

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA  
DESCENTRALIZADO PARA CUBRIR LA DEMANDA DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA Y HACER FUNCIONAR FILTROS PARA POTABILIZAR AGUA EN  
UNA VIVIENDA TIPO UNIFAMILIAR EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ.**

**RUBÉN SANTIAGO BARAJAS VILLARREAL  
MARÍA SOFÍA SALCEDO RODRÍGUEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ENERGÍAS**

**ORIENTADOR  
OSCAR MAURICIO OCHOA ÁLVAREZ  
INGENIERO MECÁNICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD INGENIERÍAS  
INGENIERÍA EN ENERGÍAS  
BOGOTÁ D.C.**

**2022**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

Oscar Mauricio Ochoa A.

Firma

---

Nombre

Firma del presidente Jurado

---

Arnuld David Paz Aranguren

Firma del Jurado

---

Efredy Delgado Aguilera

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. octubre de 2022

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director de programa

Dr. Juan Carlos Rodríguez E.

## **DEDICATORIA**

A mi mamá por el apoyo y amor incondicional desde el primer hasta el último momento de este camino.

A Pera y Vicente. Los amo.

A los ingenieros Carlos Mauricio Veloza, Erick Navarro, Carlos Julio Cartagena y Carlos Arturo Mendoza, por siempre creer en mí.

María Sofía.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero Oscar Mauricio Ochoa por orientación, el soporte y discusión crítica a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Las directivas de la Universidad América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
OBJETIVOS	10
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	11
INTRODUCCIÓN	14
1. NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ	18
1.1. Cobertura de energía eléctrica en las ZNI	23
1.2. La escasez de agua potable del Chocó	25
1.3. Sistemas de potabilización de agua con energía solar	27
2. POTENCIAL SOLAR Y PLUVIAL EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL CHOCÓ	31
2.1. Potencial solar	31
2.2. Potencial de precipitación pluvial	37
2.3. Potabilización de agua por ósmosis inversa	40
3. ALMACENAMIENTO Y POTABILIZACIÓN DE AGUA PLUVIAL	42
3.1. Sistema hidráulico	42
3.2. Sistema de captación de aguas lluvias	43
3.3. Sistema de filtración	48
3.4. Almacenamiento de agua lluvia y filtrada	53
4. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO	55
5. LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO	64
6. CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES	73
REFERENCIAS	74

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Localidades no interconectadas en Colombia, énfasis zona pacífico (Sin Telemetría).	11
<b>Figura 2</b>	División política y subregiones del departamento del Chocó	18
<b>Figura 3</b>	Distribución económica del departamento del Chocó	20
<b>Figura 4</b>	Vivienda y arquitectura tradicional en el pacífico colombiano	22
<b>Figura 5</b>	Cobertura de energía en el Chocó	23
<b>Figura 6</b>	Consumo promedio por subregiones rurales en el Chocó	25
<b>Figura 7</b>	Agua para beber a nivel nacional.	27
<b>Figura 8</b>	Synergistic Tandem Solar Electricity-Water Generators	29
<b>Figura 9</b>	Hydropanel Source	30
<b>Figura 10</b>	Mapa irradiación global horizontal media diaria anual	33
<b>Figura 11</b>	Irradiación mensual media de los municipios en ZNI	35
<b>Figura 12</b>	Temperatura mensual del departamento del Chocó	36
<b>Figura 13</b>	Precipitación mensual diaria multianual de los municipios en ZNI	39
<b>Figura 14</b>	Precipitaciones horarias en el Chocó	40
<b>Figura 15</b>	Etapas de filtración del proceso de ósmosis inversa.	41
<b>Figura 16</b>	Esquema de proceso de captación, filtración y suministro de agua.	43
<b>Figura 17</b>	Sistema de recolección y tratamiento de aguas lluvias	45
<b>Figura 18</b>	Vivienda tradicional de transición a moderna.	46
<b>Figura 19</b>	Variación de la suma horaria media del mes y porcentual de la lluvia Estación Caraño	47
<b>Figura 20</b>	Bomba de diafragma o membrana	50
<b>Figura 21</b>	Sistema de filtración por ósmosis inversa	52
<b>Figura 22</b>	Esquema para el montaje de un tanque de agua	54
<b>Figura 23</b>	Datos eléctricos Panel Solar 400W 24V Monocristalino EcoGreen	58
<b>Figura 24</b>	Controlador de carga SRNE MPPT 85A LCD 12/24/48V	59
<b>Figura 25</b>	Ficha técnica Inversor Cargador Growatt SPF 3000W 48V 80A LVM	60
<b>Figura 26</b>	Diagrama del sistema fotovoltaico con inversor/cargador	63
<b>Figura 27</b>	Fotografías de zona rural del departamento del Chocó	67
<b>Figura 28</b>	Vista satelital de la zona rural del municipio de Tadó	68
<b>Figura 29</b>	Esquema básico de equipos de captación de agua y sistema fotovoltaico	69
<b>Figura 30</b>	Listado de equipos con diagrama unifilar para un sistema fotovoltaico autónomo.	70



## RESUMEN

**ÁREA DE INVESTIGACIÓN:** Medio ambiente y energía.

**COBERTURA DEL PROYECTO:** Subregiones del departamento del Chocó, Región Pacífica Colombiana.

**CAMPO DE INTERÉS:** Sector servicios y subsector energía.

El presente escrito tiene como propósito investigativo argumentar el planteamiento un modelo de sistema de energía solar fotovoltaica que cubra la demanda de energía eléctrica en una vivienda tipo unifamiliar por medio de modelos simulados a partir de la herramienta software *pv-sol*, para efectos de delimitación se proponen las subregiones en las que se divide el departamento del Choco, por las condiciones geográficas y ambientales de dicho territorio.

**Palabras clave:** energía, zona no interconectada, energía solar fotovoltaica, proyecto energético, agua potable, filtración, ósmosis inversa, precipitación, agua pluvial.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diseñar un sistema de energía solar fotovoltaica descentralizado para cubrir la demanda de energía eléctrica y hacer funcionar filtros para potabilizar agua en una vivienda tipo unifamiliar en el departamento del Chocó.

### **Objetivos específicos**

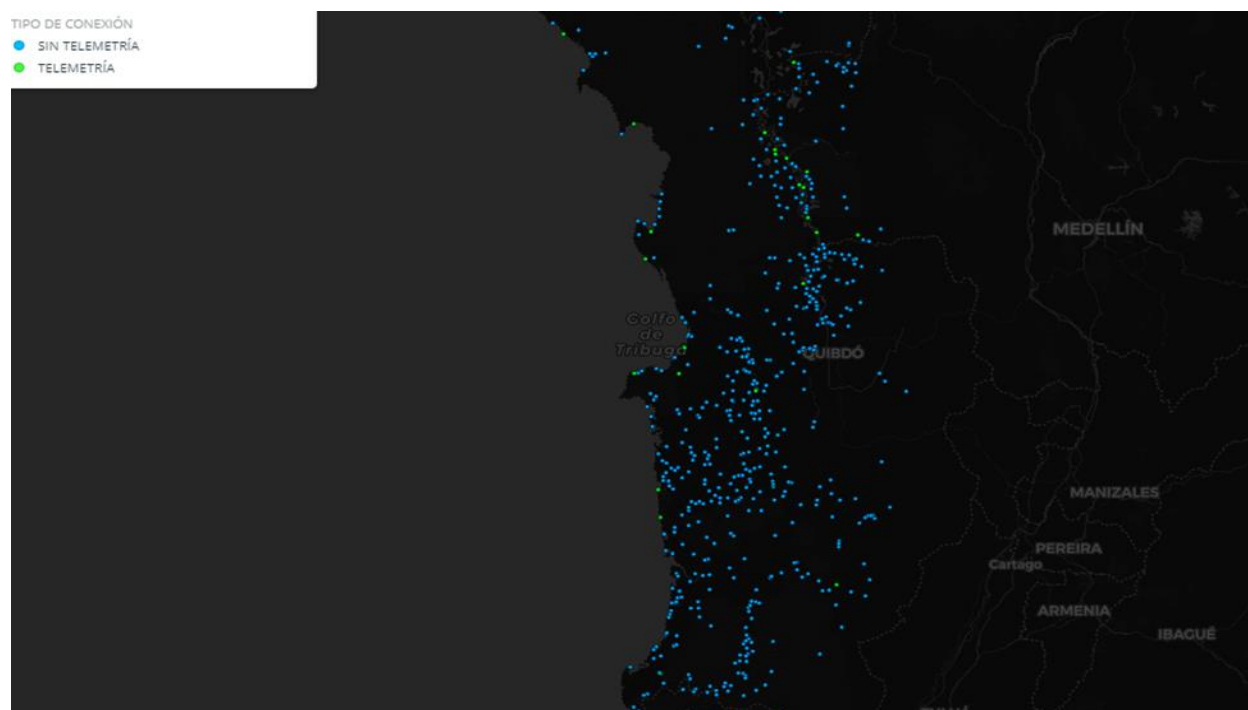
- Dimensionar la demanda de energía eléctrica y el requerimiento de agua potable de una vivienda tipo perteneciente a la zona de estudio.
- Determinar la cantidad de radiación solar disponible y el promedio de precipitación pluvial en la zona de estudio.
- Dimensionar el sistema de captación, almacenamiento y potabilización de aguas lluvias.
- Dimensionar el sistema solar fotovoltaico a partir de la cantidad de radiación solar disponible que cubra la demanda de energía eléctrica
- Caracterizar los requerimientos del sistema con base en los recursos solar y pluvial disponibles

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el departamento del Chocó, se evidencia que solo un 49.9 % de la población tiene cobertura eléctrica, así como lo indica el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE) [1]. En Colombia hay 1.710 localidades rurales en donde se calcula que las personas solo acceden al servicio eléctrico entre cuatro y doce horas al día. En la Figura 1 se pueden identificar los puntos que no presentan conexión a la red eléctrica nacional en la zona del pacífico colombiano. El Chocó es uno de los departamentos con el mayor número de necesidades básicas insatisfechas (NBI), alcanzando aproximadamente el 79,19% de su población, frente al 27,78% de la media nacional, según estadísticas del 2017 realizadas por el Departamento de Nacional de Estadísticas (DANE). [2]

### Figura 1

*Localidades no interconectadas en Colombia, énfasis zona pacífico (Sin Telemetría).*



**Nota:** Representación geográfica enfatizada en la zona del pacifico colombiano, expone localidades no interconectadas. J. Vivas, «El mapa de 1.710 poblados que aún se alumbran con velas en Colombia,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892>.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y según la resolución 0355 de 2004 de la Unidad de Planeamiento Minero Energético (UPME) se establece que “Se define como consumo de subsistencia, la cantidad mínima de electricidad utilizada en un mes por un usuario típico para satisfacer las necesidades básicas que solamente puedan ser satisfechas mediante esta forma de energía final. Se establece el Consumo de Subsistencia en 173 kWh-mes para alturas inferiores a 1.000 metros sobre el nivel del mar, y en 130 kWh-mes para alturas iguales o superiores a 1.000 metros sobre el nivel del mar”. [4]

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), son necesarios entre 50 y 100 litros de agua por persona al día para garantizar que se cubran las necesidades básicas y que no surjan grandes amenazas para la salud. [5] En Colombia, a partir de investigaciones del Ministerio del Medio Ambiente, se presentó un informe sobre la disponibilidad de agua en los sistemas nacionales de tratamiento de agua potable, mostrando que mientras el 53,4 % de la comunidad tenía acceso al agua, solo el 11,8 % tiene acceso a un suministro de calidad garantizada. [6]

El panorama en el departamento del Chocó es paradójico, puesto que es uno de los departamentos en todo el territorio colombiano con mayor índice de precipitaciones, teniendo mediciones que varían entre los 1750 mm a los 2750 mm dependiendo del trimestre, así como lo indica el informe del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) [7]. Pero a su vez, el servicio prestado por los acueductos se considera insuficiente y malo, ya que un 73 % de las localidades no cuenta con ningún tipo de sistema de tratamiento de agua, y en el 27 % restante no se realizan los procesos de desinfección, o si se realizan se hacen de manera inadecuada por falta de capacitación al personal que maneja los sistemas. [8]

Si bien el objetivo es claro, superar los desafíos para llevar agua potable a las comunidades rurales no es fácil. Conscientes de esto, en los últimos años, los marcos normativos nacionales, como el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico en Colombia (RAS), y el documento elaborado por el Consejo Nacional de Política Económica y Social para el suministro de agua potable en las regiones rurales [9], han hecho énfasis en que las soluciones para aliviar la crisis del

agua, deben orientarse a desarrollar tecnologías de tratamiento de agua potable innovadoras, eficaces, sostenibles, de bajo costo y socialmente aceptadas.

Bajo el contexto expuesto, el objetivo del presente trabajo será presentar un marco general para el dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico descentralizado, enfocado en suplir la demanda energética de una vivienda unifamiliar ubicada en el departamento del Chocó. En este se incluirá el suministro eléctrico de un sistema de potabilización de agua como eje prioritario, bajo la consideración de que las energías limpias son fundamentales para el desarrollo económico de los países y son una excelente alternativa para facilitar el acceso de las zonas no interconectadas (ZNI).

## INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo de la vida como se conoce en la actualidad dos de los factores fundamentales son el agua y la energía eléctrica. La electricidad hace parte de todas las actividades de la vida humana: vida cotidiana, agricultura, industria, ciencia, entre otros. En el mundo presente, la producción de energía es el pilar del desarrollo y la industria, constituyentes que determinan el progreso de una sociedad. Existe evidencia científica de que el acceso a fuentes de energía modernas como la electricidad puede contribuir al crecimiento económico y al progreso humano. Esto se debe a que la disponibilidad de energía afecta directamente la productividad, la salud, la educación, el abastecimiento de agua potable, los servicios de comunicación y una amplia gama de prestaciones y servicios.

Se investiga la instalación de un diseño de sistema solar para zonas no interconectadas en un departamento colombiano, por lo que se investiga con qué recursos se cuentan en el entorno para proyectar un sistema que pueda ser no solo armónico con el medio ambiente, sino que, también disponga de más alternativas con múltiples beneficios. En otras palabras, de nada vale tener energía si se justifica únicamente para que los hogares tengan energía eléctrica, vale la pena entonces proyectarlo de una forma más dinámica para que, con el producto energético se puedan suplir otras necesidades, como sería, la potabilización del agua.

Para que el proceso de potabilización de agua lluvia potable puede integrarse a un proyecto fotovoltaico, lo primero por indicar será las características actuales del líquido vital el cual ha servido de sustento para el desarrollo y subsistencia de la civilización. Se puede decir de manera preliminar que el agua se considera un bastión para la sostenibilidad humana; sin embargo, el planeta cuenta aproximadamente con 1.400'000.000 km<sup>3</sup> de agua, de los cuales únicamente el 0,003 %, es decir cerca de 45.000 km<sup>3</sup>, son de agua dulce, sin que esta cantidad sea totalmente accesible, por lo que solo entre 9.000 y 14.000 km<sup>3</sup> están disponibles para el consumo humano [10].

Así expuesto, una de las premisas sobre la cual puede girar el eje argumentativo de una investigación como la que se propone es proyectar la posibilidad de potabilizar el agua. Aunque,

por otra parte, sea necesario aclarar que existe como es de esperarse y a simple observación la predominancia de diversos recursos hídricos bien sea desde su lecho, acuífero o incluso desde la misma escorrentía. Ante tales alternativas, también es pertinente solo concentrarse en una alternativa; con todo, el modelo que se escoge como referencia y será desarrollado en el presente escrito será el agua lluvia, también denominado recurso pluvial.

En el departamento objeto de estudio, se identifica la necesidad de abastecimiento de agua potable en el Chocó el cual, según datos y cifras del Censo Nacional de Población y Vivienda del DANE [11], solo el 28,5% del total de la población del departamento cuenta con acceso al agua potable, evidenciándose adicionalmente carencias en lo correspondiente a la distribución de la energía eléctrica del departamento, pues solo el 52,1% de viviendas cuentan con el servicio de la red interconectada nacional [12].

Como ya quedó comprendido, dos ámbitos de necesidades identificables, el siguiente paso será exponer una alternativa que pueda atender a menguar tales deficiencias. Ante ello, se describirá el diseño de un sistema para el suministro de energía eléctrica mediante la implementación de energía solar fotovoltaica; y será desde la puesta en marcha de lo anterior que se logre aprovechar el recurso solar para purificar el agua potable; para ello, se justificará cómo será el mecanismo para la purificación y posterior suministro de agua potable que tenga como finalidad abastecer una vivienda tipo multifamiliar del departamento del Chocó.

La justificación para estructurar aquello que se quiere proponer se desarrolló tras identificar las condiciones de la zona, la problemática y la disponibilidad del acceso al recurso solar y pluvial desde donde se realizó un análisis de las condiciones de la zona escogida para tales fines, identificando unos territorios para el desarrollo del diseño. Así expuesto, se identifican a los municipios de Tadó y Nuquí; será desde ahí que se estructurará la implementación del diseño propuesto.

Para lograr lo antes mencionado y atendiendo a una puesta en orden de lo que se quiere, el objetivo del presente escrito es, diseñar un sistema de energía solar fotovoltaica descentralizado para cubrir la demanda de energía eléctrica y potabilizar agua en una vivienda tipo unifamiliar en el

departamento del Chocó. Ahora bien, para lograr el anterior propósito, se hace necesario hacer unos recorridos que implique seguir pasos; de eso tratan los objetivos específicos, en donde cada uno tiene una finalidad para construir el armazón argumentativo.

Se tiene entonces como objetivos específicos: (i) dimensionar la demanda de energía eléctrica y el requerimiento de agua potable de una vivienda tipo perteneciente a la zona de estudio, (ii) determinar la cantidad de radiación solar disponible y el promedio de precipitación pluvial en la zona de estudio, (iii) dimensionar el sistema de captación, almacenamiento y potabilización de aguas lluvias y el sistema solar fotovoltaico a partir de la cantidad de radiación solar disponible que cubra la demanda de energía eléctrica, (iv) caracterizar los requerimientos del sistema con base en los recursos solar y pluvial disponibles.

Así entendido, en el primer capítulo se describirá las caracterizaciones de la zona objeto de estudio para implementar la investigación propuesta. Allí el lector encontrará una descripción de las condiciones geográficas, físicas y ambientales; lo anterior permitirá entender el contexto y las posibles adversidades propias de la región. Por su parte, en el capítulo segundo se esbozará sobre la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo la implementación sugerida, en otras palabras, se habla de los componentes climáticos de la radiación solar, así como del potencial de agua lluvia.

Continuando, en el capítulo tercero se encontrará descripciones que tratan sobre el sistema de potabilización y captación de agua. Lo anterior con el propósito de justificar la manera en que la comunidad beneficiada puede contar tanto con el almacenamiento, como con el tratamiento del agua lluvia a través del proceso de ósmosis inversa. En lo que respecta al capítulo cuarto, se caracterizará las condiciones técnicas que debe tener el sistema solar fotovoltaico autónomo escogido, y su funcionalidad dentro de toda la propuesta investigativa; lo anterior, bajo el entendido que éste será el eje estructural sobre el cual descansará la dinámica funcional de todo el proyecto propuesto.

En el capítulo quinto, se dimensionará lo que serán los lineamientos para la implementación del sistema fotovoltaico autónomo y la manera en que se simularon los datos para poder implementar



la investigación en otras regiones. Aquí se tomará como referencia lo pluviométrico y solar, esperando que en su aplicabilidad se pueda hacer el mismo recorrido técnico y de ingeniería en otros territorios que cuenten con las características similares descritas al inicio del escrito, es decir, del primer apartado de la investigación.

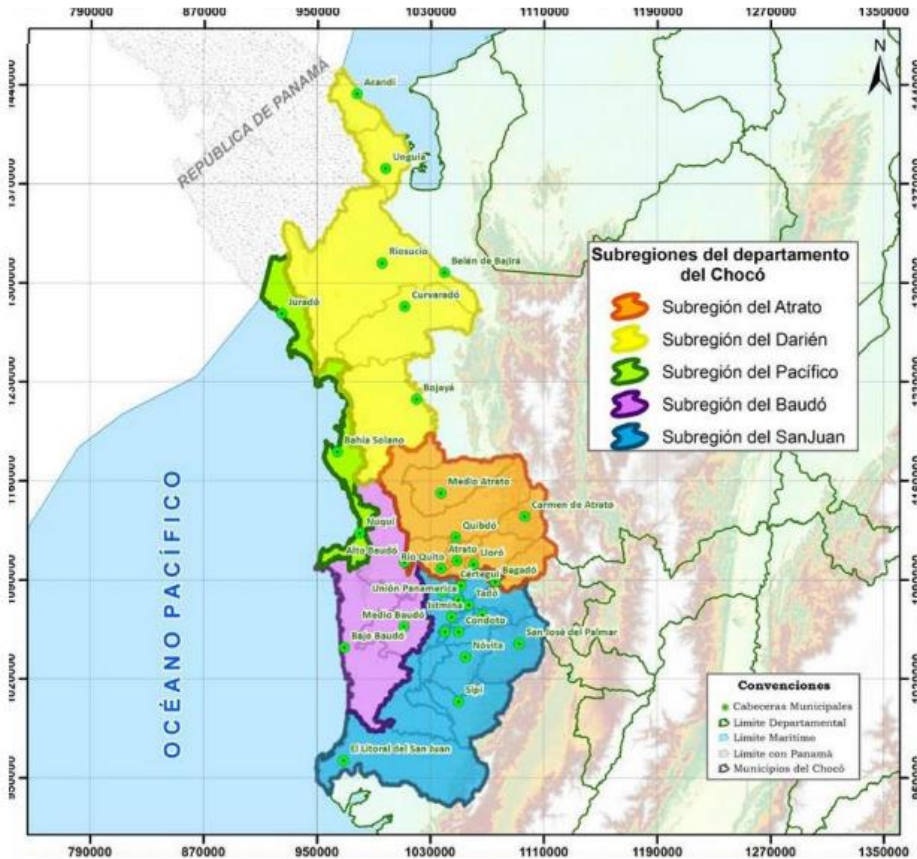
Finalmente, se indicarán a manera de esbozos unas conclusiones desde donde se harán unas recomendaciones soportadas en datos que se desprenderán de los resultados arrojados en cada capítulo expuesto.

# 1. NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ

El departamento del Chocó está ubicado al noroeste del territorio colombiano, en las regiones andina y Pacífico, limitando al norte con la República de Panamá y el mar Caribe, al este con los departamentos de Antioquia y Risaralda, al sur con Valle del Cauca y al oeste con el océano Pacífico; adicionalmente el departamento está conformado por las cuencas de los ríos Atrato, San Juan y Baudó, y cubierto en su mayor parte por selva ecuatorial. La anterior delimitación territorial se puede observar con mayor claridad en la Figura 2

**Figura 2**

*División política y subregiones del departamento del Chocó*



**Nota:** La figura muestra la división política del Dpto. del Chocó, conformado por 30 municipios los cuales están agrupados en cinco subregiones. Tomado de: E. Rodríguez «Modelo de Desarrollo a Largo Plazo en la 5 Subregiones el Departamento del Chocó (Darién, Atrato, San Juan, Baudó, Pacífico)». Junio de 2017. [En línea]. Available en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/21224/4847376.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Continuando con la descripción geográfica, se tiene que, el departamento presenta condiciones geofísicas y climáticas complejas; lo anterior debido a la densidad de las zonas boscosas, en donde confluye adicional a lo anterior, una densa humedad, así como intensidad pluvial. Tales circunstancias propias del territorio evidencian sendas dificultades de tipo logístico o de infraestructura que puedan ser equiparadas con otros departamentos para tratarlos de manera analógica; por cuanto, será allí donde se traduzca el desafío de ingeniería, así como de recursividad para prestar soluciones que atiendan a tales características propias.

