

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS Y ESTRATÉGIAS SOSTENIBLES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LAS VIVIENDAS DE UN CONJUNTO RESIDENCIAL, CASO DE ESTUDIO “CONJUNTO NUEVA ESPERANZA II”.



OSCAR DANIEL JIMENEZ PRIETO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2025

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ALTERNATIVAS Y ESTRATÉGIAS SOSTENIBLES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LAS VIVIENDAS DE UN CONJUNTO RESIDENCIAL, CASO DE ESTUDIO “CONJUNTO NUEVA ESPERANZA II”.

OSCAR DANIEL JIMENEZ PRIETO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director

Ing. Mg. ALFONSINA BOCANEGRA GÓMEZ

Ingeniera Industrial

Magister en Formulación y gestión de proyectos

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO

2025

**Autoridades Académicas**

**P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.**

Rector General

**Fray Eduardo GONZÁLEZ GIL, O.P.**

Vicerrector Académico General

**P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.**

Rector Seccional Villavicencio

**P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O. P.**

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

**Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN**

Secretaria General Seccional Villavicencio

**Mg. Luis Fernando DÍAZ CRUZ**

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil

## **Agradecimientos**

Primeramente, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes han sido mi mayor apoyo a lo largo de este camino. Gracias por brindarme siempre el respaldo, el amor y la confianza necesarios para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Sin su presencia constante, este logro no habría sido posible.

A mis abuelas, por estar siempre para mí con su cariño incondicional, sus palabras de aliento y su presencia firme en cada etapa de mi vida. Gracias por enseñarme el valor de la perseverancia y por ser un refugio en los días complicados.

A mis tías y tíos, por darme ánimo cuando más lo necesitaba, por sus consejos sinceros y por creer en mí cuando incluso yo dudaba. Su apoyo ha sido clave para mantenerme firme en esta meta.

Finalmente, a mis amigos, quienes me han acompañado a lo largo de la carrera, compartiendo alegrías, retos y aprendizajes. Gracias por su compañía, por las risas compartidas y por hacer de esta etapa un recuerdo imborrable.

## Contenido

Resumen .....	10
Abstract .....	11
Glosario .....	12
1. Alcance .....	14
2. Planteamiento .....	15
3. Objetivos.....	17
3.1 Objetivo general.....	17
3.2 Objetivos específicos .....	17
4. Justificación .....	18
5. Estado del arte.....	20
5.1 Antecedentes.....	20
5.2 Marco teórico.....	22
6. Marco legal .....	27
7. Marco conceptual.....	28
8. Metodología.....	30
8.1 Primera fase: Análisis de las condiciones climáticas de Villavicencio. ....	30
8.1.1 Análisis de variables climáticas .....	30
8.1.2 Recopilación de Datos Climáticos y Poblacionales en Villavicencio .....	31
8.1.3 Identificación de Oportunidades para implementar tecnologías sostenibles	31
8.2 Fase 2: Evaluar la viabilidad económica de la implementación de tecnologías sostenibles (sistemas de energía fotovoltaica y sistemas de captación de agua de lluvia).....	31
8.2.1 Consideraciones específicas locales .....	32
8.2.2 Identificación de consumos.....	32
8.2.3 Selección de sistemas adecuados .....	32
8.2.4 Evaluación de recursos .....	32
8.2.5 Diseño para la implementación de tecnologías sostenibles .....	33
8.3 Fase 3: Determinar las ventajas y desventajas de la implementación de tecnologías sostenibles en conjuntos residenciales .....	33
8.3.1 Evaluación de viabilidad económica .....	33

8.3.2	Análisis de impactos económicos y ambientales .....	34
8.3.3	Identificación de beneficios .....	34
8.3.4	Comparación de los resultados antes y después de la implementación del sistema .....	34
9.	Resultados.....	35
9.1	Análisis para la implementación del sistema fotovoltaico .....	35
9.1.1	Condiciones climáticas de Villavicencio y su potencial solar .....	35
9.2	Evaluación de la viabilidad económica de la implementación de un sistema fotovoltaico .....	45
9.2.1	Evaluación de recursos .....	45
9.2.2	Selección de sistemas adecuado.....	46
9.2.3	Listado de materiales y valoración económica del Sistema Solar Aislado...	47
9.2.4	Diseño preliminar del sistema fotovoltaico .....	48
9.3	Ventajas de la implementación del sistema fotovoltaico.....	51
9.3.1	Evaluación de viabilidad económica .....	51
9.3.2	Impacto económico y ambiental de la implementación del sistema fotovoltaico .....	51
9.3.3	Identificación de beneficios .....	52
9.3.4	Beneficios económicos y ambientales .....	59
9.3.5	Desventajas del sistema fotovoltaico .....	59
10.	Análisis del aprovechamiento de aguas lluvias y estrategias complementarias de gestión hídrica .....	61
10.1	Condiciones climáticas de Villavicencio y su precipitación .....	61
10.1.1.	Oportunidades de implementación de tecnologías sostenibles .....	62
10.1.2.	Análisis del consumo de agua .....	63
10.2	Evaluación de la viabilidad económica de tecnologías sostenibles.....	64
10.2.1.	Evaluación de recursos.....	64
10.2.2.	Selección de sistemas adecuados .....	65
10.2.3.	Consideraciones específicas locales.....	66
10.2.4.	Diseño preliminar del sistema y estrategias de ahorro de agua.....	69
10.3.	Ventajas de la implementación.....	74

10.3.1.	Evaluacion de la viabilidad económica.....	74
10.3.2.	Identificacion de beneficios .....	75
10.3.3.	Impacto económico y ambiental .....	76
10.3.4.	Comparacion antes y después del sistema de recolección y estrategias ....	77
11.	Experiencias favorables de tecnologías sostenibles .....	79
Conclusiones	.....	81
Bibliografía	.....	82
Anexos	.....	88

**Listado de tablas**

Tabla 1 Leyes y normativas aplicables a la vivienda ecosostenible .....	27
Tabla 2 radiación solar .....	36
Tabla 3 Promedios de radiacion solar .....	37
Tabla 4 Promedio de consumo energético .....	44
Tabla 5 Proveedores del servicio del sistema fotovoltaico .....	45
Tabla 6 Características de los elementos del sistema solar aislado .....	47
Tabla 7 Dimensiones .....	48
Tabla 8 Previsualización final del sistema fotovoltaico .....	50
Tabla 9 Costo renovación de baterías .....	52
Tabla 10 Excedente de energía .....	53
Tabla 11 Consumo de energía .....	54
Tabla 12 Costo anual de energía fotovoltaica .....	55
Tabla 13 Viabilidad del sistema fotovoltaico. ....	56
Tabla 14 Promedio de consumo de agua .....	64
Tabla 15 Empresas y Locales en Villavicencio para Adquirir Materiales .....	64
Tabla 16 Materiales para sistema de recolección y captación de aguas lluvia .....	65
Tabla 17 Materiales para recolección y reducción consumo de agua .....	69
Tabla 18 Viabilidad del consumo del agua .....	74
Tabla 19 Comparación antes y después de la implementación .....	77

**Listado de figuras**

Figura 1 Ubicación Geográfica Villavicencio-Meta.....	14
Figura 2 Promedio energía solar .....	35
Figura 3 Comparacion promedios de radiacion solar. ....	38
Figura 4 Distribución por tipo de hogar.....	40
Figura 5 Ubicación Conjunto nueva esperanza 2 .....	41
Figura 6 Vivienda del conjunto residencial .....	42
Figura 7 Conjunto nueva esperanza 2, medidas.....	43
Figura 8 Consumos de energía.....	44
Figura 9 Promedio Consumo Electricidad kWh/mes.....	45
Figura 10 Justificación sistema aislado.....	46
Figura 11 Diseño preliminar del sistema fotovoltaico .....	48
Figura 12 Precipitaciones mensuales .....	61
Figura 13 Consumos de Agua.....	63
Figura 14 Promedio Consumo Agua m3/mes.....	64
Figura 15 Ejemplo diseño recoleccion aguas lluvia .....	67
Figura 16 Elementos para el sistema de recoleccion .....	70
Figura 17 Bomba para el sistema de recoleccion.....	70
Figura 18 Esquema funcional del sistema de captación de aguas lluvias en vivienda .....	70
Figura 19 Esquema funcional del sistema de captación, filtrado y distribución de aguas lluvias en vivienda.....	71
Figura 20 Diseño estrategias de ahorro.....	72
Figura 21 costo mensual consumo de agua en vivienda .....	75

## Resumen

Este proyecto propone una alternativa sostenible para el conjunto residencial Nueva Esperanza II, en Villavicencio, a través de la implementación de paneles solares fotovoltaicos y sistemas para el aprovechamiento del agua lluvia y aguas grises. La investigación parte del análisis del contexto climático, social y económico de la zona, con el objetivo de diseñar soluciones prácticas y accesibles para los hogares, promoviendo el uso eficiente de los recursos naturales.

La energía solar, gracias a la alta radiación solar de la región, se presenta como una opción viable para cubrir las necesidades eléctricas de una vivienda promedio. Además de reducir significativamente el costo del servicio, la instalación de paneles permite incluso generar un pequeño excedente de energía, lo que abre la posibilidad de obtener ingresos adicionales mediante la venta a la red eléctrica. Esto mejora notablemente la rentabilidad del sistema y hace más atractivo el retorno de la inversión a largo plazo. Por otro lado, se proponen soluciones sencillas y de bajo costo para el uso del agua, como la recolección de aguas lluvias desde los techos y el tratamiento casero de aguas grises provenientes de la lavadora. Estas prácticas permiten disminuir considerablemente el consumo de agua potable, especialmente en actividades como el lavado de pisos, riego de jardines y descarga de inodoros. El resultado es una reducción significativa en el gasto mensual del servicio de acueducto, además de un uso más consciente y responsable del recurso hídrico.

Más allá del ahorro económico, este modelo de vivienda sostenible busca generar un impacto positivo en el entorno, contribuir a la lucha contra el cambio climático y fomentar una cultura ambiental dentro de la comunidad. Al integrar energías limpias y tecnologías de bajo impacto, se fortalece la resiliencia urbana y se avanza hacia el cumplimiento de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible. En definitiva, se trata de una propuesta que demuestra que la sostenibilidad no es un lujo, sino una oportunidad real y alcanzable para mejorar la calidad de vida en los hogares colombianos.

**Palabras clave:** Vivienda sostenible, energías renovables, sistema fotovoltaico, captación de aguas lluvias, eficiencia energética, desarrollo sostenible.

### **Abstract**

This project presents a sustainable alternative for the Nueva Esperanza II residential complex in Villavicencio, through the implementation of photovoltaic solar panels and systems for rainwater harvesting and greywater reuse. The research begins with an analysis of the climatic, social, and economic context of the area, aiming to design practical and affordable solutions for households while promoting the efficient use of natural resources. Solar energy, supported by the region's high solar radiation, emerges as a viable option to meet the average household's electricity needs. In addition to significantly reducing electricity bills, the installation of panels may even generate a small energy surplus, which opens the door to potential income through sales to the national grid. This improves the system's overall profitability and makes long-term investment more appealing. On the other hand, simple and low-cost water management solutions are proposed, such as rainwater collection from rooftops and basic treatment of greywater from washing machines. These practices can greatly reduce potable water use, especially for activities like floor cleaning, garden irrigation, and toilet flushing. The result is a notable decrease in monthly water bills, alongside a more conscious and responsible use of water.

Beyond economic savings, this sustainable housing model seeks to generate a positive environmental impact, contribute to climate change mitigation, and promote environmental awareness within the community. By integrating clean energy and low-impact technologies, the project strengthens urban resilience and supports the achievement of several Sustainable Development Goals. Ultimately, it demonstrates that sustainability is not a luxury, but a real and attainable opportunity to improve the quality of life for Colombian households.

**Keywords:** Sustainable housing, renewable energy, photovoltaic system, rainwater harvesting, energy efficiency, sustainable development.

## Glosario

- **Vivienda sostenible:** Tipo de edificación diseñada para reducir su impacto ambiental, optimizando el uso de recursos naturales y promoviendo un estilo de vida más responsable.
- **Energías renovables:** Fuentes de energía que se obtienen de recursos naturales inagotables como el sol, el viento o el agua, y que no generan emisiones contaminantes al producir electricidad.
- **Sistema fotovoltaico:** Tecnología que permite transformar la energía solar en electricidad mediante el uso de paneles solares.
- **Ahorro hídrico:** Conjunto de prácticas y tecnologías orientadas a reducir el consumo de agua potable en las actividades diarias.
- **Reutilización de aguas grises:** Uso nuevamente del agua residual generada por lavamanos, duchas o lavadoras para fines no potables como riego o descarga de sanitarios.
- **Captación de aguas lluvias:** Proceso de recolección y almacenamiento del agua que cae con las precipitaciones para ser usada en tareas domésticas o agrícolas.
- **Autogeneración distribuida:** Producción de energía eléctrica por parte del propio consumidor, generalmente con sistemas renovables, que puede ser utilizada para su consumo o para inyectarse a la red eléctrica.
- **Transición energética:** Cambio progresivo de un modelo basado en combustibles fósiles hacia uno sustentado en energías limpias y sostenibles.
- **Impacto ambiental:** Consecuencias que una actividad humana genera sobre el entorno natural, incluyendo el aire, el agua, el suelo, la flora y la fauna.
- **Eficiencia energética:** Uso racional y óptimo de la energía para lograr un mismo resultado con un menor consumo y menor impacto ambiental.
- **Consumo responsable:** Práctica de adquirir y utilizar productos o servicios de manera consciente, evaluando su procedencia, durabilidad e impacto en el ambiente y la sociedad.
- **Cambio climático:** Transformación global del clima debido principalmente a actividades humanas que emiten gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono.
- **Desarrollo sostenible:** Modelo de crecimiento que busca satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas.

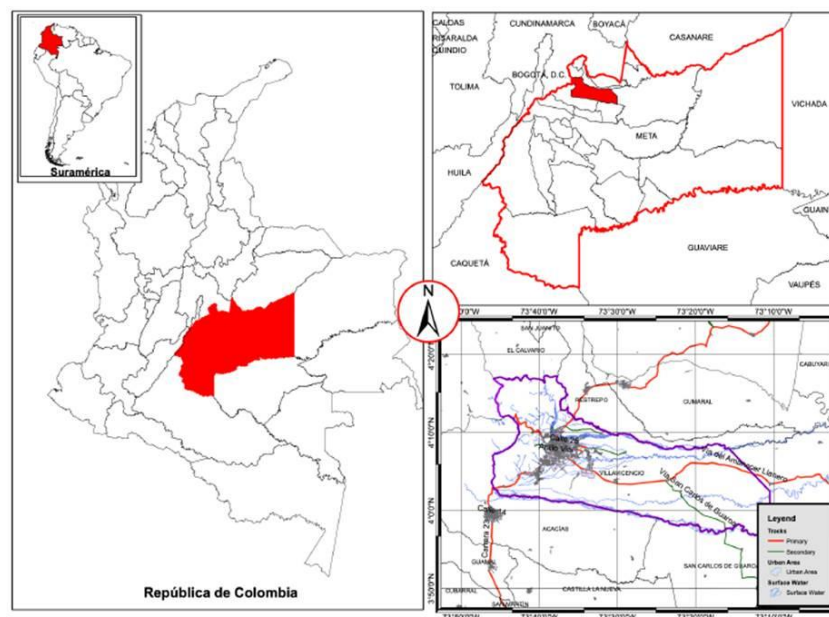
- **Soluciones ecoeficientes:** Estrategias o tecnologías que permiten hacer un uso eficiente de los recursos naturales, generando el menor impacto ambiental posible.
- **Innovación ambiental:** Desarrollo de nuevas ideas, productos o procesos que buscan mejorar la relación entre las actividades humanas y el medio ambiente.

## 1. Alcance

Esta investigación se centra en el análisis climático de Villavicencio, Colombia, una ciudad de la región de la Orinoquía. El clima es tropical lluvioso, con temperaturas que van de 20°C a 39°C y una precipitación anual variable. De igual manera, la radiación solar varía en la ciudad, dividiéndola en dos áreas, aproximadamente el 43% del área urbana experimenta niveles de radiación solar muy altos, de 4.5 a 5.0 kWh/m<sup>2</sup>/día en la parte occidental, mientras que el 17% restante tiene niveles altos de 4.0 a 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día en la zona oriental, lo que propicia la adecuación de tecnologías para el uso de este recurso en la generación de energías fotovoltaicas. Estas condiciones climáticas hacen de Villavicencio un entorno favorable para la implementación de tecnologías sostenibles. (Universidad distrital Francisco Jose de Caldas, 2020)

La investigación no se limitará solo al análisis climático, sino que también se centrará en la evaluación de la viabilidad económica de incorporar tecnologías sostenibles en un conjunto residencial de esta región, así como su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Además, se explorarán los beneficios potenciales que esta iniciativa podría aportar a la población de Villavicencio, mejorando su calidad de vida y promoviendo prácticas sostenibles que beneficien tanto al entorno como a la comunidad local.

*Figura 1 Ubicación Geográfica Villavicencio-Meta*



Nota.: Elaborado por Jorge Eliécer Pardo Mayorga. Universidad Santo Tomás, Sede Villavicencio, 2021.

## 2. Planteamiento

El crecimiento poblacional en Colombia, especialmente en áreas urbanas, plantea varios desafíos ambientales y climáticos relacionados con la construcción y ocupación de viviendas. De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia, este fenómeno ha traído consigo problemas como mayor demanda de servicios básicos como agua potable y electricidad. Esta situación puede llevar a una explotación insostenible de recursos hídricos y un aumento en la quema de combustibles fósiles para la generación de energía, contribuyendo así a las emisiones de gases de efecto invernadero y al cambio climático. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2023). A medida que la población aumenta, la demanda de agua potable se intensifica. A pesar de que Colombia cuenta con una gran cantidad de recursos hídricos, el país enfrenta desafíos en la gestión sostenible del agua debido a la contaminación, la explotación excesiva y la distribución desigual de los recursos hídricos (Alcaldía de Villavicencio, 2020). Además, el aumento de la población y la urbanización en Villavicencio, Colombia, conlleva un incremento significativo en la demanda de energía eléctrica, en muchos casos, la generación de energía en la región aún depende en gran medida de combustibles fósiles, lo que no solo contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también genera problemas de contaminación del aire en áreas urbanas. (Plan Regional Integral de Cambio Climático para la Orinoquía (PRICCO), 2018).

Asimismo, el uso generalizado de materiales de construcción convencionales como ladrillos, concreto, techos de zinc y bloques de cemento ha generado impactos ambientales significativos. Según el centro de estudios británico Chatham House, aunque el cemento sea catalogado como el ingrediente clave, no solo ha dado forma a gran parte de las construcciones que nos rodean, también deja una enorme huella de carbono, es la fuente de aproximadamente el 8% de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del mundo (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2022). En cuanto a los techos de zinc, se ha demostrado que contribuyen al fenómeno de la "isla de calor" en áreas urbanas, se presentan altas temperaturas según el IDEAM que ha alcanzado temperaturas superiores a 36°C. Además, los bloques de cemento, que son ampliamente utilizados en la construcción de viviendas, requieren grandes cantidades de energía en su producción, representando aproximadamente el 7% del consumo global de energía industrial (García Saavedra, 2020).

En el contexto demográfico, según el censo realizado por el DANE, el departamento del Meta tiene 1,039.722 habitantes en 2018 con una proyección poblacional para el 2023 de 1.080.706 habitantes. Al mismo tiempo, Villavicencio, cuenta con una población para el 2018 de 531.275 habitantes con una proyección de población para el 2023 de 554.173 habitantes (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2018). En relación a lo anterior, estos números reflejan un incremento poblacional de aproximadamente 3.94% para el departamento del Meta y el valor aproximado de 4.31% para Villavicencio en tan solo cinco años, este notable incremento aborda la creciente demanda de viviendas.

Respecto a la calidad de vida de los habitantes, los principales indicadores de Villavicencio-Meta, según datos proporcionados por el DANE, recopilan información de la calidad de vida de los habitantes. En él se incluye el déficit cuantitativo y el déficit cualitativo, los cuales analizan características como el tipo de vivienda, materialidad y acceso a servicios básicos. (Parra Flores, 2023). Al analizar esos datos, se observa que el déficit cuantitativo se concentra predominantemente en las comunas del norte de la ciudad. Por otro lado, el déficit cualitativo, vinculado a la calidad y las condiciones de las viviendas, presenta sus mayores concentraciones en las comunas del sur y oriente de la ciudad.

Es importante destacar que, en el departamento del Meta, el 39,0% de los hogares con déficit cualitativo de vivienda habitan en viviendas con hacinamiento mitigable, una situación que afecta la calidad de vida de sus habitantes. Este porcentaje aumenta en Villavicencio, donde el 44,2% de los hogares enfrentan condiciones de hacinamiento mitigable. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2021).

Dados estos desafíos, surge la siguiente interrogante: ¿Cuál es el grado de viabilidad, desde una perspectiva económica y ambiental, de implementar tecnologías sostenibles para un conjunto residencial en Villavicencio, considerando las condiciones climáticas locales, la disponibilidad de materiales eco sostenibles y las tecnologías renovables aplicables?

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar la viabilidad económica y ambiental para la implementación de tecnologías sostenibles en un conjunto residencial adaptada a las condiciones climáticas de Villavicencio, Colombia, para proporcionar soluciones sostenibles a las problemáticas actuales de vivienda y recursos.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Analizar las condiciones climáticas de Villavicencio con el fin de identificar oportunidades para la implementación de energías renovables y sistemas de captación de agua de lluvia en un conjunto residencial.
- Evaluar la viabilidad económica de la implementación de tecnologías sostenibles, como sistemas de energía fotovoltaica y sistemas de captación de agua de lluvia en un conjunto residencial en Villavicencio incluyendo un análisis de los costos iniciales de instalación, así como los posibles ahorros a largo plazo en términos de energía y mantenimiento.
- Determinar las ventajas y desventajas de la implementación de tecnologías sostenibles en conjuntos residenciales, identificando las diferencias en términos de impacto ambiental y eficiencia energética en el contexto de Villavicencio.

#### 4. Justificación

La vivienda se convierte en un espacio fundamental de crecimiento familiar, es primordial garantizar una vivienda adecuada que beneficie tanto a las personas como al ambiente a su alrededor. En esta perspectiva, la implementación de conjuntos residenciales eco sostenibles integrando nuevas tecnologías podría ofrecer una alternativa efectiva para abordar los problemas relacionados con la demanda de servicios básicos y la mitigación de los impactos tanto ambientales como climáticos. Es importante destacar que la creciente problemática ambiental y climática derivada del acelerado crecimiento poblacional en áreas urbanas de Colombia. Asimismo, la construcción de conjuntos residenciales eco sostenibles puede implementar diversas alternativas que benefician el medio ambiente, entre estas opciones, se destaca la incorporación de un sistema de energía solar fotovoltaica, la instalación de techos verdes para reducir la temperatura al interior de las viviendas, la captación de agua atmosférica y la utilización de residuos sólidos reciclables como materiales de construcción (Castillo Moncayo, 2018). De igual manera, según datos proporcionados por la Agencia Internacional de la Energía, cerca del 40% de las emisiones anuales de dióxido de carbono provienen de la industria de la construcción. De este porcentaje, un 23% se relaciona directamente con la producción de materiales como el cemento, el acero y el aluminio (López J. M., 2022). Por lo tanto, para disminuir el impacto, en lugar de utilizar ladrillos convencionales, se pueden emplear bloques de construcción ecológicos hechos de materiales reciclados, como plástico reciclado o bloques de tierra comprimida (MONCAYO, 2018).

Por otro lado, para mejorar la eficiencia energética de las viviendas, se pueden utilizar materiales aislantes naturales como la celulosa reciclada, la lana de oveja o el cáñamo. Estos materiales son renovables y tienen un menor impacto ambiental que los aislantes sintéticos. Además, la instalación de techos verdes en las viviendas no solo reduce la temperatura en el interior de las mismas, sino que también contribuye a la absorción de agua de lluvia y a la mitigación del efecto isla de calor urbano. (García Saavedra, 2020) Asimismo, la ventilación natural puede ser aprovechada en el diseño de las viviendas para reducir la necesidad de sistemas de climatización y mejorar la calidad del aire interior.

