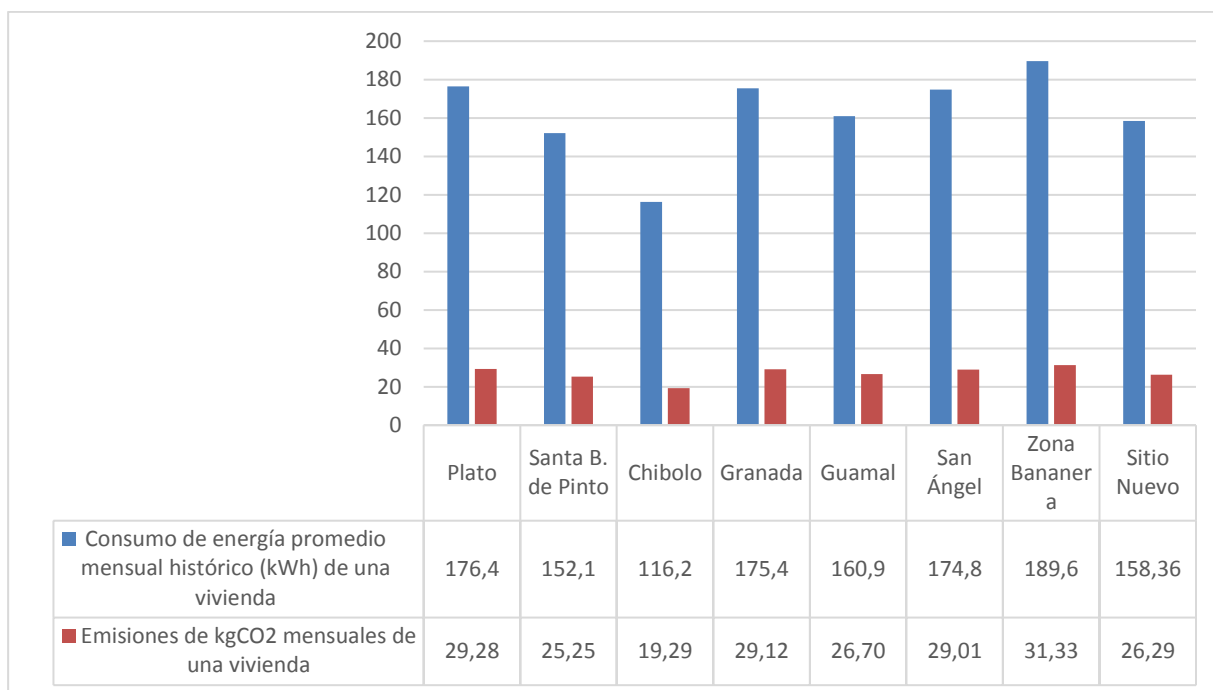


Figura 30. Emisiones de kgCO₂ por consumo de energía histórico mensual de una (1) vivienda por municipio

Fuente. Elaboración propia

4.4.2. Emisiones de CO₂ a partir del Consumo Energético Medido

En esta sección se presentan los resultados de las emisiones de kgCO₂ considerando los consumos actuales medidos en los 8 municipios en el marco de la presente investigación (Julio 2020 – Febrero 2021).

En la siguiente tabla se muestran los resultados de emisiones promedio mensuales para una vivienda de cada municipio, los cuales fueron obtenidos con los promedios de los meses en estudio. Además, en la siguiente figura se presenta la relación entre los consumos energéticos mensuales con las emisiones de CO₂.

Tabla 17. Emisiones de kgCO₂ mensuales por consumo medido en una (1) vivienda para los 8 municipios

Arial	Plato (kgCO ₂)	Santa B. del Pinto (kgCO ₂)	Chibolo (kgCO ₂)	Granada (kgCO ₂)	Guamal (kgCO ₂)	San Ángel (kgCO ₂)	Zona Bananera (kgCO ₂)	Sitio Nuevo (kgCO ₂)
Prom. Julio	30,54	26,48	19,84	32,87	18,21	31,37	25,93	23,17
Prom. Agosto	31,65	23,82	18,68	28,39	19,70	24,49	26,59	26,73
Prom. Septiembre	30,16	22,91	18,80	22,41	16,49	18,76	20,12	25,20
Prom. Octubre	38,90	32,79	21,79	23,57	18,04	17,76	30,91	25,40
Prom. Noviembre	33,59	36,19	18,38	25,56	25,45	18,01	30,78	25,93
Prom. Diciembre	36,13	33,12	20,00	35,36	25,56	16,52	23,84	24,57
Prom. Enero	43,33	38,10	17,93	31,71	20,20	17,76	26,46	25,00
Prom. Febrero	40,89	36,11	17,80	31,71	22,58	16,68	27,12	27,29
Prom. kgCO₂ mensual	35,65	31,19	19,15	28,95	20,78	20,17	26,47	25,41

