

# DOCUMENTO TÉCNICO MUNICIPAL

---

## SANTA MARTA, MAGDALENA



**Superservicios**  
Superintendencia de Servicios  
Públicos Domiciliarios



**CAMACOL**  
CAMARA COLOMBIANA  
DE LA CONSTRUCCIÓN



# DOCUMENTO TÉCNICO MUNICIPAL

---

## SANTA MARTA, MAGDALENA

### CAMACOL

*Nicolás Sebastián Buitrago Vargas  
Andrés Camilo Cortes Gómez  
Carolina Cardona Londoño  
Paula Alexandra Peñuela Rincón  
Luz Adriana Rodríguez Padilla*

### SUPERSERVICIOS

*Karen Bustos Pineda  
Jorge Moisés Martelo Payares  
Eliana Alejandra Páez Lugo  
Maria del Pilar Sánchez Buitrago  
Mónica Tatiana Gómez Vargas  
Diego Antonio Copete*



**Superservicios**  
Superintendencia de Servicios  
Públicos Domiciliarios





## Tabla de contenidos

Glosario de siglas.....	3
Listado de tablas .....	3
Listado de gráficas.....	3
Listado de mapas.....	4
1. Introducción .....	5
2. Generación de vivienda nueva .....	5
2.1. Tendencia de ventas en la última década.....	5
2.2. Factor demográfico.....	6
2.3. Proyectos estratégicos.....	7
3. Prestación de servicio de agua y alcantarillado.....	8
3.1. Cobertura geográfica de la prestación del servicio.....	9
3.2. Descripción de los sistemas .....	9
3.3. Concesión de aguas .....	12
3.4. Permiso de vertimiento de aguas residuales.....	13
3.5. Indicadores de la prestación del servicio.....	13
3.6. Pérdidas de agua.....	14
3.7. Reflexiones sobre las condiciones de la oferta .....	15
4. Proyección demanda de agua y capacidades de la oferta.....	15
4.1. Postulados básicos.....	15
4.2. Proyección de entrega de viviendas .....	16
4.3. Crecimiento inercial de la demanda de agua .....	18
4.4. Planificación de obras.....	19
4.5. Ubicación proyectos estratégicos y áreas de prestación de servicio.....	20
4.6. Balance oferta y demanda .....	20
5. Conclusiones.....	22
6. Bibliografía.....	23
Anexo 1. Modelos de proyección de demanda.....	24
A1. Filtro de Kalman.....	24
A2. Spline .....	25
A3. Stine.....	25
A4. Correlación lineal .....	25
A5. Función logística .....	26

## Glosario de siglas

- APS: Área de Prestación del Servicio
- Camacol: Cámara Colombiana de la Construcción
- CRA: Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
- CORPAMAG: Corporación Autónoma de Regional del Magdalena
- DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística
- DNP: Departamento Nacional de Planeación
- ESSMAR: Empresa de servicios públicos del distrito de Santa Marta E.S.P.
- IANC: Índice de Agua no Contabilizada
- IPUF: Índice de Pérdidas por Suscriptor Facturado
- IRCA: Índice de Riesgo de Calidad del Agua
- IUS: Indicador Único Sectorial
- Minsalud: Ministerio de Salud y Protección Social
- Minvivienda: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
- ND: No Disponible
- NEP: Nivel Económico de Pérdidas
- PEAD: Tubería en Polietileno de Alta Densidad
- PEC: Plan de Emergencia y Contingencias
- POT: Plan de Ordenamiento Territorial
- PSMV: Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos
- PTAP: Planta de Tratamiento de Agua Potable
- PVC: Cloruro de Polivinilo
- RAS: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico
- SIVICAP: Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable
- SSPD: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
- STAR: Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales
- SUI: Sistema Único de Información

## Listado de tablas

- Tabla 1. Resumen características hidráulicas de los componentes del sistema de acueducto
- Tabla 2. Resumen características de los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales
- Tabla 3. Resumen de los indicadores de agua potable y saneamiento básico
- Tabla 4. Resultados Indicador Único Sectorial (IUS) 2020 – 2021

## Listado de gráficas

- Gráfica 1. Ventas netas de vivienda según proyectos estratégicos en Santa Marta
- Gráfica 2. Ventas netas de vivienda y formación de hogares
- Gráfica 3. Metas de vivienda en proyectos estratégicos

- Gráfica 4. Estimación de entregas de vivienda en Santa Marta
- Gráfica 5. Caudal (l/s) según modelos de proyección de demanda base
- Gráfica 6. Oferta y demanda de caudal (l/s) – escenario 1
- Gráfica 7. Oferta y demanda de caudal (l/s) – escenario 2

## Listado de mapas

- Mapa 1. Proyectos estratégicos
- Mapa 2. Área de prestación de servicio
- Mapa 3. Servicio de acueducto, alcantarillado y proyectos estratégicos

## 1. Introducción

El documento técnico municipal de la ciudad de Santa Marta, Magdalena, se constituye como el informe de resultados de los análisis llevados a cabo en el *“Estudio sectorial piloto sobre la prestación oportuna y eficiente de servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado en proyectos estratégicos de vivienda”*. En este estudio se estableció como objetivo la evaluación de los indicadores de gestión, parámetros operativos generales, prospectiva de la demanda, y la identificación de limitaciones para la prestación del servicio. La prestación del servicio está a cargo de Empresa de Servicios Públicos del Distrito de Santa Marta – ESSMAR, la cual se encuentra actualmente intervenida por la SSPD según Resolución SSPD - 20221000237145 del 22 de marzo del 2022.