Siguiendo con este tema, los desafíos en el acceso a servicios básicos y las condiciones de vivienda, Villavicencio también enfrenta condiciones climáticas que influyen en la viabilidad de implementar viviendas eco sostenibles. Según datos proporcionados por el IDEAM de Colombia,

Villavicencio experimenta un clima tropical lluvioso caracterizado por abundantes precipitaciones alcanzando un promedio de 1120 mm al año con temperatura promedio de 27 °C, la humedad relativa del aire oscila durante el año entre 67 y 83 %, siendo mayor en los meses de junio y julio y menor en el primer trimestre del año. Estas precipitaciones pueden ser un recurso valioso para la captación de agua de lluvia. De igual manera, la ciudad goza de un alto promedio de brillo solar, lo que la hace propicia para la generación de energía solar fotovoltaica. (Muñoz Cárdenas, 2020).

En definitiva, la importancia de esta tesis radica en su potencial para abordar múltiples desafíos que afectan a Villavicencio y otras áreas urbanas similares en Colombia, implementar estos conjuntos residenciales eco sostenibles no solo se alinea con los objetivos locales de mejorar la calidad de vida, sino que también contribuye de manera significativa al cumplimiento de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. En primer lugar, el ODS 7, que busca garantizar el acceso a una energía asequible y no contaminante, se relaciona directamente con la promoción de fuentes de energía limpia y eficiencia energética en las viviendas eco sostenibles, al utilizar energías renovables y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Además, el ODS 11, que promueve ciudades y comunidades sostenibles, refuerza la importancia de crear entornos urbanos inclusivos y seguros, donde las viviendas sostenibles y la planificación urbana adecuada desempeñan un papel esencial. El ODS 12, centrado en la producción y el consumo responsables, encuentra su similitud en la elección de materiales de construcción eco sostenibles, que promueven el uso adecuado de recursos naturales y la reducción de residuos. Por último, el ODS 13, el cual llama a la acción por el clima, se ve respaldado por esta tesis al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través de prácticas constructivas sostenibles.

## 5. Estado del arte

### 5.1 Antecedentes

La ciudad de Villavicencio, con su rico patrimonio cultural y una población en constante crecimiento, se enfrenta a un desafío fundamental, el cual es “cómo satisfacer las necesidades de vivienda de su comunidad actual sin comprometer las del mañana”. Este dilema no es único en el mundo, y es aquí donde los antecedentes cobran importancia. Explorando las experiencias, regulaciones, y avances previos en el ámbito de la vivienda sostenible, se puede obtener lecciones valiosas para la construcción de un futuro más equitativo y respetuoso con el medio ambiente.

A nivel internacional, diversas construcciones sostenibles han demostrado el compromiso global con la eficiencia energética y la preservación del medio ambiente. Un ejemplo emblemático es el edificio One Angel Square en Mánchester, Reino Unido. Este edificio, sede de Co-operative Group, es un referente en sostenibilidad. Obtuvo la calificación BREEAM más alta de "Outstanding". Su diseño bioclimático incorpora características como un sistema de recuperación de calor y un sistema de ventilación doble flujo, lo que ha llevado a una reducción significativa en el consumo de energía. Además, el edificio cuenta con una planta de trigeneración que produce electricidad, calor y frío, contribuyendo aún más a su eficiencia energética (Co-operative Group, 2021). De igual manera, otro caso notable es el Bosco Verticale en Milán, Italia, diseñado por Boeri Studio. Este proyecto innovador se destaca por su uso de plantas y árboles en sus fachadas. Estas "selvas verticales" no solo proporcionan una apariencia impresionante, sino que también tienen un propósito ecológico. Contribuyen a purificar el aire y regular la temperatura de los edificios, reduciendo la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración convencionales. (Urna Bios, 2021).

Asimismo, Colombia ha avanzado significativamente en la construcción sostenible. Un ejemplo destacado es el edificio de oficinas BBVA en Bogotá, que brilla en el panorama de la construcción sostenible del país. Inicialmente, fue el primer edificio corporativo del país en obtener la certificación LEED Oro. En este caso, la eficiencia energética se destaca con un sistema de aire acondicionado central altamente eficiente y ventanas de doble acristalamiento que reducen significativamente la carga de enfriamiento. Además, el edificio emplea materiales de construcción

sostenibles y utiliza tecnología de reciclaje de aguas grises. Por último, BBVA ha logrado la certificación LEED Oro y Platino para 17 de sus edificios, un reconocimiento que avala su compromiso con la sostenibilidad, la eficiencia y el respeto al entorno. (Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA), 2018).

En el ámbito local, Espinosa y Van Audenhove (2023) desarrollaron un modelo integral para el aprovechamiento de aguas lluvias en el Campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, en Villavicencio, que incluyó la caracterización de la oferta hídrica pluvial, la evaluación de su calidad físico-química y microbiológica, y el dimensionamiento de la infraestructura necesaria para captación, almacenamiento y tratamiento. El estudio determinó que los techos son el punto de captación más viable por su mayor calidad de agua en comparación con otras superficies como cunetas, y propuso un tren de tratamiento compuesto por filtración, clarificación, desinfección y, en algunos casos, ósmosis inversa. Asimismo, el dimensionamiento de tanques y líneas de aducción se realizó aplicando curvas IDF locales y criterios técnicos establecidos en la normativa colombiana, logrando estimar un ahorro económico anual significativo frente al consumo exclusivo de agua de acueducto. Estos hallazgos resultan relevantes para el presente estudio, pues refuerzan la pertinencia de emplear cubiertas como superficie de captación en Villavicencio, integrando filtración y desinfección para garantizar la calidad del agua, y adaptando el cálculo de capacidad de almacenamiento a la escala de vivienda unifamiliar, con el fin de optimizar tanto la viabilidad técnica como el beneficio económico del sistema (Espinosa Martínez & Van audenhove Mejia, 2023).

Por otro lado, Buitrago y Figueredo (2024) llevaron a cabo una investigación centrada en el diseño y la evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en la región de Villanueva, Casanare. El objetivo principal del estudio fue tratar las aguas residuales domésticas generadas en actividades cotidianas como la cocina y el lavado.

El diseño del humedal incluyó tres especies vegetales locales: *Heliconia psittacorum*, *Musa x paradisiaca* y *Colocasia esculenta*, seleccionadas por su capacidad de absorber nutrientes y mejorar la calidad del agua. Se implementaron diferentes etapas de filtración y se monitorearon parámetros clave como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), la demanda química de oxígeno (DQO), los niveles de nitrógeno total, los sólidos suspendidos y los coliformes fecales.

Los resultados obtenidos fueron altamente positivos, mostrando reducciones significativas en la DBO<sub>5</sub> y la DQO, alcanzando niveles que cumplen con los estándares ambientales para el vertimiento al suelo. Además, se evidenció una reducción considerable en los coliformes, lo que indica una mejora en la calidad microbiológica del agua tratada.

El impacto de este estudio es significativo, ya que demuestra la viabilidad de los humedales artificiales como una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales, contribuyendo a la protección del medio ambiente y a la sostenibilidad de los recursos hídricos (Buitrago Fernández & Figueredo Rincón, 2024).

En conclusión, se demuestra que la construcción sostenible no es solo una tendencia, sino una necesidad imperante. Estos ejemplos exitosos inspiran a abordar el desafío de Villavicencio en la búsqueda de viviendas sostenibles que contribuyan a un futuro más equitativo y respetuoso con el medio ambiente.

## **5.2 Marco teórico.**

Se recopiló información, de manera concisa y esclarecedora, conceptos, teorías, investigaciones y desarrollos científicos que tienen relación con este proyecto y la problemática que se aborda.

Los techos verdes, conocidos como una tecnología verde, se han destacado como una estrategia fundamental para contribuir al desarrollo sostenible. Esta innovadora solución presenta una serie de beneficios ambientales que incluyen la reducción de la contaminación atmosférica y la disminución de las temperaturas en entornos urbanos. Además, aporta ventajas sociales significativas al contribuir a la mejora de la salud pública y reducir las tasas de mortalidad en la población. Desde una perspectiva económica, los techos verdes también se traducen en ahorros sustanciales al disminuir el consumo de energía. (López-González y otros, 2020).

En primer lugar, García Saavedra implementó techos verdes para reducir la temperatura al interior de una vivienda. El trabajo de investigación aborda una problemática crítica en las zonas urbanas contemporáneas: el aumento de la temperatura debido al crecimiento urbano acelerado y la consiguiente pérdida de cobertura vegetal.

Este fenómeno ha llevado a un incremento en el consumo de energía eléctrica para sistemas de ventilación, contribuyendo al círculo vicioso de emisiones de CO<sub>2</sub> y sus efectos adversos tanto en el calentamiento global como en la salud humana. Asimismo, el estudio se llevó a cabo en el municipio de Villavicencio, Meta, y se centró en la implementación de techos verdes como una solución innovadora para reducir la temperatura en el interior de las viviendas. Para evaluar la efectividad de esta estrategia, se instaló un techo verde en un dormitorio de una vivienda en el barrio Pinilla y se comparó con otro dormitorio sin techo verde. Durante el estudio, se monitorearon tres variables clave: la temperatura ambiental, la temperatura superficial y la humedad relativa. Además, se evaluó la sensación térmica de los ocupantes. Finalmente, los resultados obtenidos revelaron que, a pesar de utilizar elementos reutilizados y una cobertura vegetal específica, la reducción de la temperatura en el dormitorio con techo verde no fue significativamente diferente al dormitorio sin esta implementación. Esta conclusión plantea importantes consideraciones sobre la eficacia de los techos verdes en un contexto específico como Villavicencio y sugiere que, para lograr un confort térmico eficiente, se deben contemplar estrategias que abarquen toda la vivienda en lugar de limitarse a áreas específicas (García Saavedra, 2020).

La recolección de agua de lluvia es una práctica asequible que no demanda un extenso conocimiento para su implementación y conlleva diversos beneficios. Puede desempeñar un papel crucial como fuente principal de agua, especialmente durante la temporada de lluvias, o ser una valiosa adición a otras fuentes de abastecimiento hídrico. El proceso de diseño de un sistema de recolección de agua de lluvia implica la determinación de la cantidad de agua disponible, que se basa en la precipitación pluvial en milímetros y la duración de la temporada de lluvias a lo largo del año. Se precisa la demanda de agua, ya sea a nivel doméstico o comunitario, y se selecciona la ubicación óptima para el almacenamiento de agua de lluvia. La recolección de este recurso se puede realizar desde techos o áreas abiertas, permitiendo su almacenamiento y uso futuro (López et al., 2018). Como es caso del estudio realizado por Cárdenas Muños, que evaluó la viabilidad de la utilización del agua atmosférica. El proyecto se centró en evaluar la viabilidad de la recolección de agua a partir de la humedad atmosférica mediante un sistema de abastecimiento no convencional conocido como "atrapa nieblas". El objetivo principal de este enfoque era abordar la falta de acceso al recurso hídrico para uso doméstico y recreativo en la ciudad de Villavicencio, Meta.

El proceso se inició con la identificación de la zona que presentaba el mayor índice de humedad atmosférica, lograda a través de un análisis multi-temporal y espacial de datos de estaciones meteorológicas locales. A continuación, se diseñó y construyó un prototipo bidimensional destinado a la captación de agua en el área identificada como la de mayor potencial. Durante un período de un mes, se llevó a cabo la recolección de agua utilizando este sistema, y se realizaron análisis de calidad microbiológica y fisicoquímica para determinar su idoneidad para uso doméstico y recreativo. Se obtuvieron 6 litros de agua con un promedio de humedad relativa del 72% y una temperatura de 24°C.

Finalmente, los resultados indicaron que el agua recolectada cumplía con los estándares establecidos por las normativas locales y podía destinarse a estos usos. El proyecto abordó la creciente demanda de agua, impulsada por el aumento de la población y el cambio climático global. Se resaltó que la atmósfera contiene una cantidad significativa de agua dulce que puede ser aprovechada mediante tecnologías no convencionales. Además, se destacó la importancia de buscar alternativas prácticas y aplicables para resolver los problemas de abastecimiento de agua en la ciudad. Desde una perspectiva económica, social y ambiental, el proyecto se considera viable y beneficioso, y se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible (Muñoz Cárdenas, 2020).

En el estudio de Espinosa (2023), la calidad del agua lluvia recolectada varió significativamente según el punto de captación. El agua proveniente de bajantes presentó inicialmente un pH aceptable, pero al aplicar mayores dosis de coagulante mostró incrementos marcados en turbiedad y conductividad, reduciendo su calidad a deficiente. El punto de aire libre tuvo un comportamiento similar, con una disminución del pH y aumento de parámetros indeseables, manteniéndose mayormente en calidad regular o deficiente. En cambio, el punto de cunetas mostró un resultado más favorable en la turbiedad, especialmente con 10 mL de coagulante, donde alcanzó 3,87 UNT, clasificada como regular, aunque la conductividad se elevó.

En términos generales, las muestras de cunetas evidenciaron una mejor respuesta al tratamiento con coagulante en cuanto a reducción de turbidez, mientras que las de bajantes y aire libre fueron más propensas a deteriorar su calidad con el aumento de la dosis. Esto sugiere que, para el caso evaluado, el agua captada de cunetas podría considerarse la de mejor potencial de aprovechamiento tras un tratamiento adecuado, mientras que la de bajantes y aire libre requerirían ajustes más precisos en la dosificación para no comprometer su calidad (Espinosa Martínez & Van audenhove Mejia, 2023).

De igual manera, la energía solar es una forma de energía renovable y sostenible que se obtiene del sol. Proviene de la radiación electromagnética, que incluye luz y calor, emitida por el sol. Esta energía se captura y convierte en electricidad o se utiliza directamente para generar calor en aplicaciones como la calefacción de agua o ambientes. La energía solar es una fuente limpia y abundante de energía que no produce emisiones de gases de efecto invernadero y desempeña un papel importante en la transición hacia un sistema energético más sostenible. Afortunadamente, para la Tierra, la energía solar se presenta en forma de radiación electromagnética, que incluye luz, calor y rayos ultravioleta. El sol actúa como una fuente inagotable de tres variedades de energías renovables, que son la energía solar fotovoltaica, la energía solar termoeléctrica y la energía solar térmica. Estas fuentes de energía desempeñan un papel fundamental en la mitigación de los efectos del cambio climático. (Ardila Oliveros, 2018). En este sentido, Benito Molina analizó el beneficio-costado de implementar un sistema de energía solar fotovoltaica. Este estudio se centra en evaluar la viabilidad y los beneficios económicos, sociales y ambientales de implementar un sistema de energía solar fotovoltaica en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás, ubicado en Villavicencio, Colombia. En este sentido, para el análisis se consideraron dos tipos de sistemas solares: el sistema aislado y el sistema interconectado a la red. Se recopilaron datos de consumo energético y radiación solar para realizar proyecciones a largo plazo. En relación con los datos obtenidos, los resultados indican que un sistema solar fotovoltaico compuesto por ochocientos paneles con una potencia de 153 KW tendría la capacidad de ahorrar el 15,22% de la demanda energética del campus durante un período de 25 años. Desde una perspectiva financiera, se determinó que la opción de un sistema interconectado a la red era económicamente viable. El período de recuperación de la inversión se sitúa en los primeros 3 años, seguido de un ahorro proyectado durante los 18 años restantes de vida útil del sistema. Además, se identificaron impactos ambientales con calificaciones de baja y mediana importancia en comparación con los impactos positivos, como la significativa reducción de emisiones de dióxido de carbono, 269.266 g de CO<sub>2</sub> anuales menos. (Benito Molina & Ruiz Calderón, 2018).

La construcción con materiales reciclados implica reutilizar materiales desechados en nuevas construcciones. Esta práctica se alinea con la construcción sostenible, ya que ofrece beneficios ambientales, como la conservación de recursos naturales y la reducción de residuos. Además, promueve la eficiencia energética al disminuir el consumo de energía asociado a la fabricación de materiales tradicionales. Utilizar materiales reciclados también puede reducir la

huella de carbono de un proyecto, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático. Además de sus ventajas medioambientales, la construcción con materiales reciclados fomenta la economía circular al reutilizar productos y materiales en lugar de desecharlos, lo que puede generar beneficios económicos a largo plazo. Entre los tipos de materiales reciclados utilizados en la construcción se incluyen madera, hormigón, acero, vidrio, plástico y asfalto. Estos materiales reciclados se aplican en una amplia gama de productos y componentes de construcción, desde pisos y vigas hasta ventanas y pavimentación de carreteras. Esta práctica se ha convertido en una estrategia relevante para abordar los desafíos de la construcción sostenible en la actualidad (Quorania, 2021)

Como es el caso analizado por Castillo Moncayo (2018) quien estudió la implementación de ladrillos fabricados a partir de plástico reciclado. Este trabajo de investigación se enfoca en la implementación de ladrillos fabricados a partir de plástico reciclable, específicamente el sistema Brickarp, en la construcción de viviendas unifamiliares en Colombia. El objetivo principal es analizar esta alternativa constructiva desde distintos ángulos. Asimismo, destaca la importancia del acceso a la vivienda y a un ambiente limpio como un derecho humano, aunque en muchas partes del mundo se ve vulnerado.

Asimismo, se identificó que, los plásticos adecuados para la fabricación de estos ladrillos pertenecen al grupo de los termoplásticos, con énfasis en el Tereftalato de Polietileno (PET). Estos materiales presentan propiedades técnicas como resistencia a la humedad, durabilidad, inmunidad a plagas y microorganismos, bajo mantenimiento y facilidad de instalación, lo que los hace competitivos económicamente.

En conclusión, el sistema Brickarp, que se basa en la utilización de plástico reciclado, ofrece ventajas significativas y contribuye a abordar el déficit habitacional en Colombia. Además, mitigando el impacto ambiental de los desechos plásticos y promoviendo el desarrollo sostenible, este enfoque se perfila como una solución eficaz para enfrentar los desafíos sociales y ambientales en el país y en otras regiones. (Castillo Moncayo, 2018).

## 6. Marco legal

**Tabla 1** *Leyes y normativas aplicables a la vivienda ecosostenible*

LEY O NORMATIVA	DESCRIPCIÓN
Constitución Política de Colombia	La Constitución Política de Colombia, promulgada en 1991, establece el derecho fundamental a una vivienda digna (Artículo 51) y al medio ambiente sostenible (Artículo 79). Reconoce la importancia de la vivienda en la calidad de vida de los ciudadanos y sienta las bases para la legislación en este campo.
Ley 388 de 1997 (Ley de Desarrollo Territorial)	La Ley 388 de 1997 regula la planificación urbana y el ordenamiento territorial en Colombia. Define normas para el uso del suelo, zonificación, densidades de población y construcción de viviendas en el contexto del desarrollo sostenible. Establece criterios para la distribución de viviendas en áreas urbanas y rurales, incluyendo medidas para evitar la segregación y fomentar la integración social.
Ley 1715 de 2014 (Ley de Vivienda Segura)	La Ley 1715 de 2014 tiene como objetivo garantizar la seguridad en la construcción y el acceso a viviendas seguras en Colombia. Contiene medidas para prevenir y mitigar riesgos naturales, como sismos, inundaciones y deslizamientos, en el diseño y construcción de viviendas. Establece estándares de seguridad para proteger la vida y la integridad de los residentes.
Ley 675 de 2001 (Ley de Propiedad Horizontal)	La Ley 675 regula la propiedad horizontal en Colombia, aplicable a viviendas multifamiliares y conjuntos residenciales. Define derechos y deberes de propietarios y administradores de estos conjuntos, así como normas para la administración y mantenimiento de áreas comunes. Es relevante si tu proyecto incluye viviendas en régimen de propiedad horizontal.
Ley 795 de 2003 (Ley de Vivienda de Interés Social)	La Ley 795 de 2003 se enfoca en políticas de vivienda de interés social y programas de subsidios para viviendas asequibles en Colombia. Establece mecanismos para promover la construcción y adquisición de viviendas asequibles por parte de la población de bajos ingresos. Puede ser relevante si tu proyecto busca desarrollar viviendas sostenibles asequibles.
Ley 1469 de 2011 (Ley de Política Nacional de Primera Infancia)	La Ley 1469 establece pautas para viviendas adecuadas para la primera infancia, promoviendo espacios seguros y saludables en el diseño y construcción de viviendas. Contiene especificaciones relacionadas con la seguridad, la higiene y la accesibilidad en viviendas donde reside la población infantil.
Ley 2079 de 2021	La Ley 2079 de 2021 introduce medidas para impulsar la construcción sostenible en Colombia, con un enfoque en la adopción de prácticas eficientes en el uso de recursos y la energía en proyectos de construcción, incluyendo viviendas. Esta legislación fomenta la integración de tecnologías y materiales sostenibles en la industria de la construcción.
Código de Construcción Sismo Resistente NSR-10	El Código NSR-10 es un documento técnico que establece regulaciones específicas para el diseño y construcción de edificaciones resistentes a sismos en Colombia. Incluye especificaciones detalladas sobre materiales, estructuras, cimentaciones y sistemas de refuerzo, asegurando la seguridad estructural de las viviendas en una zona sísmica como Villavicencio.
Resolución 549 de 2015	La Resolución 549 de 2015 establece requisitos técnicos y ambientales para el diseño y construcción de viviendas de interés social en Colombia. Define estándares de calidad, materiales apropiados y sistemas constructivos que deben cumplir estas viviendas para garantizar la habitabilidad y la seguridad de los residentes.
Plan de Desarrollo Villavicencio Cambia Contigo 2020-2023	El Plan de Desarrollo "Villavicencio Cambia Contigo" 2020-2023 establece políticas, estrategias y objetivos de desarrollo para Villavicencio durante este período. Incluye metas relacionadas con vivienda, desarrollo urbano sostenible, reducción de la pobreza y mejora de la calidad de vida de los habitantes. Tu proyecto puede alinearse con estos objetivos y estrategias para contribuir al desarrollo de la ciudad.

*Nota.* Elaborado en base en normatividad legal colombiana vigente.

## 7. Marco conceptual

*Agua atmosférica:* El agua atmosférica es el vapor de agua presente en la atmósfera terrestre, fundamental para los procesos meteorológicos y el ciclo del agua. Puede condensarse en nubes y caer como lluvia o nieve (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2020).

*Casa eco-sostenible:* Una casa eco-sostenible es una vivienda diseñada para minimizar su impacto ambiental a través de la eficiencia energética, el uso responsable del agua, materiales sostenibles y un diseño que aprovecha el entorno. El objetivo es proporcionar un espacio cómodo y saludable mientras reduce la huella ecológica (Via Celere, 2023).

*Construcción sostenible:* Este enfoque integral busca restablecer y conservar el equilibrio entre el entorno natural y las estructuras construidas. Su objetivo es desarrollar comunidades que refuercen la dignidad de las personas y fomenten la igualdad social y económica. Para lograrlo, se requiere la adopción de nuevas estrategias de diseño, construcción y gestión que consideren aspectos ambientales, sociales y económicos en su conjunto (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2023).

*Energía fotovoltaica:* Esta forma de energía posibilita la generación directa de electricidad a partir de la radiación solar. Se categoriza como una fuente de energía renovable, inagotable y ambientalmente benigna, que puede ser generada mediante la instalación de paneles solares fotovoltaicos (Ardila Oliveros, 2018).

*Impacto ambiental:* Cualquier alteración en el medio ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2021).

*Método constructivo:* Un sistema constructivo se refiere a un conjunto de elementos y unidades en una estructura que comparten un propósito común en la construcción, ya sea proporcionar soporte, definir y proteger espacios habitables, brindar comodidad o expresar la apariencia y estética del edificio (Fajovi Group, 2020). En este contexto, es fundamental considerar materiales respetuosos con el medio ambiente que también ofrezcan beneficios económicos. El acero es un material especialmente atractivo en la construcción sostenible debido a sus cualidades.

Es altamente rentable, reutilizable y reciclable, y su facilidad de ensamblaje y ligereza lo convierten en una opción versátil (Hidalgo & Freire, 2020).

*Objetivos de desarrollo sostenible (ODS):* Son una serie de 17 metas globales establecidas por las Naciones Unidas en la Agenda 2030. Estos objetivos abordan desafíos mundiales como la pobreza, la salud, la educación, la igualdad de género, la acción climática y otros. Representan un llamado a la acción para promover el desarrollo sostenible a nivel mundial y sirven como un marco de referencia esencial para proyectos que buscan mejorar las condiciones de vida en todo el mundo (Chavarro y otros, 2017).