Fuente. Elaboración propia

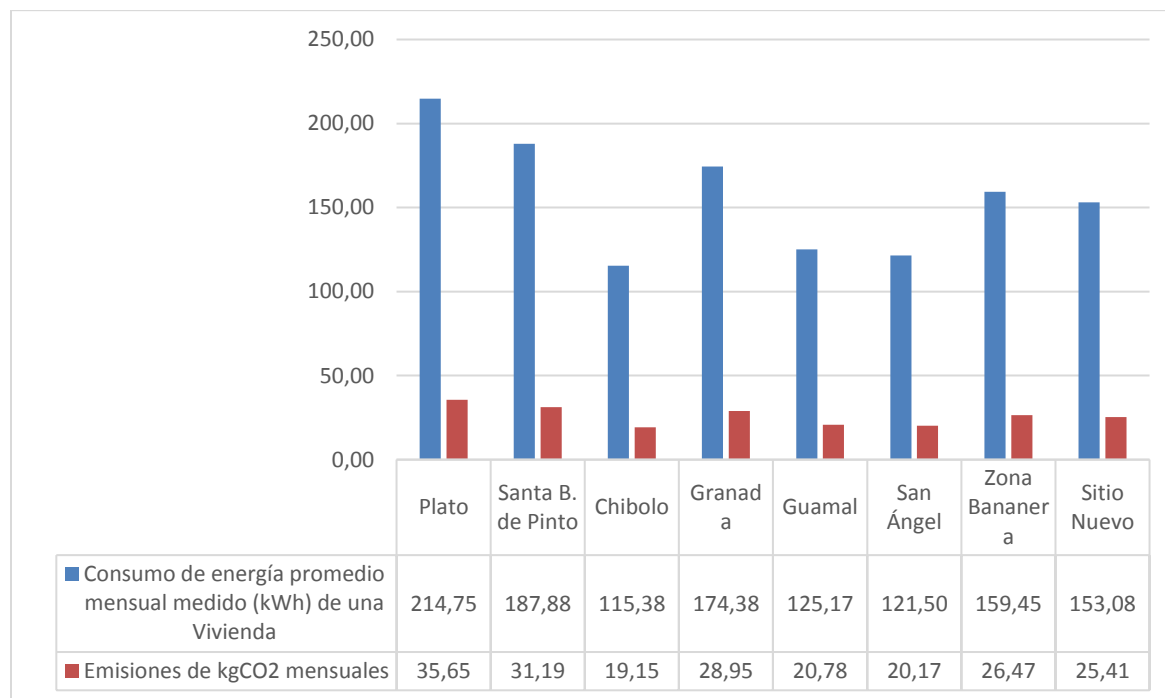


Figura 31. Emisiones de kgCO₂ por consumo de energía medida mensual para una (1) vivienda en los 8 municipios

Fuente. Elaboración propia

4.4.3. Comparación de Emisiones de CO₂ a partir de Consumos Históricos y Consumos Actuales

En esta sección se presentan los resultados obtenidos al comparar las emisiones de CO₂ obtenidas a partir de los consumos históricos con las emisiones de CO₂ obtenidas utilizando los consumos energéticos medidos. En la Figura 32 se muestra la comparación de emisiones de CO₂ para el escenario mencionado.

En la Figura 33 se muestran también las emisiones de CO₂ mensuales por vivienda en cada municipio, pero se incluyen los consumos energéticos mensuales para los escenarios históricos y actual.

Se puede notar como las emisiones se han incrementado en algunos municipios con el pasar de los años, los cual se debe al incremento en el consumo energético promedio en las viviendas analizadas. También se presentan casos de municipios en los que las emisiones disminuyen debido al reporte de ahorro en consumo energético con el paso de los años.



Figura 32. Emisiones de kgCO₂ de una vivienda: obtenida con los equipos de medición versus obtenida con los datos de consumo histórico