Tomando como referencia los datos publicados por la gobernación del departamento, el Chocó tiene una extensión total de 46.530 km<sup>2</sup>, cuya cobertura alberga treinta municipios, los cuales, a su vez, han sido agrupados en cinco subregiones denominadas Atrato, Darién, Pacífico Norte, Pacífico Sur y San Juan. Los municipios más poblados y con mayor actividad económica y comercial son Quibdó (capital del departamento), Istmina, Condoto, Acandí y Bahía Solano. [13]

Aunque Quibdó tiene una de las mayores economías de la zona, también ocupa el primer lugar a nivel nacional en desempleo, esto agrava las condiciones de pobreza que padece este municipio. Lo paradigmático del asunto es que al interior del departamento del Chocó se encuentran diversas actividades económicas tales como la minería, la explotación forestal, la pesca, la agricultura y la ganadería. Sin embargo, los índices de desarrollo no se observan desde la iniciativa privada, sumado al histórico abandono del gobierno central. La consecuencia de lo anterior revela altos índices de pobreza. Otro aspecto que salta a la vista es que, al tratarse del segundo departamento de Colombia con mayor explotación de recursos, tanto la explotación minera como la explotación forestal han sido poco controladas por las autoridades locales y nacionales, representando una amenaza para los ecosistemas del departamento. [14]

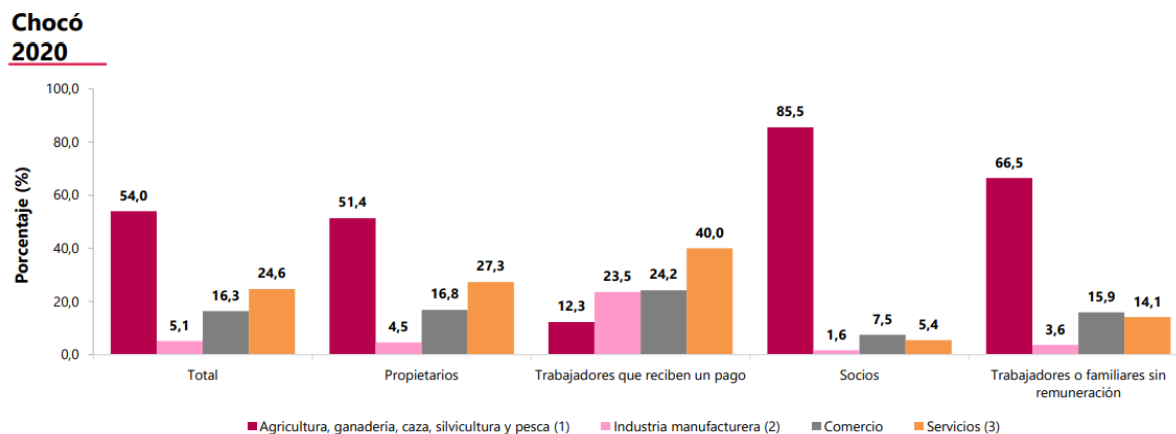
Según datos del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo en su informe “*Perfiles Económicos Departamentales – junio 2022*”, el departamento del Chocó representó el 0,44 % de participación en el producto interno bruto nacional (PIB). Así entendido, las exportaciones de Chocó tuvieron una participación promedio de 0,13 % en las exportaciones nacionales entre los años 2012 y 2021. Para abril del año 2022, se presentó una disminución en su participación en las exportaciones totales respecto al año anterior; esta caída se debe principalmente al decrecimiento de las

exportaciones del sector minero-energético las cuales representan el de 50,1 % del total de las exportaciones del departamento. [15]

Según lo censado por el DANE en el año 2020, según se observa en la Figura 3 en lo que respecta a la actividad económica más frecuente llevada a cabo por los micronegocios en el departamento del Chocó, se encuentran los cultivos de banano, plátano, la pesca marítima, y la extracción de oro, así como otros metales preciosos. Aun así, la dependencia del Chocó por el oro no es del todo benéfica, puesto que la exportación del oro legal ha decrecido, por lo tanto, la reinversión del departamento se ve limitada en cuanto al reparto de regalías del gobierno central.

**Figura 3**

*Distribución económica del departamento del Chocó*



Fuente: DANE. EMICRON-2020.

Notas: Por efecto de la exclusión de la categoría "No informa", las sumas pueden diferir del total.

(1) Incluye: minería.

(2) Incluye: recolección, tratamiento y disposición de desechos, recuperación de materiales.

(3) Incluye: construcción, transporte y almacenamiento, alojamiento y servicios de comida, información y comunicaciones, actividades inmobiliarias, profesionales y servicios administrativos, educación, actividades de atención a la salud humana y de asistencia social, y actividades artísticas, de entretenimiento, de recreación y otras actividades de servicios.

**Nota:** Distribución de personal ocupado según actividad económica y categoría ocupacional.

Tomado de: DANE, «La información del DANE en la toma de decisiones regionales Quibdó - Chocó,» 2021. En línea, Avialable: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-departamentos-ciudades/210130-InfoDane-Quibdo-Choco.pdf>

Si lo anteriormente enunciado eran las tipologías comunes del departamento, en las últimas décadas, el detrimento económico y social del departamento del Chocó ha sido acelerado. De acuerdo con el censo nacional de población y vivienda (CNPV) del DANE [11] en el año 2018, las coberturas de los servicios de acueducto y alcantarillado eran, respectivamente, el 22,5% y 15,9% del total de viviendas, valores que no alcanzan a ser el 30% de las coberturas observadas a

nivel nacional. Adicionalmente, el índice de necesidades básicas insatisfechas (NBI), muestra que el 79% de los hogares carecen de algunos de los servicios básicos, un nivel que es tres veces más alto que el registrado en todo el territorio colombiano. [16]

Según el DANE, a partir del indicador de necesidades básicas insatisfechas, en sus siglas, -NBI-, se considera pobre un hogar si alcanza el umbral mínimo fijado. Las variables con las que se miden este indicador se resumen en: viviendas inadecuadas, viviendas con hacinamiento crítico, viviendas con servicios inadecuados, viviendas con alta dependencia económica, viviendas con niños en edad escolar que no asisten a la escuela [17]. Continuando con lo anterior, la misma entidad refiere que, para el año 2020, el Chocó, contaba con un total de 154.778 viviendas, de las cuales el 91.2% presenta déficit habitacional; término que hace referencia no solo a la falta de vivienda, sino a una serie de deficiencias o inestabilidades de las condiciones habitacionales y ambientales, así como del entorno en que habita una población de un determinado territorio.

Los hogares caracterizados en déficit cuantitativo responden a si la cantidad de viviendas existentes es suficiente para albergar a la totalidad de la población; otra medición indica que los hogares en déficit cualitativo responden al número de viviendas que no cumplen con estándares mínimos de calidad, y, por ende, no ofrecen una calidad de vida adecuada a sus habitantes. Con todo, del total de viviendas con déficit habitacional del 49,8% son hogares con déficit cuantitativo y 41.5% hogares con déficit cualitativo [18].

Las características de las viviendas con déficit cualitativo se pueden agrupar de dos formas: el primer grupo por los materiales de construcción, y el segundo por la ubicación de la vivienda. En cuanto a los materiales de construcción, se observa que, con el paso de los años los habitantes del departamento han buscado modificar y mejorar los materiales convencionales por unos más recientes; con esto se ha pasado de viviendas con techos en paja o hojas de palma, a cubiertas con láminas de zinc o asbesto-cemento, tal como se puede observar en la

Figura 4. Sin embargo, en la parte de estructural, se sigue manteniendo en gran medida el uso de madera, y solo en algunos municipios como Nuquí, Tumaco, Quibdó, Buenaventura, entre otros, se pueden observar viviendas rurales de tipo moderno que incluyen estructuras en muros en ladrillo y con contrapisos en concreto. [19]

#### Figura 4

*Vivienda y arquitectura tradicional en el pacífico colombiano*



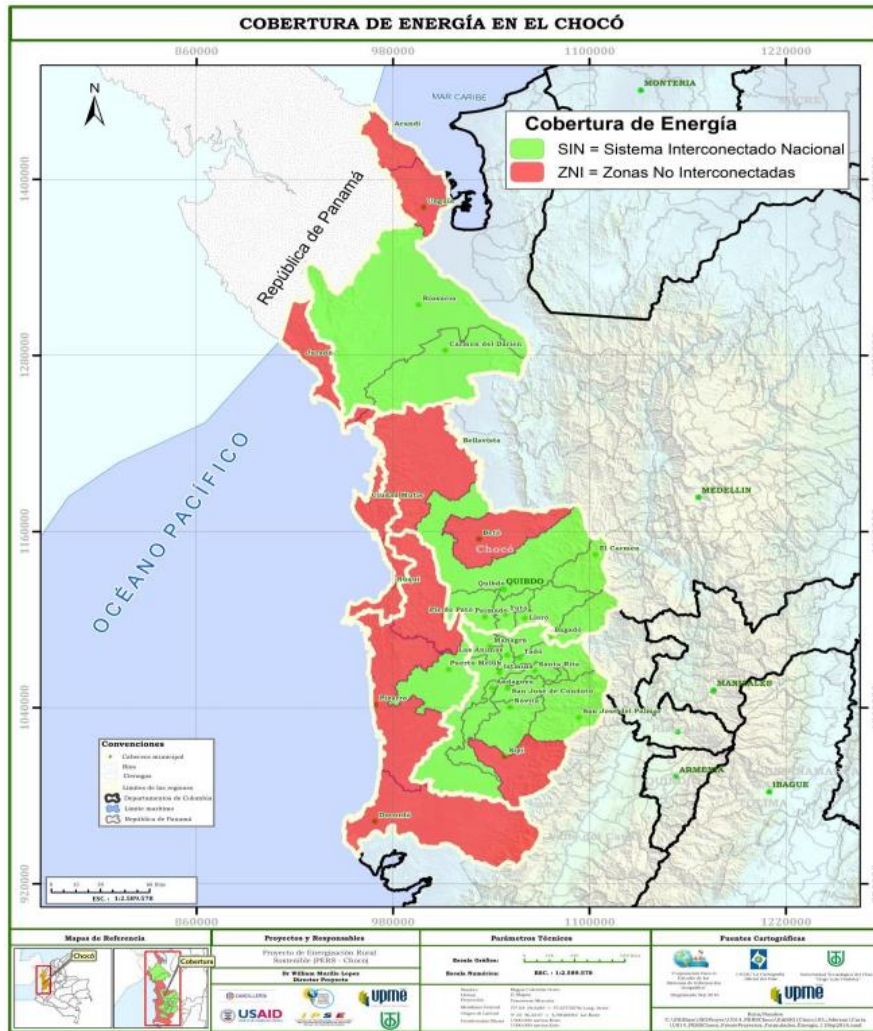
**Nota:** Tipología de vivienda rural en la aldea Punta Bonita, Buenaventura (izquierda), Vivienda tradicional de transición a moderna. Puerto Mutis, Bahía Solano (derecha), Tomado de: G. Mosquera Torrez, «VIVIENDA Y ARQUITECTURA TRADICIONAL EN EL PACÍFICO COLOMBIANO,» CITCE - OBSERVATORIO DE ARQUITECTURA Y URBANISMO CONTEMPORÁNEOS.

Hasta este punto se ha realizado una caracterización de lo que corresponde a índices estadísticos del DANE; ahora, en lo que sigue se describirá a manera de esbozos la manera como se encuentra dividido el territorio en su interior. Comenzando, se encuentra que el departamento del Chocó está dividido en zonas urbanas y rurales. Aunque en ambas zonas se presentan déficits habitacionales, es en las zonas rurales del departamento donde se encuentra el mayor porcentaje de necesidades básicas insatisfechas, pues las vías de acceso terrestres son limitadas dada la geografía del territorio para el tránsito de vehículos, por lo que el transporte de productos básicos se debe realizar por vía fluvial. Esta parte del territorio chocoano cuenta varios ríos que, a pesar de que no son muy largos en distancia, tienen caudales considerables como consecuencia de la alta pluviosidad. Aunque estos se convierten en el principal medio de transporte en la zona, son también un limitante para pensar la conectividad de electricidad en su mayor extensión.

Como consecuencia de las condiciones de la zona, se puede observar en la Figura 5, que el territorio resulta aislado de la conexión al sistema interconectado nacional, en sus siglas -SIN-. Lo anterior, es uno de los factores por los cuales no se encontró un desarrollo en la región respecto de la parte eléctrica de generación y distribución.

**Figura 5**

*Cobertura de energía en el Chocó*



**Nota:** El 52,1 % de las viviendas del departamento del Chocó, no disponen del servicio a partir de la red interconectada o red pública. Tomado de: UPME, «*Proyecto energético rural sostenible del departamento del Chocó.*»

### 1.1. Cobertura de energía eléctrica en las ZNI

Continuando con la información estadística del DANE, se observa en el informe CNPV 2018 [11], que el porcentaje de viviendas que tienen cobertura a energía eléctrica es del 75,8%, toda vez que, esta energía es suministrada en gran parte del territorio chochoano por pequeñas plantas eléctricas que funcionan con combustibles fósiles y que, en la mayoría de los casos tiene una operación

promedio de cinco horas al día, y en pocas ocasiones ha alcanzado un máximo de operación de quince horas al día.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, y ahora, tomando como referencia lo dicho por la autoridad energética, esto es, la Unidad de Planeamiento Minero Energética, en sus siglas, UPME, se tiene que:

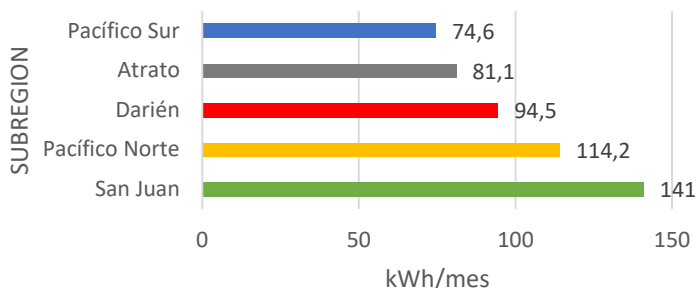
«Se define como consumo de subsistencia, la cantidad mínima de electricidad utilizada en un mes por un usuario típico para satisfacer las necesidades básicas que solamente puedan ser satisfechas mediante esta forma de energía final. Se establece el consumo de subsistencia en 173 kWh/mes para alturas inferiores a 1000 metros sobre el nivel del mar, y en 130 kWh/mes para alturas iguales o superiores a 1000 metros sobre el nivel del mar. (Resolución 0355 de 2004)» [11].

Según datos obtenidos del Plan de Energización Rural Sostenible (PERS) del departamento del Chocó, para el año 2016, el consumo promedio por región y por vivienda en los hogares rurales, varia dependiendo el uso o la tenencia de equipos o electrodomésticos tales como neveras, televisores, radios, licuadora, lavadora, plancha. Esta situación se da porque en la actualidad no todos los hogares cuentan con este tipo de aparatos electrónicos, o porque su uso es limitado debido a la baja cobertura en el servicio de energía eléctrica. El consumo promedio de energía eléctrica de un hogar rural, dependerá entonces de la cantidad de electrodomésticos de cada vivienda y del número de horas de uso. Con los valores estadísticos de consumo y uso de energía obtenidos por el PERS en zonas rurales de las cinco subregiones del departamento del Chocó, se obtiene la Figura 6. [3]



## Figura 6

### Consumo promedio por subregiones rurales en el Chocó



**Nota:** Consumo promedio de energía por mes en subregiones del Chocó.

Siguiendo con la información de PERS del departamento del Chocó, la refrigeración es el proceso predominante en el consumo de energía eléctrica, con el 47,9% del consumo total, en segunda medida con el 29,1% del consumo de energía eléctrica es derivado al uso de aparatos o dispositivos electrónicos, en tercer lugar con el 18,3% es dedicado a la iluminación y no menos importante en última posición con sólo el cuatro 4,7% del consumo total le concierne a las actividades de ambiente (aire acondicionado y/o ventilador). [12]

### 1.2. La escasez de agua potable del Chocó

Además de la falta de suministro eléctrico en las zonas rurales de este departamento del Chocó, se puede observar ausencia de cobertura en el suministro de agua potable. Un informe de la Organización Mundial de la Salud, en sus siglas, -OMS-, indica que son necesarios entre 50 y 100 litros de agua por persona al día para garantizar que se cubran las necesidades básicas y que no surjan grandes amenazas para la salud [20]. Sin embargo, de acuerdo a la OMS, la cantidad de agua mínima necesaria de una persona para vivir y cubrir sus necesidades básicas en contextos de emergencia es de 20 litros diarios.

En cuanto a la necesidad del agua, vale la pena revisar un pronunciamiento emitido por la Corte Constitucional colombiana, de la cual se extrae lo siguiente:

«El agua se erige como una necesidad básica, al ser un elemento indisoluble para la existencia del ser humano. El agua en el ordenamiento jurídico colombiano tiene una doble connotación pues se erige como un derecho fundamental y como un servicio público. En tal sentido, todas las personas deben poder acceder al servicio de acueducto en condiciones de cantidad y calidad suficiente y al Estado le corresponde organizar, dirigir, reglamentar y garantizar su prestación de conformidad con los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad. » (Corte Constitucional, sentencia T 740 del 2011, magistrado ponente, Humberto Antonio Sierra Porto). » [21].

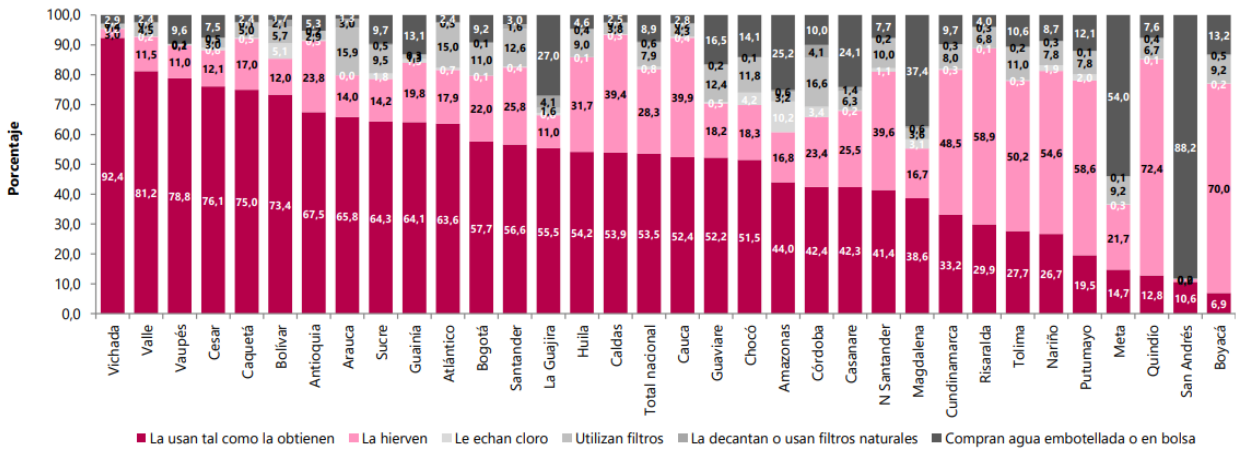
Según el DANE (CNPV 2018) [11], solo un 28,5% de la población de todo el territorio chocoano cuenta con suministro de agua potable, y el 71,5% restante de los habitantes, en la que se incluyen a las zonas rurales o más apartadas de los cascos urbanos, no cuentan con este servicio básico. Luego, su fuente de abastecimiento es la captación directa y sin tratamiento de los cuerpos de agua más cercanos con que cuente la comunidad.

Se llega así a un punto central de la investigación, y es la potabilidad del agua entendida como uno de los factores determinantes de la calidad de vida porque este depende la satisfacción de las necesidades de aseo personal y de alimentación. Lo más paradigmático del asunto es que el Chocó posee una de las riquezas hídricas más importantes a nivel nacional, pero esta no ha sido aprovechada de manera eficiente y eficaz para suplir las necesidades de sus habitantes. De acuerdo a los datos arrojados por la encuesta PERS del Chocó para el año 2015, el agua para consumo humano (agua para tomar) proviene en un 50,2% de agua embotellada o en bolsa, mientras que el 20,6% de acueductos municipales, y el 20,8% de acueductos veredal. Finalmente se tiene un 7% proveniente del agua lluvia. [12].

A pesar que existen acueductos municipales o veredales, esto no garantiza la potabilidad del agua, por lo que los hogares deben incluir en la compra de los artículos de canasta familiar el agua embotellada o en bolsa. Según datos oficiales del DANE en su informe: *toma de decisiones regionales Quibdó-Chocó - enero de 2022*, un 51,5% de la población usa el agua para consumo tal como la obtiene de estos acueductos, y solo 4,2% utilizan algún tipo de filtros para retirar impurezas. En la Figura 7, se observa la situación expuesta anteriormente en comparación con los demás departamentos del país.

**Figura 7**

*Agua para beber a nivel nacional.*



Fuente: DANE, ECV.

**Nota:** De la gráfica se pueden analizar las diferentes medidas tomadas por los pobladores antes de consumir el agua que llega de los acueductos municipales o veredales. Tomado de: DANE, «La información del DANE en la toma de decisiones regionales Quibdó - Chocó,» 2021. En línea. Available: <http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-departamentos-ciudades/220128-InfoDane-Quibdo-Choco.pdf>

Ante tal situación social y ambiental del departamento del Chocó y específicamente en las zonas no interconectadas de las cinco subregiones, se tiene que, en promedio, las viviendas se clasifican en: tradicionales de transición moderna, con un nivel de habitabilidad de tres a cuatro personas (núcleo familiar). Adicionalmente se tienen consumos de energía eléctrica que van desde los 75 kWh/mes en la subregión del Pacífico Sur hasta los 141 kWh/mes en la subregión de San Juan. A esto, se le suma que el acceso básico al agua potable, como se mencionó anteriormente, se define como una disponibilidad de al menos 20 litros por persona al día, y debe proceder de una fuente situada en un radio de un kilómetro de distancia desde la vivienda del usuario, según lo consignado en la Sentencia T-740 de 2011 de la Corte Constitucional. [22]

### 1.3. Sistemas de potabilización de agua con energía solar

El crecimiento de la población afecta de manera directa a las zonas de difícil acceso, además de esto, el cambio climático como fenómeno natural, demanda primordialmente la generación

sostenible de energía eléctrica y la búsqueda de soluciones para la dotación de agua potable, pues se evidencian grandes afectaciones tanto en salud como el estancamiento del desarrollo social y el crecimiento económico de estas regiones.

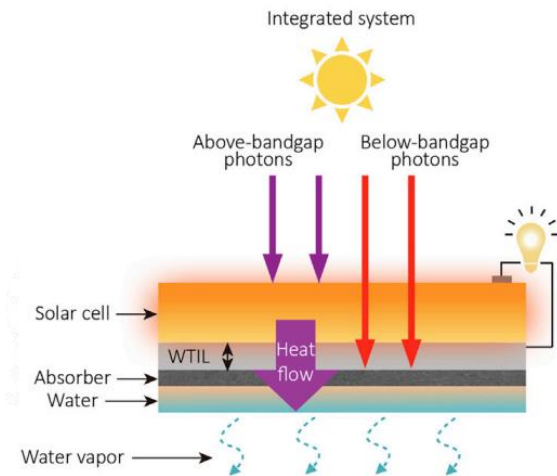
Dicho panorama plantea un desafío para la sociedad actual, que debe pensarse en clave de desarrollo tecnológico para la producción de energías limpias y agua potable. Es de anotar que dicha iniciativa ha tomado caminos diferentes. Sin embargo, los sistemas de producción de energía eléctrica y agua potable son compatibles, y, aunque algunas tecnologías existentes requieren de altos costos, así como grandes áreas para su implementación, también se encuentra que la optimización de estos sistemas se está evidenciando en la actualidad.