La estructura del documento incorpora el desarrollo y análisis de los siguientes componentes:

- Generación de vivienda nueva y la relevancia de proyectos estratégicos (planes parciales o macroproyectos) en la solución de las necesidades habitacionales.
- Caracterización de la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado en el municipio.
- Ejercicios de proyección de la demanda y oferta de los servicios públicos, tomando en consideración los proyectos estratégicos de vivienda, y las perspectivas en la prestación de los servicios.
- Evaluación de las capacidades de prestación, su correspondencia con la demanda de servicios de acueducto y alcantarillado, y las correspondientes reflexiones.

## 2. Generación de vivienda nueva

En esta sección se estudiará la dinámica de generación de vivienda en la última década en el municipio de Santa Marta, Magdalena, así como su potencial de generación en los próximos años. Para ello se analizará el volumen de las ventas de vivienda nueva medido por Coordenada Urbana (Camacol, 2022), la formación esperada de hogares en los próximos años mediante proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE (2022b), y las metas de vivienda de proyectos estratégicos identificados por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - Minvivienda.

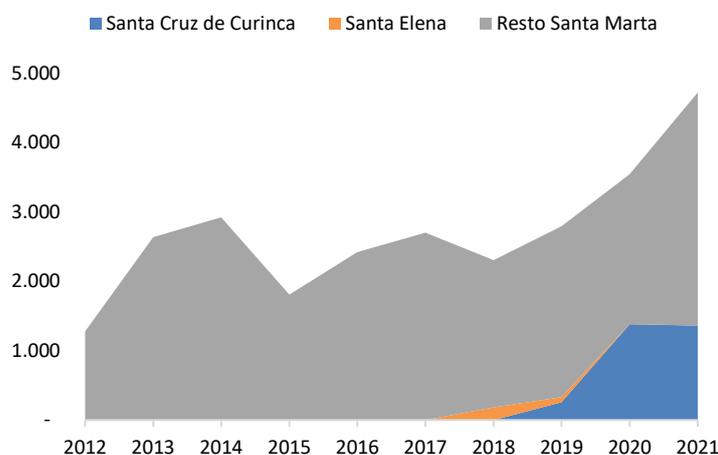
Este análisis se soporta en la definición de aglomeraciones urbanas de la Misión del Sistema de Ciudades del Departamento Nacional de Planeación - DNP (2014), reconociendo que la generación de vivienda al interior de un municipio no solo depende de sus condiciones propias, sino también de la interconexión funcional con municipios relativamente cercanos. De igual forma, se entiende que los proyectos estratégicos impactan de manera importante en el número de viviendas que se generarán en los próximos años por varios factores, a saber: por su tamaño, ejecución en el tiempo y relevancia en la planeación del crecimiento de las ciudades.

### 2.1. Tendencia de ventas en la última década

La generación de vivienda en Santa Marta, Magdalena, se ha multiplicado por dos en los últimos años (gráfica 1). Entre 2012 y 2015 se vendieron un promedio de 2.162 unidades, ya para el año 2021 las

ventas se ubicaron en 4.725 unidades. Buena parte del incremento se debe a la entrada en operación de los planes parciales Santa Cruz de Curinca y Santa Elena. Desde 2018 han vendido más de 3 mil unidades, y para el año 2021 representaron el 29% de las ventas del municipio. En el caso de Santa Cruz de Curinca ya todo el proyecto está desarrollado, no faltan unidades por lanzar al mercado, aunque si la mayor parte de sus unidades están sin entregar (ver gráfica 3 de la sección 2.3.); por su parte, Santa Elena, si le faltan unidades por lanzar, teniendo en cuenta su meta de generación de vivienda.

**Gráfica 1. Ventas netas de vivienda según proyectos estratégicos en Santa Marta**



Fuente: Minvivienda y Coordinada Urbana – Cálculos Camacol y SSPD

## 2.2. Factor demográfico

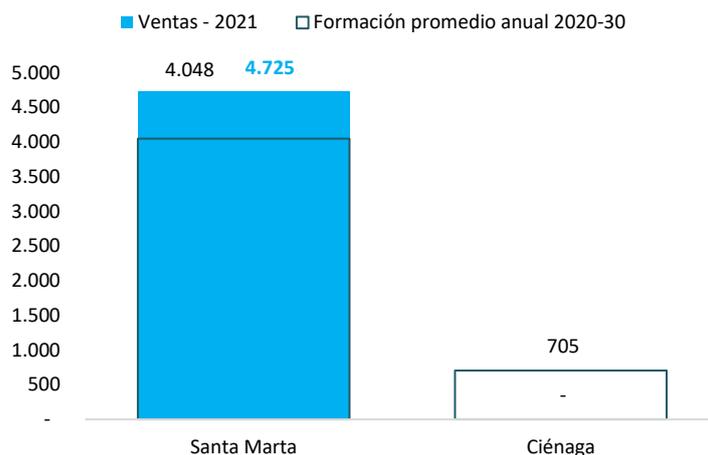
Uno de los principales determinantes en la demanda de mediano y largo plazo de vivienda nueva es el crecimiento demográfico (Megbolugbe *et al.*, 1991). Cada hogar requiere de un espacio en el cual pueda habitar y convivir con los suyos, de esta manera, la formación esperada de hogares es una señal fundamental para entender las necesidades y generación de vivienda.