Fuente. Elaboración propia

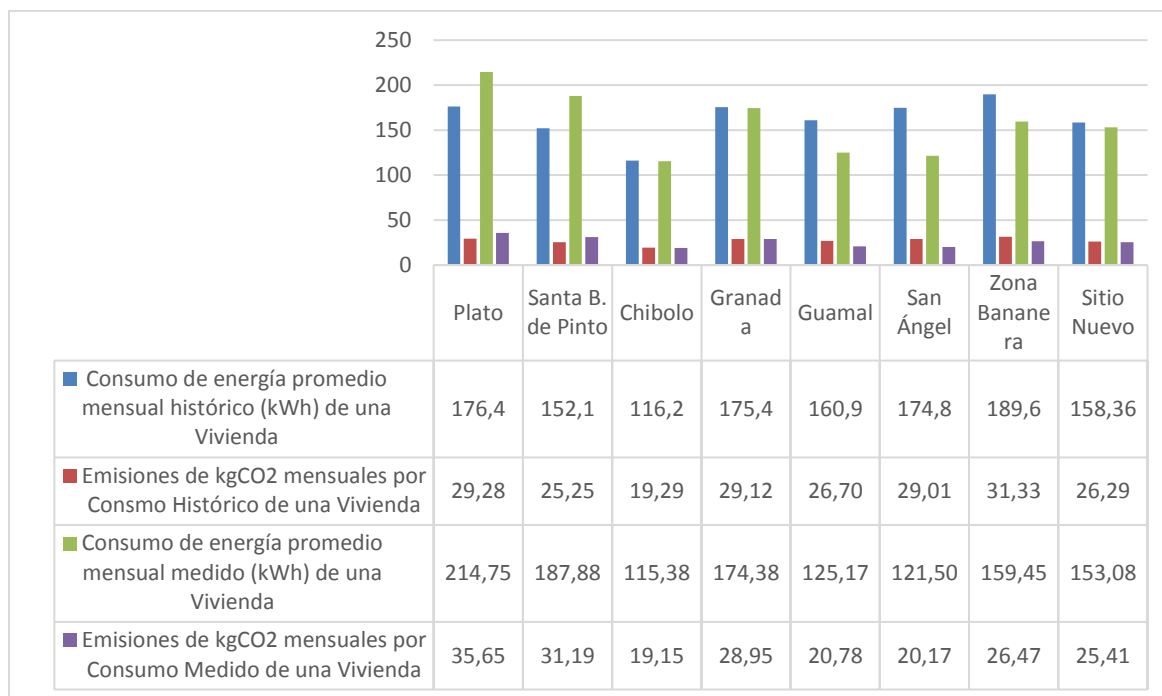


Figura 33. Emisiones de kgCO₂ y consumo energético promedio mensual de una vivienda para escenarios histórico y actual

Fuente. Elaboración propia

4.5 Variación en las Emisiones Evitadas de CO₂

4.5.1. Escenario ideal

En este primer escenario se muestran las emisiones de CO₂ evitadas con la implementación de los sistemas FV, considerando el escenario ideal donde cada sistema FV instalado es utilizado por los usuarios en su capacidad de generación máxima de 6kWh por día. Se utilizaron los datos de consumo energético reportados por los equipos de medición (-2020-2021), puesto que son los más actualizados y cubren a los 8 municipios en estudio. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 18. Emisiones mensuales generadas versus emisiones ideales evitadas por una vivienda en cada municipio (Escenario ideal)

Municipio	Consumo promedio mensual por Vivienda (kWh)	Emisiones kgCO ₂ mensual por una vivienda	Generación mensual ideal de los Sistemas FV en una Vivienda (kWh)	Emisiones kgCO ₂ mensuales Ideales Evitadas con los Sistemas FV en una Vivienda
Plato	214,75	35,65	180	29,88
Santa B. de Pinto	187,88	31,19	180	29,88
Chibolo	115,38	19,15	180	29,88
Granada	174,38	28,95	180	29,88
Guamal	125,17	20,78	180	29,88
San Ángel	121,50	20,17	180	29,88
Zona Bananera	159,45	26,47	180	29,88
Sitio Nuevo	153,08	25,41	180	29,88

Fuente. Elaboración propia

En la Figura 34 se muestran solamente los datos de emisiones mensuales de una vivienda en comparación con las emisiones ideales evitadas con la implementación de los sistemas fotovoltaicos. Se puede observar que en algunos casos las emisiones evitadas superan a las emisiones generadas, puesto que el consumo eléctrico de una vivienda en promedio es inferior a la capacidad de generación de un sistema FV.

Esta situación significa que para esos usuarios no se tendrían emisiones de CO₂ por consumo energético, puesto que los sistemas FV suplen toda su necesidad energética mensual. Esto sucede para todos los municipios con excepción de Plato y Santa Bárbara de Pinto.