*Prototipo:* Un prototipo es un modelo o representación inicial de un producto, sistema, o concepto, diseñado y construido con el propósito de probar, evaluar y perfeccionar sus características, funcionalidades y aspecto antes de su producción o implementación final. Los prototipos son una herramienta crucial en el desarrollo de productos, ya que permiten a los diseñadores, ingenieros y creadores visualizar y experimentar con una versión temprana de su idea (Universidad Europea, 2020).

*Viabilidad económica:* La viabilidad económica se centra en determinar si un proyecto o inversión es financieramente viable y si puede generar ganancias sostenibles, teniendo en cuenta costos, ingresos y otros factores financieros. Es esencial para tomar decisiones informadas sobre la asignación de recursos (Narvaez, 2022).

*Vivienda sostenible:* Una construcción sostenible se caracteriza por su armonía con el entorno, la eficiencia en el uso de recursos como energía, agua y materiales, y la provisión de comodidad y bienestar a sus ocupantes. Este enfoque se logra a través de un proceso de diseño que considera el clima y la ecología locales, junto con un análisis de costo-beneficio para incorporar medidas que optimizan el control térmico, la ventilación y la eficiencia energética. Las viviendas sostenibles tienen como objetivo reducir el consumo de energía y gestionar eficazmente el uso del agua, lo que a su vez contribuye de manera positiva a la economía de sus residentes (Ingeniería Sostenible (ISMD), 2015).

## **8. Metodología**

Para el presente proyecto se desarrolló una investigación principalmente aplicada puesto que buscó una solución práctica; se utilizó un enfoque mixto que combina el análisis numérico (costos, ahorros) con la descripción y evaluación de factores más cualitativos (condiciones climáticas, ventajas/desventajas). Su diseño es fundamentalmente evaluativo, ya que juzga la conveniencia de las alternativas propuestas, apoyándose en aspectos descriptivos y potencialmente explicativos. La presente investigación se desarrolló en el conjunto residencial Nueva Esperanza II, ubicada en la comuna 5.

De acuerdo con los objetivos planteados y el alcance del proyecto, el presente trabajo se desarrolló en 3 fases.

### **8.1 Primera fase: Análisis de las condiciones climáticas de Villavicencio.**

Esta primera fase se centra en establecer las bases del proyecto mediante la contextualización del entorno ambiental, para realizar la evaluación de potencial de energía fotovoltaica y de captación de agua lluvia; además se complementa con el análisis de los patrones de consumo de energía y de agua de los residentes del conjunto de estudio; cuyo propósito es identificar oportunidades para la implementación de energías renovables y sistemas de captación de agua de lluvia.

#### ***8.1.1 Análisis de variables climáticas***

En este punto, se realizó un estudio exhaustivo de las variables climáticas clave que impactan directamente la viabilidad de las tecnologías sostenibles. Esto incluye la radiación solar (intensidad y horas de sol) y brillo solar para la energía fotovoltaica, la precipitación pluvial (cantidad y patrones de lluvia) para los sistemas de captación de agua.

### ***8.1.2 Recopilación de Datos Climáticos y Poblacionales en Villavicencio***

En esta etapa, se procedió a recolectar información tanto climática como poblacional correspondiente al municipio de Villavicencio. Para ello, se consultaron fuentes confiables y oficiales como el IDEAM, el DANE y el Ministerio de Ambiente.

Los datos obtenidos incluyeron variables como el brillo solar, los patrones de lluvia, la radiación solar y la dinámica poblacional. Esta recopilación de datos permitió establecer un panorama detallado del comportamiento ambiental y demográfico de la región, sirviendo como insumo clave para la identificación de oportunidades en la implementación de tecnologías sostenibles.

### ***8.1.3 Identificación de Oportunidades para implementar tecnologías sostenibles***

Con base en la información climática y poblacional recopilada, se desarrolló un proceso de análisis para detectar oportunidades viables para la implementación de tecnologías sostenibles. Este análisis permitió identificar condiciones favorables para la instalación de sistemas de energía solar fotovoltaica y de captación de agua lluvia en entornos residenciales. Se consideraron factores como la radiación solar disponible, la frecuencia e intensidad de las precipitaciones y el perfil de consumo de los habitantes, con el fin de plantear soluciones técnicamente factibles y ambientalmente adecuadas para el contexto local.

## **8.2 Fase 2: Evaluar la viabilidad económica de la implementación de tecnologías sostenibles (sistemas de energía fotovoltaica y sistemas de captación de agua de lluvia)**

Esta fase tiene como propósito determinar la factibilidad económica de implementar sistemas de energía fotovoltaica y de captación de agua de lluvia en un conjunto residencial de Villavicencio. Para ello, se analizaron aspectos técnicos y económicos que incluyen la evaluación de recursos materiales, selección de sistemas adecuados, consideraciones particulares del contexto local y el desarrollo de un diseño preliminar. Esta evaluación económica contempla tanto los costos iniciales de instalación como los posibles ahorros a largo plazo en consumo energético y mantenimiento.

### ***8.2.1 Consideraciones específicas locales***

Esta actividad consistió en adaptar el diseño y la selección de tecnologías a las condiciones particulares del entorno de Villavicencio. Se tomaron en cuenta aspectos como la orientación de las viviendas, la intensidad del sol, la necesidad de sombreado en ciertas áreas y la eficiencia energética general del sistema. Estas consideraciones son fundamentales para maximizar el rendimiento de los sistemas propuestos y asegurar su adecuada integración con el entorno físico y climático del conjunto residencial.

### ***8.2.2 Identificación de consumos***

En esta última actividad correspondiente a la primera fase, se realizó una estimación del consumo promedio de energía y agua en hogares del conjunto residencial, tomando como referencia unidades familiares conformadas por cuatro integrantes. Esta información permitió dimensionar las necesidades reales de las viviendas y establecer un punto de partida para el diseño de soluciones sostenibles acordes al perfil de consumo del sector, lo cual es fundamental para asegurar la eficiencia y viabilidad del sistema propuesto.

### ***8.2.3 Selección de sistemas adecuados***

A partir del análisis de recursos, se realizó la selección de los sistemas tecnológicos más apropiados para el diseño del proyecto. Se priorizaron aquellos sistemas que ofrecieran un equilibrio entre eficiencia energética, facilidad de mantenimiento y viabilidad económica. Esta selección incluyó componentes clave como paneles solares, inversores, tanques de almacenamiento y sistemas de filtrado, considerando productos disponibles en el mercado colombiano y experiencias previas en contextos similares.

### ***8.2.4 Evaluación de recursos***

En este apartado, se llevó a cabo una revisión detallada de los recursos necesarios para la implementación de las tecnologías sostenibles. Se evaluaron los tipos de materiales, sus

cantidades, disponibilidad y costos, así como los requerimientos técnicos para el montaje de sistemas fotovoltaicos y de recolección de agua lluvia. Esta evaluación se basó en los resultados climáticos y poblacionales obtenidos en la primera fase, con el fin de garantizar la coherencia entre las condiciones del entorno y los recursos requeridos.

### ***8.2.5 Diseño para la implementación de tecnologías sostenibles***

Con base en toda la información técnica y económica recopilada, se procedió a elaborar un diseño preliminar de la solución sostenible. Este diseño integró los sistemas seleccionados y se estructuró considerando su viabilidad constructiva, funcionalidad y proyección de ahorro energético a largo plazo. Se buscó proponer un modelo replicable y adaptado a las características del conjunto residencial Nueva Esperanza II, facilitando su posible ejecución futura.

## **8.3 Fase 3: Determinar las ventajas y desventajas de la implementación de tecnologías sostenibles en conjuntos residenciales**

La tercera y última fase del proyecto se enfocó en identificar y analizar los impactos de la implementación de tecnologías sostenibles en conjuntos residenciales. Se buscó determinar sus ventajas y desventajas desde un enfoque económico y ambiental, evaluando la eficiencia energética, los costos de instalación y mantenimiento, así como los beneficios potenciales a largo plazo.

### ***8.3.1 Evaluación de viabilidad económica***

En esta actividad se realizó un análisis detallado de los costos implicados en el diseño, construcción, instalación y mantenimiento de un prototipo de vivienda eco sostenible. Se tomó en cuenta tanto la inversión inicial como los costos operativos a lo largo del tiempo, permitiendo establecer una proyección económica realista sobre la viabilidad del proyecto. Esta evaluación resultó clave para contrastar los beneficios potenciales frente a los gastos requeridos.

### ***8.3.2 Análisis de impactos económicos y ambientales***

Se procedió a analizar el impacto del prototipo no solo en términos económicos, sino también ambientales. Se evaluó la eficiencia energética alcanzada por los sistemas implementados y su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. El análisis permitió identificar cómo las tecnologías sostenibles pueden contribuir a la reducción del consumo de recursos naturales y a la mitigación del impacto ambiental de la vivienda urbana en Villavicencio.

### ***8.3.3 Identificación de beneficios***

Esta actividad tuvo como propósito cuantificar los beneficios generados por la implementación de sistemas sostenibles, especialmente en lo relacionado con la reducción de costos en servicios públicos como energía eléctrica y agua. Se identificaron ahorros significativos a largo plazo, lo cual fortalece el argumento económico a favor del uso de tecnologías renovables en viviendas multifamiliares.

### ***8.3.4 Comparación de los resultados antes y después de la implementación del sistema***

En esta última actividad se realizó una comparación entre los indicadores recolectados antes y después de la implementación de los sistemas de energía fotovoltaica y captación de agua lluvia. Se evaluaron aspectos como el consumo energético, el uso del recurso hídrico y los costos asociados, con el fin de evidenciar los cambios generados por la aplicación de tecnologías sostenibles. Esta comparación permitió medir de forma concreta la efectividad del sistema en términos de eficiencia, ahorro económico y reducción del impacto ambiental en el conjunto residencial estudiado.

## 9. Resultados

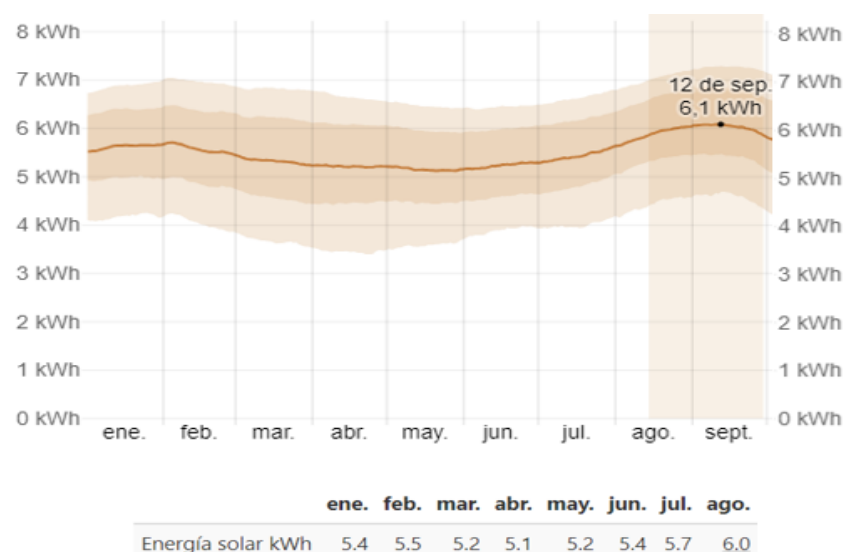
El presente capítulo expone los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, organizados conforme a las tres fases establecidas en la metodología. Cada sección aborda aspectos específicos del análisis, comenzando por las condiciones climáticas para la energía solar, el consumo de recursos del conjunto residencial, seguido por la evaluación técnica y económica de las soluciones propuestas, posterior a esto, se aborda el análisis de las condiciones climáticas para el aprovechamiento del agua lluvia y otras estrategia relacionadas con el aprovechamiento del agua, finalizando con la identificación de beneficios, impactos y comparación de indicadores.

### 9.1 Análisis para la implementación del sistema fotovoltaico

#### 9.1.1 Condiciones climáticas de Villavicencio y su potencial solar

Villavicencio ofrece condiciones climáticas ideales para la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica, gracias a su irradiación solar estable durante todo el año como se observa en la ilustración 2. Este entorno es propicio debido a la mínima variabilidad en la duración del día y la constante cantidad de radiación solar que recibe la región.

**Figura 2** Promedio energía solar



*Nota.* Adaptado del: IDEAM

En Villavicencio, la radiación solar incidente diario promedio varía entre 5 kWh/m<sup>2</sup> y 6 kWh/m<sup>2</sup>. Los meses con mayor radiación solar son febrero y agosto, donde se alcanzan los 6 kWh/m<sup>2</sup>/día, mientras que, en los meses más nublados, como abril, la irradiación baja a 5.1 kWh/m<sup>2</sup>/día. En general, Colombia tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m<sup>2</sup> (destacándose la península de La Guajira, con un valor pro- Atlas de Radiación Solar de Colombia 20 medio de 6,0 kWh/m<sup>2</sup> y la Orinoquia, con un valor un poco menor), propicio para un adecuado aprovechamiento, esta constancia hace que la región sea adecuada para la instalación de sistemas fotovoltaicos, ya que asegura una producción energética sostenida a lo largo del año (Hurtado, 2023).

**9.1.1.1 Promedios mensuales de radiación solar de Villavicencio Meta.** Los datos de la radiación solar para la ciudad de Villavicencio fueron obtenidos del Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM), más específicamente de la estación meteorológica Vanguardia Villavicencio, la cual posee datos consolidados desde el año 2014 hasta el 2023, expuestos en la tabla 2 que se muestra a continuación:

**Tabla 2** radiación solar

Año	Brillo solar anual	Brillo solar mensual											
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
2014	1618.0	180.1	131.0	109.2	122.0	145.1	89.0	112.7	121.1	154.2	122.1	135.4	196.1
2015	1478.2	161.9	140.8	98.5	112.5	123.6	88.2	135.3	124.3	171.0	178.7	143.4	(-)
2016	1648.3	206.3	118.7	107.6	105.2	125.1	109.5	115.1	156.5	158.0	161.7	127.2	157.4
2017	1707.3	123.2	140.4	105.0	138.5	154.7	120.3	71.8	202.1	160.4	146.0	181.4	163.5
2018	1471.9	153.0	(-)	118.9	75.6	127.6	88.3	115.3	164.2	147.8	158.3	145.3	177.6
2019	1546.1	133.9	153.2	64.9	105.7	126.0	91.2	131.2	121.6	171.9	160.5	134.3	151.7
2020	1641.8	159.2	159.1	105.0	90.8	100.7	129.3	148.7	116.1	165.9	158.3	116.5	192.2
2021	1635.1	201.0	103.3	64.6	139.9	103.6	128.5	89.8	138.8	156.5	157.4	163.6	188.1
2022	1461.7	122.6	91.0	82.9	93.9	124.0	103.9	139.7	152.8	128.3	133.2	108.0	181.4
2023	1661.2	150.9	171.8	(-)	91.3	131.6	141.7	114.4	182.4	196.9	179.5	132.6	168.1

*Nota.* Adaptado del: IDEAM

La tabla de promedios mensuales de radiación solar registrada en la estación meteorológica Vanguardia Villavicencio durante el periodo 2014–2023, según datos del IDEAM, permite analizar el comportamiento climático local en términos de brillo solar. Se observan variaciones significativas tanto interanuales como estacionales, siendo el año 2017 el de mayor radiación

acumulada con 1707.3 unidades, mientras que el año 2022 presentó el menor valor con 1461.7 unidades. A nivel mensual, septiembre de 2023 mostró el máximo registro con 196.9 unidades, en contraste con marzo de 2021 que alcanzó el mínimo con apenas 64.6 unidades. Estos datos evidencian patrones estacionales marcados, atribuibles a condiciones atmosféricas como nubosidad, cobertura de nubes y fenómenos de variabilidad climática, elementos clave para la planificación territorial, evaluación de potencial solar y diseño e implementación de tecnologías sostenibles.

A partir de los registros climatológicos de la estación meteorológica proporcionados por el IDEAM, como se observa en la tabla 3, se obtuvo un promedio de radiación solar de aproximadamente 1586.16 horas/sol por año entre 2014 y 2023. El promedio mensual fue de 135.38 horas/sol, lo que equivale a una exposición solar promedio de 4.35 horas/sol por día en el análisis anual y 4.45 horas/sol por día en el contexto mensual. Estos valores reflejan una disponibilidad solar estable para la implementación de proyectos energéticos (Hurtado, 2023).

**Tabla 3** Promedios de radiación solar.

Mes	Promedio mensual (h/sol)	Días del mes	Promedio diario (h/sol/día)
<b>Enero</b>	159.6	31	5.15
<b>Febrero</b>	137.4	28	4.91
<b>Marzo</b>	84.3	31	2.72
<b>Abril</b>	109.5	30	3.65
<b>Mayo</b>	126.5	31	4.08
<b>Junio</b>	105.5	30	3.52
<b>Julio</b>	127.3	31	4.11
<b>Agosto</b>	149.1	31	4.81
<b>Septiembre</b>	161.5	30	5.38
<b>Octubre</b>	155.5	31	5.02
<b>Noviembre</b>	141.3	30	4.71
<b>Diciembre</b>	173.2	31	5.59
<b>Promedio anual</b>	1586.16 (total anual)	365	<b>4.35</b>

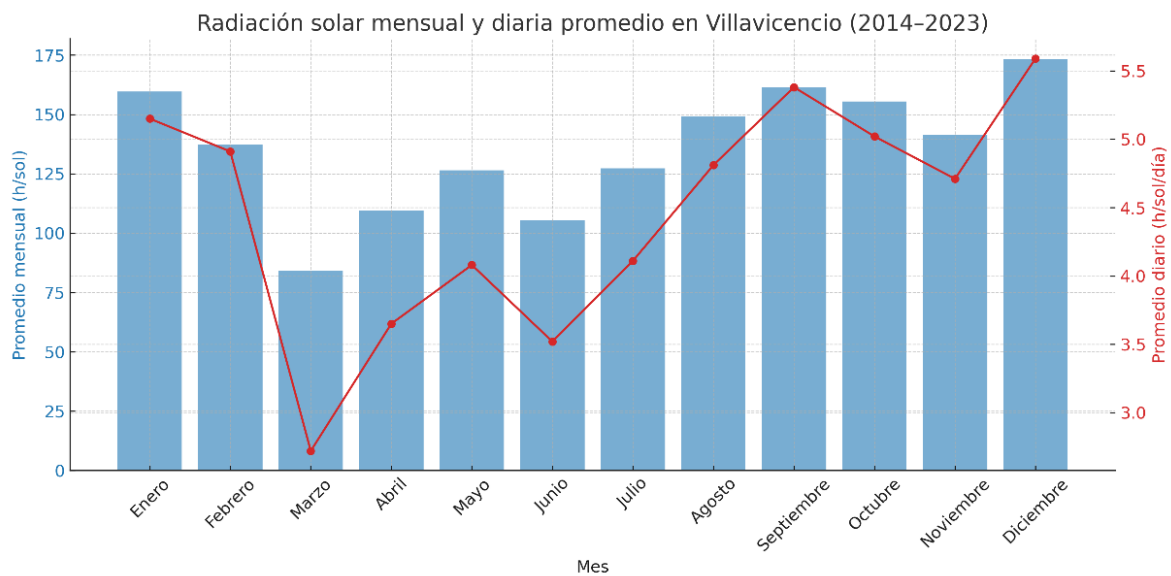
*Nota.* Adaptado del: IDEAM

En síntesis, los datos analizados muestran que Villavicencio presenta una disponibilidad solar estable durante todo el año, alcanzando un promedio anual de 4.35 horas-sol diarias, con picos que superan las 5 horas en varios meses. Esta regularidad, combinada con la magnitud del promedio anual de 1586.16 horas-sol, representa una condición favorable para la implementación

de sistemas fotovoltaicos, ya que permite estimar con precisión la producción energética y optimizar el dimensionamiento de los equipos. Además, la constancia de la radiación solar minimiza la variabilidad estacional, asegurando un rendimiento sostenido y eficiente a largo plazo, lo que respalda la viabilidad técnica de proyectos energéticos basados en este recurso (Hurtado, 2023).

Con el fin de analizar más a detalle el recurso solar en Villavicencio, se realizó una comparación de los promedios mensuales y diarios de radiación solar para el periodo 2014–2023, información que se presenta a continuación:

**Figura 3** Comparación promedios de radiación solar.



*Nota.* Adaptado del: IDEAM

La ilustración 3 muestra el comportamiento promedio mensual y diario de la radiación solar en Villavicencio durante el periodo 2014–2023, con base en datos del IDEAM. Las barras azules representan el promedio mensual en horas/sol, mientras que la línea roja indica el promedio diario correspondiente.

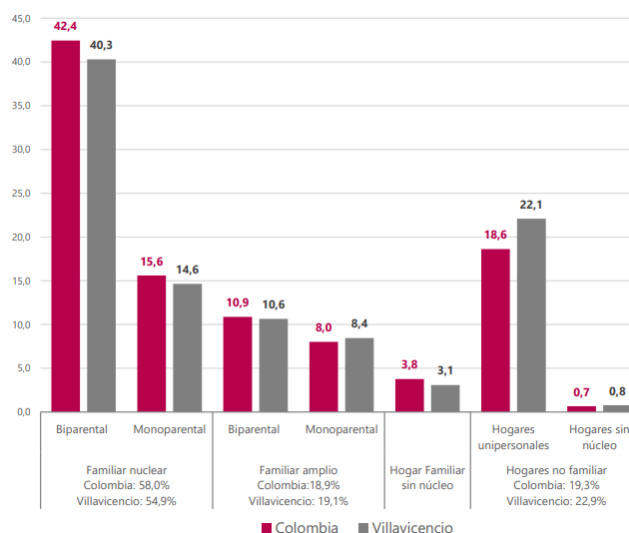
Se evidencia una marcada variabilidad estacional, con los valores más bajos en marzo (84.3 h/mes y 2.72 h/día), atribuibles a una mayor nubosidad y cobertura de nubes en esa época del año. En contraste, diciembre presenta el mayor nivel de radiación solar, con 173.2 h/mes y 5.59 h/día,

lo cual sugiere una mayor disponibilidad energética para tecnologías solares durante el cierre del año.

Esta representación gráfica permite visualizar claramente las épocas con mayor potencial solar, siendo útil para la planificación e implementación de proyectos energéticos sostenibles con paneles solares en el conjunto residencial.

**9.1.1.2 Caracterización demográfica y tipo de hogar en Villavicencio.** Comprender la estructura de los hogares a nivel nacional permite establecer un marco de referencia sobre la composición familiar en el país, lo cual resulta útil para interpretar posteriormente los datos locales de Villavicencio.

De acuerdo con la información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2021), los hogares nucleares compuestos por padres con hijos, o un solo padre con hijos representan el 56,9 % del total de hogares en Colombia, siendo la forma de organización familiar más común. Los hogares amplios, que incluyen un núcleo familiar junto con otros parientes o personas no emparentadas, constituyen el 17,2 %, mientras que los hogares familiares sin núcleo, donde no existe un vínculo directo de parentesco entre los miembros, corresponden al 2,9 %. Por su parte, los hogares no familiares, conformados por personas que no guardan relación de parentesco entre sí, representan el 23,0 % del total, siendo predominantes los hogares unipersonales, con una participación del 22,3 % como se observa en la ilustración 4.