Con el paso de las décadas la tecnología en el campo de la energía fotovoltaica se ha mostrado a costos reducidos. Hasta el momento, la eficiencia de un dispositivo fotovoltaico (FV) sigue estando por debajo del 25%, lo que deja un porcentaje de la irradiación solar desperdiciada. Ahora bien, en el campo del tratamiento del agua, se encuentran avances tanto en términos de costos como de eficiencia energética. Hasta aquí vale la pena indicar que los diversos sistemas integrados que puedan generar simultáneamente agua potable y energía eléctrica a partir de la irradiación solar despiertan un constante interés en la comunidad científica.

Lo anterior conlleva al desarrollo de equipos en fase de laboratorio, como los presentados por la revista científica *CELPRESS*, en los cuales destaca el denominado *Synergistic Tandem Solar Electricity-Water Generators*, el cual se puede observar en la Figura 8. Este sistema consta de dos generadores solares: una celda fotovoltaica en la parte superior para la generación de energía eléctrica mediante la absorción de los fotones de la luz para liberar electrones y un purificador de agua solar interfacial debajo del dispositivo fotovoltaico para la generación de agua limpia mediante la utilización de fotones por debajo de la brecha de la banda. Se inserta una capa de interconexión térmica a prueba de agua para conectar firmemente los dos componentes, a fin de garantizar la transferencia efectiva de la energía de térmica desde la celda fotovoltaica superior al purificador de agua inferior [23].

## Figura 8

### *Synergistic Tandem Solar Electricity-Water Generators*

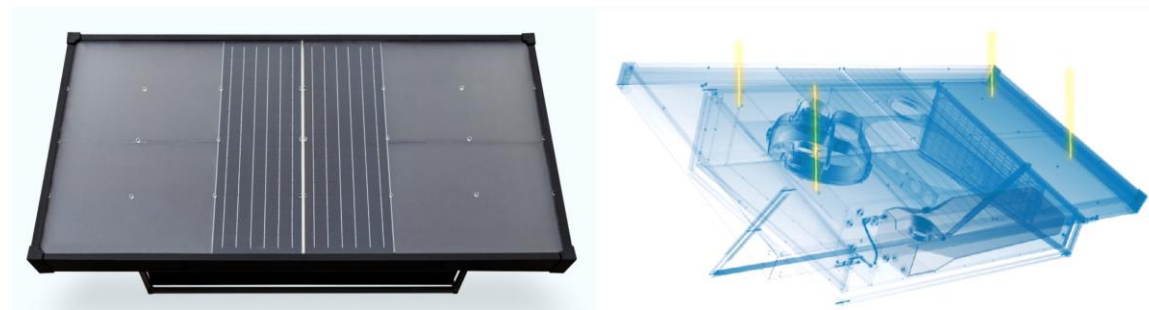


**Nota:** Diseño de generación eléctrica y purificación de agua en tándem con interconexión térmica no permeable. Tomado de: *tandem solar electricity-water generators*. pp 346-357, 2020.

Adicionalmente la empresa *Zero Mass Water* consiguió desarrollar una tecnología autosuficiente que solo necesita energía solar y aire para funcionar. El funcionamiento de sus *hydropaneles* consta en su parte central de las celdas solares que generan energía eléctrica a partir de la luz solar; está electricidad se utiliza para impulsar unos ventiladores que aspiran el aire ambiental y lo dirigen a un material absorbente e higroscópico que atrapa el vapor de agua del aire, y posteriormente el vapor de agua capturado se condensa pasivamente y pasa a estado líquido. Este sistema puede obtener entre 2 y 5 litros de agua potable al día dependiendo de la humedad del aire y de la cantidad de energía solar, al agua líquida recolectada se le agregan minerales para mejorar su sabor y hacer potable al agua, este sistema se puede ver en la Figura 9.

## Figura 9

*Hydropanel Source*



**Nota:** Funcionamiento del hydropanel. Tomado de: Source «conozca el hidropanel». Avialable: <https://www.source.co/hovo-ida-vorcss/?lang=es/>

Cabe destacar que el agua que se obtiene está libre de toda polución presente en el aire porque los materiales higroscópicos solo atraen moléculas de agua. Durante los últimos años la compañía ha instalado sus paneles para recolectar agua por todo el mundo, completando con unos 450 proyectos en 52 países diferentes gracias a su sistema autosuficiente. Su versatilidad obedece a que se pueden instalar en comunidades remotas desde pequeñas aldeas y también en hogares individuales. Según se encuentra, la vida útil de los paneles es de 15 años y casi no requieren de ningún tipo de mantenimiento más allá de cambiar los filtros del aire y el cartucho de minerales [24]

## **2. POTENCIAL SOLAR Y PLUVIAL EN LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS DEL CHOCÓ**

### **2.1. Potencial solar**

La energía solar fotovoltaica (FV) se ha venido utilizando aproximadamente hace más de cuatro décadas, según como lo indica Rodríguez (2008) en su escrito, *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas*; aquí, el autor establece que, la generación de electricidad con energía solar empleando sistemas fotovoltaicos se implementó en los años ochenta, mediante el programa de telecomunicaciones rurales de la empresa Telecom. Bajo esta iniciativa se instalaron pequeños generadores fotovoltaicos para radioteléfonos rurales; más adelante para el año 1983 se habían instalado algo más de 2900 sistemas de estas características. Con el paso de los años, otras empresas comenzaron a instalar este tipo de sistemas para sus servicios de telecomunicación; y en la actualidad se emplean sistemas solares para equipos de repetición de microondas, bases militares, y estaciones remotas [25]. Es de anotar que, durante los últimos años, se han instalado sistemas en los programas de electrificación rural, con financiación del Estado, haciendo uso actualmente de recursos como el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI).

Previo a entrar a exponer las dinámicas de los sistemas fotovoltaicos, se hace necesario indicar brevemente que la posición geográfica de Colombia es fundamental para la disponibilidad del recurso solar, y una de sus razones se apoyan en que el país cuenta con una radiación promedio uniforme durante casi todo el año. Por otra parte, la energía solar fotovoltaica (FV) generalmente no involucra partes móviles, generando electricidad libre de emisiones contaminantes. Ahora bien, en lo que atañe a los componentes de sostenibilidad, sus costos de operación y mantenimiento son relativamente bajos aún en lugares remotos; finalmente, es altamente modular y escalable, con rangos de instalación desde bajas potencias, hasta escalas de potencia del orden de los megavatios.

Para evaluar el comportamiento y producción de sistemas fotovoltaicos no conectados a la red eléctrica es importante tener en cuenta las variables de las cuales éste depende, tales como: el recurso solar disponible, la temperatura ambiente y el sitio de instalación. Con todo, en el

departamento del Chocó se encuentran comportamientos variados para la radiación solar; dichos comportamientos están dados por la nubosidad, humedad, así como altas precipitaciones pluviales. En dicho territorio se registran datos para precipitación aproximadas de 1500 mm anuales dependiendo de la zona, con un comportamiento altamente irregular, un porcentaje de humedad relativa del 80 %, un rango de temperatura máxima entre 27° y 31° C, y unos rangos mínimos de temperatura ente 22° y 24° C [26].

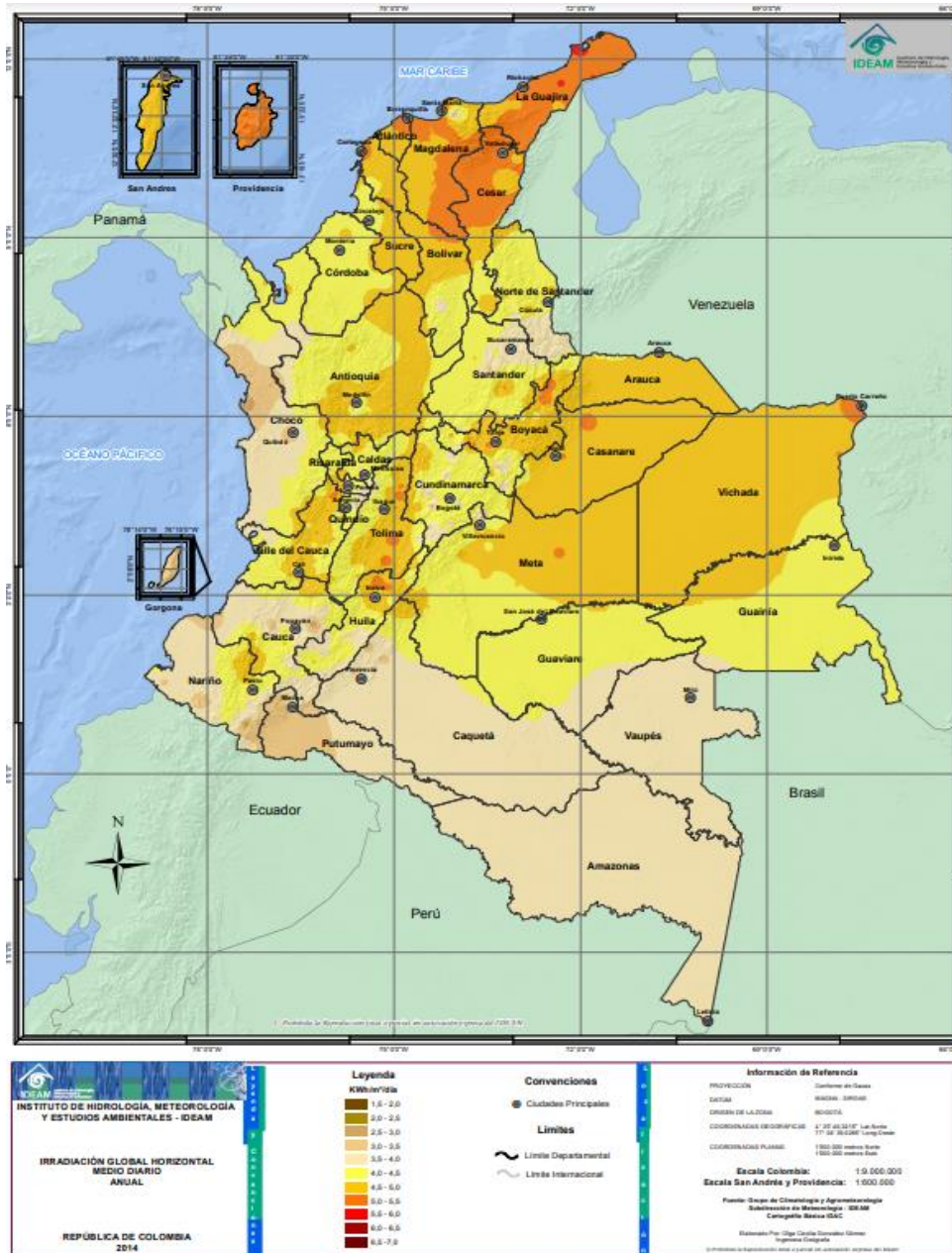
De acuerdo con el análisis de datos realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudio Ambientales (IDEAM) publicado desde el año 2015, en Colombia los valores de irradiación global horizontal media recibida en superficie oscilan, desde un máximo entre 4,5 y 6,0 kWh/m<sup>2</sup> por día promedio. Por su parte, la zona del departamento del Chocó presenta un promedio de irradiación del orden de 3,0 y 4,7 kWh/m<sup>2</sup> por día promedio, tal como se puede observar en la Figura 10 [27]. Así expuesto, los valores de irradiación variarán, dependiendo de las subregiones en las que se divide el departamento.

Es de anotar que, con la finalidad de tener un espectro más amplio en los datos de irradiación, se empleó la herramienta *The Power*, la cual proporciona un conjunto de datos solares y meteorológicos de la investigación de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) la cual está disponible, y es de libre acceso para apoyar las energías renovables, la eficiencia energética y las necesidades agrícolas. En lo que sigue, con esta herramienta se analizarán a continuación los datos de irradiación para el departamento del Chocó, y en especial, para las zonas de estudio de las cinco subregiones identificadas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, las cuales, a su vez, comprenden los municipios del departamento que pertenecen entre el 5 % y 95 % a las ZNI como los son Tadó, Nuquí, Acandí, Bagadó y Baudó [28].



**Figura 10**

*Mapa irradiación global horizontal media diaria anual*



**Nota:** muestra el índice de irradiación solar horizontal media diaria anual en el territorio colombiano, fuente del valor promedio del departamento del Chocó. Tomado de: IDEAM, «mapa de irradiación global horizontal medido diario anual», 2014.

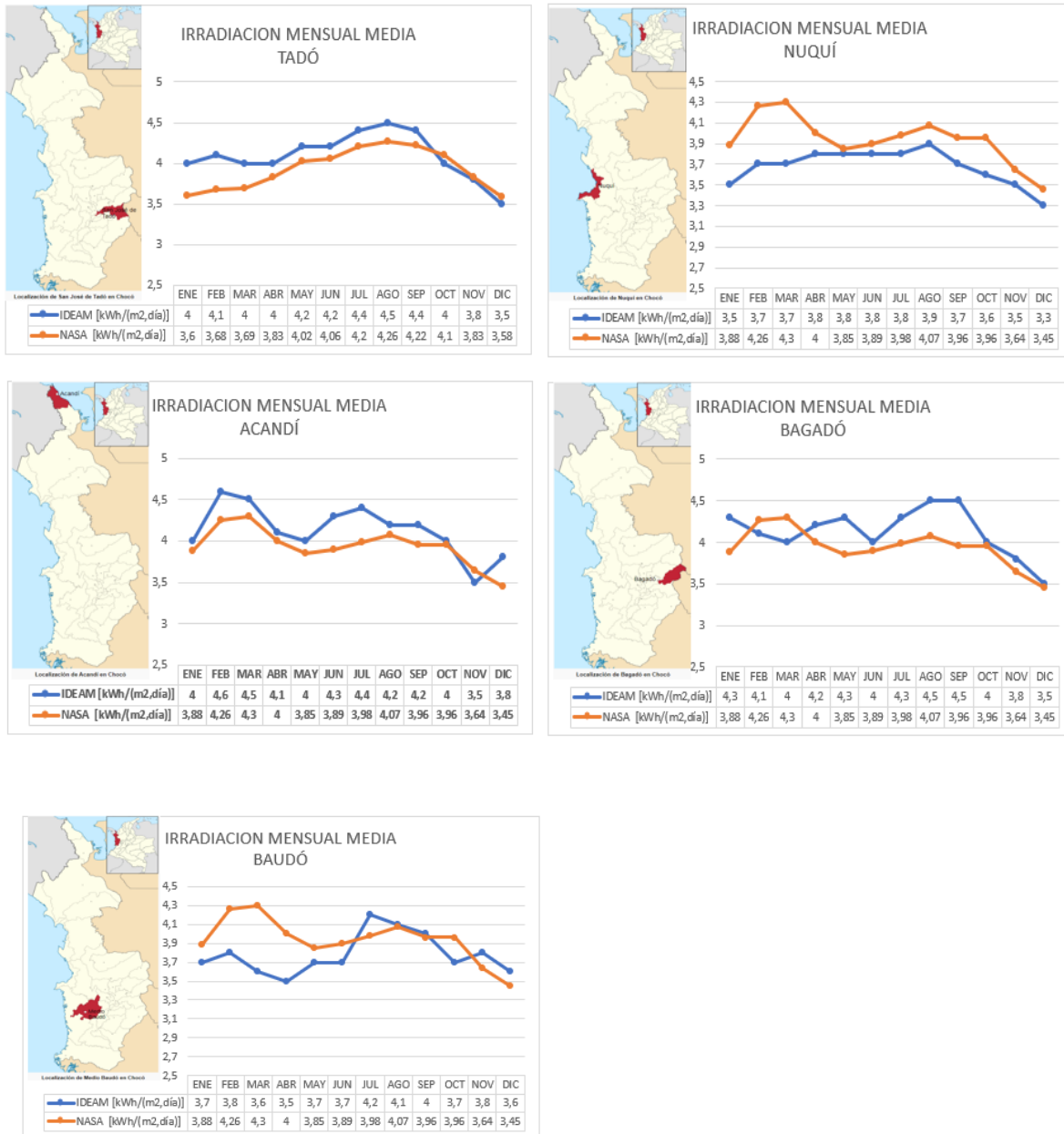
La irradiación solar mostrada en la Figura 10 compila datos de las estaciones meteorológica del IDEAM, desde donde se encuentra un promedio de 10 años, entre los periodos 2002-2012; con

dicho análisis de información reunida se evidenciaron variaciones en las diferentes zonas de estudio, del mismo modo, se identificó una diferencia significativa en los meses con mayor y menor irradiación. En comparación, se analizaron los datos del aplicativo *The Power* (NASA) los cuales cuentan con una base de datos de casi 20 años (2001-2020). Ahora bien, tomando como referencia ambas fuentes de datos, se ha realizado una comparación entre ambas, observando que las mayores incidencias de irradiación para las cinco zonas de estudio se encuentran en los meses de junio a septiembre, mientras que, su mínima irradiación es en los meses de abril, noviembre y diciembre, así como se observa en el comparativo por municipio de la Figura 11

Irradiación mensual media de los municipios en ZNI. Así indicado, el valor promedio mensual de irradiación para los cinco municipios está en el orden de 3,7 a 4,2 kWh/m<sup>2</sup>, esto dependiendo de la base de datos.

**Figura 11**

*Irradiación mensual media de los municipios en ZNI*



**Nota:** Comparación de datos del Atlas de radiación solar en Colombia (IDEAM) y la plataforma The Power (NASA) para los municipios de Tadó, Nuquí, Acandí, Bagadó y Baudó.

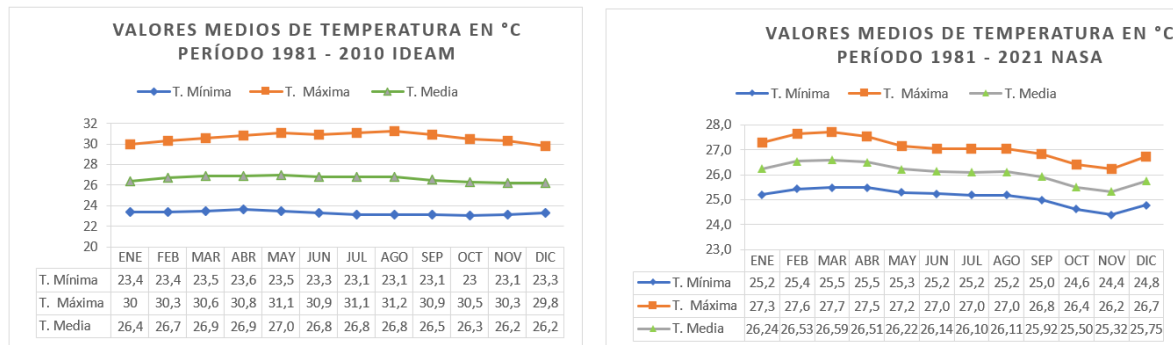
Las gráficas anteriores muestran un comportamiento periódico de la irradiación solar en todos los municipios del departamento del Chocó en lo corrido de una anualidad, esto debido a las condiciones astronómicas y meteorológicas propias de la región. Se observa además que el mes de

mayor irradiación solar en todos los municipios es agosto, durante el cual se alcanzan valores superiores a 4,0 kWh/m<sup>2</sup>; por su parte, el mes de menor irradiación solar es diciembre, en el cual se presentan valores promedio diarios de 3,5 kWh/m<sup>2</sup>.

Como ya se abordó el tema de la irradiación, en lo que sigue se mencionará la categoría de temperatura en la zona de estudio y su forma de adquirir los datos: allí se emplearon las dos bases de datos con las que se calculó la irradiación; sin embargo, es de aclarar que la base de datos de la NASA cuenta con un histórico de datos desde 1981 hasta 2021, por otra parte, la base de datos del IDEAM tiene un histórico de datos más reducido desde 1981 hasta 2010 (ver anexos). Con la información anterior se realizó un comparativo de las dos bases de datos, teniendo como resultado, que los valores de temperatura registrados en la base de datos del IDEAM, tienen un comportamiento con una variación mínima en cuanto a la incidencia en esta zona, donde se puede apreciar que la temperatura está dada para un mínimo de 23 a 24 °C y un máximo de 29 a 31°C [29]. De manera similar, la información obtenida de la base de datos del aplicativo *The Power* de la NASA, presenta una variación aproximada entre los 0,2 a 4 °C, lo cual se puede observar en la siguiente figura.

**Figura 12**

*Temperatura mensual del departamento del Chocó*



**Nota:** Comparación de datos del Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM) y la plataforma *The Power* (NASA) para el departamento del Chocó.

Con la anterior información se puede determinar si la temperatura está dentro de los parámetros estándar de funcionamiento de los equipos de generación eléctrica mediante paneles solares, sin que esta variación de temperatura afecte considerablemente la eficiencia de los equipos.

## **2.2. Potencial de precipitación pluvial**

Según el texto del *atlas de climatología de Colombia*, la cantidad de precipitación es el volumen de agua lluvia que pasa a través de una superficie en un tiempo determinado. Como unidades de volumen y superficie se utilizan el litro y el metro cuadrado, respectivamente. La unidad de precipitación es el milímetro (mm). Un milímetro de precipitación equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie o a diez metros cúbicos de agua por hectárea. Un día con lluvia es aquel durante el cual se presentan cantidades de precipitación iguales o superiores a 0.1 mm. En climatología, generalmente se trabaja con acumulados mensuales, los cuales se obtienen al sumar los totales diarios durante un mes, o bien, con los acumulados anuales al sumar los totales mensuales.

Las condiciones meteorológicas en las zonas húmedas tropicales, como las de la región chocoana, dependen de factores como la posición del sistema intertropical de circulación y de la zona de confluencia intertropical (ZCIT), la topografía, y de las circulaciones locales por acción de las diferencias térmicas [30]. Para el departamento del Chocó la topografía en las diferentes subregiones es relevante, debido a que, al favorecer el estancamiento de las masas de aire se hace que aumente el nivel de pluviosidad, tanto en cantidad como en intensidad.