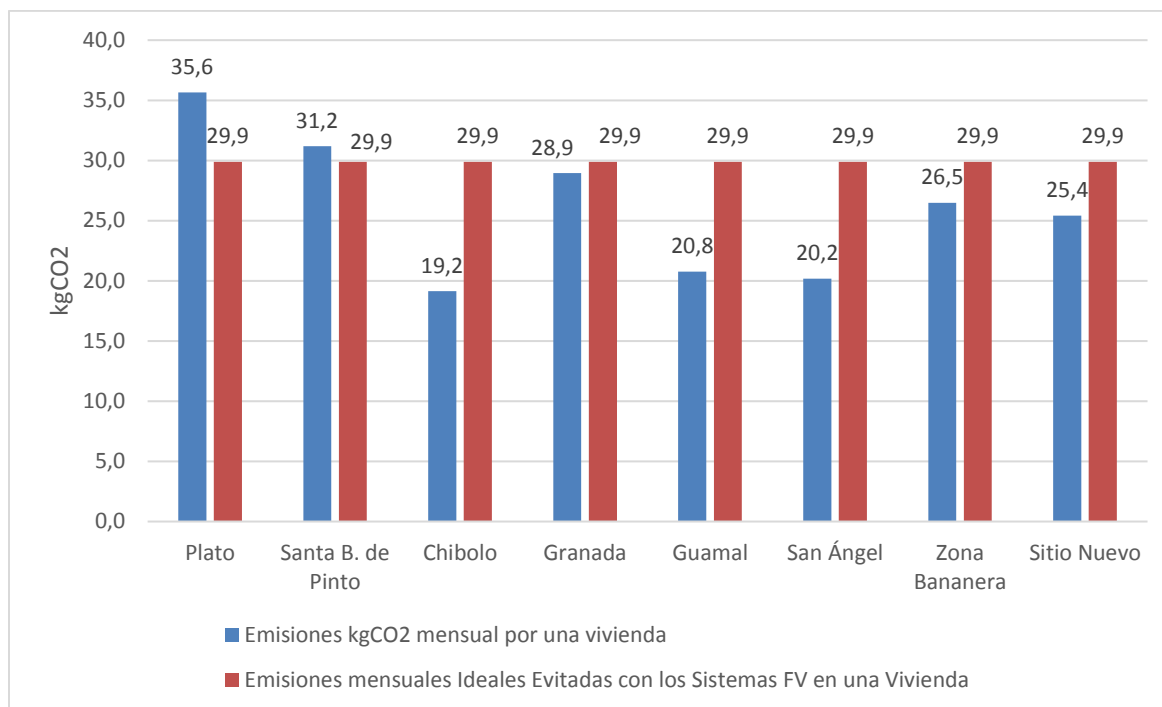


Figura 34. Emisiones de kgCO₂ mensuales versus emisiones ideales evitadas con los sistemas FV en una vivienda

Fuente. Elaboración propia

Finalmente, en este escenario se calcularon las emisiones generadas y las emisiones evitadas con los sistemas FV, considerando todas las viviendas intervenidas en el proyecto:

15 viviendas en total por municipio, de las cuales 5 viviendas tienen sistema FV por municipio

En la siguiente figura se muestran los resultados obtenidos, además, en la siguiente tabla se pueden ver los datos en más detalle, con el porcentaje ideal de emisiones evitadas con los sistemas FV mensualmente, considerando todas las 120 viviendas intervenidas: 15 viviendas por municipio, con 8 municipios intervenidos.