**Figura 4** Distribución por tipo de hogar

*Nota.* Adaptado del: DANE

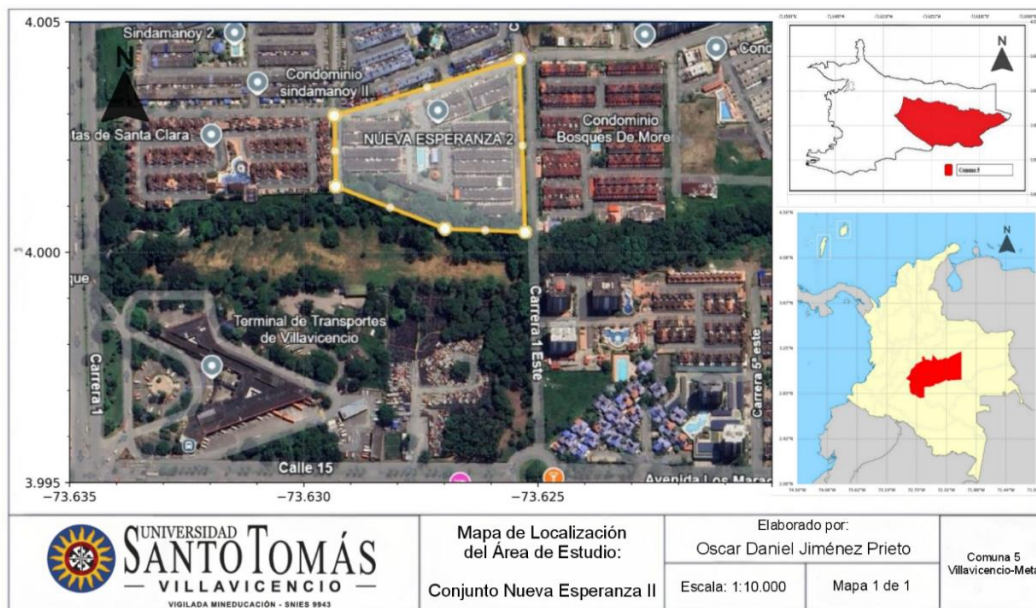
Estos datos reflejan la diversidad en la estructura de los hogares colombianos y servirán como base comparativa para el análisis demográfico específico del municipio de Villavicencio.

En el municipio de Villavicencio, la distribución de los tipos de hogar refleja una estructura social predominantemente familiar. Según datos del, los hogares nucleares representan el 54,9 %, lo que indica una organización demográfica estable y mayoritaria, caracterizada por la presencia de padres con hijos o un solo padre con hijos (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2021).

Los hogares amplios, que agrupan a núcleos familiares junto con otros parientes o personas no emparentadas, conforman el 19,1 %, lo que sugiere dinámicas de convivencia extendida que pueden influir en el consumo de servicios básicos. Por su parte, los hogares unipersonales tienen una participación del 22,1 %, evidenciando una tendencia moderada hacia la individualización en contextos urbanos. Finalmente, los hogares familiares sin núcleo y los hogares no familiares sin núcleo son menos frecuentes, representando el 3,1 % y el 0,8 %, respectivamente (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2021). Esta caracterización local permite establecer un perfil demográfico coherente con el entorno del conjunto residencial Nueva Esperanza II, en donde la mayoría de las viviendas están habitadas por grupos familiares. Por esta razón, se adopta como valor de referencia el promedio de 4 personas por vivienda.

**9.1.1.3 Oportunidades de implementación de tecnologías sostenibles.** El conjunto residencial Nueva Esperanza II está ubicado al suroriente de la ciudad de Villavicencio, en la comuna 5, a pocos metros del Terminal de Transportes. Este conjunto cuenta con un total de 150 viviendas unifamiliares organizadas en manzanas, con accesos peatonales y vehiculares definidos.

**Figura 5** Ubicación Conjunto nueva esperanza 2



Desde la perspectiva climática, el conjunto se encuentra en una zona con alta irradiación solar durante todo el año como se evidenció en la tabla 2, característica climática típica de Villavicencio. Esta condición convierte al conjunto residencial en un espacio ideal para la implementación de tecnologías limpias como la energía solar fotovoltaica. Además, la orientación y disposición de las viviendas, así como la baja presencia de sombra por edificaciones cercanas o árboles altos, permiten una exposición directa al sol en las cubiertas durante buena parte del día.

Un análisis visual realizado mediante imágenes satelitales y observaciones in situ permite identificar que la mayoría de las cubiertas ofrecen condiciones suficientes para la captación solar eficiente si se usan estructuras de soporte adecuadas con inclinación óptima (ilustración 6). Este tipo de información es clave para definir la viabilidad técnica del montaje de paneles solares en cada unidad residencial.

**Figura 6** *Vivienda del conjunto residencial*

Asimismo, cada vivienda del conjunto residencial Nueva Esperanza II cuenta con un área construida total de 85 m<sup>2</sup>, distribuida en tres habitaciones, dos baños, sala-comedor, cocina y zona de ropas. No obstante, para fines de instalación de sistemas solares fotovoltaicos, el área relevante es la correspondiente a la cubierta, ya que es allí donde se ubicaran los paneles. Considerando las dimensiones estándar de las viviendas y su diseño arquitectónico, se estima que cada vivienda dispone de una superficie de cubierta útil de 60 m<sup>2</sup>.

Esta área resulta adecuada para la instalación de los paneles solares, sin necesidad de realizar modificaciones estructurales significativas. Además, la mayoría de las cubiertas presentan una inclinación leve o son completamente planas, lo cual facilita el montaje y orientación óptima de los paneles para maximizar la captación solar a lo largo del día (ilustración 7).

**Figura 7** Conjunto nueva esperanza 2, medidas

*Nota.* Tomado desde Google Earth

En vista de lo anterior, el conjunto residencial Nueva Esperanza II se presenta como un entorno altamente propicio para la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica. Factores como su ubicación geográfica, la exposición solar constante, la orientación favorable de las cubiertas y el espacio disponible en cada vivienda respaldan la viabilidad de esta tecnología. A continuación, se abordará el análisis del consumo energético promedio de los hogares, con el fin de desarrollar un diseño que responda de manera precisa a las condiciones existentes y al perfil de demanda de las familias residentes.

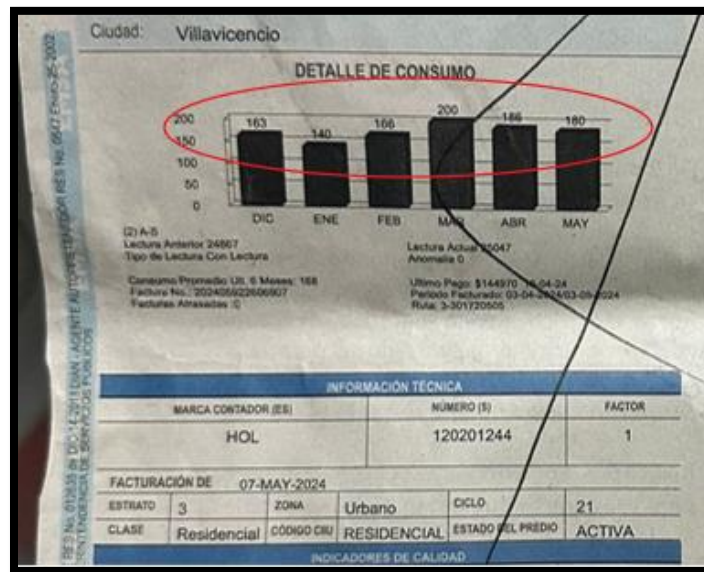
**9.1.1.4 Análisis del consumo de energía eléctrica.** Para obtener un promedio representativo del consumo de energía, se utilizó un historial de facturas de viviendas del conjunto residencial Nueva Esperanza 2 durante un periodo de seis meses entre diciembre 2023 a mayo del 2024 (Anexo 1).

A partir de estos datos, se calcularon los promedios, los cuales se emplearon como base para simular los consumos de las 150 viviendas del conjunto, los datos obtenidos para los seis meses de consumo de electricidad son:

- Diciembre: 163 kWh
- Enero: 140 kWh
- Febrero: 166 kWh
- Marzo: 200 kWh
- Abril: 186 kWh
- Mayo: 180 kWh

El promedio mensual de consumo de luz por vivienda es de 172.5 kWh.

**Figura 8** Consumos de energía



Estos promedios se replicarán en el conjunto de 150 viviendas para obtener un valor aproximado del consumo total de energía eléctrica. Esta simulación permitirá anticipar el impacto de la posible implementación de tecnologías sostenibles, como sistemas fotovoltaicos, tanto en la reducción del consumo energético.

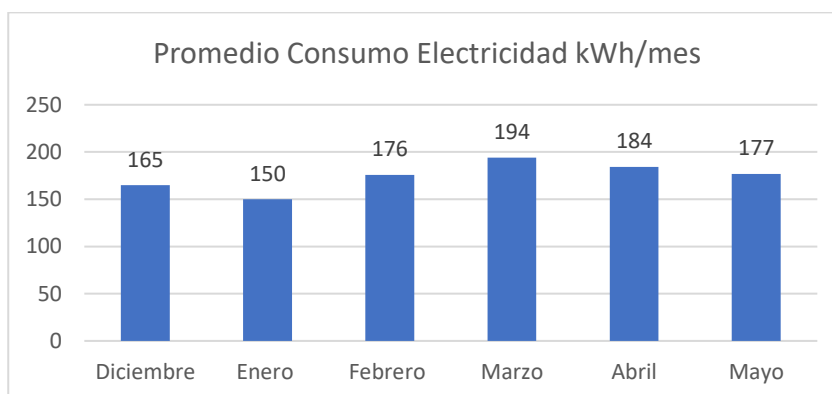
Para obtener el valor aproximado por vivienda en el conjunto nueva esperanza 2, se elaboró una tabla con registros de los datos de consumo de las viviendas (Anexo 1) para así, promediar los resultados como se muestra en la tabla 4:

**Tabla 4** Promedio de consumo energético

#Casa	Personas	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Consumo Electricidad kWh/mes
Promedio	4	163	140	166	200	186	180	174

Al promediar el consumo de todas las viviendas del conjunto residencial, se determinó que cada vivienda alberga en promedio 4 personas, quienes consumen aproximadamente 174 kWh al mes de energía como se muestra en la ilustración 9.

**Figura 9** Promedio Consumo Electricidad kWh/mes



## 9.2 Evaluación de la viabilidad económica de la implementación de un sistema fotovoltaico

### 9.2.1 Evaluación de recursos

Con el objetivo de asegurar un dimensionamiento preciso del sistema, se solicitó cotizaciones a cuatro empresas proveedoras locales. Tres empresas fueron contactadas por correo electrónico y una en persona, compartiendo los detalles completos del proyecto, las cifras de consumo energético y el área disponible del conjunto.

**Tabla 5** Proveedores del servicio del sistema fotovoltaico

Empresa	Teléfono	e-mail	Página web
Energía Solar del Meta	310 7779574	energiasolardelmeta@gmail.com	N/A
GENAIR	320 6925571	genairsolution@gmail.com	N/A
Dymes Energy	315 4340012	dymesenergycol@gmail.com	<a href="https://www.dymesenergy.com/">https://www.dymesenergy.com/</a>
Cercas y suministros S.A.S	3208679677	administrativo@cercasysuministrosjyd.com ventas@cercasysuministrosjyd.com	<a href="https://cercasysuministrosjyd.com/sobre-nosotros/">https://cercasysuministrosjyd.com/sobre-nosotros/</a>

Gracias a la competitividad de sus precios y la calidad de sus servicios, Cercas y Suministros S.A.S. fue la empresa seleccionada entre todas las consultadas. Esta empresa no solo nos proporcionó información detallada sobre sus productos y precios, sino que también nos facilitó el contacto de su técnico especialista, Gustavo Espinoza, quien ofrece asesoría técnica para el dimensionamiento preciso de instalaciones fotovoltaicas.

### ***9.2.2 Selección de sistemas adecuado.***

El conjunto residencial Nueva Esperanza 2 presenta limitaciones espaciales para la implementación de un sistema solar interconectado evidenciadas en la ilustración 10, dado que la mayor parte de su área disponible está ocupada por edificaciones, incluidas viviendas, parques y zonas comunes como la piscina y el kiosco.

Esta alta densidad constructiva reduce significativamente la superficie apta para la instalación de paneles solares en áreas compartidas, dificultando la viabilidad de un sistema conectado a la red con una capacidad de generación adecuada.

En consecuencia, se justifica la implementación de un sistema solar aislado, el cual permite la generación y almacenamiento de energía de manera independiente para cada vivienda, garantizando un suministro eficiente sin depender de infraestructura adicional en el conjunto residencial.

**Figura 10** *Justificación sistema aislado*



*Nota.* Tomado desde Google Earth

### 9.2.3 Listado de materiales y valoración económica del Sistema Solar Aislado

Para estimar los recursos técnicos y económicos necesarios para la implementación de un sistema solar aislado en una vivienda del conjunto residencial, se realizó una proyección detallada de los materiales requeridos. La tabla 6 presenta el tipo, cantidad y valor de cada uno de los elementos, incluyendo los equipos, materiales y la instalación completa del sistema.

**Tabla 6** Características de los elementos del sistema solar aislado

Componentes	% IVA	Cant.	Valor Unitario.	Valor total
Alambre De Cobre #10 X Metro 7 Hilos	19	8	4,100	32,800
Bateria 12v-250ah Gfm Shoto	19	2	1,500,000	3,000,000
Cable #6 Cu Awg Rojo	19	2	15,000	30,000
Cable Cu Fotovoltaico 2kv 4mm Ng/R	19	20	6,000	120,000
Caja De Tacos De Riel X 8p Karluz	19	1	50,000	50,000
Conector Mc4	19	1	10,000	10,000
Instalacion Sistema Solar	19	1	1,800,000	1,800,000
Inversor Hibrido 3.6kva 24v-450dc 4200w Next-Invictus-O	0	1	2,250,000	2,250,000
Panel 580w Monocristalino	0	4	450,000	1,800,000
Taco Breaker-Yrl7-63 Dc 550v 2p 50a Yro	19	1	70,000	70,000
Terminal Ojo Industrial	19	1	4,500	4,500
Varilla Copperweld 1.50	19	1	28,000	28,000
Taco Breaker-Yrl7-63 Dc 550v 2p 63a Yro	19	1	70,000	70,000
Dps Clamper Protec 3p Pv Dc Dec 600v 40ka	19	1	165,000	165,000
Victron Energy Smartsolar Mppt 100/50	19	1	1700000	1700000

*Nota.* Tomado de Cercas y Suministros S.A.S

La tabla anterior resume los componentes esenciales que conforman el sistema solar aislado proyectado, con sus respectivas cantidades, valores unitarios y totales. Se incluyen elementos clave como baterías, paneles solares, inversor híbrido, cableado especializado y dispositivos de protección, todos seleccionados conforme a la demanda energética estimada de la vivienda. También se contempla la instalación completa del sistema y el valor agregado del IVA para cada componente. Esta proyección técnica y económica facilita la planificación e inversión, asegurando que el sistema propuesto sea funcional, seguro y con respaldo en caso de fallos o mantenimiento.

### 9.2.4 Diseño preliminar del sistema fotovoltaico

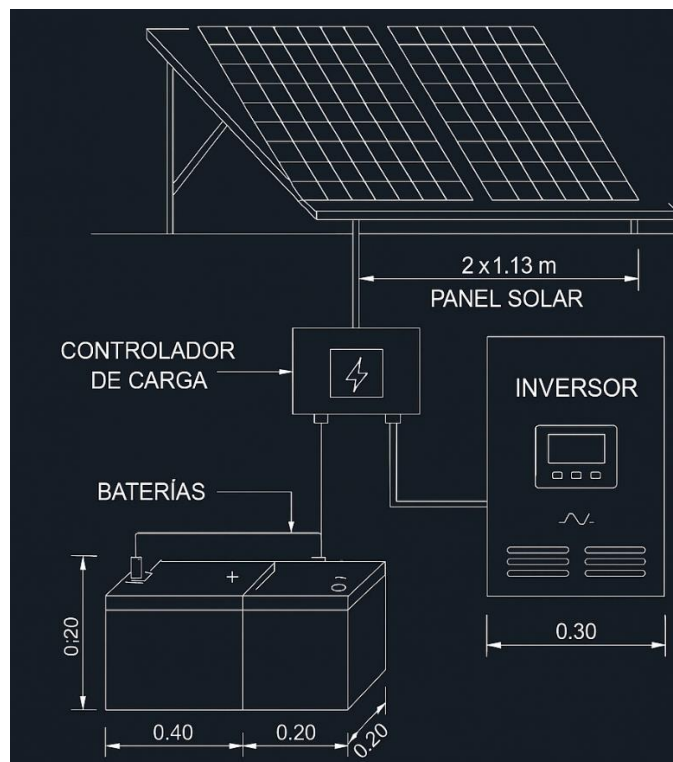
Una vez establecidos todos los parámetros, elementos y datos necesarios para implementar el sistema solar aislado, se procedió a realizar el diseño del sistema como se observa en la ilustración 11, teniendo en cuenta las dimensiones de los paneles, las baterías y el inversor.

**Tabla 7** Dimensiones

Dimensiones del panel	m	Área (m <sup>2</sup> )
Largo	2	2.26
ancho	1.13	-

*Nota.* Tomado de Cercas y Suministros S.A.S

**Figura 11** Diseño preliminar del sistema fotovoltaico



*Nota.* Elaborado por medio de AutoCAD.

La ilustración 11 representa el diseño de un sistema fotovoltaico aislado. En el diagrama se identifican de forma clara y precisa los principales componentes del sistema: módulos solares,

banco de baterías, regulador de carga, inversor y conexiones eléctricas, así como su disposición espacial y relación funcional.

Luego de obtener la cantidad de los paneles a instalar en cada casa, se procedió a calcular la potencia generada por los mismos, llamada en este caso, potencia del arreglo, en donde se multiplica el número de paneles por la potencia máxima de cada uno, el cual es de 580 W y a su vez se le resta un factor de pérdidas global del generador que es del 25%, en donde se contemplan las pérdidas por conexionado y dispersión de parámetros, las pérdidas debidos al punto de trabajo del sistema, la disminución de potencia entre la nominal y la real de los módulos; siendo así:

$$Potencia\ del\ arreglo\ (Pa): 4 * 580W = 2.320\ W$$

$$Pa: 2.320\ W - 25\% = 1.740\ W = 1.74\ Kw$$

Después, se procedió a calcular las cargas AC generadas por el arreglo, para saber cuál es el porcentaje de electricidad que se podría suplir de la demanda consumida por casa, para esto, se tuvo en cuenta las horas de pico solar para Villavicencio, utilizando la radiación promedio diaria en Villavicencio, como se demuestra a continuación:

$$Horas\ de\ Pico\ Solar\ (HPS) = R\ I(CEM) = 5,5\ kWh/m^2\ 1\ kW/m^2 = 5,5\ h$$

Donde:

$R =$  radiación media diaria en kWh/m<sup>2</sup>día

$$I(CEM) = potencia\ de\ radiación\ incidente\ en\ kW/m^2\ en\ CEM = 1\ kW/m^2$$

Finalmente, se utilizan las eficiencias de los equipos propuestos por la empresa Cercas y suministros S.A.S:

$$Cargas\ AC\ (Wh\ día) = Pa * EB * EI * ER * HPS$$

$$= 1.74\ kW * 0,8 * 0,88 * 0,98 * 5.5\ H\ día$$

$$Cargas\ AC\ (Wh\ día) = 6.6\ Kwh\ día = 198\ Kwh\ mes$$

Donde:

$EB =$  Eficiencia de las baterías

$EI =$  Eficiencia del inversor

$ER =$  Eficiencia del regulador

En consecuencia, considerando que el consumo promedio mensual de electricidad por vivienda en el conjunto residencial es de aproximadamente 174 kilovatios-hora (kWh/mes), y que la energía generada por el sistema fotovoltaico propuesto alcanza un valor estimado de 198

kilovatios-hora por mes, se puede establecer que la producción energética del sistema supera la demanda eléctrica de una vivienda.

Específicamente, esta relación indica que el sistema sería capaz de cubrir hasta el 113.8% del consumo mensual, lo que representa no solo una autosuficiencia energética, sino también un excedente potencial que podría ser inyectado a la red o almacenado para momentos de menor generación.

Esta capacidad de sobrecubrir la demanda representa una ventaja significativa en términos de sostenibilidad y eficiencia, ya que garantiza el abastecimiento continuo y reduce la dependencia de fuentes externas de energía.

**Tabla 8** Previsualización final del sistema fotovoltaico



*Nota.* Elaborado por medio de *AutoCAD/SketchUp*

La imagen 1 muestra una fotografía real de una vivienda del conjunto residencial Nueva Esperanza II, la cual sirve como referencia arquitectónica para el diseño del sistema fotovoltaico. La imagen 2 presenta el diseño técnico de la misma vivienda en formato AutoCAD, incluyendo las dimensiones generales: 6 m de frente, 14 m de profundidad y 5 m de altura total (2,5 m por cada piso). En la cubierta se disponen cuatro paneles solares con una longitud total de 4,52 m, instalados de manera que optimicen la captación solar.

Finalmente, la imagen 3 corresponde a una visualización en 3D del diseño final del sistema fotovoltaico integrado en la vivienda, evidenciando su disposición estética y funcional para su implementación en el conjunto.

### **9.3 Ventajas de la implementación del sistema fotovoltaico**

#### ***9.3.1 Evaluación de viabilidad económica***

El costo total de la instalación propuesta por la empresa fue de \$11.130.300 COP a una vivienda del conjunto residencial, incluyendo una garantía de tres años para las baterías y quince años para los paneles solares. Para las 150 viviendas existentes en el conjunto residencial, el costo total para la implementación de estos paneles solares sería de \$1.669.545.000 COP, adquirir los paneles con Cercas y suministros S.A.S garantiza un descuento de 10% sobre el total, ahorrando \$ 166.954.500,00 COP y obteniendo al final un costo por casa de \$ 10.017.270 COP.

#### ***9.3.2 Impacto económico y ambiental de la implementación del sistema fotovoltaico***

La implementación de sistemas fotovoltaicos en el conjunto residencial Nueva Esperanza II genera un impacto positivo desde las dimensiones económica y ambiental. El análisis realizado en el presente proyecto evidencia que cada vivienda, al instalar un sistema solar aislado de 4 paneles, con un inversor híbrido y baterías de respaldo, puede generar en promedio 198 kWh/mes, lo cual representa una cobertura del 113.8% del consumo energético promedio mensual (174 kWh/mes).

Esta sobreproducción permite considerar opciones de almacenamiento o inyección a la red, conforme a lo establecido en la Resolución CREG 030 de 2018, que regula la autogeneración a pequeña escala en Colombia (Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2018).

Desde el punto de vista ambiental, la implementación del sistema contribuye a una reducción directa en la huella de carbono del conjunto residencial. Se evita el uso de energía proveniente de fuentes no renovables y se apoya la transición hacia un modelo energético más limpio. Según datos del Ministerio de Minas y Energía, cada kWh generado con fuentes renovables en lugar de fuentes térmicas evita la emisión de aproximadamente 0.43 kg de CO<sub>2</sub> (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2021). Esto implica que cada vivienda, al generar 198 kWh

mensuales, estaría evitando la emisión de 85.1 kg de CO<sub>2</sub>/mes, lo que representa más de 1 tonelada anual por vivienda (ESI Renovables, 2020).

Para el conjunto completo (150 viviendas), la reducción potencial en emisiones sería superior a 150 toneladas de CO<sub>2</sub> por año, lo cual es altamente significativo a nivel urbano y respalda el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en especial:

- ODS 7: Energía asequible y no contaminante.
- ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles.
- ODS 13: Acción por el clima.

### 9.3.3 Identificación de beneficios

Para evaluar la viabilidad financiera de la implementación de un sistema fotovoltaico en cada vivienda del conjunto residencial, se realizó un análisis detallado de los costos, el ahorro potencial y el tiempo estimado de recuperación de la inversión.

La inversión inicial para instalar paneles solares en una vivienda es de \$ 10.017.270 COP.

Sin embargo, se debe tener en cuenta la garantía de los componentes, los paneles solares duran 25 años y las baterías tienen una garantía de 5 años, por lo que en 25 años se requieren 8 baterías (dos cada cinco años), el costo por cada ciclo se puede ver en la siguiente tabla:

**Tabla 9** Costo renovacion de baterias

Tiempo	Adicional	Costo Unitario (\$COP)	Meses	Costo Mensual (\$COP)	Costo Total Ciclo (\$COP)
<b>0 A 5 AÑOS</b>	SISTEMA	10,017,270.00	300	33,390.90	33,390.90
<b>5 A 10 AÑOS</b>	BATERIA 1	3,976,945.00	60	66,282.42	99,673.32
<b>10 A 15 AÑOS</b>	BATERIA 2	5,272,031.00	60	87,867.18	121,258.08
<b>15 A 20 AÑOS</b>	BATERIA 3	6,988,859.00	60	116,480.98	149,871.88
<b>20 A 25 AÑOS</b>	BATERIA 4	9,264,769.00	60	154,412.82	187,803.72

*Nota.* Elaborado por medio de Excel

La tabla 9, presenta una proyección de los costos asociados al reemplazo del sistema de baterías en una vivienda del conjunto residencial Nueva Esperanza II durante un período de 25 años. El año 0 corresponde a la inversión inicial, estimada en \$10.017.270 COP, que incluye la

adquisición e instalación de las baterías para cubrir las necesidades energéticas de la vivienda. Posteriormente, se anticipan reemplazos cada 5 años, considerando que cada sistema requiere dos baterías, con un costo base de \$3.000.000 COP (a razón de \$1.500.000 COP por unidad). Este valor se ajusta aplicando un incremento anual del 5.8 %, para reflejar la inflación o variación de precios en el mercado, resultando en los valores de reemplazo indicados en los años 5 (\$3,976,945.00), 10 (\$5,272,031.00), 15 (\$6,988,859.00), y 20 (\$9,264,769.00).