La gráfica 2 contrasta las ventas de vivienda nueva en el último año con la formación anual promedio de hogares esperada entre 2020 y 2030 en los municipios de Santa Marta y Ciénaga<sup>1</sup>. Se puede observar que para el municipio de Santa Marta se registran ventas de vivienda nueva a 2021 de similar magnitud a lo que se estima será la formación de hogares en los próximos años.

Aquí cabe notar la importancia de extender el análisis más allá del municipio en cuestión, pues, como se mencionó al inicio de esta sección, la dinámica de la vivienda de una ciudad no es independiente de la dinámica en ciudades cercanas o aglomeración en la que pertenece. La relación estrecha al interior de la aglomeración urbana facilita que desbalances entre formación de hogares y generación de vivienda nueva originen procesos migratorios al interior de los municipios que la componen.

<sup>1</sup> Según el Sistema de Ciudades Santa Marta y Ciénaga son ciudades unimodales, sin embargo, en este documento se consideraron como una sola aglomeración en donde Santa Marta es el centro.

**Gráfica 2. Ventas netas de vivienda y formación de hogares**



Fuente: DANE y Coordinada Urbana – Cálculos Camacol y SSPD

### 2.3. Proyectos estratégicos

Los proyectos estratégicos de vivienda, planes parciales y macroproyectos, además de ser un mecanismo ideal de gestión y planeación del crecimiento de las ciudades, brindan información del potencial de generación de vivienda más allá de la dinámica general reciente de la comercialización y la proyección de formación de hogares.

Los planes parciales son instrumentos que desarrollan o complementan disposiciones de los Planes de Ordenamiento Territorial - POT en áreas de suelo urbano o de expansión urbana; allí se establecen lineamientos de edificabilidad, equipamientos, servicios públicos entre otros, en proyectos de urbanización y construcción (Función pública, 2015). De forma similar, los macroproyectos son actuaciones urbanísticas en común acuerdo entre el gobierno nacional y las administraciones municipales y distritales que tienen como objetivo habilitar suelo para la construcción de vivienda (Función pública, 2011).

Por su gran tamaño la ejecución de estos suele sobrepasar los ocho años (Minvivienda, 2021) y a su vez se componen de varios proyectos de propiedad horizontal de un tamaño relativamente menor. A medida que estos proyectos, de menor tamaño, se comercializan y entregan, al interior del proyecto estratégico aparecen nuevos proyectos hasta que se completa la meta de generación de vivienda.

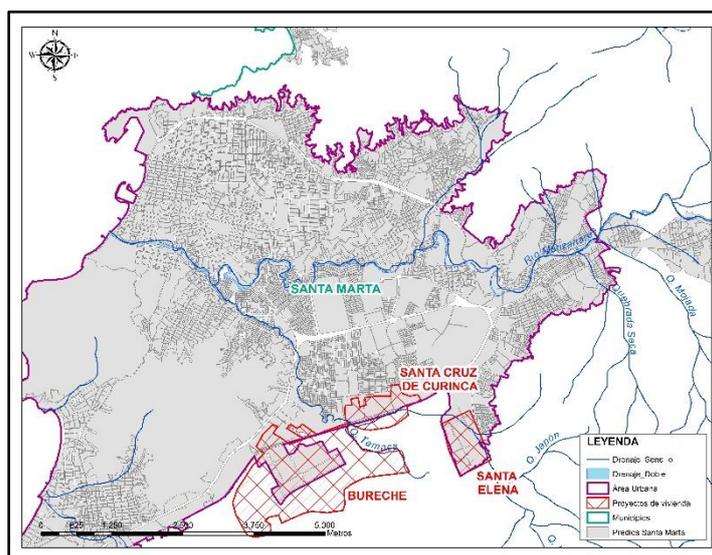
Como se mencionó en la sección 2.1., actualmente en Santa Marta se identifican dos planes parciales que representaron en 2021 el 29% de las ventas de vivienda en el municipio. Igualmente, en la ciudad se encuentra el plan parcial Bureche que se encuentra por el momento inactivo, es decir, no se ha detectado aún actividad comercial (lanzamientos de vivienda) en este. La ubicación de estos proyectos y su extensión se puede ver en el mapa 1.

En la gráfica 3 se descomponen las unidades de vivienda que el proyecto tiene como meta según su estado. Se observa que, como ya se mencionó en la sección 2.1., el plan parcial Santa Cruz de Curinca no le faltan unidades por desarrollar, todas sus unidades ya fueron lanzadas al mercado, se están construyendo o están a la espera de ser entregadas. Por su parte, en Santa Elena queda por desarrollar

el 83% de las unidades que tiene como meta. Es decir, aún queda pendiente que nuevos proyectos (de menor tamaño) lancen al mercado unidades de vivienda, que posteriormente, después de su comercialización y construcción, serán entregadas.