El Chocó es el departamento con mayores lluvias del país. En las subregiones del Atrato, San Juan, Pacífico Norte y una parte del Pacífico Sur, las lluvias son superiores a los 7000 mm anuales. Las mayores precipitaciones se localizan en la subregión del Atrato, entre los municipios de Lloró y Quibdó, con valores superiores a los 8000 mm anuales; las menores lluvias se registran al norte en donde disminuyen hasta los 2500 mm en la subregión del Darién. En la mayor parte del territorio chocoano se presentan precipitaciones del tipo monomodal y se caracteriza por lluvias abundantes durante todo el año. Al extremo norte, sin embargo, se presenta una época seca en los meses de enero a marzo, pero en dirección hacia el sur; esta temporada paulatinamente desaparece, dando

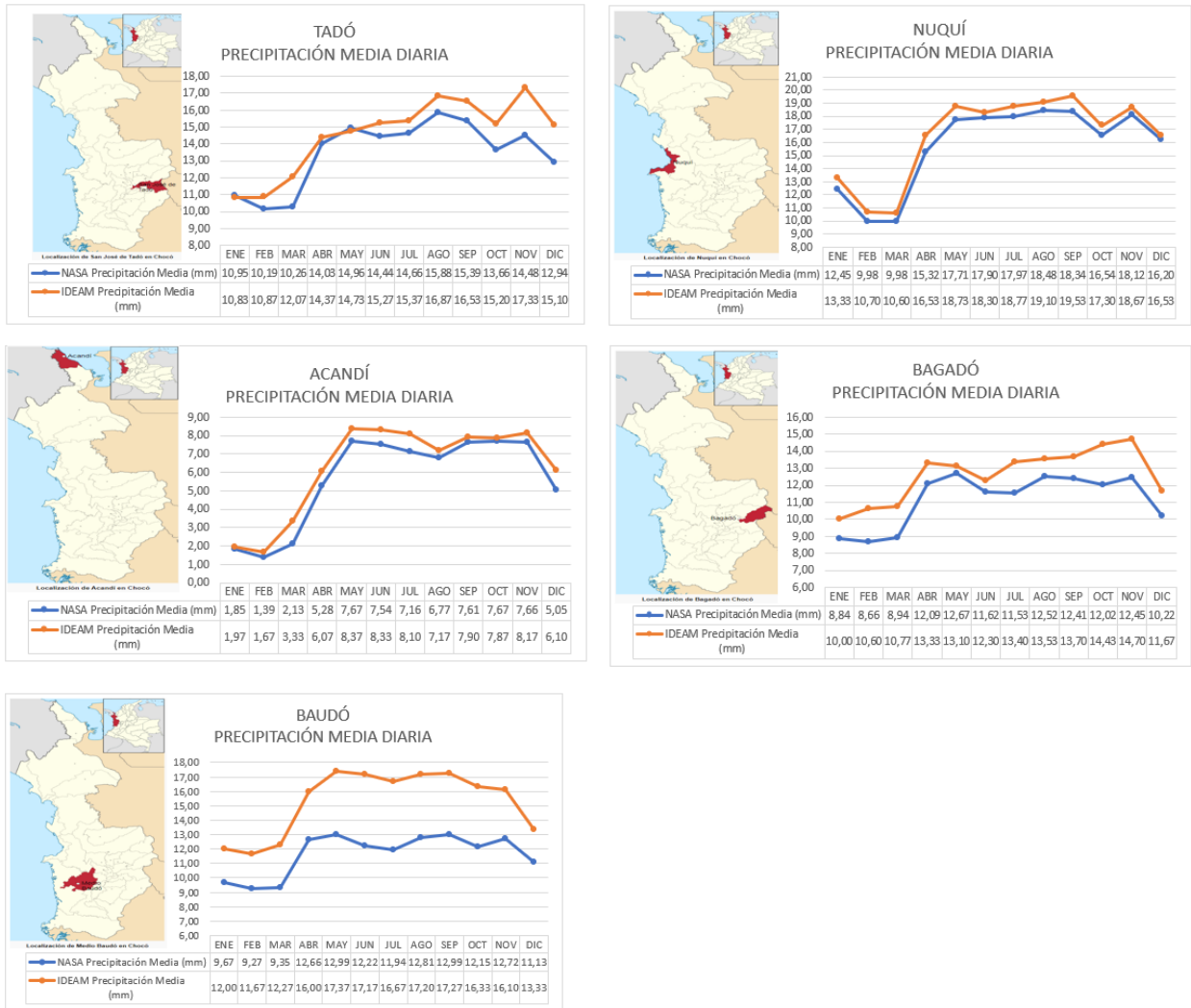
lugar a lluvias generalizadas durante todo el año, con una leve disminución de las cantidades registradas en el mes de febrero.

Según el libro *Climatología del Pacífico Colombiano* escrito por Jesús Eslava (1994), se señalan las ubicaciones con los índices de precipitación anual mayor a 10000 mm, como Tutunendó en la subregión de San Juan con 11394 mm, Lloró en la subregión del Atrato con 12717 mm; igualmente, los valores anuales extremos registrados en Vigía de Curvadó en la subregión del Darién, de 26303 mm dato obtenido en el año de 1974, con lo cual se confirmó el presupuesto que el sector Central del Chocó biogeográfico es uno de los sitios más lluviosos del mundo [31].

Ahora bien, para evaluar la cantidad de precipitación en las ZNI que se están evaluando para cada una de las subregiones, se tomó como base los registros del *Atlas climatológico de Colombia* IDEAM (1981-2010) y del aplicativo *The Power* NASA (1981-2021). La Figura 13 muestra la comparación de los datos de las estaciones en tierra dispuestas por el IDEAM y la información satelital obtenido por la NASA. De esta forma se observó que, aunque los datos del aplicativo de la NASA tienen una reseña histórica mayor, en relación con la información del IDEAM, este último tiene un proceso de medición más preciso, debido a las 18 estaciones meteorológicas dispuestas por esta entidad en el departamento del Chocó.

**Figura 13**

*Precipitación mensual diaria multianual de los municipios en ZNI*



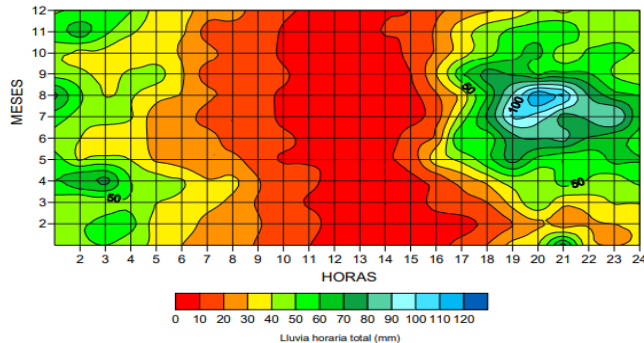
**Nota:** Comparación de datos del Atlas climatológico de Colombia (IDEAM) y la plataforma The Power (NASA) para los municipios de Tadó, Nuquí, Acandí, Bagadó y Baudó.

Continuando, los niveles más altos de precipitaciones diarias se presentan en los municipios de Tadó, Nuquí y Baudó, con valores de 17,33 mm, 19,53 mm y 17,37 mm, respectivamente. El municipio que presenta los datos más bajos en precipitaciones diarias es Acandí, en la subregión de Darién, teniendo mediciones cercanas a los 2 mm en el mes de enero, y un máximo de 8,37 mm en el mes de mayo. Según el análisis de las precipitaciones horarias en Colombia (IDEAM), y como se muestra en la Figura 14 el horario en el cual predominan las lluvias en la mayor parte del

territorio chocono se da en la franja horaria de las 5:00 pm hasta las 5:00 am, teniendo una mayor intensidad de las 7:00 pm a las 9:00 pm [32].

## Figura 14

### *Precipitaciones horarias en el Chocó*



**Nota:** información de la estación meteorológica del aeropuerto El Caraño Quibdó – Chocó, Tomado de: IDEAM, “ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES HORARIAS EN COLOMBIA”.

### 2.3. Potabilización de agua por ósmosis inversa

Tomando como punto de referencia la cantidad de precipitaciones diarias para cada uno de los municipios tomados como ejemplo, y bajo la información preliminar de las tecnologías actuales para la purificación de aguas mediante colectores solares, en el presente escrito se optó por el sistema de potabilización mediante el uso de filtros comerciales, los cuales se encuentra categorizados dependiendo de su uso y también al tipo de agua a tratar. Aquí, vale la pena recordar que el principio del uso de filtros es separar los sólidos, reducir la turbidez y la presencia de agentes patógenos para luego desinfectarla y así se pueda consumir en sus distintos usos.

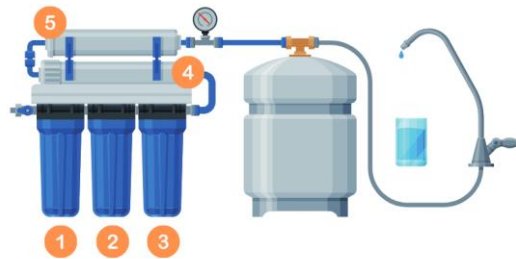
Además de la etapa de filtración, se debe realizar el proceso adicional de ósmosis inversa con el fin de poder purificar aún más el agua y alcanzar los estándares estipulados por la OMS, desde donde se toma como referencia que el total de sólidos disueltos (TDS) debe ser menos a 300 mg/l [33]. Así indicado, el sistema propuesto para esta función conocido como ósmosis inversa, es un proceso en el cual el agua mediante alta presión atraviesa una membrana semipermeable, que es



capaz de eliminar el 97% de todos los elementos disueltos contaminantes en el agua, por ejemplo, bacterias, herbicidas, fungicidas, nitrato, metales pesados, para después realizar un postfiltrado, todo el proceso se puede identificar en la Figura 15.

### Figura 15

*Etapas de filtración del proceso de ósmosis inversa.*



#### **Purificador de 5 etapas:**

- 1 Filtro de sedimentos.
- 2 Cartucho de carbón en bloque.
- 3 Cartucho de carbón en bloque.
- 4 Membrana de ósmosis.
- 5 Post-filtro de carbón

**Nota:** Etapas del sistema de filtración por ósmosis inversa. Tomado de: Filtrashop, «Membranas para ósmosis inversa». En línea. Aavailable: <https://filtrashop.com/producto/membranas-para-osmosis-residencial/>

### 3. ALMACENAMIENTO Y POTABILIZACIÓN DE AGUA PLUVIAL

#### 3.1. Sistema hidráulico

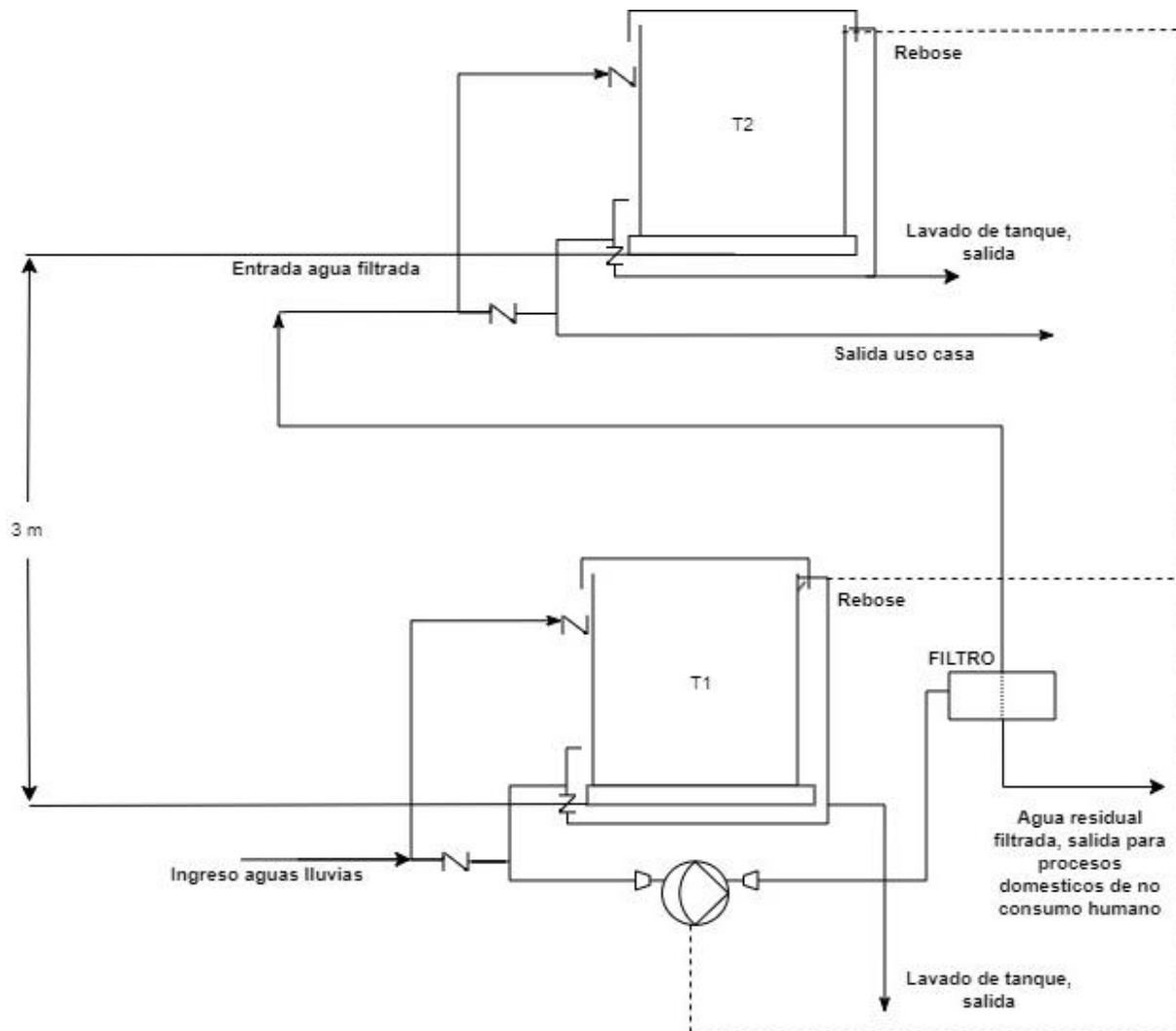
De las diversas maneras de captar el agua, y atendiendo a lo indicado en líneas precedentes, en lo que sigue, deberá indicarse con cierta precisión cuál es la dinámica esperada para poder comprender el movimiento del agua, sus canales, y el correspondiente proceso de purificación. Por lo tanto, el lector encontrará una descripción denominada *paso a paso* con el propósito de poder entender la gráfica que seguirá después de la explicación.

El agua de consumo debe ser procedente de una fuente ubicada a una distancia radial de un kilómetro de distancia de la residencia del usuario, por lo que el montaje se realiza aledaño a la vivienda, el agua es recolectada en los techos de la vivienda; para su almacenamiento se emplean dos tanques, de acuerdo con la secuencia del sistema como se muestra en la Figura 16, al primero de estos (T1) llegan las aguas lluvias recolectada, para posteriormente ser impulsada mediante una bomba el fin de aumentar la presión del fluido para alcanzar la requerida del proceso de filtración desde donde se envía en agua a su depósito final, el segundo tanque (T2), desde el cual se provee el agua de la vivienda; El agua remanente del proceso de filtración es recirculada hacia el tanque 1 (T1). Los tanques tendrán una distancia ente piso de tanque 1 (T1) y piso de tanque 2 (T2) de 3 metros con el fin de garantizar trabajos de mantenimiento y limpieza de ambos.

La operación de la bomba debe estar condicionada por el nivel del T1 para asegurar la integridad del equipo y de T2 para el suministro de agua. Aquí, no se emplea sistema de bombeo para el suministro de la vivienda pues esté se dará por diferencia de alturas.

**Figura 16**

*Esquema de proceso de captación, filtración y suministro de agua.*



**Nota:** Esquema de proceso de captación de agua pluvial, filtración y suministro de agua potable.

### 3.2. Sistema de captación de aguas lluvias

El sistema de captación de agua de lluvia tiene como función recoger el agua que se precipita de forma natural, luego mediante un proceso de filtración, las impurezas que pueda contener el agua son retenidas para el posterior traslado del líquido filtrado a una zona de almacenamiento o para su distribución inmediata en el predio para ser utilizado para diversas actividades del hogar. Los sistemas de captación de aguas lluvias cuentan con los siguientes componentes principales:

Área de captación: es el lugar físico donde se almacenan los escurrimientos del agua de lluvia antes de su disposición final. A menudo se utilizan superficies que deben ser impermeables de preferencia de materiales como teja cerámica, calamina o zinc, ubicados preferiblemente en los techos de viviendas, colegios, almacenes, etc.

Estructura y sistema de conducción: es el conjunto de canalejas o tuberías de diferentes materiales y formas que conducen el agua de lluvia desde un área de captación hasta un sistema de almacenamiento. Los materiales utilizados deben ser livianos, duraderos, fáciles de ensamblar su finalidad obedecerá a que el conjunto esté libre de contaminación por compuestos orgánicos o inorgánicos.

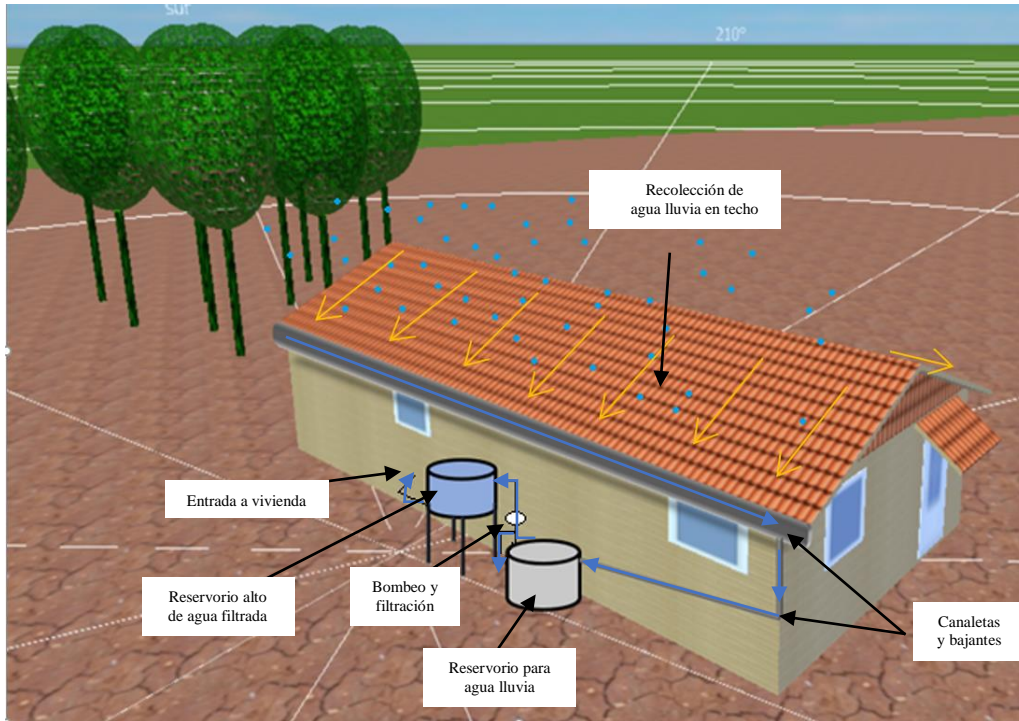
Dispositivo de retiro de contaminantes y filtración: entendido como un dispositivo que retira y filtra los contaminantes que pueda contenerse o acumularse con su paso el líquido, tales los sedimentos, residuos de elementos ferrosos, y demás. Los requerimientos de filtración serán dados por el uso final del agua tratada.

Tanques de almacenamiento: entendidos como dispositivos de almacenamiento o sistemas modulares donde se recolecta el agua de lluvia; tales piezas pueden estar situadas sobre o bajo rasante. Ahora bien, en cuanto a las características del tanque, deben ser de material de resistencia considerable, inerte e impermeable, para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración y tapados evitando con ello la entrada de polvo, insectos, luz solar y contaminantes que pueda haber en el ambiente. Además, se espera, los tanques se encuentren equipados con dispositivos para drenar el agua.

Con todo, se hace alusión que, en el sistema propuesto el agua es captada de los techos de las casas y conducida por canales en las bases de estos que van a depositar el agua a un tanque de almacenamiento, como se muestra en la Figura 17.

**Figura 17**

*Sistema de recolección y tratamiento de aguas lluvias*



**Nota:** Sistema de recolección y tratamiento de aguas lluvias.

En este punto de la descripción, se hacen una serie de indicaciones con el propósito de reducir riesgos al momento del montaje o puesta en marcha de la presente propuesta. Empezando, debe evaluarse la resistencia y estado de los techos existentes; la razón de lo anterior obedece a que los techos de algunas viviendas y como se describió en capítulos anteriores, son de materiales rústicos como por ejemplo pajo o hojas de plátano. En caso de evidenciar una estructura débil, debe ser reforzar o ser reparada. También es necesario comprobar el material del techo, de no ser idóneos para el proceso se debe realizar un recubrimiento al techo en membrana o láminas asfálticas autoadhesivas.

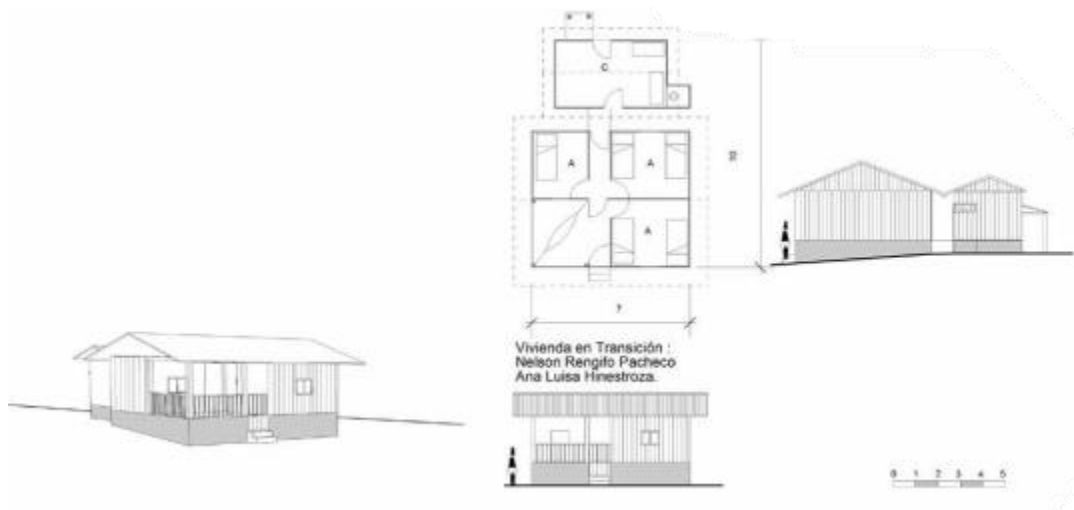
Si se va a instalar un nuevo tejado, es necesario ubicar el material sobre la estructura que va a soportar la teja y empezar desde la parte baja hacia arriba de tal forma que las tejas traslapen una sobre otra y evitar goteos. [34]. Para el cálculo de las bajantes del sistema de recolección de aguas pluviales se empleará método de cálculo propuesto por Santos (2020) [35] y desarrollado a continuación:

a. Cálculo de la superficie atendida por la bajante

Para ello se necesita el valor obtenido del área servida por el bajante, en proyección horizontal siendo esta la que se mediría en una vista en planta de la cubierta. Por lo mismo, no se tendrá en cuenta el factor de inclinación dado que este es menor que la proyectada, incluyendo así factores de seguridad. De acuerdo con la tipología arquitectónica y urbanística de la zona de la región pacífica colombiana [19], y con base en los datos de la Figura 11, el cálculo de la superficie atendida por la bajante se realiza con las condiciones de área mínima de captación de la tipología de vivienda de transición tradicional a moderna, pues predomina en la zona.

**Figura 18**

*Vivienda tradicional de transición a moderna.*



**Nota:** Vivienda tradicional de transición a moderna. Obtenido de: G. Mosquera Torrez, «VIVIENDA Y ARQUITECTURA TRADICIONAL EN EL PACÍFICO COLOMBIANO,» CITCE - OBSERVATORIO DE ARQUITECTURA Y URBANISMO CONTEMPORÁNEOS.

Las medidas de área de la superficie del techo están dadas por la longitud del frente y el ancho de la vivienda de referencia de la Figura 18, 7 y 10 metros respectivamente.

$$S = L * W$$

$$S = 7 m * 10 m$$

$$S = 70m^2$$

b. Corrección de la superficie

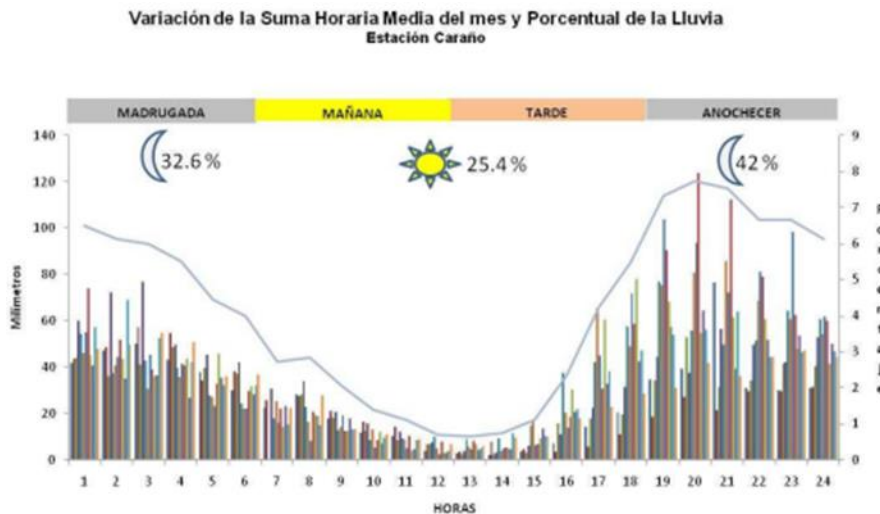
Se corrige el valor del área de la superficie del apartado anterior multiplicándola por el factor de corrección, como se expone en la Ecuación 1, donde  $i$  es la intensidad pluviométrica del lugar.

$$f = \frac{i}{100}$$

Ahora bien, para evaluar la intensidad de precipitación de las zonas no interconectadas, se toman los datos del numeral 2.2. que se observan en la Figura 13, en la Figura 14 y en la Figura 19

**Figura 19**

*Variación de la suma horaria media del mes y porcentual de la lluvia Estación Caraño*



**Nota:** análisis de precipitaciones horarias en el Chocó. Tomado de: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, «ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES HORARIAS EN COLOMBIA,» Grupo de Climatología, Agroclimatología y Meteorología Marina de la Subdirección de Meteorología.