El costo total estimado a lo largo de los 25 años alcanza los \$35.519.874.00 COP, sumando todos los reemplazos sucesivos.

Según un estudio del Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) (Lewin, 2023), los costos globales del almacenamiento en baterías han disminuido en cerca de un 85 % durante la última década, lo que representa una reducción significativa y continúa mejorando la viabilidad económica de los sistemas solares con almacenamiento.

Esta tendencia permite inferir que los precios de baterías para aplicaciones fotovoltaicas tienden a reducirse, aunque factores como la inflación nacional y local pueden motivar ajustes de precios específicos en el contexto colombiano. Gracias a esto, el proyecto adopta una estimación conservadora en sus cálculos financieros, considerando un aumento del 5.8 % anual en el costo de baterías por precaución financiera (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2024).

Según los datos recopilados, una vivienda consume en promedio 174 kWh/mes, la factura mensual promedio es de \$134.847,086 COP, el sistema fotovoltaico propuesto tiene una capacidad de generación de 198 kWh/mes, lo que representa un excedente del 13,8% respecto al consumo promedio.

**Tabla 10** *Excedente de energía*

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
<b>Consumo mensual promedio</b>	174 kWh
<b>Producción mensual sistema solar</b>	198 kWh
<b>Excedente de energía</b>	24 kWh (13,8%)

Al implementar este sistema de paneles, se procede a estimar los precios tanto mensuales como anuales del consumo energético por vivienda, explicado en la siguiente tabla:

Tabla 11 Consumo de energía

ENERGIA					
Tiempo	Costo inicial	Incremento anual	Tarifa mensual=Costo mensual + incremento	Meses	Costo anual
AÑO 1	\$ 134,847.86	-	\$ 134,847.86	12	\$ 1,618,174.32
AÑO 2	-	\$ 20,631.72	\$ 155,479.58	12	\$ 1,865,754.99
AÑO 3	-	\$ 23,788.38	\$ 179,267.96	12	\$ 2,151,215.50
AÑO 4	-	\$ 27,428.00	\$ 206,695.96	12	\$ 2,480,351.48
AÑO 5	-	\$ 31,624.48	\$ 238,320.44	12	\$ 2,859,845.25
AÑO 6	-	\$ 14,299.23	\$ 252,619.66	12	\$ 3,031,435.97
AÑO 7	-	\$ 15,157.18	\$ 267,776.84	12	\$ 3,213,322.13
AÑO 8	-	\$ 16,066.61	\$ 283,843.45	12	\$ 3,406,121.45
AÑO 9	-	\$ 17,030.61	\$ 300,874.06	12	\$ 3,610,488.74
AÑO 10	-	\$ 18,052.44	\$ 318,926.51	12	\$ 3,827,118.07
AÑO 11	-	\$ 19,135.59	\$ 338,062.10	12	\$ 4,056,745.15
AÑO 12	-	\$ 20,283.73	\$ 358,345.82	12	\$ 4,300,149.86
AÑO 13	-	\$ 21,500.75	\$ 379,846.57	12	\$ 4,558,158.85
AÑO 14	-	\$ 22,790.79	\$ 402,637.37	12	\$ 4,831,648.38
AÑO 15	-	\$ 24,158.24	\$ 426,795.61	12	\$ 5,121,547.28
AÑO 16	-	\$ 25,607.74	\$ 452,403.34	12	\$ 5,428,840.12
AÑO 17	-	\$ 27,144.20	\$ 479,547.54	12	\$ 5,754,570.53
AÑO 18	-	\$ 28,772.85	\$ 508,320.40	12	\$ 6,099,844.76
AÑO 19	-	\$ 30,499.22	\$ 538,819.62	12	\$ 6,465,835.44
AÑO 20	-	\$ 32,329.18	\$ 571,148.80	12	\$ 6,853,785.57
AÑO 21	-	\$ 34,268.93	\$ 605,417.73	12	\$ 7,265,012.71
AÑO 22	-	\$ 36,325.06	\$ 641,742.79	12	\$ 7,700,913.47
AÑO 23	-	\$ 38,504.57	\$ 680,247.36	12	\$ 8,162,968.28
AÑO 24	-	\$ 40,814.84	\$ 721,062.20	12	\$ 8,652,746.37
AÑO 25	-	\$ 43,263.73	\$ 764,325.93	12	\$ 9,171,911.16

La tabla 11 presentada, detalla la estimación de los costos energéticos por vivienda a lo largo de 25 años, contemplando dos variables: un incremento anual del 15.3 % en la tarifa de energía eléctrica, un análisis presentado por Corficolombiana encontró que entre 2021 y 2024 las tarifas de energía en Colombia se incrementaron 15.3% anual, siendo el repunte más alto de los últimos 23 años (Medina Ariza, 2024). Dicho incremento en la tarifa se aplicó en el primer ciclo del sistema fotovoltaico, el cual inicia en el año 1 hasta el año 5, a partir del segundo ciclo debido que los valores con el 15.3% eran bastante elevados, se optó por tener en cuenta aumento anual del 6 % en el salario, este porcentaje es una proyección que realizó el centro de estudios económicos de Colombia (Revista Semana, 2024), estos porcentajes fueron utilizados como referencia para proyectar los montos futuros en función de la inflación y las condiciones socioeconómicas locales. Este enfoque permite visualizar cómo evolucionará el costo energético

bajo condiciones de mercado cambiantes y proporciona una base sólida para evaluar la viabilidad económica de los sistemas fotovoltaicos, anticipando el impacto de dichos incrementos en el flujo de caja familiar y en la recuperación de la inversión.

Es necesario conocer los costos mensuales y anuales junto con las baterías por ciclo, costos que fueron calculados previamente en la tabla 7, cada ciclo tiene su incremento, por lo tanto sus costos anuales van a incrementar, como se puede observar en la siguiente tabla:

**Tabla 12** *Costo anual de energía fotovoltaica*

<b>ENERGIA FOTOLVAICA</b>				
<b>TIEMPO</b>	<b>Costo ciclo</b>	<b>Meses año</b>	<b>Costo anual</b>	<b>Costo Acumulado</b>
<b>AÑO 1</b>	\$ 33,390.90	12	\$ 400,690.80	\$ 1,217,483.52
<b>AÑO 2</b>	\$ 33,390.90	12	\$ 400,690.80	\$ 1,465,064.19
<b>AÑO 3</b>	\$ 33,390.90	12	\$ 400,690.80	\$ 1,750,524.70
<b>AÑO 4</b>	\$ 33,390.90	12	\$ 400,690.80	\$ 2,079,660.68
<b>AÑO 5</b>	\$ 33,390.90	12	\$ 400,690.80	\$ 2,459,154.45
<b>AÑO 6</b>	\$ 99,673.32	12	\$ 1,196,079.80	\$ 1,835,356.17
<b>AÑO 7</b>	\$ 99,673.32	12	\$ 1,196,079.80	\$ 2,017,242.33
<b>AÑO 8</b>	\$ 99,673.32	12	\$ 1,196,079.80	\$ 2,210,041.65
<b>AÑO 9</b>	\$ 99,673.32	12	\$ 1,196,079.80	\$ 2,414,408.94
<b>AÑO 10</b>	\$ 99,673.32	12	\$ 1,196,079.80	\$ 2,631,038.27
<b>AÑO 11</b>	\$ 121,258.08	12	\$ 1,455,097.00	\$ 2,601,648.15
<b>AÑO 12</b>	\$ 121,258.08	12	\$ 1,455,097.00	\$ 2,845,052.86
<b>AÑO 13</b>	\$ 121,258.08	12	\$ 1,455,097.00	\$ 3,103,061.85
<b>AÑO 14</b>	\$ 121,258.08	12	\$ 1,455,097.00	\$ 3,376,551.38
<b>AÑO 15</b>	\$ 121,258.08	12	\$ 1,455,097.00	\$ 3,666,450.28
<b>AÑO 16</b>	\$ 149,871.88	12	\$ 1,798,462.60	\$ 3,630,377.52
<b>AÑO 17</b>	\$ 149,871.88	12	\$ 1,798,462.60	\$ 3,956,107.93
<b>AÑO 18</b>	\$ 149,871.88	12	\$ 1,798,462.60	\$ 4,301,382.16
<b>AÑO 19</b>	\$ 149,871.88	12	\$ 1,798,462.60	\$ 4,667,372.84
<b>AÑO 20</b>	\$ 149,871.88	12	\$ 1,798,462.60	\$ 5,055,322.97
<b>AÑO 21</b>	\$ 187,803.72	12	\$ 2,253,644.60	\$ 5,011,368.11
<b>AÑO 22</b>	\$ 187,803.72	12	\$ 2,253,644.60	\$ 5,447,268.87
<b>AÑO 23</b>	\$ 187,803.72	12	\$ 2,253,644.60	\$ 5,909,323.68
<b>AÑO 24</b>	\$ 187,803.72	12	\$ 2,253,644.60	\$ 6,399,101.77
<b>AÑO 25</b>	\$ 187,803.72	12	\$ 2,253,644.60	\$ 6,918,266.56

*Nota.* Elaborado por medio de Excel

La tabla presenta la estimación de los costos asociados al sistema de energía fotovoltaica durante un periodo de 25 años, considerando los ciclos de reemplazo de baterías, se adopta un valor de 5.8 % de incremento anual en los costos de baterías. Este supuesto contempla factores locales, como inflación, costos logísticos o falta de producción en escala (Departamento

Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2024). Esta proyección permite anticipar el gasto total acumulado que implicará el mantenimiento de la autonomía energética en el conjunto residencial.

Cada ciclo corresponde a un intervalo de 5 años (Año 1, 6, 11, 16 y 21), momento en el cual es necesario sustituir las baterías del sistema fotovoltaico. Los costos de cada ciclo ya incluyen el efecto acumulado del incremento anual del 5.8 % sobre el valor de las baterías, de manera que cada nuevo reemplazo refleja un precio mayor debido a la inflación del mercado y a la variación en los costos de producción y logística.

Costo ciclo: Representa el valor actualizado de las baterías que debe ser asumido en ese año específico. Por ejemplo, en el Año 1 el costo del ciclo es de \$33 390,90 COP (costo total e inicial del sistema), mientras que en el Año 21 este valor asciende a \$187,803.72 COP, adicionándole el valor de la batería del ciclo.

Costo anual: Una vez determinado el costo del ciclo, se multiplica por los 12 meses del año, obteniendo el gasto anual estimado que debe cubrir la vivienda para garantizar el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

Costo acumulado: Este valor resulta de sumar los costos anuales año tras año, lo que permite visualizar el gasto total proyectado durante toda la vida útil del sistema (25 años). Al final del periodo, el costo acumulado alcanza aproximadamente \$6,918,266.56 COP. Este cálculo ofrece una visualización de la inversión a largo plazo, considerando no solo el costo inicial, sino también la reposición periódica de baterías uno de los componentes de mayor desgaste en un sistema fotovoltaico y el comportamiento esperado de los precios en el mercado.

Para finalizar si es viable implementar este sistema de energía fotovoltaico, es necesario tener en cuenta tanto los costos de la energía como los costos de los ciclos, para así obtener un costo final de todo el sistema en los 25 años y concluir su viabilidad, como se explica en la siguiente tabla:

**Tabla 13** Viabilidad del sistema fotovoltaico.

TIEMPO	COSTO ANUAL ELECTRICA \$	COSTO ANUAL FOTOVOLTAICA \$	AHORRO \$	AHORRO ACUMULADO \$	INVERSION \$	SALDO \$
AÑO 1	1,618,174.32	400,690.80	1,217,483.52	1,217,483.52	10,017,270.00	8,799,786.48
AÑO 2	1,865,754.99	400,690.80	1,465,064.19	2,682,547.71	10,017,270.00	7,334,722.29
AÑO 3	2,151,215.50	400,690.80	1,750,524.70	4,433,072.42	10,017,270.00	5,584,197.58
AÑO 4	2,480,351.48	400,690.80	2,079,660.68	6,512,733.09	10,017,270.00	3,504,536.91

**Tabla 13.** *Continuación*

AÑO 5	<b>2,859,845.25</b>	<b>400,690.80</b>	<b>2,459,154.45</b>	<b>8,971,887.55</b>	<b>10,017,270.00</b>	<b>1,045,382.45</b>
<b>AÑO 6</b>	3,031,435.97	1,196,079.80	1,835,356.17	1,835,356.17	5,022,327.45	3,186,971.29
AÑO 7	3,213,322.13	1,196,079.80	2,017,242.33	3,852,598.49	4,694,382.45	841,783.96
<b>AÑO 8</b>	<b>3,406,121.45</b>	1,196,079.80	<b>2,210,041.65</b>	<b>6,062,640.15</b>	<b>4,694,382.45</b>	<b>- 1,368,257.69</b>
AÑO 9	3,610,488.74	1,196,079.80	2,414,408.94	8,477,049.09	4,694,382.45	-3,782,666.63
AÑO 10	3,827,118.07	1,196,079.80	2,631,038.27	11,108,087.35	4,694,382.45	-6,413,704.90
<b>AÑO 11</b>	4,056,745.15	1,455,097.00	2,601,648.15	13,709,735.50	5,272,031.00	-8,437,704.50
AÑO 12	4,300,149.86	1,455,097.00	2,845,052.86	16,554,788.36		
AÑO 13	4,558,158.85	1,455,097.00	3,103,061.85	19,657,850.21		
AÑO 14	4,831,648.38	1,455,097.00	3,376,551.38	23,034,401.59		
<b>AÑO 15</b>	5,121,547.28	1,455,097.00	3,666,450.28	26,700,851.87	16,399,000.00	- 10,301,851.87
<b>AÑO 16</b>	5,428,840.12	1,798,462.60	3,630,377.52	30,331,229.39		
AÑO 17	5,754,570.53	1,798,462.60	3,956,107.93	34,287,337.32		
AÑO 18	6,099,844.76	1,798,462.60	4,301,382.16	38,588,719.48		
AÑO 19	6,465,835.44	1,798,462.60	4,667,372.84	43,256,092.33		
AÑO 20	6,853,785.57	1,798,462.60	5,055,322.97	48,311,415.30		
AÑO 21	7,265,012.71	2,253,644.60	5,011,368.11	53,322,783.40		
AÑO 22	7,700,913.47	2,253,644.60	5,447,268.87	58,770,052.27		
AÑO 23	8,162,968.28	2,253,644.60	5,909,323.68	64,679,375.95		
AÑO 24	8,652,746.37	2,253,644.60	6,399,101.77	71,078,477.72		
AÑO 25	9,171,911.16	2,253,644.60	6,918,266.56	77,996,744.27		

La tabla presenta la proyección económica del comportamiento del servicio eléctrico y del sistema fotovoltaico por vivienda durante un periodo de 25 años, considerando los reemplazos de baterías en ciclos de 5 años y su respectivo incremento del 5.8% anual en el costo. En la primera columna se muestra el costo anual de la energía eléctrica adquirida desde la red, que representa el gasto que tendría la vivienda sin la implementación del sistema fotovoltaico. En la segunda columna se indica el costo anual del sistema fotovoltaico, el cual se calcula con base en el valor del ciclo de baterías (cuando corresponde el reemplazo) o únicamente los costos operativos en los demás años. La tercera columna refleja el ahorro anual, obtenido de la diferencia entre el costo de la energía de la red y el costo con el sistema fotovoltaico, mientras que la cuarta columna presenta el ahorro acumulado a lo largo del tiempo, sumando los ahorros obtenidos desde el año 1.

En la columna de inversión se registra el monto total desembolsado en cada año, que incluye la inversión inicial de instalación en el primer año y los costos de reposición de baterías en los años de ciclo. Finalmente, la columna de saldo se calcula restando la inversión acumulada del ahorro acumulado, lo que permite determinar si la vivienda ya ha recuperado la inversión o si aún existe un saldo pendiente. El signo negativo indica que el capital que queda libre de realizar

la operación de inversión versus ahorro anual, el signo positivo es el saldo pendiente para pagar cada uno de los ciclos.

De acuerdo con los resultados, en el año 1 el ahorro acumulado es de \$1.217.483,52 frente a una inversión inicial de \$10.017.270, lo que genera un saldo de \$8.799.786,48, evidenciando que aún no se recupera la inversión. Sin embargo, con el paso de los años y gracias al ahorro operativo que produce el sistema, el punto de equilibrio se alcanza alrededor del año 8, momento en el que el ahorro acumulado (\$6.062.640,15) supera la inversión acumulada (\$4.694.382,45), generando un saldo negativo de \$1.368.257,69 lo que indica una notable ganancia. A partir de este año, las ganancias se incrementan de forma sostenida, incluso considerando los reemplazos periódicos de baterías. Por ejemplo, en el año 15 las ganancias superan los \$10 millones, y al finalizar el periodo de análisis, en el año 25, el beneficio neto es significativamente mayor, lo que demuestra la viabilidad económica del sistema a largo plazo.

Este comportamiento evidencia que, aunque la inversión inicial y los costos de reposición representan desembolsos importantes, la magnitud del ahorro anual obtenido al reducir la compra de energía de la red compensa dichos gastos y genera rentabilidad creciente en el tiempo. En conclusión, la implementación de un sistema fotovoltaico en estas condiciones no solo permite alcanzar el retorno de la inversión en un periodo relativamente corto, sino que también garantiza utilidades sostenidas durante el resto de la vida útil del sistema.

En Colombia, los usuarios que generan energía mediante sistemas solares fotovoltaicos pueden vender los excedentes de energía a la red eléctrica. Este proceso está regulado por la Ley 1715 de 2014 y la Resolución CREG 030 de 2018 (Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2025), que establecen los lineamientos para la autogeneración a pequeña escala y la venta de excedentes.

Los excedentes de energía que no se compensan con el consumo propio se remuneran al precio horario de la bolsa de energía. Uno de los aspectos más destacables de este sistema es su eficiencia. El análisis energético demostró que el sistema genera el 113,8% del consumo mensual promedio por vivienda, lo que equivale a un excedente de energía del 13,8%, correspondiente a 24 kilovatios-hora (kWh) mensuales que no son consumidos directamente por los usuarios. Esta energía sobrante puede inyectarse nuevamente a la red eléctrica, gracias a los lineamientos establecidos en Colombia mediante la Resolución CREG 030 de 2018, que reglamenta la conexión de pequeños autogeneradores y gestores energéticos al Sistema Interconectado Nacional (SIN).

En este contexto, las empresas comercializadoras están facultadas para compensar o comprar el excedente de energía generado por los usuarios. Suponiendo un precio promedio de \$300 COP por cada kWh vendido (Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), 2025) el ingreso mensual que recibiría cada vivienda por concepto de venta de excedentes sería de aproximadamente \$7.200 COP.

#### **9.3.4 Beneficios económicos y ambientales**

La implementación de un sistema fotovoltaico en el conjunto residencial Nueva Esperanza II ofrece beneficios significativos tanto en el ámbito económico como en el ambiental. Desde el punto de vista financiero, la generación de electricidad a partir de la radiación solar reduce de manera considerable el gasto mensual en energía eléctrica, generando un ahorro acumulativo que, según los cálculos realizados en este estudio, permite recuperar la inversión inicial y comenzar a obtener utilidades a partir del año 8 de operación. Además, al disminuir la dependencia de la red pública, los residentes quedan protegidos frente a los incrementos anuales de las tarifas eléctricas, estimados en un 15.3 %, lo que asegura estabilidad en los costos energéticos a largo plazo. Otros beneficios incluyen la revalorización de las viviendas gracias a la incorporación de tecnología sostenible y el bajo costo de mantenimiento de los sistemas.

En el ámbito ambiental, el uso de energía solar contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mitigando así los impactos del cambio climático. Este tipo de generación no requiere grandes volúmenes de agua para su funcionamiento, a diferencia de las plantas térmicas o hidroeléctricas, lo que se traduce en una menor huella hídrica.

Adicionalmente, se aprovecha un recurso renovable abundante y local, dado que Villavicencio presenta una radiación solar estable durante gran parte del año. Finalmente, la implementación de este sistema fomenta la cultura ambiental y la adopción de hábitos sostenibles entre los residentes, convirtiéndose en un modelo replicable para otras comunidades urbanas.

#### **9.3.5 Desventajas del sistema fotovoltaico**

Aunque los sistemas fotovoltaicos ofrecen importantes beneficios energéticos, económicos y ambientales durante su operación, también presentan algunas limitaciones que deben considerarse.

Entre ellas se incluyen la inversión inicial relativamente alta, la necesidad de un mantenimiento preventivo periódico y la dependencia de la radiación solar, lo que puede generar variaciones en la producción energética en días nublados o estaciones lluviosas.

No obstante, la desventaja más relevante desde el punto de vista ambiental radica en el impacto asociado a la fabricación y disposición de los componentes. La producción de paneles solares requiere la extracción y procesamiento de materiales como silicio, aluminio, cobre y plata, procesos que demandan un elevado consumo energético y generan emisiones de gases de efecto invernadero. En el caso de las baterías, fundamentales para el almacenamiento de energía en sistemas aislados, se utilizan metales como litio, cobalto y níquel, cuya explotación conlleva riesgos significativos de degradación de ecosistemas, contaminación de fuentes hídricas y afectaciones sociales en comunidades mineras.

Adicionalmente, al término de su vida útil, la gestión y disposición final de paneles y baterías representa un reto ambiental considerable. La ausencia de sistemas de reciclaje especializados en muchas regiones, incluida Colombia, aumenta la probabilidad de que estos equipos terminen en vertederos, liberando sustancias peligrosas como plomo o electrolitos ácidos. Este escenario resalta la importancia de implementar cadenas de reciclaje eficientes y políticas de economía circular que garanticen la recuperación y reutilización de materiales, reduciendo así su huella ambiental.

## 10. Análisis del aprovechamiento de aguas lluvias y estrategias complementarias de gestión hídrica

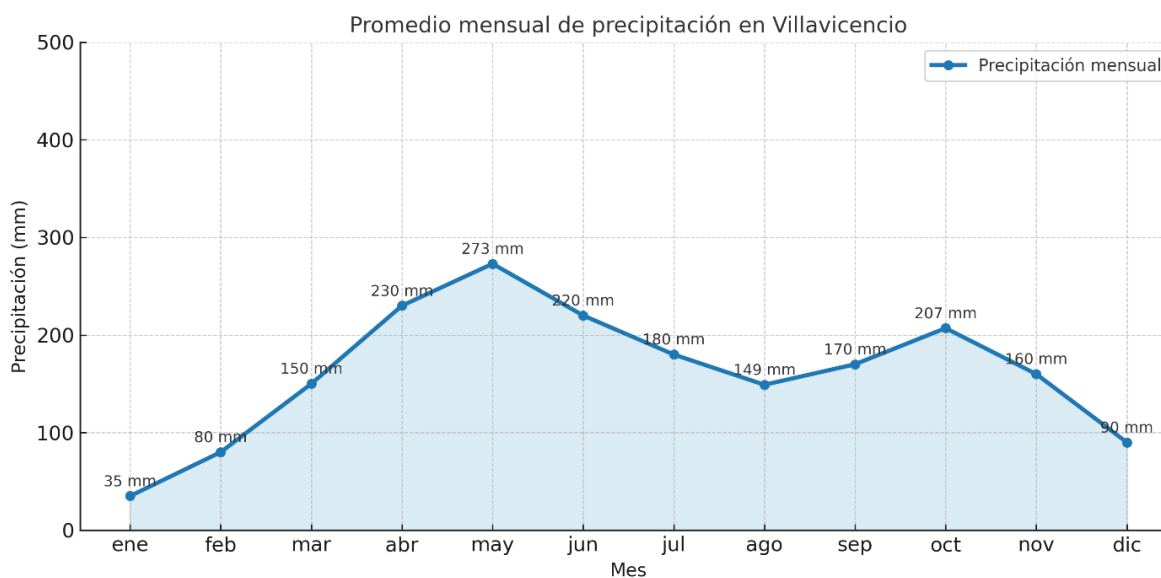
### 10.1 Condiciones climáticas de Villavicencio y su precipitación

Villavicencio, ubicada en la región de la Orinoquía colombiana, presenta un clima cálido-húmedo caracterizado por una alta pluviosidad a lo largo del año. Según datos recopilados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2023), la ciudad registra una precipitación anual promedio superior a los 3.800 mm, lo que la convierte en una de las zonas más lluviosas del país.