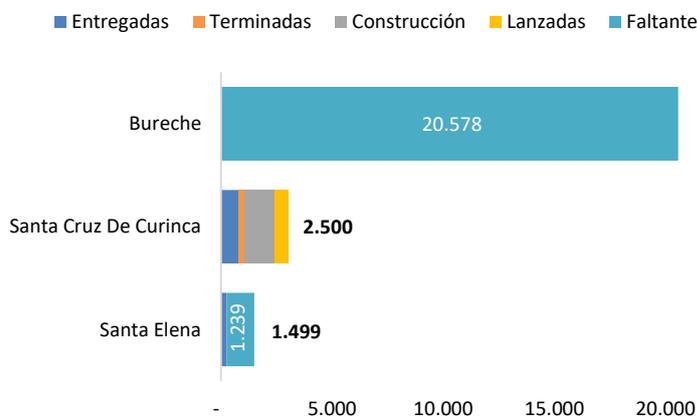
Cabe resaltar que el plan parcial Bureche, que se encuentra inactivo, tiene un potencial de generación de vivienda de más de 20 mil unidades, muy superior a los proyectos estratégicos que hoy están activos. El proyecto estratégico Santa Elena, que le falta unidades por desarrollar, tiene un potencial de generación de vivienda de 1.239 unidades.

**Mapa 1. Proyectos estratégicos**



Fuente: Minvivienda - Elaboración Camacol y SSPD

**Gráfica 3. Meta de viviendas en proyectos estratégicos**



Fuente: Minvivienda y Coordinada Urbana – Cálculos Camacol y SSPD

### 3. Prestación de servicio de agua y alcantarillado

En esta sección se realizará una identificación del prestador de acueducto y alcantarillado del municipio de Santa Marta, ESSMAR, presentando sus áreas de cobertura, descripción de los sistemas

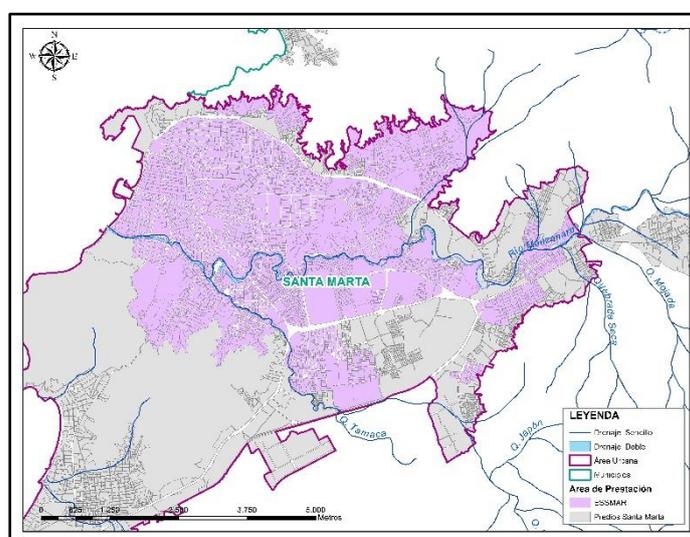
de acueducto y alcantarillado, características de sus componentes, concesiones, permisos vigentes, y pérdidas de agua.

### 3.1. Cobertura geográfica de la prestación del servicio

El área de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado de ESSMAR en la ciudad de Santa Marta se pueden apreciar en el mapa 2. Por la zona sur de esta área de prestación pasa el río Manzanares y al oeste limita con el mar Caribe (Equipo Consultoría Geografía Urbana, 2020).

Desde el punto de vista temporal, según el documento de Plan de Emergencia y Contingencia - PEC 2021, reportado por ESSMAR al SUI, se señaló que la capacidad técnica del distrito de Santa Marta en materia de recurso hídrico, producción y distribución no permite satisfacer la demanda actual y futura. Esto debido a que tiene una carencia histórica de más de 30 años anterior al inicio de operaciones del prestador. Actualmente la ciudad presenta un déficit de agua de 1.248 l/s aproximadamente, con un total de 71.516 suscriptores (ESSMAR, 2021).

**Mapa 2. Área de prestación de servicio**



Fuente: Elaboración Camacol y SSPD

### 3.2. Descripción de los sistemas

Con base en la información reportada en el PEC del prestador, el sistema de acueducto de ESSMAR capta sus aguas del río Manzanares, Gaira y Piedras. Adicionalmente la empresa cuenta con 52 pozos profundos para reforzar la disponibilidad hídrica (ESSMAR, 2021). El sistema de acueducto presta servicio a 71.516 suscriptores y consta de procesos de captación, aducción, potabilización, conducción, almacenamiento, bombeo y distribución. Este sistema se conforma por 2 plantas de potabilización, 4 fuentes de abastecimiento y 24 tanques de almacenamiento. La tabla 1 resume los componentes del sistema de acueducto y sus principales atributos hidráulicos:

**Tabla 1. Resumen características hidráulicas de los componentes del sistema de acueducto**

Componente	Tipo	Capacidad diseño	Condiciones actuales o caudal operativo	Descripción general
Captación	<u>Fuentes superficiales:</u>  Río Manzanares, río Piedras y río Gaira	<u>Río Manzanares:</u> 400 l/s	6.355 l/s	El abastecimiento se realiza a través del sistema norte y sur: Norte: Inicia a través de la captación del río Piedras y Manzanares.  Sur: Es abastecido por el río Gaira
		<u>Río Piedras:</u> 800 l/s	<u>Río Piedras:</u> Captación de tipo lateral con concreto desde 1950.	
		<u>Río Gaira:</u> 300 l/s	<u>Río Gaira:</u> N/A	
	<u>Fuentes subterráneas:</u>  Acuífero Gaira y Acuífero Manzanares	52 pozos profundos para apoyar estratégicamente	ND	El sistema del río Gaira es abastecido adicionalmente por 9 pozos de aguas subterráneas
Aducción	<u>Río Manzanares:</u>  Tubería de Asbesto Cemento (AC) y Cloruro de Polivinilo - PVC	<u>Río Manzanares:</u> 450 l/s	<u>Río Manzanares:</u>  -Tubería AC de 8,13 Km de longitud y 20" y 0,92 Km de longitud y 18".  Tubería de PVC 0,42 Km de longitud y 12"	<u>Río Manzanares:</u>  Se presentan conexiones irregulares pertenecientes al corregimiento de Bonda
	<u>Río Piedras:</u>  Canal con tapas y tubería de GRP, HD	<u>Río Piedras:</u> 800 l/s	<u>Río Piedras:</u>  -Canal con tapas de 0,93 Km  Tubería de GRP de 4,44 Km, 3,45 Km, 1,36 Km, 9,52 Km de longitud y cada una de 36", 24", 20" y 20", respectivamente.	<u>Río Piedras:</u>  Se encuentra a 112,12 metros de la captación (medidos a lo largo de la aducción)
	<u>Río Gaira:</u>  Dos secciones: Canal abierto y tubería	<u>Río Gaira:</u> ND	<u>Río Gaira:</u>  Canal de 75 m de longitud hasta los desarenadores.  Tubería de acero de 24" posterior a los desarenadores se encuentra una tubería de hierro dúctil de 24" y otra de 20" de AC.	<u>Río Gaira:</u> ND
Desarenadores				<u>Río Manzanares:</u>  Desarenadores en paralelo por medio de dos tuberías

	El sistema cuenta con desarenadores en concreto que son alimentados por medio de las captaciones	ND	ND	<p><u>Río Piedras:</u></p> <p>Desarenador de 3 m de base por 30 m de largo</p> <p><u>Río Gaira:</u></p> <p>Desarenadores longitudinales paralelos de cerca de 29 m de largo.</p> <p>Zona alta: Están compuestos por cámaras de acceso, pantallas deflectoras, área de desarenación, vertederos de rebose de agua desarenada y cámara de salida.</p> <p>Zona baja: de 16 m y son alimentados por gravedad.</p>
Potabilización	<p><u>Planta de Tratamiento de Agua Potable - PTAP Mamatoco:</u></p> <p>Tipo convencional</p>	800 l/s	La planta fue ampliada, por lo cual logra abastecer al 70% de los usuarios.	Está compuesta por cámaras de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración para el proceso de potabilización del agua y es alimentada por los ríos Piedras y Manzanares
	<p><u>PTAP El Roble:</u></p> <p>Tipo convencional</p>	400 l/s	La zona del Rodadero y Gaira se alimenta principalmente de esta planta y de los pozos del acuífero de Gaira.	La PTAP potabiliza el agua mediante un proceso convencional de floculación, sedimentación, filtración y desinfección
Almacenamiento	El sistema consta de 24 tanques de almacenamiento	Volumen de capacidad total de almacenamiento de 25.560 metros cúbicos.	Existen tanques de paso en el sistema del río Gaira.	En épocas secas se dificulta la oferta de agua por lo cual se cuenta con 11 carrotanques para abastecimiento por medios no convencionales.
Conducción Distribución	Tuberías	ND	Actualmente se colocó en operación la línea de conducción Sena-Troncal compuesta por GRP de 14".	<p>El sistema de distribución de redes en el <u>sistema norte</u> inicia desde la PTAP Mamatoco. Así mismo se aumenta la disponibilidad hídrica con pozos profundos.</p> <p>El <u>sistema sur</u> inicia con la PTAP Roble y se refuerzan los circuitos con las redes que salen</p>

de los pozos profundos del acuífero de Gaira.

Fuente: SSPD (2021a), ESSMAR. (2021) – Elaboración Camacol y SSPD

El sistema de alcantarillado sanitario del municipio de Santa Marta está compuesto por colectores primarios y secundarios. Los cuales drenan las aguas servidas hacia las tuberías de recolección y transporte, conduciéndolas hasta el emisario submarino, donde se permite la dilución en del mar Caribe, en la zona conocida como El Boquerón, según lo establece el Plan de Manejo de Vertimientos - PSMV se encuentra otorgado por Corporación Autónoma de Regional del Magdalena - CORPAMAG.