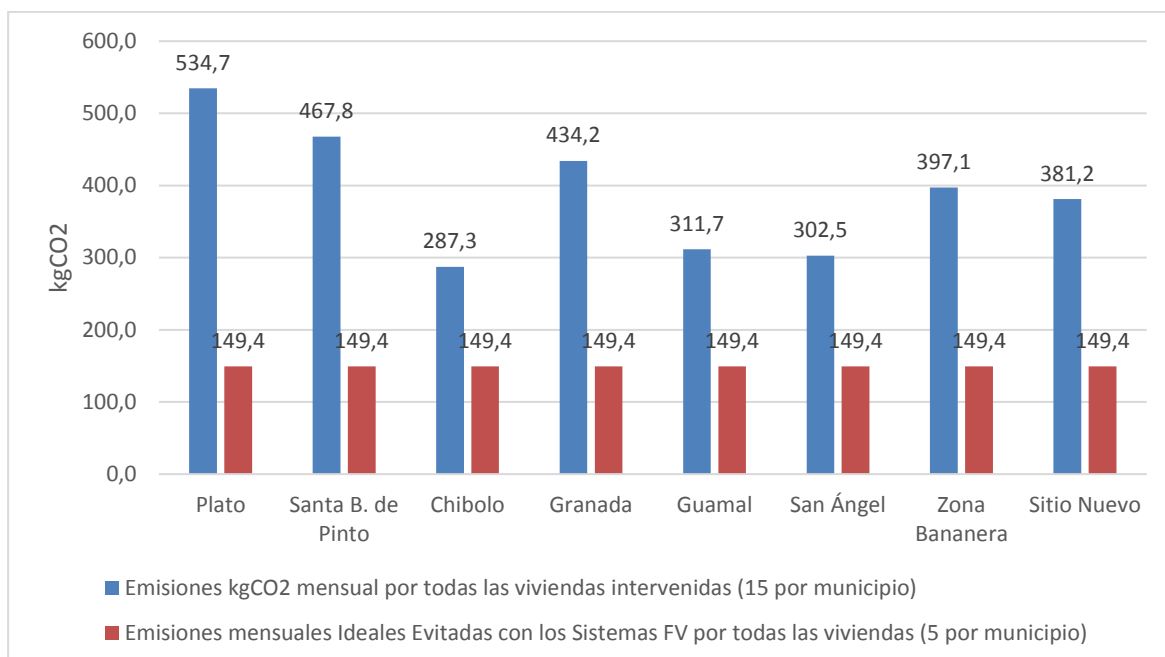


Figura 35. Emisiones generadas vs las emisiones ideales evitadas con los sistemas FV, considerando todas las 120 viviendas intervenidas en el proyecto

Fuente. Elaboración propia

Tabla 19. Porcentaje de emisiones ideales mensuales evitadas por municipio considerando todas las 120 viviendas intervenidas

Municipio	Emisiones kgCO2 mensual por todas las viviendas intervenidas (15 por municipio)	Emisiones mensuales Ideales Evitadas con los Sistemas FV por todas las viviendas (5 por municipio)	Porcentaje de Emisiones Mensuales Ideales Evitadas por el Proyecto Global
Plato	534,73	149,4	27,9%
Santa B. de Pinto	467,81	149,4	31,9%
Chibolo	287,28	149,4	52,0%
Granada	434,19	149,4	34,4%
Guamal	311,67	149,4	47,9%
San Ángel	302,54	149,4	49,4%
Zona Bananera	397,05	149,4	37,6%
Sitio Nuevo	381,15	149,4	39,2%

Fuente. Elaboración propia

4.5.2. Escenario con Generación FV medida

En este escenario se calculan las emisiones mensuales evitadas por municipio partiendo de la generación real de los sistemas FV, las cuales fueron obtenidas de los equipos de medición instalados en las viviendas. El propósito de este escenario es establecer la reducción real de la huella de carbono que se está logrando y poder comparar con el potencial que se puede alcanzar, definido por el escenario ideal. En la siguiente tabla se muestran las emisiones evitadas por municipio en promedio para una vivienda.

Tabla 20. Emisiones mensuales generadas versus emisiones reales evitadas por una vivienda en cada municipio (Escenario ideal)

Municipio	Consumo promedio mensual por Vivienda (kWh)	Emisiones kgCO ₂ mensual por una vivienda	Generación mensual medida de los Sistemas FV en una Vivienda (kWh)	Emisiones kgCO ₂ mensuales Evitadas con los Sistemas FV instalados en una Vivienda
Plato	214,75	35,65	84,3	13,99
Santa B. de Pinto	187,88	31,19	75,8	12,58
Chibolo	115,38	19,15	50	8,30
Granada	174,38	28,95	70,3	11,67
Guamal	125,17	20,78	51,6	8,57
San Ángel	121,50	20,17	51,3	8,52
Zona Bananera	159,45	26,47	63,2	10,49
Sitio Nuevo	153,08	25,41	63,2	10,49

Fuente. Elaboración propia

En la Figura 36 se muestra el porcentaje de emisiones reales que se evita en una vivienda en promedio por municipio, mientras que en la Figura 37 se pueden observar las emisiones evitadas considerando las 120 viviendas intervenidas.