Las lluvias en Villavicencio no se distribuyen de manera uniforme durante el año. Se observan dos periodos claramente diferenciados: una temporada húmeda que va desde abril hasta noviembre, con picos en los meses de mayo (273 mm promedio) y octubre (207 mm), y una temporada seca entre diciembre y marzo, siendo enero el mes más seco, con un promedio de tan solo 35 mm de precipitación.

Esta variabilidad estacional se refleja claramente en la gráfica a continuación, la cual representa los promedios mensuales de precipitación en Villavicencio.

**Figura 12** *Precipitaciones mensuales*



*Nota.* Elaborado con datos IDEAM

Además de su abundancia, la calidad del agua lluvia en Villavicencio ha sido objeto de estudio. (Espinosa Martínez & Van audenhove Mejía, 2023) evaluaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del recurso captado en distintos puntos de la ciudad, encontrando que, aunque presenta variaciones según el lugar y las condiciones de captación, con un tratamiento adecuado mediante procesos como sedimentación, filtración y desinfección, puede alcanzar estándares aptos para usos domésticos no potables e incluso, en algunos casos, para consumo humano. Investigaciones como esta evidencian que el agua captada directamente de bajantes tiende a presentar mejores condiciones iniciales, con menor turbidez y color, en comparación con la recolectada a cielo abierto o desde cunetas, donde la presencia de sólidos, materia orgánica y contaminantes microbiológicos es mayor. Esto resalta la importancia de seleccionar adecuadamente el punto de captación y aplicar el tratamiento correspondiente para garantizar la calidad del recurso. En conjunto, estos resultados refuerzan el potencial del aprovechamiento de aguas lluvias en la región, especialmente en un contexto de alta precipitación anual como el de Villavicencio, donde el recurso es abundante pero requiere manejo técnico para su uso seguro.

### ***10.1.1. Oportunidades de implementación de tecnologías sostenibles***

**10.1.1.1. Captación y Reutilización de Aguas Lluvias.** La captación y aprovechamiento de aguas lluvias se presenta como una alternativa ambientalmente sostenible y técnicamente viable para reducir el consumo de agua potable en entornos residenciales. Esta estrategia consiste en recolectar el agua proveniente de precipitaciones a través de superficies impermeables, principalmente cubiertas o tejados para su posterior almacenamiento, tratamiento y uso en actividades no potables como el riego, lavado de pisos, vehículos o descarga de sanitarios.

En ciudades como Villavicencio, donde las precipitaciones superan los 3.800 mm anuales y se registran más de 240 días de lluvia al año, esta práctica no solo es factible, sino también estratégica en la gestión eficiente del recurso hídrico. Implementar sistemas de captación de aguas lluvias en viviendas multifamiliares como las del conjunto residencial Nueva Esperanza II puede traducirse en una disminución significativa del volumen de agua potable utilizada, al tiempo que reduce los costos en la factura mensual del servicio y mitiga el impacto ambiental por sobreexplotación de fuentes hídricas.

### 10.1.2. Análisis del consumo de agua

Para obtener un promedio representativo del consumo de agua, se utilizó un historial de facturas de viviendas del conjunto residencial Nueva Esperanza 2 durante un periodo de seis meses entre diciembre a mayo como se observa en la ilustración 13.

A partir de estos datos, se calcularon los promedios, los cuales se emplearon como base para simular los consumos de las 150 viviendas del conjunto (Anexo 2), los datos obtenidos para los seis meses de consumo de agua son:

- Diciembre: 16 m<sup>3</sup>
- Enero: 13 m<sup>3</sup>
- Febrero: 17 m<sup>3</sup>
- Marzo: 15 m<sup>3</sup>
- Abril: 25 m<sup>3</sup>
- Mayo: 17 m<sup>3</sup>

Gracias a esta recopilación de datos, se definió que el promedio mensual de consumo de luz por vivienda es de 18 m<sup>3</sup>.

**Figura 13** *Consumos de Agua*



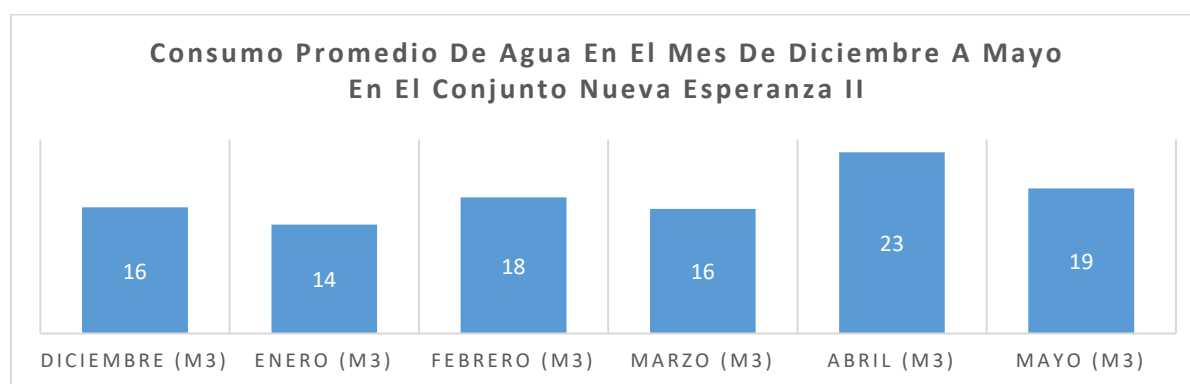
Estos promedios se replicarán en el conjunto de 150 viviendas para obtener un valor aproximado del consumo total de agua. Esta simulación permitirá anticipar el impacto de la posible implementación de tecnologías sostenibles como captación de agua de lluvia para la reducción del consumo y la disminución de la demanda de agua potable.

Para obtener el valor aproximado por vivienda en el conjunto, se elaboró una tabla en el cual se tuvo registro de los datos de consumo de las viviendas (Anexo 2) para así, promediar los resultados como se muestra a continuación:

**Tabla 14** Promedio de consumo de agua

Casa	Personas	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Consumo Agua m <sup>3</sup> /mes
<b>Casa 150</b>	4	16	14	18	16	23	19	18

Al promediar el consumo de todas las viviendas del conjunto residencial Nueva Esperanza 2, se determinó que cada vivienda alberga un promedio de 4 personas, quienes consumen aproximadamente 18 m<sup>3</sup> al mes de agua.

**Figura 14** Promedio Consumo Agua m<sup>3</sup>/mes

## 10.2 Evaluación de la viabilidad económica de tecnologías sostenibles

### 10.2.1. Evaluación de recursos

Se realizó un listado de empresas las cuales tienen los materiales necesarios para implementar el sistema de recolección de aguas lluvias y estrategias para el ahorro del agua, cabe resaltar que la empresa Cercas y Suministros S.A.S trabaja con bombas que funcionan con paneles solares, si se adquiere estos materiales con ellos, harán un descuento especial, por lo que favorece la idea de esta investigación. A continuación el listado de los materiales necesarios para el sistema:

**Tabla 15** Empresas y Locales en Villavicencio para Adquirir Materiales

Nombre del Establecimiento	Dirección	Productos Disponibles	Referencia
Homecenter Villavicencio	Carrera 39 # 19-59	Tanques de agua, tuberías PVC, geotextiles, arenas, gravas	Homecenter Villavicencio -

**Tabla 15.** *Continuación*

Ferretería El Constructor del Llano	<b>Calle 15 # 22-30</b>	<b>Tuberías PVC, accesorios de plomería</b>	<b>Ferretería Constructor del Llano</b>
Coval Comercial S.A.S	Carrera 16 # 13-40, Barrio San Ignacio	Materiales de construcción en general	Coval Comercial S.A.S
Distribuidora La Cima	Calle 15 # 18-20	Materiales de construcción, geotextiles	Distribuidora La Cima
Agregados y Triturados del Meta	Km 18 Vía Puerto López, Vereda Santa Rosa	Arena, grava, material de río	Agregados y Triturados del Meta
Ferretería Distribuidor Mayorista SG	Calle 20 Sur # 16AE-100-16AE-2	Materiales de construcción, herramientas	Ferretería Distribuidor Mayorista SG
Viamet: Viales y Áridos del Meta	Km 18 Vía Puerto López, Vereda Santa Rosa	Arena lavada, grava 3/4", material para concreto	Viamet: Viales y Áridos del Meta

**10.2.2. Selección de sistemas adecuados**

El sistema adecuado para la captación de aguas lluvias fue suministrado por Cercas y Suministros S.A.S. se hizo una cotización de los materiales, paneles solares que funcionan con la bomba, ideal para el conjunto Nueva Esperanza II.

**Tabla 16** *Materiales para sistema de recolección y captación de aguas lluvia*

<b>Nombre del Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (COP)</b>	<b>Valor Total (COP)</b>
Alambre de cobre #10 x metro 7 hilos	5	4.100	20.500
Bomba sumergible Handuro 55M-46LPM 120W a 24VCD HELI	1	1.400.000	1.400.000
Cable CU fotovoltaico 2KV 6MM NG/R	4	7.900	31.600
Cable encauchetado 2X16	12	3.800	45.600
Cable encauchetado 4X12 Nexas	16	14.300	228.800
Caja de tacos de riel x 8P Karluz	1	50.000	50.000
DPS Clamper Protec 3P PV DC DEC 150V - 40KA	1	165.000	165.000
Panel solar 575W MONO	1	480.000	480.000
Suiche flotador amarillo Karluz CX20	1	35.000	35.000
Taco Breaker-YRL7-63 DC 550V 2P 32A YRO	1	70.000	70.000
Varilla Copperweld 1.50	1	28.000	28.000
<b>Subtotal</b>			<b>2.223.277</b>
<b>IVA (19%)</b>			<b>331.223</b>
<b>Total a pagar</b>			<b>2.554.500</b>

*Nota.* Adaptado de Cercas Y Suministros S.A.S.

### ***10.2.3. Consideraciones específicas locales***

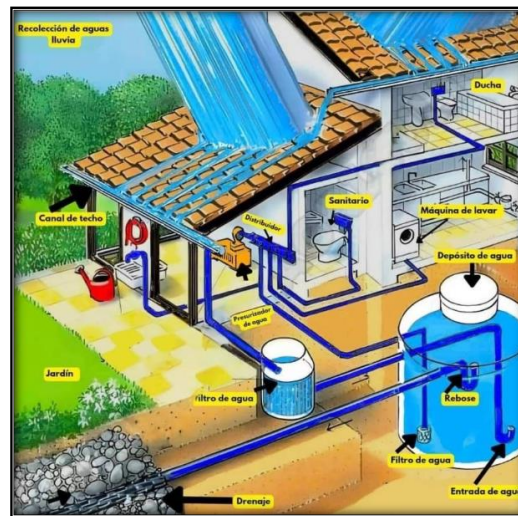
La implementación de un sistema de captación de aguas lluvias en el conjunto residencial Nueva Esperanza II requiere tener en cuenta diversas particularidades del entorno físico, climático y urbano de la ciudad de Villavicencio.

Desde el punto de vista climático, la ciudad presenta una alta pluviosidad, con un promedio anual superior a los 3.800 mm y un régimen de lluvias concentrado entre los meses de abril y noviembre. Esta frecuencia y volumen de precipitaciones hacen viable el diseño de sistemas de captación continua, incluso sin la necesidad de grandes volúmenes de almacenamiento en ciertas temporadas.

En cuanto al entorno urbano, las viviendas del conjunto están construidas con techos inclinados con canaletas, lo que facilita la recolección directa del agua lluvia desde las cubiertas. Además, cada unidad residencial cuenta con un pequeño espacio exterior o patio posterior donde es factible instalar tanques de almacenamiento sin afectar la movilidad ni la estética del entorno. Es necesario tener en cuenta los siguientes conceptos:

- **Canaletas o bajantes:** se instalan en los bordes de los techos para recoger el agua pluvial.
- **Filtro de hojas y desarenador:** en el punto de bajada, se coloca un filtro tipo malla o rejilla para eliminar hojas, ramas y partículas grandes, seguido de un primer filtro (puede ser un sistema casero con arena, grava, carbón activado y tela geotextil) para limpiar el agua de sedimentos finos.
- **Tubería de conducción:** el agua filtrada se dirige por tubería de PVC hacia un **tanque de almacenamiento**.
- **Tanque o cisterna:** preferiblemente de polietileno o concreto, con tapa hermética, válvula de purga y reboce. Debe estar instalado en un lugar fresco y techado para evitar el crecimiento de algas.
- **Válvula de flotador** para control automático del nivel de agua en el tanque.

En viviendas de dos pisos como las de un conjunto residencial, el tanque puede ubicarse en el nivel del suelo y mediante una bomba de baja presión.

**Figura 15** Ejemplo diseño recolección aguas lluvia

*Nota.* Adaptado de ETP Ingeniería

Además de la captación de aguas lluvias, existen estrategias complementarias orientadas a la reutilización de aguas grises en el entorno doméstico, las cuales permiten optimizar el uso del recurso hídrico sin comprometer el confort ni la funcionalidad de la vivienda. Una de las alternativas más accesibles es el aprovechamiento del agua residual generada por la lavadora, que puede ser redirigida y tratada para usos no potables como el riego de jardines, el lavado de pisos o la descarga de sanitarios.

Este tipo de soluciones, cuando se aplican de forma conjunta con sistemas de captación de lluvia, contribuyen significativamente a la reducción del consumo de agua potable, disminuyen la carga sobre los sistemas de alcantarillado y favorecen el desarrollo de prácticas sostenibles en los hogares. La reutilización del agua proveniente del ciclo de lavado representa una estrategia sencilla y efectiva para reducir el consumo de agua potable en las viviendas.

Esta agua, clasificada como agua gris, puede ser utilizada en actividades que no requieren agua tratada, tales como el lavado de pisos, riego de jardines, limpieza de exteriores o para la descarga de inodoros. (Muñoz Cárdenas, 2020).

La reutilización del agua proveniente de la lavadora, clasificada como agua gris, se presenta como una alternativa práctica y eficaz para reducir el consumo de agua potable en el hogar. No obstante, es importante tener en cuenta que su almacenamiento prolongado puede traer consigo ciertos inconvenientes si no se realiza bajo condiciones adecuadas.

Este tipo de agua contiene restos de detergentes, fibras textiles y otros residuos orgánicos que, si no se tratan de forma oportuna, pueden descomponerse rápidamente, generando olores desagradables y favoreciendo la aparición de bacterias y otros microorganismos.

En este sentido, cuando el agua gris permanece almacenada sin tratamiento por más de 24 a 48 horas, inicia un proceso de descomposición natural en el que predominan bacterias anaerobias, responsables de los malos olores y potenciales riesgos sanitarios. Además, si el almacenamiento se da en espacios abiertos o sin la protección adecuada, se convierte en un foco ideal para la reproducción de mosquitos, aumentando el riesgo de enfermedades transmitidas por vectores.

Para evitar este tipo de problemas, es fundamental que el agua reutilizada se emplee lo antes posible, preferiblemente dentro de las primeras 24 horas posteriores a su recolección.

En caso de que sea necesario conservarla por más tiempo, se recomienda la instalación de un sistema de filtrado sencillo en la salida de la lavadora.

Este filtro puede estar compuesto por materiales accesibles como arena, grava, tela geotextil e incluso carbón activado, los cuales ayudan a eliminar partículas sólidas y a disminuir la materia orgánica presente, mejorando así la calidad del agua almacenada.

Asimismo, el recipiente donde se almacene esta agua debe cumplir con ciertas características: lo ideal es que sea un tanque de plástico resistente, colocado en un lugar fresco y protegido del sol, con una tapa hermética que impida tanto el paso de la luz como el ingreso de insectos.

También es recomendable no reutilizar aguas grises con alta carga contaminante, como las del lavaplatos, y enfocarse en aquellas de menor riesgo, como las procedentes de la lavadora o la ducha. Si, por alguna razón, se necesita extender el periodo de almacenamiento más allá de los dos días, se puede considerar la aplicación de una pequeña cantidad de cloro, aproximadamente una o dos gotas por litro para frenar el desarrollo bacteriano. Sin embargo, esta medida debe emplearse únicamente cuando el agua se vaya a destinar a tareas como el riego de jardines o la limpieza de pisos, y nunca para usos que impliquen contacto directo con personas.

Finalmente, es importante establecer una rutina de mantenimiento del sistema, limpiando el tanque de almacenamiento al menos una vez al mes. Esta práctica ayuda a prevenir la acumulación de sedimentos, la formación de lodos y el desarrollo de biopelículas, asegurando así que la reutilización del agua gris sea una alternativa eficiente, segura y sostenible a largo plazo.

#### 10.2.4. Diseño preliminar del sistema y estrategias de ahorro de agua

Una vez teniendo claro los materiales y costos necesarios para implementar las estrategias propuestas para reducir consumos del agua en el conjunto residencial nueva esperanza II, se concluyó que, para una vivienda es necesario:

**Tabla 17** Materiales para recolección y reducción consumo de agua

Sistema Con Bomba (Cercas Y Suministros S.A.S)	\$	<b>2,554,500.00</b>
Válvulas	\$	276,000.00
Purgador De Aire	\$	100,000.00
Tanque De Almacenamiento De Agua	\$	192,000.00
Tubería Pvc 4"	\$	15,000.00
Arena	\$	7,500.00
Grava Triturada	\$	53,550.00
Tela Geotextil	\$	6,000.00
<b>Total Por Casa</b>	\$	<b>3,204,550.00</b>
<b>Total Por Conjunto</b>	\$	<b>480,682,500.00</b>
<b>Descuento De La Empresa (10%)</b>	\$	<b>48,068,250.00</b>
<b>Total Con Descuento De La Empresa</b>	\$	<b>432,614,250.00</b>

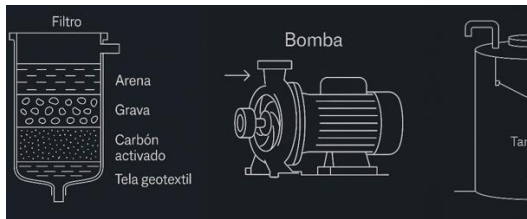
El costo total por casa, incluyendo elementos como el sistema con bomba, válvula anti retorno, purgador de aire, tanque de almacenamiento, tubería PVC, arena, grava triturada y tela geotextil, asciende a \$3,204,550.00. Dado que el conjunto está compuesto por 150 casas, el valor total de los materiales para todo el proyecto suma \$480,682,500.00.

Cabe resaltar que la empresa proveedora de estos materiales ofreció un descuento del 10 % por la compra de los materiales, lo que representa un ahorro de \$48,068,250.00, dejando un total final de \$432,614,250.00 por el suministro de todos los elementos requeridos.

##### 10.2.4.1. Diseños de la recolección de aguas lluvias al conjunto nueva esperanza II.

Fue necesario tener en cuenta el tanque que se iba a utilizar en la vivienda, situado en la parte trasera, conectada al canal que recolecta el agua el cual baja a travez del tubo, pasando por el filtro y por ultimo siendo almacenado en dicho tanque, para luego asi, ser distribuida el agua recolectada con ayuda de la bomba, al hogar para hacer uso tanto baños como en el resto del hogar para usos secundarios, puesto que esta agua no es potable.

**Figura 16** Elementos para el sistema de recolección



*Nota.* Elaborado por medio de AutoCAD.

**Figura 17** Bomba para el sistema de recolección

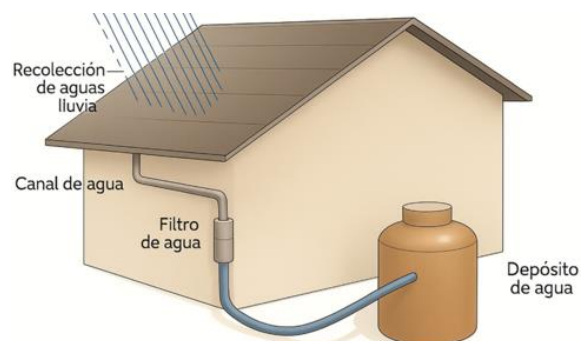


*Nota.* Adaptado de Cercas Y Suministros S.A.S.

La ilustración 18 presenta el esquema funcional del sistema de captación de aguas lluvias propuesto para las viviendas del conjunto residencial Nueva Esperanza II. El diseño contempla la recolección del agua precipitada mediante un canalón instalado en el borde inferior de la cubierta, el cual dirige el flujo hacia un conducto vertical donde se incorpora un filtro de agua. Este elemento cumple la función de retener partículas sólidas como hojas, sedimentos y residuos gruesos, evitando su ingreso al sistema de almacenamiento.

Posteriormente, el agua filtrada es conducida por tubería hasta un tanque de almacenamiento cilíndrico, ubicado en una zona adyacente de la vivienda. Este tanque permite conservar el recurso hídrico para su posterior utilización en actividades no potables como el riego de jardines, lavado de áreas comunes y descarga de sanitarios.

**Figura 18** Esquema funcional del sistema de captación de aguas lluvias en vivienda



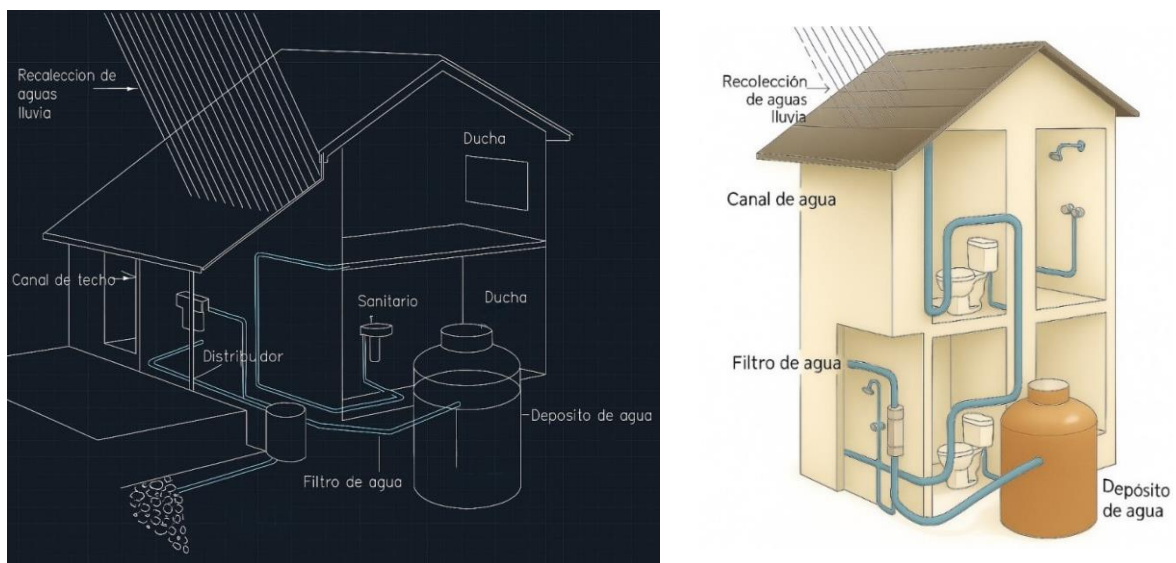
*Nota.* Elaborado por medio de AutoCAD / SketchUp.

La ilustración 19 muestra el esquema funcional del sistema completo de captación, filtrado y distribución de aguas lluvias diseñado para una vivienda unifamiliar. El sistema inicia con la recolección de agua precipitada sobre la cubierta, la cual es dirigida a través de canales de techo hacia un sistema de conducción primaria.

Allí, el agua es conducida hasta un distribuidor que permite separar el flujo hacia diferentes componentes, incluyendo un filtro de agua que elimina residuos sólidos antes de ingresar al depósito de almacenamiento.

Desde el tanque, el agua tratada es redistribuida hacia puntos de uso interno no potable como sanitarios y duchas, lo cual permite disminuir de forma significativa el consumo de agua potable proveniente del acueducto. Este tipo de sistema está orientado a maximizar el aprovechamiento de los recursos hídricos disponibles localmente, especialmente en ciudades como Villavicencio donde las precipitaciones son abundantes durante gran parte del año.