La siguiente tabla resume las características del sistema de alcantarillado y sus componentes técnicos de ESSMAR:

**Tabla 2. Resumen características de los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales**

Componente	Tipo	Capacidad diseño	Condiciones actuales o caudal operativo	Descripción general
Colectores	Colectores que drenan las aguas servidas de diferentes barrios de la ciudad	N/A	Cinco colectores principales con diámetros entre 250 mm hasta 1.270 mm.	N/A
Recolección y transporte	Tuberías	ND	Líneas de impulsión con 1.000 mm y 600 mm de diámetro y la zona del Rodadero y Gaira con una línea de impulsión de 500 mm de diámetro.	La recolección de las aguas residuales es se realiza en sentido oriente occidente. En este punto se encuentran dos  Por otra parte, las aguas residuales del Rodadero y Gaira poseen otra línea de impulsión.
Tratamiento	Sistema de tratamiento por dilución: Emisario submarino	ND	Caudal depurado del 2020 de 1.018 l/s	Las aguas residuales son depuradas hacia el emisario submarino.
Puntos de Descarga	Vertimiento mediante el emisario submarino y tuberías de impulsión	ND	ND	PSMV otorgado por CORPAMAG mediante la Resolución No. 2117 de 2019. Donde se conducen las aguas residuales hacia el mar Caribe mediante tubería de PEAD de 1000 mm.

Fuente: SSPD (2018), ESSMAR. (2021) – Elaboración Camacol y SSPD

### 3.3. Concesión de aguas

Según PEC 2021 (ESSMAR, 2021) y el cierre de la vigilancia especial por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios - SSPD a ESSMAR (SSPD, 2021), la fuente de abastecimiento superficial es el río Piedras, río Gaira y río Manzanares, los cuales mantienen un caudal medio de 393 l/s, 318 l/s y 406 l/s, respectivamente. Así mismo, la concesión de aguas adjudicó un caudal de 450 l/s,

650 l/s y 330 l/s, para abastecer del recurso hídrico al acueducto del Distrito de Santa Marta. Se adjudica<sup>2</sup> del río Gaira un caudal de 280 l/s en época de verano y 450 l/s para el resto del año. Para el río Manzanares se otorga<sup>3</sup> hasta el 9 de septiembre de 2029 la concesión de aguas superficiales a favor de ESSMAR, con un caudal de 330 l/s, para abastecer del recurso hídrico al acueducto del distrito de Santa Marta.

Con relación a la captación de aguas subterráneas, en la actualidad el prestador cuenta con un total de 52 pozos en funcionamiento: 7 poseen concesiones vigentes<sup>4</sup>: U3, No. 7 de Gaira, Teyuna, Naranjos 2, Líbano, Santa Clara y Polisur. Los demás pozos se encuentran en inicio de trámite de concesión, y uno en inicio de trámite de renovación. Ante esto, la SSPD emitió una acción de tutela a finales del 2021 indicando que la empresa no cuenta con la concesión de aguas para utilizar los pozos El Mayor, Villa Alejandría II y Bavaria, ya que existen controversias en relación con las competencias de las autoridades departamentales y distritales con respecto a estos permisos ambientales (SSPD, 2021c).

### 3.4. Permiso de vertimiento de aguas residuales

Por medio de información recibida por CORPAMAG, el PEC 2021 (ESSMAR, 2021), y el cierre de la vigilancia especial por parte de la SSPD a ESSMAR (SSPD, 2021), el sistema de tratamiento del emisario submarino cuenta con la aprobación del Ministerio de Ambiente en la licencia ambiental<sup>5</sup>, la cual incluye el respectivo permiso de vertimiento y los derechos y obligaciones fueron cedidas a la ESSMAR por CORPAMAG<sup>6</sup>.

El emisario submarino drena las aguas residuales y las bombea al mar Caribe, donde son diluidas a través del emisario submarino en la zona conocida como El Boquerón. Es de aclarar que, ESSMAR no posee alcantarillado pluvial por lo que las aguas residuales pueden aumentar los niveles acondicionados por fenómenos climáticos.

### 3.5. Indicadores de la prestación del servicio

En la tabla 3 se observan los indicadores de la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado en el municipio de Santa Marta por parte del prestador en estudio:

**Tabla 3. Resumen de los indicadores de agua potable y saneamiento básico**

Indicador	Valor vigencia 2020 del Área de Prestación de Servicio - APS	Unidades	Valor del referente regulación	Fuente de información
Índice de Riesgo de Calidad del Agua - IRCA	7,9	%	0,0 a 5,0	Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable -SIVICAP
Nivel de Riesgo Calidad del Agua	Bajo	ND	Sin Riesgo	SIVICAP
Continuidad	21,08	Hr/día	21,1 – 24 (Continuo)	Informe final de vigilancia especial ESSMAR.
Índice de Agua No Contabilizada – IANC	70,8	%	25	Base sectorial 2019

2 Resolución 1311 de 2020

3 Resolución 3828 de 2019

4 Resolución 117 de 2019

5 Resolución 0242 de 1999

6 Resolución 2117 de 2019

Índice de Pérdidas por Suscriptor Facturado - IPUF	14,9	m <sup>3</sup> /suscr-mes	6,0	Informe final de vigilancia especial ESSMAR.
Tratamiento de Aguas Residuales	Si	ND	Si	Base sectorial 2020
Suscriptores acueducto	114.631	Total suscriptores	ND	Informe final de vigilancia especial ESSMAR.
Suscriptores alcantarillado	102.640	Suscriptores residenciales	ND	Informe final de vigilancia especial ESSMAR.