El cálculo de corrección de la superficie se hace con los valores máximos de lluvia horaria del departamento del Chocó. Así se concluye un valor para  $i$  de 115 mm/h con el que, mediante ecuación de factor de corrección, se obtiene un valor de 1.15 adimensional para posteriormente, dividir dicho factor por el valor del área proyectada y así obtener como resultado el valor del área necesaria para la selección de las bajantes.

$$f = \frac{115}{100} = 1.15$$

$$Sc = f * S = 70m^2/1.15 = 61m^2$$

Teniendo como resultado un valor de 61m<sup>2</sup> para el área corregida.

c. Selección el diámetro de la bajante de pluviales

Con la superficie corregida se busca en la

**Tabla 1** el rango al cual pertenece el área atendida por la bajante, allí se obtiene un valor del diámetro nominal para la bajante de 63 mm o 2.5 in.

**Tabla 1**

*Diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h*

Diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h	
Superficie en proyección horizontal servida (m <sup>2</sup> )	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

**Nota:** diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h.

Tomado de: Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, «Documento Básico HS Salubridad con comentarios,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DccHS.pdf>.

### 3.3. Sistema de filtración

La ósmosis inversa es una tecnología de tratamiento de agua que utiliza membranas semipermeables para eliminar minerales y iones del agua. Un dispositivo de ósmosis inversa es un tubo que contiene una membrana cuyos diminutos poros actúan como un filtro que permite el paso únicamente de moléculas de agua. El tamaño de poro de la membrana es de 0,1 nm. También atrapan nitratos, fosfatos y todos los minerales, así como la mayoría de las bacterias, hongos y



otros organismos. Las unidades de ósmosis inversa proporcionan purificación fisicoquímica y bacteriana del agua en una sola operación.

Continuando, la ósmosis inversa funciona obligando al agua a pasar a través de una membrana semipermeable. Dicha membrana semipermeable no permite el paso de determinadas moléculas o iones por difusión; aquí, la velocidad de permeación depende de: la presión osmótica, la concentración, el gradiente electroquímico y la temperatura de las moléculas o solutos vecinos, así como de la permeabilidad de la membrana a cada soluto.

Por su parte, la purificación de agua por ósmosis inversa está integrada por cinco etapas:

1. Prefiltros de 5 micrones donde se asientan, reducen el óxido mecánico y las partículas y brindan protección a la membrana.
2. Filtro de pretratamiento con carbón activado granular.
3. Bloque de carbón activado para reducir el sabor, el olor, el cloro y las impurezas orgánicas.
4. Membrana de ósmosis inversa compuesta de película delgada para la reducción de sólidos disueltos, incluidos varios metales pesados tóxicos.
5. Filtro de carbón activado en línea para la eliminación final del mal sabor y olor.

Todos los sistemas de ósmosis inversa producen aguas residuales. Cuando el agua a tratar pasa por el filtro de sedimentos y carbón, entra en la membrana de ósmosis inversa, que limpia una cierta cantidad de agua y envía como desecho aun con las sales disueltas que se desean eliminar. El agua residual es agua pura sin cloro, pero su EC (sales minerales disueltas) es un 15-20% superior al agua del grifo. Por lo que, para el sistema planteado, este fluido de residuo del proceso de filtración será enviado a una salida para ser aprovechado en procesos domésticos diferentes al consumo, con el fin de aprovechar este flujo residual.

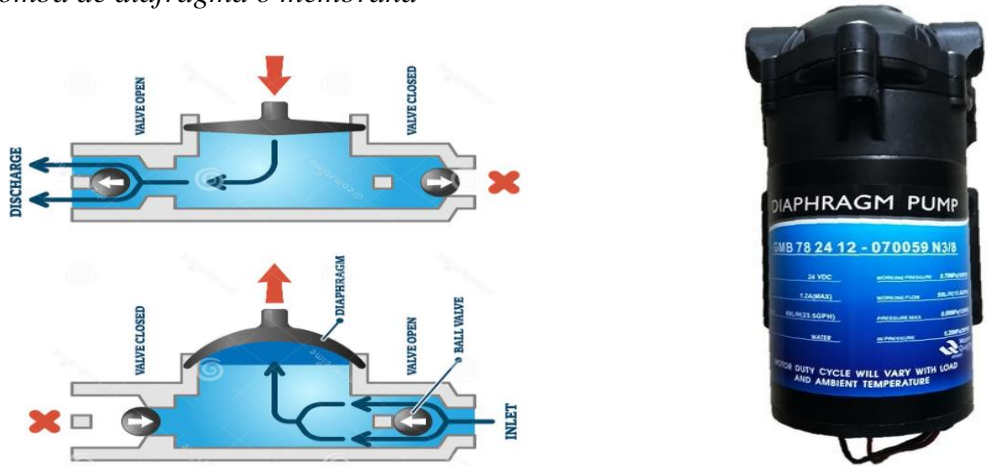
Para que la membrana funcione en buen estado, los fabricantes de membranas de ósmosis inversa recomiendan una presión mínima de 4,3 bar. La producción de agua filtrada aumenta o disminuye dependiendo de la presión del agua que ingresa a la membrana. Una presión de agua insuficiente hará que la producción de agua de la unidad disminuya, así como una mayor descarga de agua.

Para el diseño propuesto, se selecciona un equipo que trata 193 litros por día removiendo cerca de un 99% los contaminantes del agua, tales como: sodio, calcio, magnesio, potasio, hierro, manganeso, aluminio, amonio, cobre, níquel, zinc, estroncio, cadmio, plata, mercurio, cromo, cloro, bicarbonato, flúor, fosfato, fierro, bromo, borato, sulfato, arsénico, selenio, silicatos, cianuros, molibdeno, arsénico, nitrógeno, fósforo, bacterias, protozoos, amebas, asbestos, sedimentos, turbiedad etc.

El sistema de bombeo seleccionado es una bomba de diafragma pues son capaces de bombear con facilidad desde líquidos limpios y de baja viscosidad, hasta líquidos pesados, abrasivos de viscosidades medias hasta transferir partículas grandes sin dañarlas [36], es de desplazamiento positivo incorporada en el sistema de filtración; esta combina la acción direccional de un diafragma de goma con válvulas de cierre a cada lado del diafragma para bombear fluido (Figura 20).

**Figura 20**

*Bomba de diafragma o membrana*



**Nota:** funcionamiento típico de una bomba de diafragma (Izquierda), tomado de: BOMBA DE MEMBRANA. Disponible en: <https://es.dreamstime.com/diagrama-del-proceso-de-trabajo-la-bomba-diafragma-o-membrana-ejemplo-dibujo-t%C3%A9cnico-con-principio-flujo-l%C3%ADquido-c%C3%B3mo-funciona-image169878278>. Bomba Impulsión Diafragma 50 GPD Osmosis Inversa Filtro Agua (Derecha). Disponible en: <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-516067538-bomba-impulsion-diafragma-50gpd-osmosis-inversa-filtro-agua- JM>

La bomba trabaja con un caudal de 1.2 litros por minuto (l/m), una presión de descarga de 6.21 bar, el voltaje de entrada es de 24 volts CC y un consumo de 16 W. Con las características del sistema de presión, se evalúan los requisitos de suministro de agua de la vivienda. La razón de lo anterior obedece a que las distancias en tubería no sobrepasan los 100 metros, por ende, las pérdidas por tubería, accesorios y uniones se asumirán como el 10%.

**Tabla 2**

*Presiones requeridas para el proceso de filtración en m.c.a.*

<b>PRESIONES REQUERIDAS EN MCA</b>	
<b>Suministro punto más alejado</b>	7 metros
<b>Diferencia de alturas filtro-tanque</b>	3 metros
<b>Pérdidas de presión por tubería, uniones y accesorios</b>	10%
<b>Presión mínima recomendada para membrana</b>	44 metros
<b>TOTAL</b>	59.4 metros

**Nota:** Consolidado de las presiones en diferencia de alturas y presiones requeridas del equipo.

Continuando, con el consolidado de presiones de la Tabla 2 requeridas para el proceso de suministro de agua filtrada, se obtiene una presión requerida de 5.8 bar, la cual es inferior a la presión suministrada por la bomba (6.21 bar). El equipo paquete de osmosis inversa que comprende el sistema de filtración y la boba se puede apreciar en la Figura 21, se escoge este sistema dado que sus usos comunes son de gran exigencia como lo es, por ejemplo, la desalinización de agua, lo que para las presentes aplicaciones es un proceso idóneo y asegura los requerimientos del proceso, además de las calidades que el proveedor asegura, también por su tamaño pues tiene un peso de 13 kilos y dimensiones de 43cm x 46cm x 43cm, lo que facilita su instalación al ser un equipo pequeño.

**Figura 21**

*Sistema de filtración por ósmosis inversa*



**Nota:** ejemplo de sistema de filtración por ósmosis inversa con capacidad de 200 litros por día.

Tomado de: Aguamarket. «Ósmosis inversa». En línea, Available:

[https://www.aguamarket.com/sql/temas\\_interes/osmosis-inversa.asp](https://www.aguamarket.com/sql/temas_interes/osmosis-inversa.asp).

### 3.4. Almacenamiento de agua lluvia y filtrada

Considerando que, el objetivo del tanque es mantener un depósito agua permanente con disponibilidad para los momentos de consumo y permitir el almacenamiento en horas de bajo gasto. Para la selección del tanque de almacenamiento de aguas lluvias se requieren depósitos de características físicas como lo son:

- Impermeables, para evitar pérdidas por goteo o transpiración.
- Herméticos: para evitar contaminación, el ingreso de luz solar y la proliferación de insectos.
- Accesible y con abertura amplia para realizar la limpieza y reparaciones.

Se parte de la premisa de abastecimiento de un mínimo establecido de una disponibilidad de al menos 20 litros por persona de agua como consumo diario, dado que el nivel de habitabilidad es de tres a cuatro personas quienes hacen parte del núcleo familiar; allí se deduce la capacidad  $C$  mínima de almacenamiento que demanda la vivienda. Sin embargo, para asegurar la provisión de acuerdo con la demanda requerida del almacenamiento, a la capacidad  $C$  se le asigna un factor de seguridad  $f$  de 0.25 para obtener la capacidad final requerida

$$C = 4 * 20 \text{ l}$$

$$C = 80 \text{ l}$$

$$C_f = 80 \text{ l} + (80 \text{ l} * 0.25)$$

$$C_f = 100 \text{ l}$$

Para la obtención de mediciones por captación de aguas pluviales de la capacidad deducida anteriormente del reservorio, se identifica al municipio de Acandí, perteneciente a la zona del Darién, como la locación con menores índices, estando el mínimo en 1.39 mm en el mes de marzo, tal como se observa en la Figura 13, también, de acuerdo con la Figura 14 para este mes las horas de lluvia por día serian cerca de 6.

Dado que un litro de agua por metro cuadrado es igual a un milímetro de lluvia y bajo los datos del párrafo anterior, se obtiene una capacidad de almacenamiento expuesta a continuación:

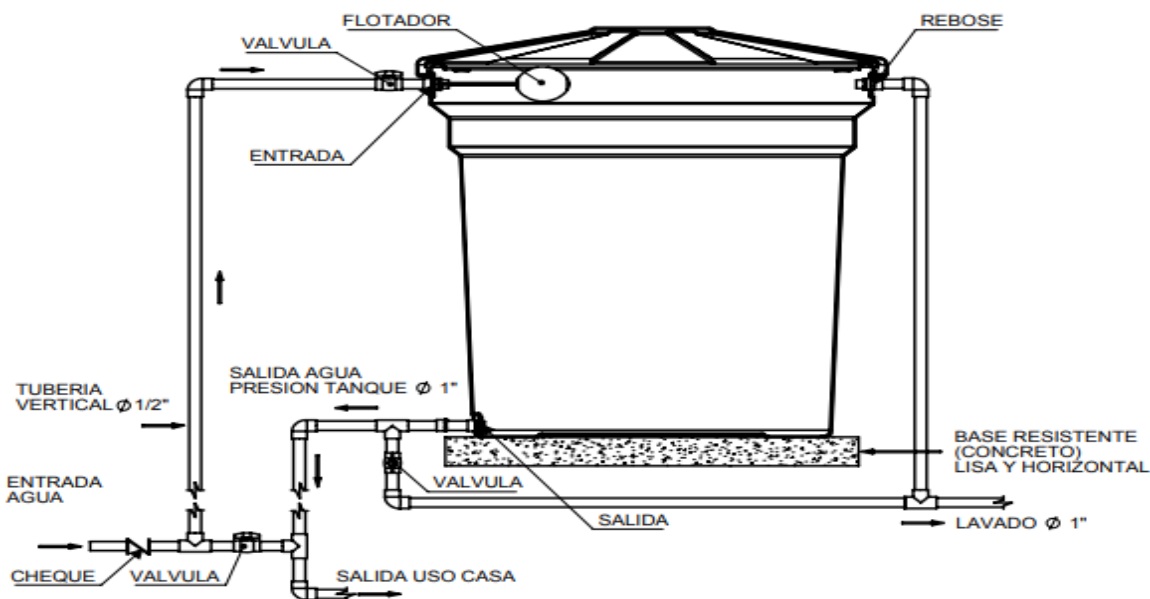
$$1 \text{ mm} = 1 \frac{\text{l}}{\text{m}^2}$$

$$1.39 \frac{\text{l}}{\text{m}^2} * 6 \text{ horas de lluvia} * 61 \text{ m}^2 = 508.74 \text{ l}$$

De esta manera, se corrobora que la capacidad de captación necesaria para una vivienda tipo unifamiliar del departamento del Chocó con la menor disponibilidad de precipitación correspondiente al municipio de Acandí será cubierta. Ahora bien, atendiendo a fines de practicidad al momento de adquirir los componentes y suplir los requisitos del sistema planteado en este documento, la selección de capacidad del tanque se realiza mediante capacidades comerciales, por lo que se escoge un tanque de 250 litros, capacidad que permite cumplir con la demanda de abastecimiento requerida después del proceso de filtración, teniendo en cuenta las aguas residuales de este y dando espacio para un mayor aprovechamiento del recurso pluvial disponible. Se recomienda el esquema de montaje según proveedor de la siguiente manera:

**Figura 22**

*Esquema para el montaje de un tanque de agua*



**Nota:** esquema sugerido para el montaje de tanque para agua por el proveedor. Fuente: COLEMPAQUES, «[www.COLEMPAQUES.com](http://www.COLEMPAQUES.com),» 2019. [En línea]. Available: [https://admintienda.coval.com.co/backend/admin/backend/web/archivosDelCliente/items/anexos/TANQUES-PARA-AGUA-CONICOS-TANQUE-AGUA--CONICO-NEGRO----250Lt-COLE-1684-Ficha-tecnica-20210609131814.pdf?\\_gl=1\\*1cypqwi\\*\\_ga\\*MTkwMzQzODE0My4xNjYxMjAwMTgx\\*\\_ga\\_YHN0Z97L](https://admintienda.coval.com.co/backend/admin/backend/web/archivosDelCliente/items/anexos/TANQUES-PARA-AGUA-CONICOS-TANQUE-AGUA--CONICO-NEGRO----250Lt-COLE-1684-Ficha-tecnica-20210609131814.pdf?_gl=1*1cypqwi*_ga*MTkwMzQzODE0My4xNjYxMjAwMTgx*_ga_YHN0Z97L).

#### 4. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

En este apartado de la investigación se entra a continuación a detallar las características de un sistema autónomo solar fotovoltaico, el cual está compuesto principalmente por cuatro equipos específicos: módulos fotovoltaicos, controlador de carga, arreglo baterías y un inversor. En el sistema autónomo el inversor no depende directamente de los módulos, debido a que todos los componentes están interconectados.

Lo primero que se debe hacer antes de realizar el dimensionar o calcular un sistema autónomo, es realizar un estudio de cargas; sin embargo, se tomó como datos iniciales del consumo de energía eléctrica lo relacionado en las necesidades básicas de cada una de las subregiones. Con estos valores se realizó una ponderación de los aparatos eléctricos que *a priori* tendría cada una de las viviendas de las subregiones en las ZNI, con lo cual se construyó el estudio de cargas que se describen en la

Tabla 3. La base de cálculo se realizó para la subregión del San Juan, en el municipio de Tadó, el cual tiene un consumo promedio mensual de 147 kWh/mes, una irradiación mensual promedio de 4,09 kWh/m<sup>2</sup> y una precipitación pluvial de 14,54 mm.

**Tabla 3**

*Estudio de cargas para una vivienda tipo*

TADÓ							
Electrodoméstico	Cantidad	Potencia (W)	Voltaje	Tiempo de uso [horas]	Consumo diario (Wh/día)	Demanda máxima (W)	
Iluminación	4	20	110	6	480	80	
Tv 21"	1	100	110	5	500	100	
Cargadores	2	18	110	4	144	36	
Ventilador de pie	1	50	110	6	300	50	
Potabilizador	1	16	110	1,4	22,4	48	
Refrigerador	1	150	110	21	3150	300	
Equipo de Sonido	1	60	110	2	120	60	
Licuadora	1	170	110	0,05	8,5	170	
Total					4724,9	844	

**Nota:** Consumo promedio de una vivienda tipo unifamiliar.

A primera vista los datos de consumo diario y demanda máxima brindaron la posibilidad de elegir la tensión del sistema, es decir, el voltaje, teniendo en cuenta los criterios de selección para este tipo de proyectos. En el caso de consumo diario, se aplicó un factor de seguridad de 20%; con esto se pueden compensar pérdidas en los módulos fotovoltaicos o, por el contrario, que el usuario final tenga un mayor consumo al calculado. El cálculo se puede ver en la ecuación a continuación.

$$\text{Consumo diario} = \text{Consumo diario} * \text{factor de seguridad} = 4724,9 \text{ Wh} * 20\%$$

$$\text{Consumo diario} = 5669,8 \text{ Wh}$$

La tensión del sistema o voltaje del sistema se eligió a partir del consumo diario, más el factor de seguridad calculado anteriormente, para el cual, se siguió el criterio de selección para este tipo de proyectos, en el que se indica que si el consumo diario es mayor a 4001 Wh se recomienda hacer un sistema a 48 V. Este voltaje del sistema es la configuración para el banco de baterías que se utilizarán en el sistema autónomo; se debe tener en cuenta que dependerá en gran medida el inversor que se maneje para este tipo de instalaciones, puesto que éste demandará unos requerimientos mínimos de funcionamiento, en los cuales estará el voltaje de operación.

Para el cálculo de potencia fotovoltaica requerida y el cálculo provisional de paneles o módulos fotovoltaicos, se consideró el consumo diario con factor de seguridad, el cual se multiplicó por la irradiancia en condiciones estándar, y se dividió entre el valor medio mensual de irradiación multiplicado por una constante de rendimiento energético para instalaciones adimensional que es usada para sistemas de baterías. Para el cálculo del número de módulos, se debe tener en cuenta que, para su escogencia, en la actualidad, la potencia de los módulos varía conforme a la eficiencia del tipo de módulo seleccionado, para los modelos monocristalinos se cuenta con eficiencias aproximadas entre el 18% y 21%, adicionalmente, para este tipo de tecnología se recomienda su instalación para condiciones climáticas que presenten variaciones, como por ejemplo lluvia, niebla o radiaciones no constantes. Contrario a lo anterior, en cuanto los módulos policristalinos, se tienen eficiencias entre el 15% y 17%; esta referencia de módulos se utiliza para lugares que presenten altas temperaturas, debido a que absorben mejor la radiación. Por lo anterior, se considera la referencia de panel Monocristalino de la marca *EcoGreen* de 400W, con un voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) de 48,6 V y una corriente de circuito ( $I_{sc}$ ) de 10,4 A [37] para los cálculos



correspondientes. Con los datos anteriores se realiza el cálculo provisional de modo fotovoltaico para las dos variables.

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{consumo\ diario * Irradiancia\ estandar}{Irradiacion\ media\ mensual * rendimiento\ energetico}$$

$$Potencia\ fotovoltaica = \frac{5669,8\ Wh * 1000 \frac{W}{m^2}}{4090 \frac{Wh}{m^2} * 0,6} = 2310,4W$$

$$Número\ de\ módulos = \frac{Potencia\ fotovoltaica}{potencia\ del\ módulo}$$


$$Número\ de\ módulos = \frac{2310,4\ W}{400\ W} = 5,7 \cong 6$$

Respecto del análisis y selección del controlador de carga, se validó entre los modelos PWM (*Pulse-Width Modulation*), o Modulación por Ancho de Pulso y los MPPT (*Maximum Power Point Tracker*), o Seguidor de Punto de Máxima Potencia. La tecnología PWM como su nombre lo indica deriva de la técnica de reducción de tensión para no averiar el banco de baterías, manteniendo la corriente y brindando una eficiencia entre el 70% y el 90%. La tecnología PWM busca ubicar al panel en su punto de máxima potencia para obtener la mayor cantidad de energía y transferirla al banco de baterías, alcanzando una eficiencia real cercana al 99% [38]. Teniendo en cuenta lo anterior, se decidió realizar el cálculo para un controlador MPPT, debido a que poseen una mayor eficiencia.

Para los cálculos y la selección del controlador de carga, se tuvo en cuenta el voltaje del sistema que es de 48 V, esto, según el criterio indicado previamente. Adicional, se tomó el número provisional de módulos y sus características, las cuales se pueden observar en la Figura 23. La configuración de la instalación de módulos fotovoltaicos será de tres módulos en serie, y las dos parejas en serie conectadas en paralelo. En lo que sigue, se indican los cálculos para la selección del controlador mediante las ecuaciones expuestas a continuación:

**Figura 23**

*Datos eléctricos Panel Solar 400W 24V Monocristalino EcoGreen*



Power output (Pmax)	380 W	385 W	390 W	395 W	400 W
Power tolerance	0+5 W	0+5 W	0+5 W	0+5 W	0+5 W
Module efficiency	19.15 %	19.41 %	19.66 %	19.91 %	20.16%
Maximum power voltage (Vmp)	39.50 V	39.65 V	39.76 V	39.86 V	39.92 V
Maximum power current (Imp)	9.62 A	9.71 A	9.81 A	9.91 A	10.02 A
Open circuit voltage (Voc)	48.20 V	48.25 V	48.37 V	48.48 V	48.6 V
Short circuit current (Isc)	9.99 A	10.08 A	10.18 A	10.28 A	10.4 A

\*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m<sup>2</sup> • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

**Nota:** datos eléctricos panel solar 400W 24V Monocristalino EcoGreen. Tomado de: Eco Green Energy Group Ltd. , «Eco Green Energy Group Ltd. 2018,» 2018. [En línea]. Available: <https://autosolar.co/pdf/Ecogreen-400w-perc.pdf>. [Último acceso: Agosto 2022].