**Figura 19** Esquema funcional del sistema de captación, filtrado y distribución de aguas lluvias en vivienda.



*Nota.* Elaborado por medio de AutoCAD / SketchUp

**10.2.4.1. Diseños aprovechamiento de aguas grises de la lavadora.** Para implementar esta medida, se debe instalar una derivación desde la salida de agua de la lavadora hacia un tanque de almacenamiento adicional. Este tanque, preferiblemente de plástico de alta densidad, debe estar ubicado en un área protegida del sol directo y contar con una tapa hermética para evitar la proliferación de mosquitos.

A la entrada del tanque, se recomienda colocar un filtro casero compuesto por capas de arena, grava y tela geotextil, con el fin de retener residuos de detergente y partículas sólidas, para finalizar y controlar el paso del agua hacia el tanque, es necesario una valvula de flotador, regula la entrada de agua, cerrándose automáticamente cuando el agua alcanza un cierto nivel. (Rojas et al., 2022). Según la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, una lavadora automática consume entre 50 y 70 litros de agua por ciclo (Empresa de Acueducto y Alcantarillado Bogota (EAAB), 2022).

En una vivienda con tres lavadas semanales, esto representa hasta 840 litros mensuales. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2023) indica que la reutilización de estas aguas puede generar una reducción del 10% al 20% en el consumo mensual de agua potable, dependiendo del número de integrantes del hogar y la frecuencia de uso.

La Ilustración 20 presenta el diseño propuesto para la implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas grises provenientes de la lavadora, con el objetivo de optimizar el consumo de agua potable en el conjunto residencial. Este sistema incluye elementos clave como la filtración, almacenamiento y control automático de nivel, garantizando una reutilización segura y eficiente del recurso hídrico para actividades no potables como riego de jardines o limpieza de áreas comunes.

**Figura 20** *Diseño estrategias de ahorro*



*Nota.* Elaborado por medio de AutoCAD / SketchUp

La primera imagen (superior izquierda) detalla el diseño del filtro casero, compuesto por capas de arena, grava, carbón activado y tela geotextil, encargado de retener partículas sólidas y residuos de detergente. La segunda imagen (superior derecha) presenta un esquema técnico en AutoCAD del sistema instalado junto a la lavadora y conectado al tanque de almacenamiento. La tercera imagen (inferior izquierda) ilustra el tanque con válvula de flotador, que regula automáticamente la entrada de agua evitando sobrellenado. Finalmente, la cuarta imagen (inferior derecha) muestra una referencia visual real del sistema instalado, destacando su disposición y facilidad de integración en el entorno doméstico.

**10.2.4.1. Estrategias prácticas en sanitarios y lavamanos.** El agua recolectada puede ser canalizada mediante una red secundaria hacia el tanque del inodoro, donde se utiliza para las descargas. Esta solución puede complementarse con la instalación de sanitarios de doble descarga, los cuales permiten usar diferentes volúmenes de agua dependiendo del tipo de desecho. Esta combinación puede lograr una reducción del consumo de agua en baños de hasta el 30% (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2021).

En cuanto al uso en lavamanos, existe una opción innovadora y sostenible: los lavamanos integrados sobre el tanque del inodoro. En este sistema, el agua utilizada para lavarse las manos se canaliza directamente al tanque para su uso posterior en la descarga. Esta solución ha sido implementada con éxito en países como Japón y adaptada en América Latina por iniciativas de vivienda sostenible (ONU-Habitat, 2019).

**10.2.4.2. Mejora del sistema hidráulico mediante purgadores de aire.** Un complemento adicional para mejorar la eficiencia en el uso del agua es la instalación de purgadores de aire y válvulas anti retorno en las redes hidráulicas internas del hogar. Estos dispositivos eliminan bolsas de aire atrapadas en las tuberías, las cuales pueden generar lecturas elevadas en los medidores de consumo o afectar la presión del sistema.

La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), 2022) afirma que el uso de estos elementos mejora la precisión de la facturación y reduce desperdicios innecesarios.

### 10.3. Ventajas de la implementación

#### 10.3.1. Evaluación de la viabilidad económica

Para determinar la viabilidad económica de implementar sistemas de captación de aguas lluvias y reutilización de aguas grises en el conjunto residencial Nueva Esperanza II, se realizó un análisis de costos de materiales, instalación y ahorro proyectado en el consumo de agua potable.

Implementar estos sistemas sostenibles para ahorros de agua conllevan a beneficios notorios a lo largo de varios años los cuales se explican en la siguiente tabla:

**Tabla 18** Viabilidad del consumo del agua.

VIABILIDAD DEL CONSUMO DE AGUA		
Ahorro Por Implementación Del Sistema	25	%
Consumo Promedio De Agua Por Vivienda	18	m3/mes
Ahorro Por Consumo	4.5	m3/mes
Consumo Promedio Total Con Ahorro	13.5	m3/mes
Cargo Fijo Por Consumo	\$ 6,926.94	COP
Consumo Básico (0-16) M3/Mes	\$ 2,652.33	COP
Total Consumo Básico	\$ 42,733.40	COP
Subsidio Cargo Fijo	\$ 623.42	COP
Subsidio Consumo Básico	\$ 3,819.36	COP
Total A Pagar Por Consumo	\$ 38,290.62	COP
Total Factura Sin Método De Reducción	\$ 93,390.00	COP
Total Factura Con Método De Reducción	\$ 38,290.62	COP
Ahorro Por Mes Estimado	\$ 55,099.39	COP

La tabla presentada analiza la viabilidad del consumo de agua en una vivienda, tomando como base un consumo promedio mensual de 18 metros cúbicos (m<sup>3</sup>). A este valor se le aplica un ahorro estimado del 25 %, el cual representa la reducción proyectada tras implementar un sistema para optimizar el uso del agua. Con esta medida, el consumo disminuye en 4.5 m<sup>3</sup>, lo que da como resultado un consumo total ajustado de 13.5 m<sup>3</sup> al mes.

**Figura 21** *costo mensual consumo de agua en vivienda*

Con respecto a los costos asociados, se tiene un cargo fijo por consumo de \$6,926.94 COP y un valor por consumo básico (en el rango de 0 a 16 m<sup>3</sup>/mes) de \$2,652.33 COP por m<sup>3</sup>, lo que representa un total de \$42,733.40 COP por el consumo básico mensual. No obstante, se aplican subsidios tanto al cargo fijo como al consumo básico, con valores de \$623.42 COP y \$3,819.36 COP respectivamente. Gracias a estos subsidios, el valor total a pagar por el consumo se reduce a \$38,290.62 COP.

### **10.3.2. Identificación de beneficios**

En términos generales, si no se aplicara ningún método de reducción, el valor total de la factura ascendería a \$93,390.00 COP. Sin embargo, al implementar esta estrategia de ahorro, el costo mensual baja a \$38,290.62 COP, lo que representa un ahorro estimado de \$55,099.39 COP por mes por cada vivienda. Esto demuestra que la propuesta de reducción en el consumo de agua no solo es viable, sino altamente beneficiosa desde el punto de vista económico.

Cada vivienda realizó una inversión inicial de \$3,204,550 COP para implementar un sistema de reducción en el consumo de agua. Antes de dicha intervención, el valor mensual promedio de la factura de agua era de aproximadamente \$93,390 COP.

Tras la implementación del sistema, el nuevo costo mensual se redujo a \$38,290 COP, generando un ahorro mensual estimado de \$55,099 COP por vivienda. Si se considera este monto de ahorro constante mes a mes, el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial sería de aproximadamente 58 meses, lo que equivale a cerca de 4 años y 10 meses.

Esto significa que, una vez transcurrido ese periodo, los hogares comenzarían a obtener beneficios económicos netos, ya que el sistema habría cubierto completamente su costo y seguiría generando ahorros en la factura de agua durante su vida útil, esta inversión resulta rentable a mediano plazo.

### ***10.3.3. Impacto económico y ambiental***

La incorporación de sistemas de captación de aguas lluvias y reutilización de aguas grises en entornos residenciales representa una estrategia altamente ventajosa tanto en términos económicos como ambientales. En primer lugar, la recolección de aguas lluvias permite una significativa reducción en el uso de agua potable, lo que alivia la presión sobre las redes de acueducto y contribuye al cuidado de las fuentes hídricas. Según el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2023), una vivienda de techo promedio puede captar entre 600 y 1.000 litros por cada 10 m<sup>2</sup> de cubierta por mes, dependiendo de la intensidad de las lluvias. Al aplicar este sistema de manera constante, una vivienda puede reducir hasta un 25% del consumo mensual de agua potable (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2021), lo cual se traduce en un ahorro importante en la factura del servicio público. Adicionalmente, el sistema puede integrarse a estrategias complementarias como el uso de sanitarios de bajo consumo y lavamanos con sensores o temporizadores.

La implementación de estas estrategias no requiere de grandes inversiones ni conocimientos técnicos avanzados. Al contrario, se trata de soluciones prácticas que pueden ser adoptadas progresivamente por las familias de Villavicencio. No solo representa un ahorro económico significativo, sino que además conlleva beneficios ambientales de gran impacto, tanto a nivel local como global. A continuación, se profundiza en ambos aspectos, incluyendo casos exitosos, relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 6: agua limpia y saneamiento y el ODS 11: comunidades sostenibles.

La reutilización de aguas grises y la captación de aguas lluvias contribuyen directamente a la conservación de los recursos hídricos, reduciendo la presión sobre las fuentes de agua potable. En contextos de estrés hídrico, como el que actualmente enfrenta Bogotá, estas prácticas se vuelven fundamentales. Según la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), a raíz de la disminución en los niveles del embalse Chuza, se adoptaron medidas como la implementación de restricciones en el consumo de agua, promoviendo el uso eficiente y la reutilización en el hogar (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), 2024). Estas estrategias responden directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente al ODS 6: Agua limpia y saneamiento, que busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible.

Asimismo, se relacionan con el ODS 12: Producción y consumo responsables, al fomentar prácticas que minimizan el uso de recursos naturales. También contribuyen indirectamente al ODS 13: Acción por el clima, al reducir la energía necesaria para potabilizar y transportar el agua, disminuyendo la huella de carbono del hogar (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)., 2023).

Desde una perspectiva ambiental, estas prácticas ayudan a reducir el volumen de aguas residuales vertidas al sistema de alcantarillado, lo que a su vez mejora la calidad del agua en cuerpos receptores como ríos y quebradas. Esto mitiga el impacto ecológico sobre ecosistemas acuáticos y contribuye a una gestión más sostenible del ciclo hidrológico urbano (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2021).

En términos económicos, los ahorros obtenidos por cada vivienda son significativos. Como se detalla en la sección anterior, una familia puede ahorrar aproximadamente \$55,099 COP mensuales tras implementar un sistema de reutilización de agua, lo que equivale a \$661,188 COP anuales. Esta reducción en el gasto mensual por servicios públicos permite que la inversión inicial se recupere en un periodo estimado de 4 años y 10 meses.

Posteriormente, el sistema continúa generando beneficios económicos netos durante toda su vida útil. Adicionalmente, a nivel colectivo, la implementación de estas medidas puede representar un ahorro sustancial para entidades prestadoras del servicio de acueducto. Reducir la demanda de agua potable disminuye los costos asociados con su captación, tratamiento y distribución, y permite destinar mayores recursos a la ampliación de cobertura o el mejoramiento de la infraestructura hidráulica (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2023).

#### ***10.3.4. Comparacion antes y después del sistema de recolección y estrategias***

**Tabla 19** *Comparacion antes y despues de la implementacion*

Indicador	Antes De La Implementación	Después De La Implementación
Consumo De Agua Por Vivienda	18 m <sup>3</sup> /Mes	13.5 m <sup>3</sup> /Mes
Valor Mensual Factura De Acueducto	\$93.390 Cop	\$38.290,62 Cop
Ahorro Mensual Estimado	—	\$55.099,39 Cop
Porcentaje De Ahorro	—	25 %
Tipo De Consumo	100 % Agua Potable	Agua Potable + Lluvia + Lavadora

La implementación de sistemas de captación de aguas lluvias y estrategias de reutilización de aguas grises (como el uso del agua de la lavadora) en las viviendas del conjunto residencial Nueva Esperanza II, ha generado cambios significativos en el consumo mensual de agua potable y en el costo asociado a este servicio.

Antes de la intervención, el consumo promedio por vivienda era de 18 m<sup>3</sup>/mes, lo que generaba una factura mensual estimada de \$93.390 COP, incluyendo cargo fijo, consumo básico y sin aplicación de medidas de ahorro. Este nivel de consumo representaba una carga económica constante para las familias, además de una presión innecesaria sobre el sistema de acueducto. Después de la implementación de los sistemas de captación y reutilización, se evidenció una reducción del consumo promedio a 13.5 m<sup>3</sup>/mes, lo que representa una disminución del 25 %. Este nuevo nivel de consumo permite aplicar tarifas más bajas dentro del rango del consumo básico, y además acceder a subsidios establecidos por la normativa vigente. Como resultado, el valor de la factura mensual disminuyó a \$38.290,62 COP, lo que representa un ahorro mensual de \$55.099,39 COP por vivienda. Esta reducción no solo es económicamente relevante, sino que además contribuye a una cultura de uso responsable del agua, al tiempo que fomenta la adopción de tecnologías sostenibles en contextos urbanos.

## 11. Experiencias favorables de tecnologías sostenibles

Existen múltiples experiencias exitosas en Colombia y América Latina que respaldan la viabilidad de estas estrategias. En Medellín, Empresas Públicas de Medellín (EPM) ha promovido el uso de tecnologías para la recolección de aguas lluvias en viviendas y edificios públicos, generando ahorros de hasta un 30% en el consumo de agua potable (Empresa Pública de Medellín (EPM), 2020).

En la ciudad de Cuenca, Ecuador, se desarrolló un programa piloto para la recolección de aguas lluvias en viviendas sociales, el cual logró reducir el consumo doméstico en un 25%, además de mejorar la conciencia ciudadana sobre el cuidado del agua (ONU-Habitat, 2019).

En Japón, los sistemas de lavamanos integrados en tanques de inodoros han sido adoptados masivamente, promoviendo un uso doble del recurso y reduciendo significativamente el consumo en baños, que representa una de las mayores fuentes de gasto de agua en los hogares (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), 2021).

Un ejemplo significativo de estrategia sostenible aplicada al tratamiento de aguas residuales domésticas es el desarrollado por (Buitrago Fernández & Figueredo Rincón, 2024), quien diseñó y evaluó un prototipo de humedal artificial de flujo subsuperficial para la depuración de aguas provenientes de actividades de cocina y lavado. El sistema fue implementado en la vereda El Progreso, municipio de Villanueva, departamento de Casanare, y tuvo como finalidad evaluar la eficiencia depurativa de tres especies vegetales propias de la región de la Orinoquía: *Heliconia psittacorum*, *Musa x paradisiaca* (topocho) y *Colocasia esculenta* (bore).

El montaje experimental contempló tres humedales independientes, cada uno sembrado con una de las especies evaluadas, y con un diseño de flujo subsuperficial horizontal. El agua ingresaba tras un pretratamiento básico y recorría un lecho filtrante donde las raíces de las plantas, junto con la acción microbiana y los procesos físicos de sedimentación y filtración, contribuían a la eliminación de contaminantes. Se analizaron parámetros físico-químicos como pH, demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), grasas y aceites, nitrógeno total Kjeldahl (NTK), fósforo total, así como indicadores microbiológicos como coliformes totales y *Escherichia coli*.

Los resultados demostraron una alta eficiencia del sistema, con remociones de  $DBO_5$  superiores al 90 % en el caso de *Heliconia psittacorum* y *Colocasia esculenta*, cumpliendo los

límites establecidos por la Resolución 699 de 2021 para vertimiento al suelo (categoría III,  $\leq 100$  mg/L). En términos de DQO, las remociones fueron igualmente significativas, con reducciones superiores al 95 %, evidenciando la capacidad del sistema para degradar materia orgánica. El NTK presentó la mayor eficiencia de remoción con *Colocasia esculenta* ( $\approx 81,8$  %), mientras que las grasas, aceites y sólidos suspendidos prácticamente desaparecieron en el efluente tratado. En el componente microbiológico, las reducciones de *E. coli* superaron el 90 % en todos los casos, aunque para usos más exigentes, como el consumo humano, se recomendaría un proceso adicional de desinfección.

En cuanto al desempeño comparativo, la *Heliconia* mostró la mejor eficiencia global en remoción de materia orgánica, la *Colocasia* fue más efectiva en la reducción de nutrientes (nitrógeno), y la *Musa* presentó resultados favorables pero con concentraciones de DBO<sub>5</sub> ligeramente superiores a los límites normativos. Estos hallazgos reafirman el potencial de los humedales artificiales como una solución descentralizada, de bajo costo y con mínima demanda de operación, para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales o periurbanas.

Si bien este tipo de sistemas no será implementado en el Conjunto Residencial Nueva Esperanza II, su relevancia radica en que constituye una alternativa complementaria de gestión hídrica que podría integrarse en otros contextos, contribuyendo a la reducción de la carga contaminante sobre cuerpos de agua y fomentando el reúso seguro del recurso para fines no potables como riego de jardines, recarga de estanques o limpieza de áreas comunes. De esta forma, se evidencia que la incorporación de tecnologías naturales como los humedales construidos no solo tiene un impacto positivo ambiental, sino que también promueve una visión integral y sostenible en el manejo del agua.

## Conclusiones

- La evaluación de tecnologías sostenibles en el conjunto residencial Nueva Esperanza 2 de Villavicencio demuestra una alta viabilidad tanto económica como ambiental. La integración de sistemas fotovoltaicos y estrategias de uso eficiente del agua como la reutilización de aguas grises y la captación de lluvias ofrece una solución concreta frente al aumento de los costos de servicios y la presión sobre los recursos naturales.
- En el componente energético, el sistema fotovoltaico propuesto genera el 113,8 % de la demanda mensual promedio de una vivienda, lo que no solo cubre por completo el consumo, sino que deja un excedente del 13,8 %. Este excedente, según la normativa vigente, podría convertirse en crédito energético o ingresos adicionales. La inversión inicial, de \$1,017,270.00 millones COP por vivienda, puede amortizarse en un plazo razonable de 8 años, tras el cual el sistema comienza a generar beneficios económicos netos, además de reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero.
- En el ámbito hídrico, la captación de aguas lluvias y la reutilización de agua del lavado reducen el consumo mensual en aproximadamente un 25 %, lo que representa un ahorro estimado de \$55.099 COP por vivienda. La inversión de \$3.204.550 COP se recupera en un plazo aproximado de 4 años y 10 meses. Más allá del ahorro, estas medidas alivian la presión sobre las fuentes hídricas, un aspecto clave en ciudades como Villavicencio, donde ya se han enfrentado restricciones similares a las vividas recientemente en Bogotá.
- Desde una perspectiva ambiental, estas soluciones contribuyen directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, en particular al ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), ODS 11 (Ciudades sostenibles) y ODS 13 (Acción por el clima). Se fomenta así una cultura de consumo responsable, se reducen emisiones contaminantes y se refuerza la resiliencia frente a los efectos del cambio climático.
- Los resultados confirman que la incorporación de soluciones sostenibles en conjuntos residenciales no solo es factible, sino altamente beneficiosa a mediano y largo plazo. Se trata de tecnologías accesibles y replicables, que permiten avanzar hacia viviendas más eficientes, autosuficientes y comprometidas con la sostenibilidad ambiental.

## Bibliografía

- Alcaldía de Villavicencio. (2020). *Plan de Desarrollo "Villavicencio cambia contigo 2020-2023"*. <http://historico.villavicencio.gov.co/MiMunicipio/ProgramadeGobierno/Plan%20de%20Desarrollo%20Villavicencio%20Cambia%20Contigo%202020%20-%202023.pdf>
- Ardila Oliveros, M. Á. (2018). Análisis en la ejecución de un sistema de energía solar fotovoltaico en una vivienda de la ciudad de Bogotá. [*Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás*]. *Repositorio Institucional*. <https://hdl.handle.net/11634/3207>
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA). (30 de mayo de 2018). *Descubre los edificios más sostenibles de BBVA*. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/descubre-edificios-mas-sostenibles-bbva/>
- Benito Molina, G. M., & Ruiz Calderón, K. J. (2018). Análisis beneficio-costo de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el campus Aguas Claras de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, Meta. [*Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás*]. *Repositorio Institucional*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/13714>
- Buitrago Fernández, V., & Figueredo Rincón, A. (2024). Análisis de la efectividad de sistemas de humedales artificiales construidos como tecnología apropiada en la Orinoquia colombiana para la depuración de aguas residuales caso de estudio: "la topochera llanera". [*Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás*], *Repositorio Institucional*. <http://hdl.handle.net/11634/67496>
- Castillo Moncayo, D. C. (2018). Análisis de la implementación de ladrillos fabricados a partir de plástico reciclado como material de construcción. [*Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás*]. *Repositorio Institucional*. <http://hdl.handle.net/11634/14462>
- Chavarro, D., Vélez, M. I., Tovar, G., Montenegro, I., Hernández, A., & Olaya, A. (2017). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia, la tecnología y la innovación. {*Documento de Trabajo No.1*}. *Colciencias*. [https://minciencias.gov.co/sites/default/files/objetivos\\_de\\_desarrollo\\_sostenible\\_y\\_aporte\\_a\\_la\\_cti\\_v\\_3.5.pdf](https://minciencias.gov.co/sites/default/files/objetivos_de_desarrollo_sostenible_y_aporte_a_la_cti_v_3.5.pdf)
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA). (2022). *Informe sobre alternativas descentralizadas para el uso eficiente del recurso hídrico*. CRA.