Fuente: SSPD (2021b) – Elaboración Camacol y SSPD

Teniendo en cuenta el desempeño de los diferentes indicadores y estándares de prestación de servicios se incorpora, mediante la Resolución CRA 906 de 2019, el Indicador Único Sectorial - IUS, el cual permite estimar el nivel de riesgo de la prestación de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado por parte de los prestadores, integrando ocho dimensiones temáticas que ponderadas permiten calificar el indicador con un dato para cada vigencia. Una vez consultado el reporte del IUS, se identifica para la empresa ESSMAR un nivel de riesgo “medio alto” para 2020 y 2021. El detalle de estos resultados se presenta a continuación.

**Tabla 4. Resultados Indicador Único Sectorial (IUS) 2020 – 2021**

Dimensiones	2020		2021	
	Puntuación ponderada	Porcentaje de cumplimiento	Puntuación ponderada	Porcentaje de cumplimiento
1. Calidad del Servicio (CS)	3,07	24,6%	6,93	55,4%
2. Eficiencia en la Planificación y ejecución de inversiones (EP)	5,00	40%	2,50	20%
3. Eficiencia en la Operación (EO)	9,40	75,2%	9,32	74,6%
4. Eficiencia en la Gestión Empresarial (GE)	10,00	80%	12,50	100%
5. Sostenibilidad Financiera (SF)	7,64	61,1%	4,03	32,2%
6. Gobierno y Transparencia (GYT)	9,38	75%	11,23	89%
7. Sostenibilidad Ambiental (SA)	3,75	30%	11,25	90%
8. Gestión Tarifaria (GT)	9,38	75%	1,25	10%
IUS	57,61 %		59,01%	
NIVEL DE RIESGO	Riesgo Medio Alto		Riesgo Medio Alto	

Fuente: SSPD (2021c) – Elaboración Camacol y SSPD

### 3.6. Pérdidas de agua

Los volúmenes de agua que se pierden, así como el ahorro en el uso del agua por parte de los usuarios, permiten aliviar la presión sobre la disponibilidad del recurso hídrico y la producción de agua potable. Por lo cual es importante observar el comportamiento del Índice de Agua no Contabilizada - IANC, en el análisis de la demanda de agua actual y futura.

Con base en las consultas realizadas al sistema SUI, en el año 2019 ESSMAR reportó un volumen de producción anual de 12.737.544 m<sup>3</sup>/año. Comparando este valor con el volumen facturado reportado al SUI para la vigencia 2019, se estimó un volumen de agua perdida equivalente a 9.023.003 m<sup>3</sup>/año, lo cual, en términos de este indicador, resultó un valor de IANC de 70,8%.

Por su parte, las pérdidas de agua potable en términos del indicador Índice de Pérdidas por Suscriptor Facturado -IPUF- fueron estimadas en un orden de 7,35 m<sup>3</sup>/suscriptor-mes.

Adicionalmente es importante indicar que la reducción de los niveles de pérdidas y límites mínimos proyectados estarán sujetos al estudio del Nivel Económico de Pérdidas – NEP, propio de cada prestador, según lo establecido por la Resolución CRA 906 de 2019.

### 3.7. Reflexiones sobre las condiciones de la oferta

En el municipio de Santa Marta la cobertura urbana del servicio de acueducto y alcantarillado es atendida por el prestador ESSMAR (ver mapa 2). Los indicadores reflejan una cobertura urbana de acueducto y alcantarillado de 50,3% y 46,51%, respectivamente. Para los centros poblados, fincas y viviendas dispersas esta cobertura representa el 26,37% y 25,15 %, respectivamente.

El Índice de Riesgo de Calidad del Agua - IRCA presenta un valor de 7,9 que clasifica este municipio como “Bajo” (ver tabla 3), lo que indica que el agua del municipio es susceptible de mejoramiento, de acuerdo con la resolución 2115 de 2007 (expedida por el Ministerio la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial), donde señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

En cuanto a los indicadores de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado para el municipio, es importante mencionar que en materia de continuidad del servicio el valor municipal es de 17,88 horas al día (ver tabla 3). No obstante, mediante resolución SSPD - 20221000237145 del 22 de marzo del 2022 se determina el objeto de toma de posesión de la ESSMAR por parte de la SSPD, considerando el servicio discontinuo de acueducto para el 100% de la población que atiende y el rezago en materia de inversiones y el desbordado crecimiento de proyectos constructivos (SSPD, 2021a).

## 4. Proyección demanda de agua y capacidades de la oferta

En esta sección se realizarán los cálculos de proyección en demanda de agua con un horizonte de tiempo a 2038 y se compararán con las capacidades proyectadas de los prestadores del servicio en el municipio.

### 4.1. Postulados básicos

Las siguientes consideraciones se tomaron como postulados básicos para el desarrollo del presente estudio:

- a. La población de análisis se acotó al área de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado atendidos por ESSMAR en Santa Marta, que incluye el desarrollo urbanístico del proyecto estratégico de Bureche, Santa Cruz de Curinca y Santa Elena.
- b. El APS para la ESSMAR está constituida por suscriptores de usos comercial, industrial, especial, oficial y estratos socioeconómicos del 1 al 6.
- c. La información de oferta hídrica se establece según concesiones de agua otorgadas por CORPAMAG.
- d. El caudal concesionado determina las limitaciones de oferta de agua potable.