CÁLCULO PARA SELECCIÓN DE CONTROLADOR DE CARGA

*voltaje del sistema : 48 V*

*número de módulos: 6 de 400 W*

*2 series de 3 modulos*

*voltaje del circuito en serie = voltaje del circuto abierto \* 3*

$$48,6 * 3 = 145,8 V$$

*corriente del circuito en paralelo = corriente del circuto \* 2*

$$10,4 A * 2 = 20,8 A$$


*Potencia del sistema = No. de modulos \* potencia de cada modulo*

$$6 * 400 W = 2400 W$$

Con los datos ya registrados, se procedió a la búsqueda en el mercado local para la selección del controlador, allí se encontró que el que se ajusta a las condiciones del estudio es el controlador de carga *SRNE MPPT 85A LCD 12/24/48V* [39]. Adicionalmente, se tiene como criterio de selección un posible incremento en la demanda eléctrica de la vivienda para años futuros, para lo cual, se podría realizar una instalación adicional de otra serie de dos módulos colocados en paralelo con los ya existentes, o, por el contrario, cambiar la configuración a 2 series de 4 módulos conectados en paralelo; sin embargo, se tendría que hacer un cambio de controlador. En la Figura 24 se puede observar las características técnicas del controlador seleccionado.

**Figura 24**

*Controlador de carga SRNE MPPT 85A LCD 12/24/48V*



Model	SR-MC4885N15	SR-MC48100N15	SR-MC4885N25	SR-MC48100N25
System voltage	12V/24/36/48V			
Static power consumption	0.54W			
Maximum input voltage of solar energy (25°C)	150V		250V	
Voltage Range at MPP (Maximum Power Point)	Battery voltage +2~ 120V		Battery voltage +2~ 180V	
Charging current	85A	100A	85A	100A
Solar panel power (12V battery)	1100W	1300W	1100W	1300W
Solar panel power (24V battery)	2200W	2600W	2200W	2600W
Solar panel power (48V battery)	4400W	5200W	4400W	5200W

**Nota:** parámetros del Controlador de carga SRNE MPPT 85A LCD 12/24/48V. Tomado de: Autosolar. Disponible en: <https://autosolar.co/pdf/MPPT-MC48-Ficha.pdf>.

Posterior a los cálculos del controlador, se procedió a la selección del inversor; en la actualidad, se encuentran en el mercado inversores que tienen incluido el controlador de carga, lo que permite la unificación de equipos, reduciendo el espacio ocupado para la instalación y brindando mejores prestaciones en temas de eficiencia y lectura de datos. Para este procedimiento de selección, se tiene en cuenta el voltaje del sistema, similar al del inversor el cual es de 48 V. Como variante adicional, se debe tener presente el valor de la demanda máxima que es de 844 W pico, la cual fue calculada en el estudio de cargas. El valor dado de la demanda máxima se da cuando todos los electrodomésticos están conectados al mismo tiempo, sin olvidar el pico de arranque de los motores, es decir, la bomba.

Continuando, se realizó la comparación de dos referencias comerciales de inversores, el primero el Inversor Cargador 3000W 48V MPPT 80A Must Solar [40], y como segunda opción el Inversor Cargador Growatt SPF 3000W 48V 80A LVM. Ambos equipos poseen unas características de operación similares, la decisión en su escogencia se dará atendiendo al factor económico, encontrándose una diferencia de precios cercana al 18%. Dicho esto, el inversor con el que se trabajó para la simulación de este proyecto fue el *Growatt SPF 3000W 48V 80A LVM*. En la Figura 25 se aprecian las condiciones técnicas y de operación del modelo seleccionado.

**Figura 25**

*Ficha técnica Inversor Cargador Growatt SPF 3000W 48V 80A LVM*

Datasheet	SPF 3000TL LVM-24P	SPF 3000TL LVM-48P
Battery voltage	24VDC	48VDC
Battery type	Lead-acid	Lithium/Lead-acid
<b>INVERTER OUTPUT</b>		
RATED POWER	3000VA/ 3000W	3000VA/ 3000W
Parallel Capability	Yes, 6 units maximum	Yes, 6 units maximum
AC Voltage Regulation (Battery Mode)	120VAC $\pm$ 5% @ 50/60Hz	120VAC $\pm$ 5% @ 50/60Hz
Surge Power	6000VA	6000VA
Efficiency (Peak)	93%	93%
Waveform	Pure sine wave	Pure sine wave
Transfer Time	10 ms (For Personal Computers); 20 ms (For Home Appliances)	10 ms (For Personal Computers); 20 ms (For Home Appliances)
<b>SOLAR CHARGER</b>		
Maximum PV Array Power	2000W	4500W
MPPT Range @ Operating Voltage	30VDC – 115VDC	60VDC – 115VDC
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	145VDC	145VDC
Maximum Solar Charge Current	80A	80A
Maximum Efficiency	97%	97%
Standby Power Consumption	2 W	2 W
<b>AC CHARGER</b>		
Charge Current	60A	40A
AC Input Voltage	120 VAC	120 VAC
Selectable Voltage Range	95-140 VAC (For Personal Computers) ; 65-140 VAC (For Home Appliances)	95-140 VAC (For Personal Computers) ; 65-140 VAC (For Home Appliances)
Frequency Range	50Hz/60Hz (Auto sensing)	50Hz/60Hz (Auto sensing)
<b>PHYSICAL</b>		
Dimension (D/W/H) in mm	130/350/455	130/350/455
Net Weight (kgs)	11	11
<b>OPERATING ENVIRONMENT</b>		
Humidity	5% to 95% Relative Humidity(Non-condensing)	5% to 95% Relative Humidity(Non-condensing)
Operating Temperature	0°C - 55°C	0°C - 55°C
Storage Temperature	-15°C - 60°C	-15°C - 60°C



**Nota:** datasheet del inversor cargador Growatt SPF 3000W 48V 80A LVM. Tomado de: Autosolar, SRNE Solar, MPPT Solar Charge Controller. disponible en: <https://autosolar.co/pdf/3004252-SPF-3000TL-LVM-Datasheet-24P-48P.pdf>

El último componente de un sistema autónomo es el banco de baterías o almacenadores, estos elementos son los encargados del almacenamiento de la energía, que posteriormente es suministrada independientemente de la producción eléctrica de los módulos fotovoltaico en un determinado momento, como por ejemplo los días nublados o cuando es de noche. Al igual que en la selección y cálculos anteriores, la primera variable que se revisó es el voltaje del sistema, que, como se ha descrito anteriormente es de 48 V. La siguiente variable, es el consumo diario de la vivienda, que para este caso en particular fue de 5669.8 Wh/día, dato obtenido del estudio de cargas de la vivienda tipo más el factor de seguridad. Finalmente, la última variable, es la eficiencia del inversor, puesto que del total de corriente que llega al inversor se tendrá una pérdida de 7 %, debido a que la eficiencia es del 93 % para el inversor seleccionado. Tomando las variables anteriores, se realizan los cálculos mostrados a continuación.

#### CÁLCULO DE BANCO DE BATERÍAS

*Voltaje del sistema: 48 V*

*Consumo diario de la vivienda: 5669.8 Wh/día*

*Eficiencia del inversor: 97%*

$$\frac{Ah}{dia} = \frac{\text{consumo diario}}{\frac{\text{eficiencia del inversor}}{\text{voltaje del sistema}}}$$

$$\frac{5669.88 \text{ Wh/día}}{\frac{0,97}{48 \text{ V}}} = 121,7 \text{ Ah/día}$$

De lo anterior, se obtuvo como resultado que, para el banco de baterías se tiene 121,7 Ah/día, con una profundidad de descarga diaria del 100 %; sin embargo, para alargar la vida útil del sistema de baterías, y bajo un parámetro de ciclos de vida de éstas, se trabaja un ciclo de descarga al 50% por día, lo cual implica un aumento del número de baterías. Para el cálculo de la cantidad de baterías requeridas para el presente proyecto, se seleccionó una batería *GEL 12V 150Ah* de la marca *Tensite* usada en proyectos fotovoltaicos, la cual está diseñada para soportar una cantidad de ciclos de carga y descarga, adicional a lo anterior, se busca que sean de ciclo profundo. A continuación, se determina la configuración de las baterías en serie y paralelo.

#### CÁLCULO DE BANCO DE BATERÍAS EN PARALELO

*Ah/día: 121,7 Ah/día*

*Días de autonomía: 1*

*Profundidad de descarga de la batería: 50%*

*Capacidad de la batería: 150Ah*

$$\text{Baterías en paralelo} = \frac{\left(\frac{\text{Ah}}{\text{día}}\right) * \text{días de autonomía}}{\frac{\text{Profundidad de descarga}}{\text{Capacidad de la batería}}}$$

$$\frac{121,7 \text{ A} * 1}{\frac{0,50}{150 \text{ Ah}}} = 1,62 \cong 2 \text{ baterías}$$

#### CÁLCULO DE BANCO DE BATERÍAS EN SERIE

*Voltaje del sistema: 48 V*

*Voltaje de las baterías: 12 V*

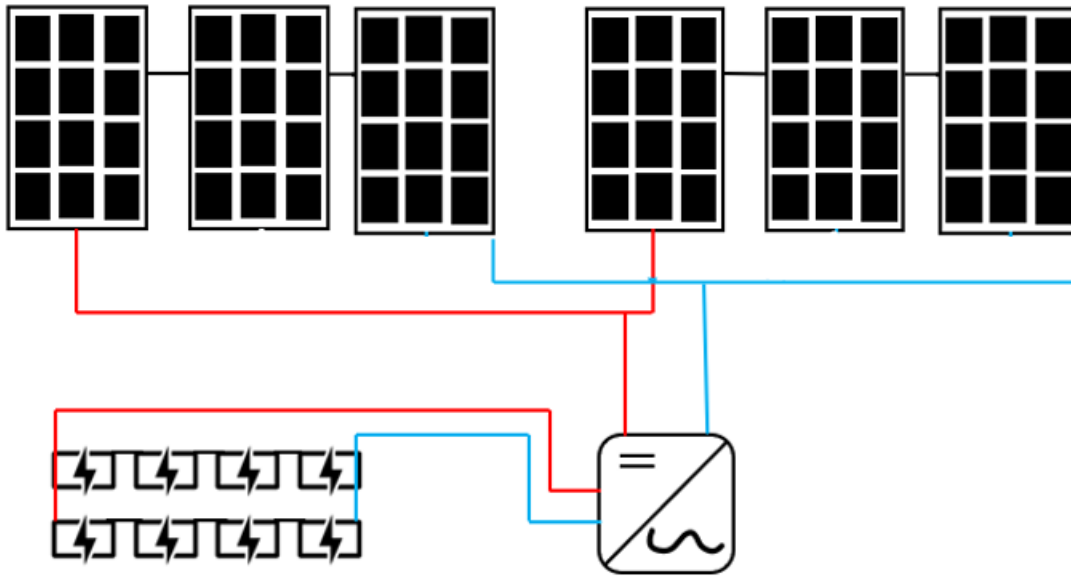
$$\text{Baterías en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje de las Baterías}} = \frac{48 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 4$$

$$\text{Baterías totales} = \text{baterías en paralelo} * \text{Baterías en serie} = 2 * 4 = 8 \text{ baterías}$$

Una vez calculado el número de baterías, se procede a generar el diagrama del sistema, el cual se presenta en la Figura 21. En este diagrama se pueden observar las características principales del diseño de un sistema solar fotovoltaico autónomo para una vivienda tipo del municipio de Tadó. Otro aspecto fundamental para tener en cuenta en el diseño de este sistema, son las condiciones de fabricación y posicionamiento de los tejados de las viviendas en este municipio, y en generar de casi todas las viviendas en las ZNI del departamento del Chocó. Debido a esto, los módulos fotovoltaicos deberán ser instalados en su mayoría en soportes fijos y anclados al suelo, con una altura promedio de 3,5 m, en los cuales se pueda dar la ubicación del ángulo acimut para los módulos fotovoltaicos.

**Figura 26**

*Diagrama del sistema fotovoltaico con inversor/cargador*



**Nota:** diagrama con características principales del diseño del sistema solar fotovoltaico autónomo.

## 5. LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

Buscando acoplar el diseño realizado en los capítulos anteriores, al propósito de la investigación, se generaron dos matrices donde se cruzan tanto el recurso solar fotovoltaico como el recurso pluvial de cada una de las cinco subregiones; así mismo, para cada uno de los municipios tomados como ejemplo para el presente documento. Iniciando con el recurso pluvial, se tiene que para las viviendas de las zonas no interconectadas y con mayor índice de necesidades básicas insatisfechas, se pueden optar por captadores de agua en los tejados de las viviendas, teniendo en cuenta el número de residentes de cada vivienda; seguido a ello, se puede hacer una proyección de cuanta área se puede usar de los tejados, y así poder cubrir el mínimo vital de agua potable para cada usuario. Esta primera matriz se muestra en la Tabla 4, en la que se realiza la proyección de sistema de almacenamiento de agua y del equipo de potabilización de agua.

Por lo tanto, en la Tabla 4 se puede observar que, las subregiones con menores índices de precipitaciones pluviales son Darién y Atrato. Pero, al mismo tiempo, son estas dos zonas las que presentan viviendas menos adecuadas estructuralmente para el uso de las áreas de los techos, encontrándose que son de construcción tradicional.

Para la segunda matriz, la Tabla 5 muestra las combinaciones para la caracterización en cuestión al potencial fotovoltaico de cada subregión, y así cubrir la demanda de consumo eléctrico de las viviendas en los municipios. En esta matriz se puede identificar que, aunque las viviendas no tienen el mismo consumo de energía eléctrica, los equipos utilizados para cubrir la demanda energética son similares en todos los casos, arrojando como una conclusión preliminar, que se puede cubrir la necesidad básica de energía eléctrica si se pueden implementar kits fotovoltaicos para consumos básicos promedio de hasta 5800 Wh/día, cuya autonomía con sistema de baterías de un día. Para esta matriz, se usaron datos criterios de selección como los siguientes:

- Factor de seguridad 20%
- Eficiencia del inversor 97%
- Autonomía de baterías 1 día
- Profundidad de descarga de las baterías 50%



**Tabla 4***Matriz del recurso pluvial de las subregiones del departamento del Chocó*

SUBREGION	MUNICIPIO	UBICACIÓN	TIPO DE VIVIENDA	NÚMERO DE RESIDENTES POR VIVIENDA	MÍNIMO DE AGUA POTABLE POR VIVIENDA	PRECIPITACIÓN MEDIA DIARIA (mm)	ÁREA	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA (l)	CAUDAL REQUERIDO (l/m)	POTENCIA DEL POTABILIZADOR DE AGUA (W)
							REQUERIDA PARA CAPTACIÓN PLUVIAL (m <sup>2</sup> )			
San Juan	Tadó	ZNI Rural	Tradicional - Rural de transición moderna	3	150	14,54	10,32	250	1,2	16
Pacífico Norte	Nuquí	ZNI Rural	Tradicional - Rural de transición moderna	4	200	16,51	12,11	250	1,2	16
Darién	Acandí	ZNI Rural	Rural - Tradicional	3	150	6,25	24	250	1,2	16
Atrato	Bagadó	ZNI Rural	Autóctona - Tradicional	3	150	12,63	11,88	250	1,2	16
Pacífico Sur	Baudó	ZNI Rural	Autóctona - Rural de transición moderna	4	200	15,28	13,09	250	1,2	16

**Nota:** consolidado del recurso pluvial y características generales por subregión en el Chocó.

**Tabla 5***Matriz del recurso solar para selección de equipos para kit fotovoltaico Autónomo*

MUNICIPIO	IRRADIACIÓN PROMEDIO MENSUAL [Wh/(m2,día)]	CONSTANTE DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO	IRRADIANCIA EN CONDICIONES ESTÁNDAR (W/m2)	POTENCIA DE MODULO FOTOVOLTAICO (W)	CONSUMO ENERGÉTICO DIARIO (Wh/día)	DEMANDA MÁXIMA (W)	VOLTAJE DEL SISTEMA (V)
Tadó	4090	0,6	1000	400	4724,9	844	48
Nuquí	3680	0,6	1000	400	3851,4	694	48
Acandí	4130	0,6	1000	400	3141,4	694	24
Bagadó	4130	0,6	1000	400	2791,4	694	24
Baudó	3780	0,6	1000	400	2579,4	694	24

CONSUMO DIARIO CON FACTOR DE SEGURIDAD (Wh)	POTENCIA FOTOVOLTAICA (W)	NÚMERO DE MODULOS	POTENCIA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	INTENSIDAD DE CORRIENTE AL DÍA (Ah/día)	NÚMERO DE BATERIAS PARALELO	NÚMERO DE BATERIAS SERIE	TOTAL BATERIAS
5669,88	2310,5	6,00	2400	121,8	2	4	8
4621,68	2093,2	6,00	2400	99,3	2	4	8
3769,68	1521,3	4,00	1600	161,9	3	2	6
3349,68	1351,8	4,00	1600	143,9	2	2	4
3095,28	1364,8	4,00	1600	133,0	2	2	4

**Nota:** consolidado del recurso solar y características generales por subregión en el Chocó.

En el contexto del análisis para la aplicabilidad de la presente investigación, se decidió realizar una simulación computacional, en la cual se pudo determinar que la mayor parte del territorio chocoano cuenta con potencial solar fotovoltaico para suplir la necesidad básica de energía eléctrica. Adicionalmente, bajo las condiciones de climatológicas del mismo territorio, se puede suplir el requerimiento de agua potable para una vivienda con las características ya indicadas, teniendo de presente que el acceso a estas zonas es complejo, por lo cual los equipos que se utilicen deben ser fáciles de transportar por medio fluvial, y adicionalmente deben contar con condiciones de seguridad y de operación acordes a los sitios de instalación. En la Figura 27, se puede identificar la situación real del territorio chocoano, más precisamente del municipio de Tadó zona rural. En esta ubicación se encuentran condiciones de las que se habló en este documento, tales como tipo de vivienda, estructura de los tejados, medio de transporte fluvial y condiciones habitacionales.

### **Figura 27**

*Fotografías de zona rural del departamento del Chocó*



**Nota:** imágenes de la zona rural del municipio de Tadó, Julio de 2022.

Dado el anterior contexto y tomando como insumo los marcos de referencia registrados en todo el desarrollo de la investigación, con la ayuda del software *PV-SOL* para proyectos fotovoltaicos, se realizó el análisis y simulación del proyecto fotovoltaico autónomo para el municipio de Tadó, en la subregión del San Juan, teniendo en cuenta que, esta ubicación contaba con los valores de

referencia más altos en consumo eléctrico y adicionalmente, es el tercer municipio con índices de precipitación pluvial más altos del departamento por debajo de Nuquí y Baudó, lo que a su vez, se consideró para la selección del equipo de filtración y potabilización de agua, dando como resultado un mayor consumo eléctrico para esta vivienda.

El primer paso en el proceso de simulación fue realizar la ubicación de una vivienda dentro del municipio de estudio, la cual se tomó al azar. En la Figura 28 se observa una vista aérea de la zona seleccionada, adicionalmente se puede identificar que la vivienda se encuentra a una distancia separada de otras viviendas.

**Figura 28**

*Vista satelital de la zona rural del municipio de Tadó*



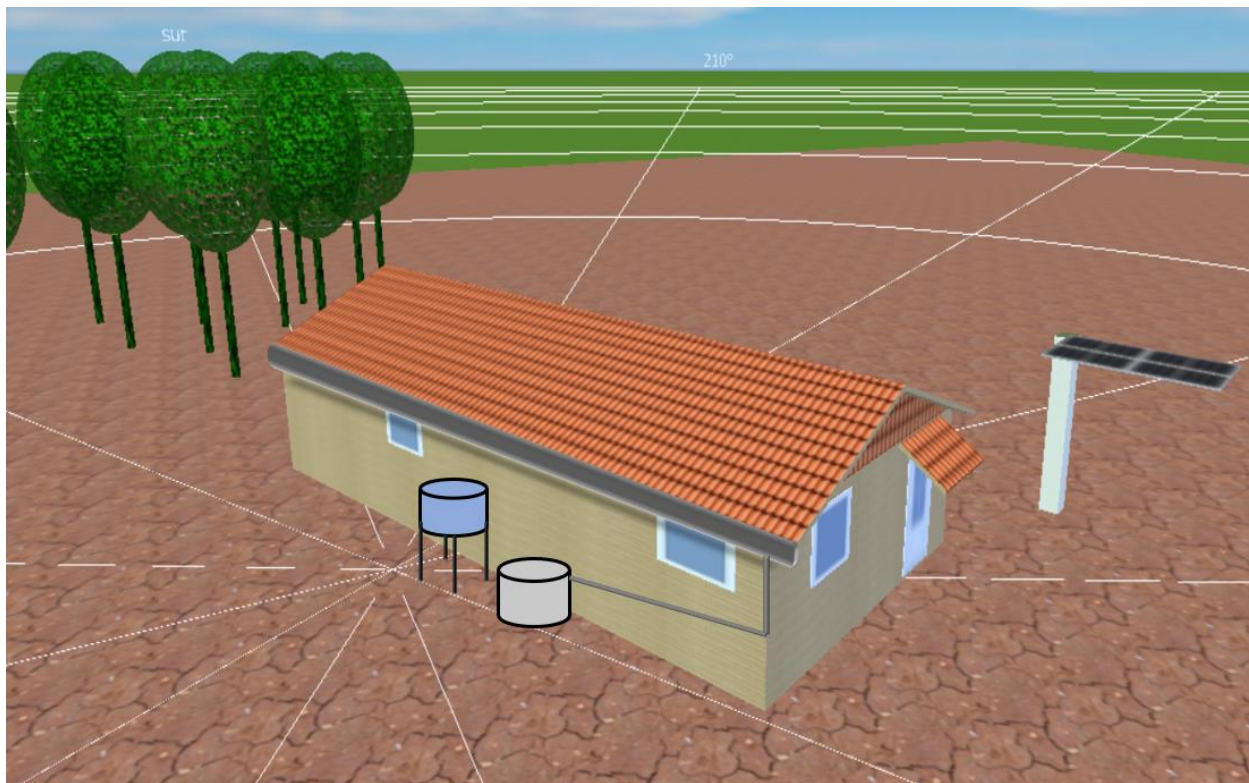
**Nota:** imagen de vista satelital de zona rural del municipio de Tadó. Tomada de Navtek, imagen tomada de la NASA.

Con el ambiente de simulación seleccionado, se dispuso a realizar un modelo simple de una casa rural de transición moderna como las que se encuentran en este municipio, contemplando las medidas estándar y la disposición de los tejados. En la Figura 29, se puede apreciar cómo sería la disposición esquemática para los tanques de almacenamiento de agua lluvias y de agua potabilizada, así como de la disposición del arreglo de los modulas fotovoltaicos y su ubicación

espacial, con el fin de tener la mejor orientación y con miras a lograr el aprovechamiento del recurso solar durante todo el año. Desde luego que el presente diseño se realizó solo para una vivienda de la zona de estudio, y para suplir las necesidades básicas de un núcleo familiar de 4 integrantes. Adicionalmente, todos los componentes seleccionados para esta simulación se pueden conseguir con proveedores nacionales.