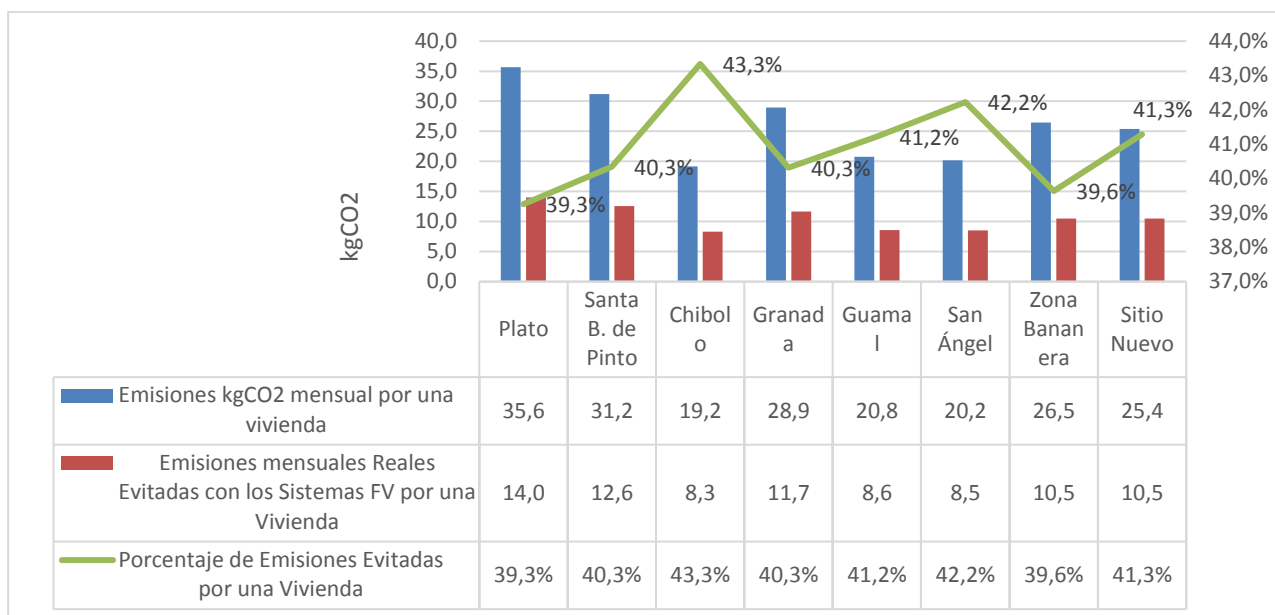


Figura 36. Emisiones de kgCO₂ mensuales versus emisiones reales evitadas con los sistemas FV en una vivienda

Fuente. Elaboración propia

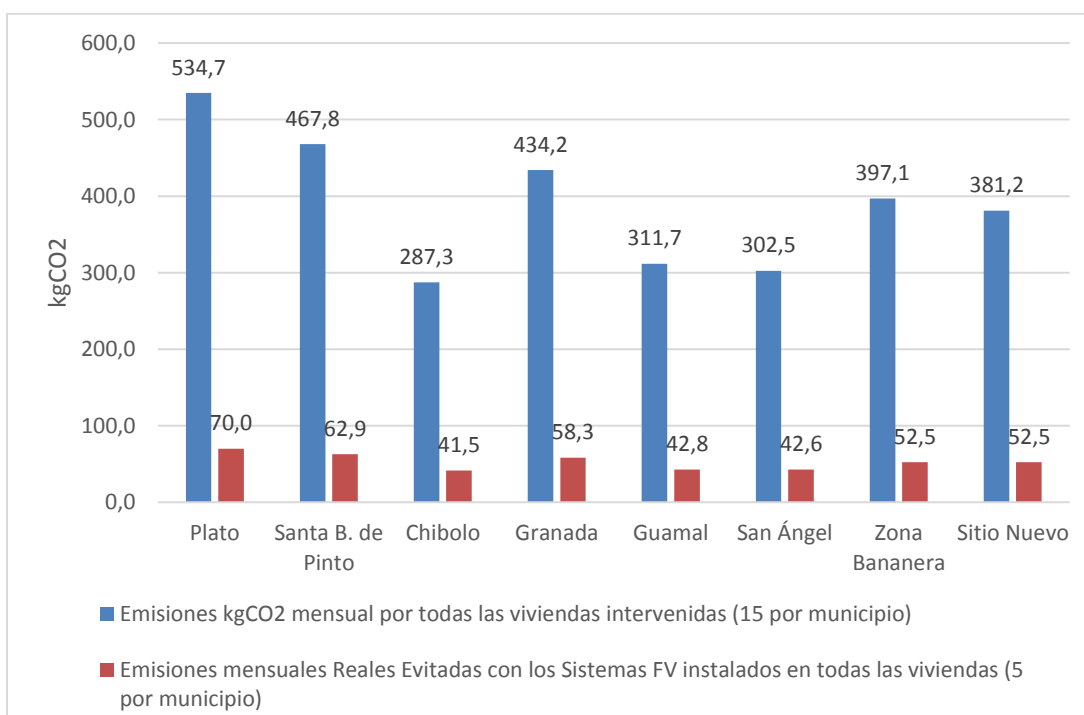


Figura 37. Emisiones generadas vs las emisiones reales evitadas con los sistemas FV, considerando todas las 120 viviendas intervenidas en el proyecto

Fuente. Elaboración propia

En la siguiente tabla se puede ver en detalle el porcentaje de emisiones evitadas por cada municipio teniendo en cuenta todas las viviendas del proyecto.