- Comision de Regulación de Energia y Gas (CREG). (26 de febrero de 2018). Resolución 30 de 2018. *Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional*. Diario Oficial No. 50.522. [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_creg\\_0030\\_2018.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0030_2018.htm)
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2025). Mercado mayorista - Bolsa de energía. *Valor referencial de la bolsa de energía mayorista en Colombia*. [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/ee\\_r\\_mercado\\_mayorista\\_bolsa\\_energia.html](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/ee_r_mercado_mayorista_bolsa_energia.html)
- Co-operative Group. (2021). *Saving the company up to 60% in energy costs, One Angel Square in Manchester, UK, set a new standard for sustainable construction*. <https://bregroup.com/case-studies/breem-in-use/one-angel-square-reflects-a-growing-awareness-that-sustainability-pays-co-operative-group-hq/>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). *Estadísticas demográficas y población*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2021). *La información del DANE en la toma de decisiones regionales - Villavicencio (Meta)*. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-departamentos-ciudades/210310-InfoDane-Villavicencio-Meta.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2024). *IPC Histórico*. [https://www.consultorcontable.com/datos-hist%C3%B3ricos/ipc-historico/?utm\\_source=](https://www.consultorcontable.com/datos-hist%C3%B3ricos/ipc-historico/?utm_source=)
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado Bogota (EAAB). (13 de mayo de 2022). *Datos abiertos de la EAAB: Instrumentos de gestión de la información*. [https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/transparencia\\_informacion\\_publica/datos\\_abiertos](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/transparencia_informacion_publica/datos_abiertos)
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). (2024). *Medidas adoptadas ante la crisis hídrica en Bogotá. (Programación de cortes)*. [https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/programacion\\_cortes](https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EAB2/Home/atencion-al-usuario/programacion_cortes)
- Empresa Pública de Medellín (EPM). (2020). *Gestión ambiental y uso eficiente del agua*. <https://www.epm.com.co/institucional/sostenibilidad/gestion-ambiental.html>

- ESI Renovables. (22 de abril de 2020). *Cálculo de las emisiones de CO2 evitadas por una instalación de autoconsumo de energía solar fotovoltaica (IV)*. [https://esirenovables.es/calculo-emisiones-co2-emitadas-instalacion-autoconsumo-energia-solar-fotovoltaica/?utm\\_source=](https://esirenovables.es/calculo-emisiones-co2-emitadas-instalacion-autoconsumo-energia-solar-fotovoltaica/?utm_source=)
- Espinosa Martínez, C. E., & Van audenhove Mejia, R. H. (2023). Diseño para el aprovechamiento de aguas lluvias, en el campus aguas claras en la universidad Santo Tomas Villavicencio. *[Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional*. <http://hdl.handle.net/11634/48962>
- Fajovi Group. (2020). *Sistemas constructivos*. <https://fajovi.com/sistemas-constructivos/>
- García Saavedra, C. S. (2020). Implementación de un techo verde para la reducción de temperatura al interior de una vivienda en el municipio de Villavicencio, Meta. *[Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30258>
- Hidalgo, A., & Freire, M. (2020). Vivienda sostenible en Villavicencio Meta. *[Documento académico]. Universidad Católica de Pereira*. <https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/8177/1/DDMARQ313.pdf>
- Hurtado, L. (2023). *Atlas de radiacion solar de Colombia*. Bogotá: Ideam.
- Ingeniería Sostenible (ISMD). (2015). *Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones*. <https://ismd.com.co/wp-content/uploads/2017/03/Anexo-No-1-Gu%C3%ADa-de-contrucci%C3%B3n-sostenible-para-el-ahorro-de-agua-y-energ%C3%ADa-en-las-edificaciones.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2021). *Guía para la gestión eficiente del agua en viviendas*. Ideam.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2023). *Gestión del agua*. <http://www.ideam.gov.co/web/siac/gestionagua#:~:text=El%20Plan%20H%C3%ADrico%20Nacional%20desarrolla,del%20plan%20y%20su%20impacto>
- Lewin, M. (25 de septiembre de 2023). *Solar and battery storage prices have dropped almost 90% in 10 years*. [https://electrek.co/2023/09/25/solar-battery-storage-prices-dropped-almost-90-percent-in-10-years/?utm\\_source=](https://electrek.co/2023/09/25/solar-battery-storage-prices-dropped-almost-90-percent-in-10-years/?utm_source=)

- López, J. M. (2022). Ladrillos de hongos: la posible clave para las construcciones sostenibles que tanto necesitamos. [Blog]. *Thinkbig*. <https://blogthinkbig.com/ladrillos-hongos-sostenibles/>
- López, L., Consejo, J. J., & Hernández Alarcón, G. (2018). Sistemas de abastecimiento de agua recomendados. *Cosecha de agua de lluvia*. <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/sistemas-de/sistemas-de-abastecimiento-de-agua/sistemas-de-abastecimiento-de-7/cosecha-de-agua-de-lluvia>
- López-González, B. G., Camacho, A., Martínez-Rodríguez, M. C., & Marcelino-Aranda, M. (2020). Techos verdes: una estrategia sustentable. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(3), 68-79. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v33i3.4389>
- Medina Ariza, M. (30 de septiembre de 2024). Tarifas de energía subieron 15,3% anual entre 2021 y 2024, la cifra más alta del siglo. *Diario La República*. <https://www.larepublica.co/economia/tarifas-electricas-aumentaron-15-3-anual-entre-2021-y-2024-la-cifra-mas-alta-del-siglo-3964636>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2020). *Contaminación Atmosférica*. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminacion-atmosferica/#>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2021). *Listado de Impactos ambientales específicos 2021*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/04/Listado-de-Impactos-Ambientales-Especificos-2021-V.4.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2023). *Construcción Sostenible*. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/construccion-sostenible/#:~:text=Es%20un%20proceso%20hol%C3%ADstico%20que,y%20procesos%20de%20operaci%C3%B3n%20y>
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2021). *Cartilla Factor de emisiones de la red de energía eléctrica en Colombia*. [https://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Calculo-FE-del-SIN/Documento\\_calculo\\_Cartilla\\_Factor\\_de\\_emision\\_2021.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Calculo-FE-del-SIN/Documento_calculo_Cartilla_Factor_de_emision_2021.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2023). *Programa para el uso eficiente y racional del recurso agua*.

- <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/procesos/grf-g-04-programa-para-el-uso-eficiente-y-razional-del-recurso-agua-pueda-en-el-mvct-1.0.pdf>
- Muñoz Cárdenas, L. M. (2020). Evaluación de la viabilidad de la utilización del agua atmosférica en la ciudad de Villavicencio, Meta. *[Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional*. <http://hdl.handle.net/11634/30563>
- Narvaez, M. (2022). *¿Qué es un estudio de viabilidad y cómo se realiza?* <https://www.questionpro.com/blog/es/estudio-de-viabilidad/#:~:text=Viabilidad%20econ%C3%B3mica%3A%20Consiste%20en%20la,financieros%20con%20los%20beneficios%20previstos.>
- ONU-Habitat. (2019). *Publicaciones, estrategias y estudios ONU-Habitat México y Cuba. Soluciones habitacionales sostenibles para América Latina*: <https://onu-habitat.org/index.php/herramientas/estrategias-y-publicaciones>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD). (2021). *Water Governance in Asia-Pacific*. OECD. [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/03/water-governance-in-asia-pacific\\_1484bbfa/b57c5673-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2021/03/water-governance-in-asia-pacific_1484bbfa/b57c5673-en.pdf)
- Parra Flores, M. F. (2023). Prototipo de vivienda unifamiliar productiva y sostenible en el corregimiento El Llanito, Barrancabermeja. *[Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional*. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/50887>
- Plan Regional Integral de Cambio Climático para la Orinoquía (PRICCO). (2018). *Departamento del Meta*. Cormacarena, Corporinoquia, Ecopetrol, CIAT. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/PNACC/PIGCCT%20Meta.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2023). *¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible?* Organización de las Naciones Unidas (ONU). <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2022). La ventana de oportunidad se esta cerrando. *Informe sobre la Brecha de Emisiones 2022*. Organización de las Naciones Unidas (ONU). [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/40932/EGR2022\\_ESSP.pdf?sequence=13](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/40932/EGR2022_ESSP.pdf?sequence=13)

- Quorania. (17 de mayo de 2021). *Materiales de construcción sostenibles*.  
<https://quorania.com/materiales-de-construccion-reciclados/#:~:text=%C2%BFPero%20cu%C3%A1les%20son%20los%20materiales,%2C%20pl%C3%A1stico%2C%20yeso%2C%20etc.>
- Revista Semana. (2 de diciembre de 2024). *Salario mínimo debería aumentar un 6%: la proyección que hizo Anif de cara a 2025*.  
[https://www.semana.com/economia/macroeconomia/articulo/salario-minimo-deberia-aumentar-un-6-la-proyeccion-que-hizo-anif-de-cara-al-2025/202453/?utm\\_source=](https://www.semana.com/economia/macroeconomia/articulo/salario-minimo-deberia-aumentar-un-6-la-proyeccion-que-hizo-anif-de-cara-al-2025/202453/?utm_source=)
- Rojas, F., Peña Herrera, F., Orellana, C., Castañeda, H., Armijos, L., Burbano, L., . . . Bianchi, F. (2022). *Estrategia del Agua 2019-2022*. Banco de desarrollo de America Latina (CAF).  
<https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1455/Estrategia%20del%20agua.pdf>
- Universidad distrital Francisco Jose de Caldas. (2020). *Potencial solar fotovoltaico en la Región Central - RAPE. [Documento de Investigación]. Grupo de Investigación XÛE*.  
<https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2022/03/POTENCIAL-FOTOVOLTAICO-REGIO%CC%81N-RAP-E.pdf>
- Universidad Europea. (20 de febrero de 2020). *¿Qué es un prototipo y para qué sirve?*  
<https://universidadeuropea.com/blog/que-es-prototipo/>
- Urna Bios. (2021). *¿Has visto alguna vez un Bosque Vertical? Descubre el Bosco Vertical de Milán*. <https://urnabios.com/es/descubre-bosque-vertical-bosco-verticale/>
- Via Celere. (10 de enero de 2023). *Casas ecosostenibles: Características y funcionalidades*.  
<https://www.viacelere.com/blog/casas-ecosostenibles/>

## Anexos

Anexo 1 Tabla Consumo de energía.

CONSUMO DE ENERGIA EN EL CONJUNTO NUEVA ESPERANZA II								
#Casa	Personas	Diciembre kWh/mes	Enero kWh/mes	Febrero kWh/mes	Marzo kWh/mes	Abril kWh/mes	Mayo kWh/mes	Consumo Promedio kWh/mes
Casa 1	3	163	140	166	200	186	180	173
Casa 2	2	150	135	160	190	180	175	165
Casa 3	4	170	155	180	205	195	185	182
Casa 4	3	160	145	170	200	190	180	174
Casa 5	6	180	160	190	210	200	190	188
Casa 6	5	175	150	175	205	185	180	178
Casa 7	2	140	125	150	180	170	160	154
Casa 8	4	165	140	165	195	190	180	173
Casa 9	3	158	140	166	195	182	178	170
Casa 10	4	165	150	175	200	190	185	178
Casa 11	3	160	145	170	195	180	175	171
Casa 12	6	180	165	190	210	200	190	189
Casa 13	3	150	130	155	185	175	165	160
Casa 14	6	175	160	180	200	190	185	182
Casa 15	4	160	145	170	195	185	175	172
Casa 16	3	155	140	165	190	175	170	166
Casa 17	3	162	145	167	193	182	174	171
Casa 18	5	180	160	190	210	200	190	188
Casa 19	2	150	135	160	185	175	165	162
Casa 20	4	168	154	181	205	193	185	181
Casa 21	3	158	145	170	195	185	178	172
Casa 22	4	165	150	175	200	190	185	178
Casa 23	5	170	160	180	205	190	200	184
Casa 24	2	140	130	150	180	170	160	155
Casa 25	3	152	140	165	195	180	172	167
Casa 26	5	175	160	185	210	200	190	187
Casa 27	4	168	153	178	203	188	185	179
Casa 28	3	155	145	165	190	177	170	167
Casa 29	2	140	130	150	160	165	158	151
Casa 30	4	162	154	179	196	185	182	176
Casa 31	3	158	145	170	195	185	178	172
Casa 32	2	140	125	150	165	160	155	149
Casa 33	3	150	140	170	185	175	165	164
Casa 34	3	155	142	168	180	178	160	164
Casa 35	4	160	150	175	200	185	185	176
Casa 36	6	180	170	190	210	200	190	190
Casa 37	5	175	160	185	200	190	180	182
Casa 38	3	148	135	160	170	165	160	156
Casa 39	6	185	170	200	215	200	195	194

Casa 40	4	140	125	150	160	165	155	149
Casa 41	4	165	155	180	200	190	185	179
Casa 42	6	180	170	200	210	200	195	193
Casa 43	5	175	160	185	200	190	180	182
Casa 44	3	155	140	165	190	175	170	166
Casa 45	4	168	155	180	205	190	185	181
Casa 46	3	156	140	170	185	175	160	164
Casa 47	5	175	160	185	205	190	185	183
Casa 48	2	142	130	155	170	165	160	154
Casa 49	3	158	145	170	190	185	175	171
Casa 50	4	160	150	175	200	185	180	175
Casa 51	6	175	160	185	200	190	180	182
Casa 52	4	165	150	175	190	180	175	173
Casa 53	4	160	145	170	185	175	172	168
Casa 54	3	150	140	165	180	170	165	162
Casa 55	5	155	150	168	190	175	160	166
Casa 56	3	140	130	150	160	165	156	150
Casa 57	3	152	140	165	185	170	162	162
Casa 58	6	190	178	205	220	210	195	200
Casa 59	3	150	140	162	180	160	165	160
Casa 60	2	145	135	155	165	160	155	153
Casa 61	4	170	155	180	200	185	178	178
Casa 62	3	158	145	172	190	178	169	169
Casa 63	6	200	190	220	230	210	200	208
Casa 64	3	155	140	165	180	175	164	163
Casa 65	4	170	158	182	200	185	180	179
Casa 66	2	140	130	150	160	165	153	150
Casa 67	5	180	165	200	210	200	190	191
Casa 68	6	200	180	210	225	215	205	206
Casa 69	3	145	135	160	170	165	158	156
Casa 70	3	160	150	175	185	180	170	170
Casa 71	5	185	170	205	215	200	195	195
Casa 72	4	167	155	175	200	185	180	177
Casa 73	3	159	145	162	180	175	170	165
Casa 74	5	170	160	185	205	190	185	183
Casa 75	3	140	130	150	160	165	153	150
Casa 76	6	200	190	220	230	215	200	209
Casa 77	4	175	160	185	200	185	180	181
Casa 78	5	185	170	205	210	200	190	193
Casa 79	3	140	125	150	160	165	156	149
Casa 80	3	150	140	160	175	170	165	160
Casa 81	6	200	190	220	230	205	200	208
Casa 82	4	175	155	185	200	185	178	180
Casa 83	3	158	140	168	185	175	169	166
Casa 84	4	145	135	155	165	160	150	152
Casa 85	5	180	165	200	210	200	195	192
Casa 86	4	170	155	185	200	190	185	181
Casa 87	3	140	130	150	160	165	155	150
Casa 88	6	210	195	230	240	215	205	216

Casa 89	5	180	170	200	210	200	190	192
Casa 90	4	175	160	190	200	180	178	181
Casa 91	3	150	140	165	180	170	165	162
Casa 92	6	200	175	210	220	205	200	202
Casa 93	4	170	155	180	200	185	180	178
Casa 94	5	185	170	210	220	200	195	197
Casa 95	3	160	150	175	185	172	165	168
Casa 96	6	220	200	230	240	215	210	219
Casa 97	4	172	155	185	200	180	178	178
Casa 98	3	158	140	165	185	175	168	165
Casa 99	5	185	170	205	210	200	195	194
Casa 100	4	170	160	188	200	185	180	181
Casa 101	4	140	130	150	160	165	153	150
Casa 102	5	180	165	200	210	200	190	191
Casa 103	6	200	180	210	225	215	205	206
Casa 104	2	145	135	160	170	165	158	156
Casa 105	3	160	150	175	185	180	170	170
Casa 106	5	185	170	205	215	200	195	195
Casa 107	6	180	160	190	210	200	190	188
Casa 108	5	175	150	175	205	185	180	178
Casa 109	2	140	125	150	180	170	160	154
Casa 110	4	165	140	165	195	190	180	173
Casa 111	3	158	140	166	195	182	178	170
Casa 112	5	180	160	190	210	200	190	188
Casa 113	4	120	126	132	150	140	150	136
Casa 114	3	150	140	160	175	170	165	160
Casa 115	5	180	165	200	210	200	190	191
Casa 116	5	175	150	180	190	210	170	179
Casa 117	3	150	140	160	175	170	165	160
Casa 118	3	163	140	166	200	186	180	173
Casa 119	5	180	160	190	210	200	190	188
Casa 120	3	163	140	166	200	186	180	173
Casa 121	3	150	130	155	185	175	165	160
Casa 122	4	140	130	150	160	165	153	150
Casa 123	5	180	165	200	210	200	190	191
Casa 124	6	200	180	210	225	215	205	206
Casa 125	3	145	135	160	170	165	158	156
Casa 126	3	160	150	175	185	180	170	170
Casa 127	5	185	170	205	215	200	195	195
Casa 128	3	163	140	166	200	186	180	173
Casa 129	4	150	130	155	185	175	165	160
Casa 130	4	165	140	165	195	190	180	173
Casa 131	6	180	160	190	210	200	190	188
Casa 132	5	175	150	175	205	185	180	178
Casa 133	4	140	125	150	180	170	160	154
Casa 134	4	165	140	165	195	190	180	173
Casa 135	3	158	140	166	195	182	178	170
Casa 136	4	165	140	165	195	190	180	173
Casa 137	3	150	140	160	175	170	165	160

Casa 138	6	170	160	165	180	173	170	170
Casa 139	4	140	130	150	160	165	153	150
Casa 140	5	180	165	200	210	200	190	191
Casa 141	6	200	180	210	225	215	205	206
Casa 142	3	145	135	160	170	165	158	156
Casa 143	3	160	150	175	185	180	170	170
Casa 144	5	185	170	205	215	200	195	195
Casa 145	3	150	130	155	185	175	165	160
Casa 146	5	180	160	190	210	200	190	188
Casa 147	4	150	130	155	185	175	165	160
Casa 148	3	150	140	160	175	170	165	160
Casa 149	5	165	140	165	195	190	180	173
Casa 150	4	165	145	155	180	170	180	166
Promedio	4	165	150	176	194	184	177	174

Anexo 2 Tabla Consumo de agua

CONSUMO DE AGUA EN EL CONJUNTO NUEVA ESPERANZA II								
#Casa	Personas	Diciembre (m3)	Enero (m3)	Febrero (m3)	Marzo (m3)	Abril (m3)	Mayo (m3)	Consumo promedio m3/mes
Casa 1	3	16	13	17	15	25	17	17
Casa 2	2	14	12	15	13	20	15	15
Casa 3	4	17	14	18	16	24	18	18
Casa 4	3	15	13	16	15	23	16	16
Casa 5	6	18	16	19	17	30	20	20
Casa 6	5	16	14	18	15	25	19	18
Casa 7	2	13	11	14	12	19	14	14
Casa 8	4	16	13	17	14	22	16	16
Casa 9	3	15	12	16	15	22	17	16
Casa 10	4	16	14	17	15	22	18	17
Casa 11	3	15	13	16	14	20	17	16
Casa 12	6	18	16	20	18	26	19	20

Casa 13	3	14	12	15	13	18	15	15
Casa 14	6	16	14	17	16	24	18	18
Casa 15	4	15	13	16	14	22	17	16
Casa 16	3	15	12	16	13	22	17	16
Casa 17	3	15	12	16	14	21	18	16
Casa 18	5	17	15	19	18	27	20	19
Casa 19	2	14	11	15	13	19	15	15
Casa 20	4	16	13	18	15	23	19	17
Casa 21	3	15	14	16	15	22	17	17
Casa 22	4	16	13	17	16	24	19	18
Casa 23	5	18	15	18	17	30	20	20
Casa 24	2	14	12	14	13	19	15	15
Casa 25	3	15	13	15	14	22	16	16
Casa 26	5	18	16	19	18	27	20	20
Casa 27	4	17	14	16	15	25	18	18
Casa 28	3	15	13	16	15	20	17	16
Casa 29	2	13	11	14	13	17	15	14
Casa 30	4	16	14	18	16	23	19	18
Casa 31	3	15	12	16	15	22	17	16
Casa 32	2	12	11	13	12	16	14	13
Casa 33	3	14	13	15	16	22	17	16
Casa 34	3	15	12	16	14	21	18	16
Casa 35	4	15	14	18	15	24	19	18
Casa 36	6	20	18	22	20	30	25	23
Casa 37	5	18	16	20	17	28	22	20

Casa 38	3	14	12	14	15	19	16	15
Casa 39	6	19	17	21	20	28	23	21
Casa 40	4	12	11	13	12	16	14	13
Casa 41	4	16	14	17	15	23	19	17
Casa 42	6	20	18	22	20	30	25	23
Casa 43	5	18	16	20	18	28	22	20
Casa 44	3	14	12	15	15	22	17	16
Casa 45	4	17	14	18	16	24	19	18
Casa 46	3	15	12	16	14	21	17	16
Casa 47	5	18	16	20	18	28	22	20
Casa 48	2	13	11	14	13	18	15	14
Casa 49	3	15	13	16	15	22	17	16
Casa 50	4	16	14	17	15	23	19	17
Casa 51	6	18	16	20	18	26	21	20
Casa 52	4	16	14	17	15	24	19	18
Casa 53	4	15	13	16	14	22	18	16
Casa 54	3	14	12	14	13	20	16	15
Casa 55	5	15	13	15	14	22	17	16
Casa 56	3	12	10	12	12	18	14	13
Casa 57	3	15	12	15	14	19	16	15
Casa 58	6	21	18	24	23	32	26	24
Casa 59	3	14	12	15	14	21	16	15
Casa 60	2	13	11	14	12	16	14	13
Casa 61	4	17	14	19	16	23	18	18
Casa 62	3	15	13	16	15	21	17	16

Casa 63	6	24	20	27	25	33	28	26
Casa 64	3	15	12	15	14	21	17	16
Casa 65	4	17	15	18	16	24	19	18
Casa 66	2	12	10	12	12	17	14	13
Casa 67	5	20	16	22	20	27	22	21
Casa 68	6	22	20	25	24	30	25	24
Casa 69	3	13	11	12	13	18	15	14
Casa 70	3	15	13	16	15	21	17	16
Casa 71	5	19	17	23	22	29	24	22
Casa 72	4	16	14	18	16	23	19	18
Casa 73	3	15	13	15	14	20	17	16
Casa 74	5	18	16	20	18	26	21	20
Casa 75	3	12	10	12	12	17	14	13
Casa 76	6	24	20	27	25	33	28	26
Casa 77	4	18	16	20	18	26	21	20
Casa 78	5	20	18	22	20	30	25	23
Casa 79	3	12	11	13	12	18	14	13
Casa 80	3	14	12	15	14	21	16	15
Casa 81	6	24	20	25	24	30	28	25
Casa 82	4	17	15	19	16	24	19	18
Casa 83	3	15	12	15	14	21	17	16
Casa 84	4	13	11	13	12	18	15	14
Casa 85	5	20	17	21	19	28	22	21
Casa 86	4	16	14	17	16	24	19	18
Casa 87	3	12	10	12	12	17	14	13

Casa 88	6	25	22	27	25	35	30	27
Casa 89	5	20	18	22	20	30	25	23
Casa 90	4	17	15	19	16	24	20	19
Casa 91	3	15	12	15	14	21	17	16
Casa 92	6	21	20	25	23	30	25	24
Casa 93	4	17	15	19	16	24	20	19
Casa 94	5	20	18	22	20	28	24	22
Casa 95	3	15	13	16	15	21	17	16
Casa 96	6	25	22	27	26	32	28	27
Casa 97	4	16	14	19	16	24	20	18
Casa 98	3	15	12	15	14	21	17	16
Casa 99	5	20	18	22	20	30	25	23
Casa 100	4	17	15	18	16	24	19	18
Casa 101	4	12	10	12	12	17	14	13
Casa 102	5	20	16	22	20	27	22	21
Casa 103	6	22	20	25	24	30	25	24
Casa 104	2	13	11	12	13	18	15	14
Casa 105	3	15	13	16	15	21	17	16
Casa 106	5	19	17	23	22	29	24	22
Casa 107	6	18	16	19	17	30	20	20
Casa 108	5	16	14	18	15	25	19	18
Casa 109	2	13	11	14	12	19	14	14
Casa 110	4	16	13	17	14	22	16	16
Casa 111	3	15	12	16	15	22	17	16
Casa 112	5	17	15	19	18	27	20	19

Casa 113	4	14	16	15	17	15	28	18
Casa 114	3	14	12	15	14	21	16	15
Casa 115	5	20	16	22	20	27	22	21
Casa 116	5	15	18	20	17	22	20	19
Casa 117	3	14	12	15	14	21	16	15
Casa 118	3	16	13	17	15	25	17	17
Casa 119	5	17	15	19	18	27	20	19
Casa 120	3	16	13	17	15	25	17	17
Casa 121	3	14	12	15	13	18	15	15
Casa 122	4	12	10	12	12	17	14	13
Casa 123	5	20	16	22	20	27	22	21
Casa 124	6	22	20	25	24	30	25	24
Casa 125	3	13	11	12	13	18	15	14
Casa 126	3	15	13	16	15	21	17	16
Casa 127	5	19	17	23	22	29	24	22
Casa 128	3	16	13	17	15	25	17	17
Casa 129	4	14	12	15	13	18	15	15
Casa 130	4	16	13	17	14	22	16	16
Casa 131	6	18	16	19	17	30	20	20
Casa 132	5	16	14	18	15	25	19	18
Casa 133	4	13	11	14	12	19	14	14
Casa 134	4	16	13	17	14	22	16	16
Casa 135	3	15	12	16	15	22	17	16
Casa 136	4	16	13	17	14	22	16	16
Casa 137	3	14	12	15	14	21	16	15

Casa 138	6	17	19	20	21	23	22	20
Casa 139	4	12	10	12	12	17	14	13
Casa 140	5	20	16	22	20	27	22	21
Casa 141	6	22	20	25	24	30	25	24
Casa 142	3	13	11	12	13	18	15	14
Casa 143	3	15	13	16	15	21	17	16
Casa 144	5	19	17	23	22	29	24	22
Casa 145	3	14	12	15	13	18	15	15
Casa 146	5	17	15	19	18	27	20	19
Casa 147	4	14	12	15	13	18	15	15
Casa 148	3	14	12	15	14	21	16	15
Casa 149	5	16	13	17	14	22	16	16
Casa 150	4	16	11	15	16	20	18	16
Promedio	4	16	14	18	16	23	19	18