### Figura 29

*Esquema básico de equipos de captación de agua y sistema fotovoltaico*

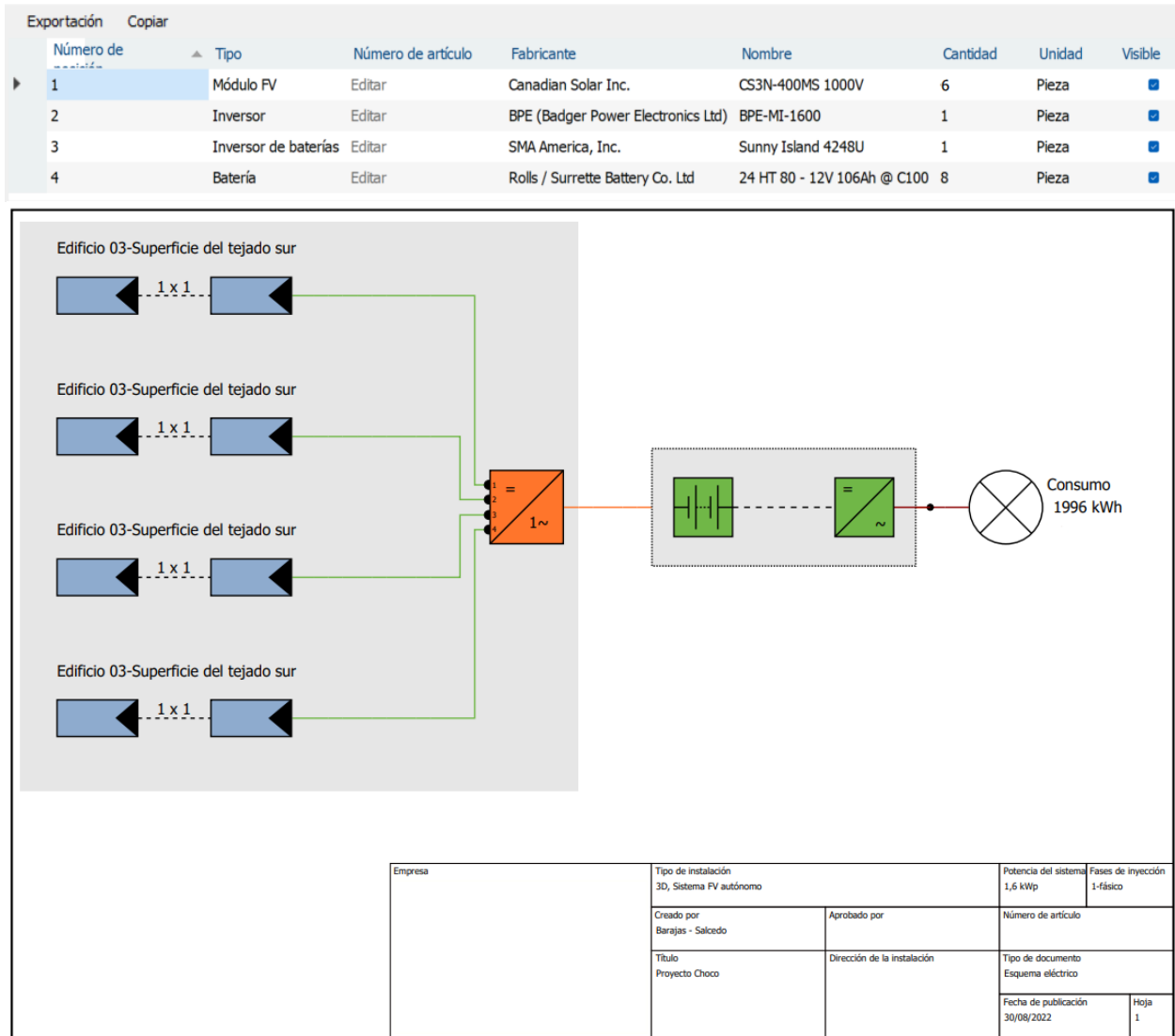


**Nota:** disposición esquemática del diseño.

Por último, el software realiza una validación del proceso de simulación, compilando de este modo los equipos requeridos. Cabe aclarar que este programa no cuenta en su base de datos con equipos inversor/cargador, por ese motivo se hace el proceso con los dos equipos por separado. En la Figura 30 se encuentra el listado de los equipos para la comprobación de un sistema fotovoltaico autónomo, y adicionalmente se presenta un esquema unifilar básico.

**Figura 30**

Listado de equipos con diagrama unifilar para un sistema fotovoltaico autónomo.



**Nota:** listado y diagrama unifilar de los equipos para la comprobación de un sistema fotovoltaico autónomo.

Al contar con un esquema del proyecto y un listado de equipos, se consideró un protocolo de puesta en marcha y de operación para cada uno de los equipos; lo anterior debido a como se ha indicado anteriormente el departamento del Chocó tiene condiciones climáticas adversas, lo que podría poner en riesgo los equipos de la instalación fotovoltaica y el proceso de potabilización.

Para seguir unos estándares de seguridad y el buen funcionamiento de los equipos electrónicos tales como inversor/cargado, sistema de baterías y conexiones eléctricas, se debe colocar un armario para conexiones eléctricas que cumpla con grado de protección IP 55, lo que significa que los componentes estarán protegidos contra los depósitos de polvo y los chorros de agua desde cualquier ángulo. Por otra parte, para la puesta en marcha de los equipos para la potabilización de agua, se recomienda que los filtros sean instalados posterior a la primera descarga de agua del sistema de bombeo, evitando que el material particulado de la instalación dañe el sistema. Por último, antes de la operación del equipo de bombeo y filtrado, se deberá realizar una inspección en busca de fallas estructurales lo cual pueda generar una pérdida en la presión del sistema, afectado la disponibilidad del agua potable para la vivienda.

En lo que respecta a la parte de mantenimiento preventivo o rutinas de limpieza de los módulos fotovoltaicos, se recomienda realizar una limpieza periódica, aproximadamente una vez por semana en cada uno de los módulos, evitando con ello que factores contaminantes reduzcan la eficiencia al momento de la operación. Este mismo proceso se realizará en los tejados o cubiertas de la vivienda, en busca de retirar la mayor cantidad de suciedad.

Ahora bien, componentes como baterías, cableado eléctrico, inversor/cargador no requieren de rutinas de mantenimiento, debido que son equipos sellados; empero, lo que se recomienda es una inspección visual en busca de anomalías. Para finalizar se hará necesario seguir la instrucción de cada uno de los componentes, teniendo presente las horas de servicio, actividades correctivas y vida útil, esto último aplica para las baterías y los filtros de ósmosis.

## 6. CONCLUSIONES

Partiendo del análisis de los datos de radiación, temperatura y lluvias, así como de la identificación de las necesidades básicas insatisfechas, se planteó una propuesta de solución para el departamento chocoano del Pacífico Colombiano donde, aunque se tiene un régimen de lluvias alto con valores de hasta 120 mm por hora y una media de temperatura de 26.5 °C; el promedio de radiación solar es de 3,7 a 4,2 kWh/m<sup>2</sup>, lo cual representa un recurso solar aprovechable por la tecnología fotovoltaica.

Se determina un requerimiento mínimo de suministro de 100 litros de agua potable por día, así como un consumo energético máximo a suplir de 4724,9 Wh/ día para una vivienda unifamiliar con 3 y 4 habitantes.

Para el suministro de energía con el fin de cubrir la demanda requerida se concluye que para Nuquí y Tadó de las subregiones Pacífico Norte y San Juan respectivamente son necesarios 6 módulos monocristalinos con 2 baterías en paralelo y 4 en serie; mientras que, para Acandí de la subregión del Darién son necesarios 4 módulos monocristalinos con 3 baterías en paralelo y 2 en serie. Para Bagadó y Baudó de las subregiones Atrato y Pacífico Sur respectivamente son necesarios 4 módulos monocristalinos con 2 baterías en paralelo y 2 en serie. En cuanto al suministro de agua para la vivienda tipo unifamiliar post proceso de filtración se determinan dos tanques de 250 litros y un sistema de filtración por osmosis inversa con capacidad de 200 litros/ día.

Se evidencia la efectividad de los procedimientos de dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos e hidráulicos propuestos, pues se ha logrado almacenar y suministrar de manera confiable la energía eléctrica requerida por las cargas encontradas, así como los requerimientos de consumo de agua potable para una vivienda tipo unifamiliar del Chocó en las condiciones de las ubicaciones con mayores exigencias con el fin de proponer los lineamientos para el implementación del diseño propuesto en cualquier ubicación del departamento.



## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda a próximos investigadores realizar una evaluación económica del proyecto para determinar la viabilidad de su implementación

Se recomienda a próximos investigadores realizar un estudio detallado del mercado actual al momento de dar continuación a la investigación con el fin de buscar tecnologías actualizadas para la implementación de este proyecto.

Puesto que los lineamientos del proyecto se determinan para la zona de estudio de este, en caso de replicarlo en otras locaciones se deben realizar los cálculos nuevamente con el sistema fotovoltaico que se quiera instalar con los parámetros del lugar.

Si se decide implementar el diseño propuesto en este documento, es fundamental realizar los lineamientos para mantenimiento preventivo y correctivo con el fin de garantizar el funcionamiento y la eficacia de los sistemas siguiendo los parámetros que indiquen los proveedores correspondientes.

## REFERENCIAS

- [1] Departamento Nacional de Planeación, «PROGRAMA DE ENERGIZACIÓN PARA ZONAS NO INTERCONECTADAS,» 2001. [En línea]. Available: <http://www.upme.gov.co/zni/portals/0/resoluciones/CONPES3108.pdf>.
- [2] Editora Antioquia, «Chocó: entre la riqueza, el abandono y la pobreza,» 10 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.colombiainforma.info/choco-entre-la-riqueza-el-abandono-y-la-pobreza/>.
- [3] J. Vivas, «El mapa de 1.710 poblados que aún se alumbran con velas en Colombia,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892>.
- [4] U. D. P. M. ENERGÉTICA, «Resolucion 0355,» 2018.
- [5] N. UNIDAS, «El derecho humano al agua y al saneamiento,» 2010.
- [6] MAVDT, «Política Nacional para la Gestión Integral del recurso hídrico,» Marzo 2010. [En línea]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf>. [Último acceso: 2 Marzo 2022].
- [7] Arango, C., J. Dorado, G. D. y J. F. Ruiz, «<http://www.ideam.gov.co/>,» [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Climatolog%C3%ADa+Trimestral+para+Colombia+%28Ruiz%2C+Guzman%2C+Arango+y+Dorado%29.pdf/c2825963-c373-449a-a7cb-8480874478d9#:~:text=La%20Regi%C3%B3n%20Pac%C3%ADfica%2C%20sigue%20presentando,mm%20en%20toda%20la>. [Último acceso: 05 2022].
- [8] Aguas el Chocó, «El Chocó y el plan departamental de aguas,» [En línea]. Available: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:L8xVrMEBCwMJ:https://aguasdelchoco.gov.co/52-el-choco-y-el-plan-departamental-de-aguas/+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>.
- [9] Conpes, «Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en las zonas rurales del país,» Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2014.
- [10] FAO WATER, «Water at a Glance. The relationship between water, agriculture, food security and poverty,» [En línea]. Available: <http://www.fao.org/nr/water/docs/waterataglance.pdf>.
- [11] DANE, «censo nacional de poblacion y vivienda 2018,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivienda-2018>. [Último acceso: 5 Agosto 2022].

- [12] UPME, «Plan de Energización Rural Sostenible del departamento del Chocó – Diagnostico energético del departamento del Chocó,» 2016.
- [13] Departamento del Chocó, «Información Departamento del Chocó,» 10 Febrero 2015. [En línea]. Available: <https://choco.org/informacion-departamento-del-choco/>.
- [14] Ministerio del Trabajo, «FICHA TECNICA DEPARTAMENTO DE CHOCO,» 2018.
- [15] Ministerio de Cultura, Hacienda y Trabajo., «Perfiles Económicos Departamentales, Departamento del Chocó,» 2022.
- [16] DANE, «Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 Riosucio, Quibdó, Chocó,» 2018.
- [17] DANE, «Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI),» 2018. [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/pobreza-y-condiciones-de-vida/necesidades-basicas-insatisfechas-nbi>.
- [18] DANE, «La información del DANE en la toma de decisiones regionales Quibdó - Chocó,» 2021.
- [19] G. Mosquera Torrez, «VIVIENDA Y ARQUITECTURA TRADICIONAL EN EL PACÍFICO COLOMBIANO,» CITCE - OBSERVATORIO DE ARQUITECTURA Y URBANISMO CONTEMPORÁNEOS.
- [20] OMS, «NÓMINA ELECTRÓNICA: ¿CÓMO AYUDA A LAS EMPRESAS A OPTIMIZAR COSTOS?,» 31 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://agilcolombia.com/que-beneficios-tienen-las-empresas-al-contribuir-al-medio-ambiente/>.
- [21] Naciones Unidas, «El derecho humano al agua y al saneamiento,» 2010.
- [22] Corte Constitucional de Colombia, «Sentencia T-740/11,» [En línea]. Available: <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2011/T-740-11.htm>.
- [23] J. Z. Shining Zhu, «Synergistic Tandem Solar Electricity-Water Generators,» Celpress Science that Inspires, pp. 346-35, 2020.
- [24] Source, «Conozca el hidropanel,» [En línea]. Available: <https://www.source.co/how-hydropanels-work>.
- [25] H. Rodríguez Murcia, «Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas,» Revista de ingeniería, vol. 28, n° 2008, pp. 83-89.

- [26] L. D. H. Agudelo, «Evaluación del potencial de generación fotovoltaica en la ciudad de Quibdó, Chocó,» Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Maestría en Ingeniería – Gestión Sostenible de la Energía, n° 2016, p. 110.
- [27] IDEAM, «Atlas de Radiación Solar – Interactivo – año 2015,» Bogotá, D. C., 2015.
- [28] D. Asprilla, «Estudio de Sistemas Híbridos De Energía Renovable (solar – gasificación de biomasa) como alternativa para satisfacer necesidades energéticas en Zonas no Interconectadas del Departamento del Chocó,» Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, 2016.
- [29] IDEAM, «Atlas Climatológico de Colombia».
- [30] J. Rangel y H. Arellan, «CLIMA DEL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO/COSTA PACÍFICA DE COLOMBIA,» pp. 40-45, 2017.
- [31] J. ESLAVA, «Climatología del Pacífico colombiano,» Academia Colombiana de Ciencias Geofísicas colección Eratóstenes, pp. 1-79, 1994.
- [32] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, «ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES HORARIAS EN COLOMBIA,» Grupo de Climatología, Agroclimatología y Meteorología Marina de la Subdirección de Meteorología.
- [33] Organización Mundial de la Salud, «Agua para consumo humano,» 21 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
- [34] H. A. Corredor Urrego, «ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO PARA LOS HABITANTES DEL MUNICIPIO DE LLORÓ, CHOCÓ,» Bogotá, 2021.
- [35] B. D. M. Santos, «Cálculo de bajantes de aguas pluviales,» 2020. [En línea].
- [36] Ingersoll Rand, BOMBAS DE DIAFRAGMA DE LA SERIE PRO.
- [37] Eco Green Energy Group Ltd. , «Eco Green Energy Group Ltd. 2018,» 2018. [En línea]. Available: <https://autosolar.co/pdf/Ecogreen-400w-perc.pdf>. [Último acceso: Agosto 2022].
- [38] Autosolar Energy Solutions, «¿Regulador MPPT o PWM?,» 27 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/regulador-mppt-o-pwm>. [Último acceso: Agosto 2022].
- [39] SRNE Solar, MPPT Solar Charge Controller.
- [40] Shenzhen Must Energy Technology Co.,Ltd., PV1800 LHM SERIES (1-3KW).

- [41] H. Rodríguez Murcia, «Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas,» Revista de ingeniería, vol. 28, pp. 83-89, 2008.
- [42] O. Planas, «Historia de la energía solar,» 16 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/historia>.
- [43] W. Gómez Mosquera, «ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN COMUNIDADES RURALES EN EL CHOCÓ BIOGEOGRÁFICO APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES,» Medellín, 2017.
- [44] E. Enciso, «Energía fotovoltaica para Chocó, una solución sostenible,» Revista Semana, 2017.
- [45] J. E. Castillon Forero y D. A. Hincapié Zuluga, «Potabilizar agua con energía solar, una alternativa para las comunidades más alejadas de los centros urbanos.,» Ciencia, tecnología, sociedad., pp. 121-132, 2012.
- [46] M. d. J. Calderón, «Derecho Fundamental al Agua,» 11 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://diccionario.leyderecho.org/derecho-fundamental-al-agua/>.
- [47] J. F. S. A. L. Bustos González y K. Triviño Aponte, «ZONAS NO INTERCONECTADAS ELÉCTRICAMENTE EN COLOMBIA: PROBLEMAS Y PERSPECTIVA.,» 2014. [En línea]. Available:  
<https://deliverypdf.ssrn.com/delivery.php?ID=377005116116023066073069078103115000010018028080064039094024116077084084110001115121101050022063001111037108031005123065024082005025004048052085085087116073070086094001062078085099022126072125064020104015123107>.
- [48] A. BARRERO PARRA y D. A. BELTRÁN BELTRÁN, «DISEÑO DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS MÁS EFICIENTE PARA EL PLAN PARCIAL DE LA VEREDA SAN BARTOLOMÉ EN EL MUNICIPIO DE GACHANCIPÁ DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA,» Bogotá, 2018.
- [49] S. Ángel, «Incumplimiento de contrato para paneles solares en Chocó podría repetir la historia de Centros Poblados,» La FM, 24 Noviembre 2021.
- [50] N. Álvarez y D. C. Romero, «GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ,» 2021. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/jspui/bitstream/11634/33174/1/2021nataliaalvarez.pdf>. [Último acceso: Marzo 2022].

- [51] MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, «PLAN PILOTO DE VIVIENDAS ECOLÓGICAS PARA GALÁPAGOS,» Provincia de Galapagos , 2011.
- [52] Comité de Naciones Unidas de Derechos Económicos, Sociales y Culturales., «Observación General No. 15. El derecho al agua.,» Noviembre 2002. [En línea]. Available: [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml).
- [53] Dinámica Nacional, «Mapa nacional índice NBI,» 2011.
- [54] IDEAM, «Mapa de irradiación global horizontal media diaria anual,» Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, 2014.
- [55] GI XUÉ, S BARIÓN, «ESTADO DE LA COBERTURA ELECTRICA Y LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS EN LA REGIÓN CENTRAL.,» 2020. [En línea]. Available: <https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/05/Cpt017-ESTADO-DE-LA-COBERTURA-ELECTRICA-Y-LAS-ZONAS-NO-INTERCONECTADAS-EN-LA-REGIO%CC%81N-CENTRAL.pdf>.
- [56] Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, «Documento Básico HS Salubridad con comentarios,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DccHS.pdf>.
- [57] Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales , «ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES HORARIAS EN COLOMBIA,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Horarios.pdf/f62fdf60-a35f-42b6-b8e8-4e8b5aca93d4>.
- [58] COLEMPAQUES, «www.COLEMPAQUES.com,» 2019. [En línea]. Available: [https://admintienda.coval.com.co/backend/admin/backend/web/archivosDelCliente/items/anexos/TANQUES-PARA-AGUA-CONICOS-TANQUE-AGUA--CONICO-NEGRO-----250Lt-COLE-1684-Ficha-tecnica-20210609131814.pdf?\\_gl=1\\*1cypqwi\\*\\_ga\\*MTkwMzQzODE0My4xNjYxMjAwMTgx\\*\\_ga\\_YHN0Z97L](https://admintienda.coval.com.co/backend/admin/backend/web/archivosDelCliente/items/anexos/TANQUES-PARA-AGUA-CONICOS-TANQUE-AGUA--CONICO-NEGRO-----250Lt-COLE-1684-Ficha-tecnica-20210609131814.pdf?_gl=1*1cypqwi*_ga*MTkwMzQzODE0My4xNjYxMjAwMTgx*_ga_YHN0Z97L).
- [59] ONU, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible,» 30 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- [60] N. E. GÓMEZ, «Pontificia Universidad Javeriana,» 2011. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10554/6078>. [Último acceso: 14 05 2022].

[61] G. d. Chocó, «Choco territorio de étnias,» 16 06 2022. [En línea]. Available: <https://choco.org/informacion-departamento-del-choco/>.