Tabla 21. Porcentaje de emisiones mensuales reales evitadas por municipio considerando todas las 120 viviendas intervenidas

Municipio	Emisiones kgCO ₂ mensual por todas las viviendas intervenidas (15 por municipio)	Emisiones kgCO ₂ mensuales Evitadas con los Sistemas FV instalados por todas las viviendas (5 por municipio)	Porcentaje de Emisiones Mensuales Evitadas por el Proyecto Global
Plato	534,73	69,97	13,1%
Santa B. de Pinto	467,81	62,91	13,4%
Chibolo	287,28	41,50	14,4%
Granada	434,19	58,35	13,4%
Guamal	311,67	42,83	13,7%
San Ángel	302,54	42,58	14,1%
Zona Bananera	397,05	52,46	13,2%
Sitio Nuevo	381,15	52,46	13,8%
Total Emisiones Evitadas en un mes		423,05 kgCO₂	

Fuente. Elaboración propia

Finalmente, en la siguiente tabla se muestran los porcentajes de emisiones evitadas por vivienda y en el proyecto global, para los escenarios considerados: con generación máxima del sistema FV y con generación real entregada por los sistemas FV.

Esta tabla comparativa permite ver el potencial de los sistemas FV para evitar porcentajes de emisiones mayores en comparación con las que se están presentando actualmente, lo que indica que los usuarios están subutilizando los sistemas FV. Es decir, se podría aprovechar la máxima capacidad de generación (6kWh diarios) o un porcentaje similar (5,5 kWh diarios determinado por 5,5 horas sol), con el fin de aproximar el escenario real de reducción de emisiones al escenario ideal o potencial para reducir la huella de carbono.

Tabla 22. Resumen de porcentaje de emisiones mensuales evitadas por municipio considerando todas las 120 viviendas intervenidas (Escenarios Ideal y Real)

Municipio	Porcentaje Ideal de Emisiones Evitadas por una Vivienda	Porcentaje Real de Emisiones Evitadas por una Vivienda	Porcentaje Ideal de Emisiones Evitadas por Todo el Proyecto (120 Viviendas)	Porcentaje Real de Emisiones Evitadas por Todo el Proyecto (120 Viviendas)
Plato	83,8%	39,3%	27,9%	13,1%
Santa B. de Pinto	95,8%	40,3%	31,9%	13,4%
Chibolo	156,0%	43,3%	52,0%	14,4%
Granada	103,2%	40,3%	34,4%	13,4%
Guamal	143,8%	41,2%	47,9%	13,7%
San Ángel	148,1%	42,2%	49,4%	14,1%
Zona Bananera	112,9%	39,6%	37,6%	13,8%
Sitio Nuevo	117,6%	41,3%	39,2%	13,8%

Fuente. Elaboración propia

4 Conclusiones

Luego de finalizar la presente investigación podemos concluir que se dio cumplimiento a los objetivos y metodología planteados para el proyecto, con relación a la medición de la efectividad de los sistemas climáticos eficientes implementados en ocho municipios del departamento del Magdalena en la variación de emisiones de CO₂.

Una de las ventajas al momento de realizar el estudio del proyecto, fue la metodología que se utilizó para dar forma al cuerpo de este, la organización propia y el poder tener la información de consumos históricos de las viviendas a las que se le realizó el proceso de instalación de soluciones. También se destaca la información tomada de estudios previos realizados por la UPME que permitieron utilizar el factor de emisión para establecer las variaciones en la huella de carbono.

La implementación de la solución fotovoltaica generó un porcentaje favorable con respecto al ahorro de los consumos de energía de la red convencional. Este ahorro de energía genera una disminución significativa en las emisiones de CO₂, lo cual quiere decir, que a largo plazo, si más viviendas por cada uno de los municipios de estudio tuvieran la iniciativa de implementar la solución fotovoltaica, el ahorro de energía y la disminución de emisiones totales sería mucho mayor y más significativa a nivel departamental.

Con respecto a los datos arrojados por los sensores instalados para verificar la eficiencia en el acondicionamiento de las vivienda con el fin de disminuir el uso de aparatos eléctricos utilizados para mitigar las altas temperaturas que se presentan en la zona de estudio, se evidenció que fue deficiente el resultado, esto se debe a que a temperaturas extremas, las pinturas termoaislantes mitigan en un porcentaje casi imperceptible la sensación térmica en los hogares, por ende, el uso de aparatos electrónicos de acondicionamiento se siguen utilizando con la misma frecuencia como se hacía antes de la aplicación de las pinturas.

De los inconvenientes presentados en el transcurso del desarrollo del proyecto uno que tuvo una mayor relevancia fue el de no tener la suficiente información de consumo de energía de estas viviendas una vez les fue instalada la solución fotovoltaica. Cuando llegó el momento de hallar la huella de carbono para estas viviendas con la solución fotovoltaica implementada, estas no tenían información suficiente para abordar el estudio, por lo cual,

se optó por realizar un muestreo con la información disponible, relacionándola con los registros históricos de las viviendas de las cuales se obtuvo esta información para así, realizar una estimación global para todas las viviendas y municipios involucrados.

Otro de los inconvenientes fue que, cuando se realizó una revisión exhaustiva de la base de datos de los registros históricos para compararlos con la base de datos que arrojaba los registros de consumo cuando les fue empleada a estas viviendas las soluciones. Muchos de los titulares involucrados en la base de datos del registro histórico no fueron hallados en la base de datos con las soluciones implementadas, por lo que se optó por trabajar solo con el personal que concordaba en las dos bases de datos, esto produjo una reducción del estudio del personal significativo.

Como trabajo futuro se pueden abordar las mediciones de otros gases que afectan también la huella de carbono emitida por la red convencional que son el dióxido de azufre SO_2 y el óxido de nitrógeno NO_x además de otro gas emitido por las subestaciones que abastecen de dicha energía que es el metano que es uno de los principales contaminantes de la atmosfera, puesto que estos también son importantes para lograr una mayor eficiencia en la reducción de la Huella de carbono con las soluciones implementadas. También, realizar una aplicación más controlada de las soluciones termoaislantes para poder medir su efectividad nuevamente.

Bibliografía

- [1] A. Y. S. Pratama, Aliasuddin, and T. C. Dawood, "Energy use, economic growth, energy subsidies, co2 emissions towards population growth," *Opcion*, vol. 36, no. SpecialEdition26, 2020.
- [2] J. Campo Robledo and W. Olivares, "Relación entre las emisiones de co2, el consumo de energía y el pib: el caso de los civets," *Semestre económico*, vol. 16, no. 33, 2013, doi: 10.22395/seec.v16n33a2.
- [3] H. J. Andrade-Castañeda, C. C. Arteaga-Céspedes, and M. A. Segura-Madrigal, "Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia)," *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol. 18, no. 1, Dec. 2016, doi: 10.21930/rcta.vol18_num1_art:561.
- [4] UPME and USAID, "Estudio de generación eléctrica bajo escenario de cambio climático." Accessed: Apr. 26, 2021. [Online]. Available: http://www1.upme.gov.co/documents/generacion_electrica_bajo_escenarios_cambio_climatico.pdf
- [5] G. A. Forero Cantor, J. P. Saldarriaga Muñoz, and M. Vargas Romero, "Cambio climático: impactos y perspectivas de investigación desde una visión multidisciplinar," *Tendencias*, vol. 18, no. 2, Nov. 2017, doi: 10.22267/rtend.171802.80.
- [6] D. M. Hernández Narváez, A. M. Vega Cabrera, A. P. Zamora Bornachera, and P. C. Sierra Correa, "El cambio climático y los impactos socioeconómicos sobre la zona costera e insular colombiana," *Bulletin of Marine and Coastal Research*, vol. 48, no. 2, 2019, doi: 10.25268/bimc.invemar.2019.48.2.764.
- [7] A. Salazar-Ceballos, N. Freyle, G. Tamara, and L. Álvarez-Miño, "Percepción sobre riesgo al cambio climático como una amenaza para la salud humana, Taganga, Santa marta, 2014.," *Luna Azul*, vol. 43, May 2016, doi: 10.17151/luaz.2016.43.6.
- [8] I. C. C. Islas, "Emisiones de CO2 en hogares urbanos. El caso del Distrito Federal," *Estudios Demograficos y Urbanos*, vol. 31, no. 1, 2016.
- [9] M. R. Mula Molina, "Huella de carbono real y estimada de una vivienda unifamiliar. Propuestas para su reducción," Alicante, 2014.
- [10] G. Benito Molina and K. Ruíz Calderón, "Análisis beneficio-costos de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el campus aguas claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, Meta," Villavicencio, 2018.
- [11] H. Schneider and J. L. Samaniego, "La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios," Francia, 2010.

- [12] K. Mutis, "ANÁLISIS DE LA GUÍA METODOLÓGICA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO CORPORATIVA A NIVEL SECTORIAL DE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA," Bogotá, 2016.
- [13] IEA, "CO2 emissions from fuel combustion database," USA, 2020.
- [14] UPME, "Cálculo del Factor de Emisión de Co2 del SIN," 2020.
- [15] FIIAPP, "Spanish Cooperation at COP25," Dec. 03, 2019.
- [16] "G-Cover," *Thermo-skold*, May 03, 2021. <http://g-cover.mx/thermo-skold/> (accessed May 02, 2021).
- [17] CIOH, "Climatología del Caribe," *Clima Santa Marta*, 2021.