## ANEXOS

### Valores Medios Multianuales de Temperatura Mínima Media en °C Período 1981 - 2010

Código	Cat	Nombre Estación	Municipio	Departamento	Altitud	Longitud	Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
4801501	SP	Apto Vásquez Cobo	Leticia	Amazonas	84	-69,9437	-4,1994	23,0	22,9	23,0	23,0	22,7	21,8	21,2	21,5	22,0	22,6	22,9	22,9	22,5
2701507	SP	Apto Olaya Herrera	Medellín	Antioquia	1490	-75,5889	6,2206	17,2	17,5	17,7	17,8	17,8	17,4	17,1	17,2	17,0	17,0	17,3	17,2	17,4
1201502	AM	Uniban	Apartado	Antioquia	23	-76,6514	7,8261	23,5	23,6	23,9	24,0	23,8	23,4	23,2	23,4	23,3	23,4	23,2	23,5	23,5
3705501	SP	Apto Arauca	Arauca	Arauca	128	-70,7382	7,0693	20,6	21,2	22,2	22,9	23,0	22,8	22,6	22,7	22,8	22,9	22,9	21,9	22,4
2904502	SP	Apto E Cortissoz	Soledad	Atlántico	14	-74,7744	10,8955	23,6	23,9	24,2	24,9	24,9	24,8	24,6	24,6	24,1	23,9	24,1	24,0	24,3
1401502	SP	Apto Rafael Núñez	Cartagena	Bolívar	2	-75,5211	10,4501	23,9	24,2	24,8	25,6	25,9	25,9	25,6	25,7	25,6	25,4	25,4	24,6	25,2
2403513	CP	U P T C	Tunja	Boyacá	2690	-73,3496	5,5674	7,3	8,3	9,0	9,8	9,8	9,2	8,6	8,5	8,2	8,8	9,0	8,1	8,7
2403534	CP	Apto A Lleras C	Sogamoso	Boyacá	2500	-72,9679	5,6769	3,4	4,3	5,9	7,5	7,6	6,7	5,9	5,9	5,6	6,7	7,2	5,0	6,0
2615511	SP	Apto La Nubia	Manizales	Caldas	2062	-75,4345	5,0197	11,8	12,1	12,5	12,8	12,8	12,8	12,5	12,6	12,5	12,4	12,3	12,2	12,4
4403502	SS	Apto G Artunduaga	Florencia	Caquetá	244	-75,5597	1,5891	21,6	21,8	21,7	21,6	21,5	21,0	20,6	20,7	21,0	21,4	21,6	21,7	21,4
3521501	CP	Apto Yopal	Yopal	Casanare	325	-72,3833	5,3167	23,3	23,8	24,0	23,0	22,6	21,9	21,6	21,7	22,1	22,2	22,8	22,8	22,6
2603503	SP	Apto G L Valencia	Popayán	Cauca	1757	-76,6119	2,4558	13,4	13,6	13,9	14,2	14,1	13,1	12,4	12,3	12,5	13,6	14,1	13,9	13,4
2803503	SP	Apto Alfonso López	Valledupar	Cesar	138	-73,2511	10,4290	22,8	23,4	24,1	24,5	24,3	24,2	24,3	24,1	23,5	23,3	23,3	23,1	23,7
1104501	SP	Apto El Caraño	Quibdó	Choco	53	-76,6394	5,6960	23,4	23,4	23,5	23,6	23,5	23,3	23,1	23,1	23,1	23,0	23,1	23,3	23,3
1308504	SS	Apto Los Garzones	Montería	Córdoba	36	-75,8345	8,8308	22,4	22,7	23,0	23,6	23,6	23,5	23,3	23,1	23,1	23,1	23,1	22,9	23,1
2120579	SP	Apto Eldorado P1-2	Bogotá	Cundinamarca	2547	-74,1424	4,6965	6,0	7,1	7,9	9,1	9,1	8,6	8,1	7,9	7,4	8,1	8,2	6,9	7,9
2119512	CP	Ita Valsalce	Fusagasugá	Cundinamarca	1460	-74,3961	4,3958	15,4	15,9	16,0	16,1	15,9	15,6	15,5	15,7	15,7	15,6	15,5	15,5	15,7
3109501	AM	Pto Inirida	Inirida	Guainía	100	-67,9317	3,8677	22,3	22,7	22,8	22,9	22,9	22,6	22,3	22,5	22,3	22,6	22,8	22,6	22,6
3210507	CO	San José Guaviare	San José del Guaviare	Guaviare	165	-72,6471	2,5530	21,2	21,4	21,9	22,4	22,2	21,9	21,5	21,6	21,9	22,2	22,2	21,7	21,8
2111502	SS	Apto Benito Salas	Neiva	Huila	439	-75,2931	2,9486	22,4	22,6	22,6	22,5	22,5	22,4	22,5	23,1	23,0	22,5	22,3	22,3	22,5
1506501	SP	Apto Alm Padilla	Riohacha	La Guajira	4	-72,9333	11,5333	22,3	22,7	23,5	24,5	25,2	25,6	25,6	25,3	24,5	24,0	23,6	23,0	24,2
1501505	SP	Apto. Simón Bolívar	Santa Marta	Magdalena	4	-74,2333	11,1333	22,3	23,2	24,2	25,3	25,5	25,1	24,6	24,5	24,3	24,2	23,8	22,7	24,1
2502509	SP	Apto Las Flores	El Banco	Magdalena	34	-73,9708	9,0463	22,3	23,0	23,5	23,3	23,4	23,5	23,4	23,3	23,0	23,0	23,1	22,7	23,1
3503502	SP	Apto Vanguardia	Villavicencio	Meta	423	-73,6203	4,1633	21,3	22,0	22,2	21,6	21,2	20,7	20,3	20,5	20,6	20,9	21,2	21,0	21,1
5204501	AM	Obonuco	Pasto	Nariño	2871	-77,3064	1,2011	9,5	9,6	9,7	10,0	10,1	10,0	9,4	9,4	9,3	9,4	9,6	9,6	9,6
5205501	SP	Apto San Luis	Aldana	Nariño	2961	-77,6778	0,8571	5,8	6,0	6,4	6,6	6,6	6,0	5,1	4,6	4,6	5,6	6,2	6,2	5,8
1601501	SP	Apto Camilo Daza	Cúcuta	Norte de Santander	250	-72,5299	7,7809	21,3	21,8	22,3	22,7	23,4	23,9	23,6	23,7	23,3	22,7	22,4	21,7	22,7
4401504	CO	Mocoa Acueducto	Mocoa	Putumayo	650	-76,6518	1,1573	20,3	20,5	20,4	20,4	20,2	19,7	19,3	19,4	19,8	20,3	20,5	20,6	20,1
2612506	SP	Apto El Edén	Armenia	Quindío	1247	-75,7697	4,4576	16,6	16,7	16,8	17,1	17,3	16,9	16,6	16,5	16,5	16,6	16,7	16,8	16,7
2613504	SP	Apto Matecaña	Pereira	Risaralda	1367	-75,7377	4,8183	17,4	17,5	17,6	17,6	17,6	17,4	17,2	17,2	17,1	17,0	17,2	17,4	17,4
1701501	SP	Apto Sesquicentenario	San Andrés	San Andrés y Providencia	1	-81,7040	12,5835	25,2	25,1	25,5	26,2	26,5	26,5	26,3	26,3	26,0	25,7	25,7	25,5	25,9
2319513	SP	Apto Palonegro	Lebrija	Santander	1189	-73,1865	7,1292	18,5	18,8	19,0	19,0	18,9	18,8	18,5	18,5	18,3	18,3	18,4	18,4	18,6
2315503	SP	Apto Yariguies	Barrancabermeja	Santander	126	-73,8086	7,0264	23,6	23,8	23,8	23,7	23,5	23,4	23,2	23,1	22,9	23,0	23,3	23,5	23,4
2502508	SS	Apto Rafael Barvo	Corozal	Sucre	166	-75,2849	9,3326	22,0	22,6	23,2	23,6	23,2	22,9	22,7	22,6	22,5	22,6	22,5	22,1	22,7
2124504	SS	Apto Perales	Ibagué	Tolima	928	-75,1437	4,4296	18,8	19,3	19,3	19,3	19,3	19,1	18,9	19,2	19,0	19,0	19,0	18,9	19,1
2118502	AM	Nataima	Espinal	Tolima	431	-74,9595	4,1876	22,8	22,9	23,0	22,7	22,5	22,0	21,8	22,4	22,6	22,5	22,6	22,6	22,5
2605507	CP	Univ del Valle	Cali	Valle	1004	-76,5350	3,3794	19,4	19,5	19,6	19,6	19,6	19,2	18,7	18,7	19,0	19,1	19,2	19,4	19,2
5311501	SP	Apto Buenaventura	Buenaventura	Valle del Cauca	14	-76,9923	3,8202	22,9	23,1	23,1	23,1	22,9	22,7	22,7	22,7	22,7	22,6	22,7	22,7	22,8
4207501	CP	Mitú	Mitú	Vaupés	180	-70,2391	1,2596	20,9	21,0	20,6	20,9	20,9	20,9	20,8	21,1	21,0	20,8	20,8	21,3	20,9
3801503	SP	Apto Pto Carreño	Puerto Carreño	Vichada	50	-67,4989	6,1671	23,2	23,9	24,7	24,6	24,1	23,4	23,2	23,4	23,7	23,9	24,0	23,7	23,8

Convenciones

- °C Grados Celsius
- Cat: Categoría de estación meteorológica
- SP: Sinóptica principal
- SS: Sinóptica secundaria
- AM: Agrometeorológica
- CP: Climatológica principal
- CO: Climatológica secundaria



**Valores Medios Multianuales de Temperatura Media en °C  
Período 1981 - 2010**

Código	Cat	Nombre Estación	Municipio	Departamento	Altitud	Longitud	Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
4801501	SP	Apto Vásquez Cobo	Leticia	Amazonas	84	-69,9437	-4,1994	26,0	26,0	26,1	26,0	25,7	25,1	25,1	25,7	26,1	26,3	26,3	26,0	25,9
2701507	SP	Apto Olaya Herrera	Medellín	Antioquia	1490	-75,5889	6,2206	22,4	22,7	22,7	22,4	22,6	22,9	23,1	23,1	22,4	21,8	21,8	21,9	22,5
1201502	AM	Uniban	Apartado	Antioquia	23	-76,6514	7,8261	26,5	26,6	26,9	27,0	26,8	26,7	26,7	26,7	26,5	26,4	26,3	26,4	26,6
3705501	SP	Apto Arauca	Arauca	Arauca	128	-70,7382	7,0693	27,4	28,3	28,8	27,7	26,6	25,8	25,7	26,1	26,6	26,8	26,9	26,9	26,9
2904502	SP	Apto E Cortissoz	Soledad	Atlántico	14	-74,7744	10,8955	26,7	26,8	27,2	27,8	28,2	28,2	28,0	28,1	27,8	27,4	27,5	27,1	27,6
1401502	SP	Apto Rafael Núñez	Cartagena	Bolívar	2	-75,5211	10,4501	26,7	26,8	27,1	27,8	28,3	28,5	28,3	28,4	28,3	28,0	27,9	27,2	27,8
2403513	CP	U P T C	Tunja	Boyacá	2690	-73,3496	5,5674	13,3	13,6	13,9	13,8	13,5	12,7	12,2	12,3	12,7	13,2	13,4	13,2	13,1
2403534	CP	Apto A Lleras C	Sogamoso	Boyacá	2500	-72,9679	5,6769	13,9	14,2	14,6	14,8	14,6	14,2	13,9	13,8	13,9	14,2	14,6	14,1	14,2
2615511	SP	Apto La Nubia	Manizales	Caldas	2062	-75,4345	5,0197	16,9	17,2	17,2	17,2	17,1	17,2	17,2	16,9	16,6	16,6	16,8	17,0	
4403502	SS	Apto G Artunduaga	Florencia	Caquetá	244	-75,5597	1,5891	26,9	26,6	26,2	25,7	25,5	24,8	24,6	25,2	25,7	26,0	26,2	26,5	25,8
3521501	CP	Apto Yopal	Yopal	Casanare	325	-72,3833	5,3167	28,2	28,7	28,5	26,6	25,7	25,1	24,9	25,4	26,0	26,2	26,7	27,2	26,4
2603503	SP	Apto G L Valencia	Popayán	Cauca	1757	-76,6119	2,4558	19,3	19,5	19,4	19,3	19,4	19,5	19,5	19,8	19,4	19,0	18,8	19,0	19,3
2803503	SP	Apto Alfonso López	Valledupar	Cesar	138	-73,2511	10,4290	29,1	29,9	30,2	29,8	28,9	29,1	29,8	29,4	28,2	27,8	27,9	28,4	29,0
1104501	SP	Apto El Caraño	Quibdó	Choco	53	-76,6394	5,6960	26,4	26,7	26,9	26,9	27,0	26,8	26,8	26,8	26,5	26,3	26,2	26,2	26,6
1308504	SS	Apto Los Garzones	Montería	Córdoba	36	-75,8345	8,8308	28,0	28,2	28,5	28,7	28,3	28,3	28,0	27,8	27,7	27,5	27,7	28,1	
2120579	SP	Apto Eldorado P1-2	Bogotá	Cundinamarca	2547	-74,1424	4,6965	13,3	13,7	13,9	14,1	14,1	13,9	13,5	13,6	13,5	13,6	13,4	13,7	
2119512	CP	Ita Valsalice	Fusagasugá	Cundinamarca	1460	-74,3961	4,3958	20,6	20,7	20,4	20,3	20,2	20,0	20,2	20,5	20,6	20,6	20,2	20,3	20,4
3109501	AM	Pto Inirida	Inirida	Guainía	100	-67,9317	3,8677	27,0	27,4	27,4	26,7	26,2	25,8	25,6	26,0	26,5	26,7	26,8	26,9	26,5
3210507	CO	San José Guaviare	San José del Guaviare	Guaviare	165	-72,6471	2,5530	26,3	26,7	26,4	25,9	25,4	24,7	24,6	25,1	25,5	25,7	26,8	26,1	25,7
2111502	SS	Apto Benito Salas	Neiva	Huila	439	-75,2931	2,9486	27,9	28,1	27,7	27,3	27,5	27,8	28,1	28,9	29,1	27,8	26,9	27,1	27,8
1506501	SP	Apto Alm Padilla	Riohacha	La Guajira	4	-72,9333	11,5333	27,1	27,2	27,4	28,0	28,8	29,7	29,9	29,5	28,5	28,0	27,7	27,3	28,3
1501505	SP	Apto. Simón Bolívar	Santa Marta	Magdalena	4	-74,2333	11,1333	27,4	27,9	28,4	28,9	29,1	29,1	28,8	28,6	28,3	27,9	27,8	27,5	28,3
2502509	SP	Apto Las Flores	El Banco	Magdalena	34	-73,9708	9,0463	28,5	28,9	29,3	28,9	28,5	28,5	28,6	28,7	28,1	27,9	27,9	28,1	28,5
3503502	SP	Apto Vanguardia	Villavicencio	Meta	423	-73,6203	4,1633	26,7	27,2	26,8	25,7	25,2	24,5	24,2	24,9	25,5	25,6	25,6	25,9	25,6
5204501	AM	Obonuco	Pasto	Nariño	2871	-77,3064	1,2011	12,9	13,1	13,1	13,3	13,3	12,9	12,4	12,5	12,9	13,0	12,9	12,9	12,9
5205501	SP	Apto San Luis	Aldana	Nariño	2961	-77,6778	0,8571	11,2	11,3	11,4	11,4	11,3	10,6	10,0	10,0	10,5	11,1	11,4	11,3	11,0
1601501	SP	Apto Camilo Daza	Cúcuta	Norte de Santander	250	-72,5299	7,7809	25,8	26,3	26,7	27,0	27,8	28,1	28,0	28,5	28,4	27,4	26,5	25,8	27,2
4401504	CO	Mocoa Acueducto	Mocoa	Putumayo	650	-76,6518	1,1573	23,4	23,4	23,2	23,0	22,6	22,0	21,9	22,3	23,0	23,3	23,4	23,4	22,9
2612506	SP	Apto El Edén	Armenia	Quindío	1247	-75,7697	4,4576	22,2	22,4	22,2	22,0	22,0	22,2	22,4	22,6	22,0	21,5	21,5	21,9	22,1
2613504	SP	Apto Matecaña	Pereira	Risaralda	1367	-75,7377	4,8183	21,8	22,0	21,9	21,5	21,4	21,5	21,7	22,0	21,5	20,9	20,9	21,4	21,5
1701501	SP	Apto Sesquicentenario	San Andrés	San Andrés y Providencia	1	-81,7040	12,5835	26,8	26,7	27,0	27,6	28,0	28,1	28,0	28,1	28,0	27,7	27,4	27,2	27,5
2319513	SP	Apto Palonegro	Lebrija	Santander	1189	-73,1865	7,1292	21,3	21,7	21,7	21,6	21,6	21,5	21,5	21,6	21,4	21,0	20,9	21,0	21,4
2315503	SP	Apto Yariquies	Barrancabermeja	Santander	126	-73,8086	7,0264	28,4	28,7	28,4	27,9	27,7	27,8	28,0	27,9	27,5	27,0	27,1	27,7	27,9
2502508	SS	Apto Rafael Barvo	Corozal	Sucre	166	-75,2849	9,3326	27,8	28,0	28,3	28,2	27,7	27,5	27,6	27,6	27,0	26,8	27,0	27,4	27,5
2124504	SS	Apto Perales	Ibagué	Tolima	928	-75,1437	4,4296	23,8	24,2	24,0	23,7	23,8	24,1	24,5	25,2	24,6	23,5	23,1	23,3	24,0
2118502	AM	Nataima	Espinal	Tolima	431	-74,9595	4,1876	28,4	28,5	28,4	27,7	27,5	27,7	28,3	29,4	28,9	27,8	27,4	27,6	28,1
2605507	CP	Univ del Valle	Cali	Valle	1004	-76,5350	3,3794	24,5	24,7	24,7	24,4	24,4	24,4	24,7	25,1	24,8	24,1	23,8	24,1	24,5
5311501	SP	Apto Buenaventura	Buenaventura	Valle del Cauca	14	-76,9923	3,8202	25,8	26,1	26,4	26,4	26,3	26,0	25,9	26,0	25,9	25,7	25,6	25,7	26,0
4207501	CP	Mitú	Mitú	Vaupés	180	-70,2391	1,2596	25,0	24,7	24,8	24,7	24,7	24,5	24,5	24,6	24,8	24,8	25,0	24,8	24,7
3801503	SP	Apto Pto Carreño	Puerto Carreño	Vichada	50	-67,4989	6,1671	29,5	30,4	30,9	29,5	27,8	26,8	26,6	26,9	27,5	28,1	28,5	28,9	28,5

Convenciones  
°C Grados Celsius  
Cat: Categoría de estación meteorológica  
SP: Sinóptica principal  
SS: Sinóptica secundaria  
AM: Agrometeorológica  
CP: Climatológica principal  
CO: Climatológica secundaria

**Valores Medios Multianuales de Temperatura Media Máxima en °C**  
**Período 1981 - 2010**

Código	Cat	Nombre Estación	Municipio	Departamento	Altitud	Longitud	Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
4801501	SP	Apto Vásquez Cobo	Leticia	Amazonas	84	-69,94369	-4,19942	30,7	30,7	30,8	30,5	30,1	29,5	30,0	31,1	31,6	31,6	31,3	30,8	30,7
2701507	SP	Apto Olaya Herrera	Medellín	Antioquia	1490	-75,58889	6,22056	27,8	28,2	28,1	27,6	27,8	28,2	28,4	28,5	28,0	27,2	27,1	27,2	27,8
1201502	AM	Uniban	Apartado	Antioquia	23	-76,65139	7,82611	30,8	31,0	31,3	31,3	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	30,9	30,7	31,2
3705501	SP	Apto Arauca	Arauca	Arauca	128	-70,73817	7,06933	33,1	34,3	34,6	33,2	31,2	30,0	29,9	30,6	31,5	31,7	31,5	31,9	32,0
2904502	SP	Apto E Cortissoz	Soledad	Atlántico	14	-74,77440	10,89545	31,4	31,7	32,4	33,1	33,4	33,2	32,9	33,3	33,0	32,5	32,2	31,7	32,6
1401502	SP	Apto Rafael Núñez	Cartagena	Bolívar	2	-75,52114	10,45008	30,6	30,7	30,8	31,2	31,5	31,8	31,8	31,8	31,5	31,2	31,2	30,9	31,2
2403513	CP	U P T C	Tunja	Boyacá	2690	-73,34955	5,56739	19,6	19,8	19,8	18,7	17,8	16,8	16,4	16,7	17,7	18,3	18,6	18,8	18,3
2403534	CP	Apto A Lleras C	Sogamoso	Boyacá	2500	-72,96792	5,67694	22,7	22,7	22,4	21,5	21,0	20,4	20,0	20,0	20,5	20,9	21,4	22,0	21,3
2615511	SP	Apto La Nubia	Manizales	Caldas	2062	-75,43454	5,01970	21,5	22,0	21,8	21,4	21,3	21,3	21,5	21,7	21,2	20,6	20,6	21,1	21,3
4403502	SS	Apto G Artunduaga	Florencia	Caquetá	244	-75,55972	1,58914	32,6	32,0	31,0	30,2	29,8	28,9	28,8	30,0	30,9	31,2	31,3	32,0	30,7
3521501	CP	Apto Yopal	Yopal	Casanare	325	-72,38333	5,31667	32,8	33,7	33,4	31,5	30,5	29,5	29,4	30,1	30,8	31,0	31,3	31,9	31,2
2603503	SP	Apto G L Valencia	Popayán	Cauca	1757	-76,61190	2,45578	24,6	24,8	24,8	24,7	24,8	25,1	25,3	25,7	25,5	24,7	24,2	24,2	24,9
2803503	SP	Apto Alfonso López	Valledupar	Cesar	138	-73,25106	10,42903	34,8	35,6	36,0	35,5	34,0	34,0	35,2	35,0	33,8	32,8	32,8	33,7	34,5
1104501	SP	Apto El Caraño	Quibdó	Choco	53	-76,63939	5,69595	30,0	30,3	30,6	30,8	31,1	30,9	31,1	31,2	30,9	30,5	30,3	29,8	30,6
1308504	SS	Apto Los Garzones	Montería	Córdoba	36	-75,83450	8,83080	33,7	34,2	34,3	34,0	32,9	32,8	32,9	32,9	32,4	32,4	32,4	32,9	33,2
2120579	SP	Apto Eldorado P1-2	Bogotá	Cundinamarca	2547	-74,14242	4,69647	19,9	20,0	19,8	19,5	19,3	18,8	18,4	18,7	19,1	19,2	19,3	19,7	19,3
2119512	CP	Ita Valsalice	Fusagasugá	Cundinamarca	1460	-74,39614	4,39578	25,3	25,4	25,1	24,6	24,3	24,1	24,4	25,1	24,9	24,4	24,1	24,4	24,7
3109501	AM	Pto Inírida	Inírida	Guainía	100	-67,93169	3,86767	32,7	33,2	33,0	31,7	30,4	29,9	29,9	30,6	31,7	32,1	32,0	32,1	31,6
3210507	CO	San José Guaviare	San José del Guaviare	Guaviare	165	-72,64708	2,55303	33,4	33,5	32,9	31,5	30,7	29,9	29,7	30,6	31,5	31,6	31,5	32,2	31,6
2111502	SS	Apto Benito Salas	Neiva	Huila	439	-75,29308	2,94864	32,8	33,1	32,6	32,3	32,5	33,2	33,7	34,6	34,7	32,9	31,5	31,8	33,0
1506501	SP	Apto Alm Padilla	Riohacha	La Guajira	4	-72,93333	11,53333	32,5	32,6	32,8	33,0	33,5	34,5	35,2	35,1	33,7	32,8	32,2	32,4	33,4
1501505	SP	Apto. Simón Bolívar	Santa Marta	Magdalena	4	-74,23333	11,13333	33,0	33,6	33,8	33,6	32,9	33,0	33,0	32,8	32,5	32,1	32,1	32,4	32,9
2502509	SP	Apto Las Flores	El Banco	Magdalena	34	-73,97083	9,04633	34,2	35,1	35,1	34,3	33,5	33,4	33,9	34,0	33,3	33,1	32,9	33,4	33,8
3503502	SP	Apto Vanguardia	Villavicencio	Meta	423	-73,62028	4,16333	31,6	32,0	31,4	30,2	29,5	28,7	28,5	29,4	30,3	30,5	30,4	30,7	30,3
5204501	AM	Obonuco	Pasto	Nariño	2871	-77,30639	1,20111	17,0	17,2	17,3	17,5	17,4	16,8	16,3	16,7	17,5	17,8	17,4	17,3	17,2
5205501	SP	Apto San Luis	Aldana	Nariño	2961	-77,67775	0,85708	16,3	16,4	16,3	16,4	16,0	15,1	14,6	14,9	15,9	16,8	16,9	16,6	16,0
1601501	SP	Apto Camilo Daza	Cúcuta	Norte de Santander	250	-72,52994	7,78094	30,3	30,8	31,1	31,5	32,8	32,9	33,0	33,9	34,0	32,7	31,2	30,1	32,0
4401504	CO	Mocóa Acueducto	Mocóa	Putumayo	650	-76,65183	1,15733	27,5	27,6	27,2	27,2	26,5	25,8	26,1	26,7	27,7	28,3	28,1	27,9	27,2
2612506	SP	Apto El Edén	Armenia	Quindío	1247	-75,76967	4,45756	27,8	28,0	27,9	27,5	27,3	27,4	27,9	28,3	27,7	27,1	26,9	27,2	27,6
2613504	SP	Apto Matecaña	Pereira	Risaralda	1367	-75,73772	4,81831	26,8	27,1	26,9	26,2	25,9	26,0	26,5	26,9	26,4	25,8	25,6	26,0	26,3
1701501	SP	Apto Sesquicentenario	San Andrés	San Andrés y Providencia	1	-81,70400	12,58353	28,7	28,8	29,2	29,8	30,2	30,2	30,0	30,3	30,6	30,2	29,6	29,1	29,7
2319513	SP	Apto Palonegro	Lebríja	Santander	1189	-73,18650	7,12920	25,3	25,5	25,4	25,3	25,6	25,6	25,8	26,0	26,0	25,4	24,9	25,0	25,5
2315503	SP	Apto Yariguies	Barrancabermeja	Santander	126	-73,80861	7,02639	32,8	33,1	32,6	32,0	31,8	32,0	32,4	32,4	31,7	31,1	31,2	31,7	32,1
2502508	SS	Apto Rafael Barvo	Corozal	Sucre	166	-75,28494	9,33263	33,7	34,1	34,3	33,5	32,1	31,4	32,2	32,2	31,4	31,1	31,5	32,6	32,5
2124504	SS	Apto Perales	Ibagué	Tolima	928	-75,14367	4,42964	28,8	29,1	28,8	28,2	28,2	28,9	29,8	30,8	29,9	28,2	27,5	28,0	28,8
2118502	AM	Nataima	Espinal	Tolima	431	-74,95950	4,18761	32,9	33,1	32,6	31,8	31,6	32,0	33,3	34,7	33,8	32,0	31,4	31,8	32,6
2605507	CP	Univ del Valle	Cali	Valle	1004	-76,53500	3,37940	30,0	30,3	30,2	29,6	29,4	29,6	30,3	31,1	30,7	29,5	29,0	29,2	29,9
5311501	SP	Apto Buenaventura	Buenaventura	Valle del Cauca	14	-76,99233	3,82019	29,6	30,6	30,9	31,1	30,9	30,4	30,3	30,4	30,2	30,0	29,6	29,6	30,3
4207501	CP	Mitú	Mitú	Vaupés	180	-70,23911	1,25956	30,1	30,1	30,2	30,1	29,9	29,9	29,8	30,1	30,1	30,1	30,4	29,9	30,1
3801503	SP	Apto Pto Carreño	Puerto Carreño	Vichada	50	-67,49885	6,16706	34,8	35,7	36,1	34,3	32,2	31,0	30,7	31,4	32,4	33,3	33,5	33,8	33,3

Convenciones

- °C Grados Celsius
- Cat: Categoría de estación meteorológica
- SP: Sinóptica principal
- SS: Sinóptica secundaria
- AM: Agrometeorológica
- CP: Climatológica principal
- CO: Climatológica secundaria