- e. Las tendencias de crecimiento de suscriptores y comportamiento de consumos de agua potable se tomaron según reportes realizados por el prestador al SUI (2022).
- f. La unidad temporal de análisis es anual.
- g. El periodo de análisis comprende los años 2013 - 2020, y se hicieron proyecciones al 2038.
- h. El corto plazo se establece como un periodo menor a 5 años y el mediano plazo, como un periodo comprendido entre 5 y 10 años.
- i. Un suscriptor residencial es equivalente a una vivienda.
- j. En cada vivienda nueva habita solamente un hogar.
- k. Se tiene en cuenta las proyecciones de hogares y personas de la cabecera del municipio (DANE, 2022a, 2022b) para calcular el tamaño promedio de los hogares, personas por hogar, para cada año hasta 2035. Después de ese año se asume que el tamaño del hogar permanece igual al de 2035.
- l. Las viviendas que se estima se generarán en el municipio estarán ocupadas desde el momento que se entregan.
- m. La población municipal tiende a ser mayor a la población atendida por prestadores de servicios públicos de acueducto y alcantarillado; por ende, no se asume cobertura de 100% en la prestación de estos servicios.

Tomando en consideración el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS en su título sobre sistemas de acueducto, se puede estimar el caudal demandado en función de la población (Minvivienda, 2010):

$$Caudal (L/s) = Población \left( \frac{Dotación RAS}{86400} \right) (1 + \%Perdidas agua) \quad [1]$$

La *Dotación RAS* depende de la altura respecto al nivel del mar del municipio, a menor altura mayor *Dotación*. Los valores de *Dotación* para distintas alturas están definidos por la resolución 0330 de 2017 (Minsalud, 2017). Teniendo en cuenta los postulados *i.*, *j.* y *k.*, se puede deducir fácilmente la demanda de agua expresada en caudal (l/s) en función ya sea suscriptores o viviendas.

## 4.2. Proyección de entrega de viviendas

Para la proyección de vivienda, la estimación de la entrada (entregas) de vivienda nueva al municipio se ha dividido en dos partes: por un lado, se tienen en cuenta los proyectos que, en el momento del análisis, se encuentran en preventa, construcción o terminado (sin entregar), ya sea al interior de proyectos estratégicos (gráfica 3 de la sección 2.3.) o fuera de ellos (resto). Por el otro, se realizaron estimaciones sobre la generación de vivienda nueva, es decir, lanzamientos supuestos de proyectos que se realizaran en los próximos años, nuevamente, dentro o fuera de los proyectos estratégicos.

La estimación de entregas en los proyectos de vivienda ya lanzados en el municipio tiene en cuenta que estos se encuentran en diferentes fases constructivas: sin iniciar construcción (preventa), cimentación, estructura, obra negra, acabados o terminado. Considerando la fase constructiva y el tiempo que tarda<sup>7</sup> cada fase hasta la entrega se estima el año de entrega de las viviendas. Los tiempos

<sup>7</sup> Ejemplos de estos tiempos (calculados con información previa a la usada en este estudio) se pueden ver en Camacol (2019).

que se usan son los calculados para viviendas de interés social<sup>8</sup>, pues este tipo de vivienda tiene una mayor participación en los proyectos estratégicos. En los últimos meses se evidencia que este tipo de vivienda tiene una duración promedio de 31 meses desde su lanzamiento hasta la entrega y de unos 16 meses en todo su estado constructivo.

La estimación de entregas de viviendas en los próximos años no solo dependerá de los proyectos que hoy ya están en el mercado, sino también de los que lo estarán en los próximos años. Se plantea entonces supuestos de generación de nuevos proyectos o lanzamientos de vivienda para los próximos años y a estos se les aplica el tiempo entre el lanzamiento y la entrega. Dicha estimación se realizó en dos casos: para las unidades faltantes dentro de los proyectos estratégicos y para las unidades que se generarán en el resto del municipio.

Para el primer caso se realizó un análisis de la velocidad anual a la que se ha desarrollado el proyecto estratégico desde que inició su actividad. Esta velocidad se contrastó con una velocidad supuesta estándar de 7%<sup>9</sup> anual. Luego de comparar ambas velocidades se tomó la que mostrara el mayor número de unidades por año entre las dos<sup>10</sup>, permitiendo hacer un análisis que no subestime el flujo de entrada de proyectos nuevos y así mismo de entregas de vivienda en los próximos años.

Para el segundo caso, de las unidades generadas en el resto del municipio, se observó la tendencia de los últimos años en cuanto a ventas de vivienda anuales (gráfica 1 de la sección 2.1.). Se supone que la generación anual de vivienda fuera de los proyectos, en los próximos años, será igual al promedio en ventas observado entre 2015 y 2021, lo que es razonable al tener en cuenta el desbalance entre formación de hogares y generación de vivienda en el municipio y que incide en la generación de vivienda dentro de la aglomeración (ver sección 2.2.).

Con estas estimaciones se generó un flujo estimado de entregas de vivienda entre 2022 y 2038. Como se puede observar en la gráfica 4 hay un pico de entregas en el año 2025 con 12.089 unidades entregadas. Esta distribución tiene sentido si se observa la situación constructiva de los proyectos activos, así como los supuestos que se establecieron sobre los proyectos inactivos, y en el resto del municipio. El proyecto Bureche, actualmente inactivo, entregaría viviendas hasta el año 2034. Una vez estimada la entrega de viviendas, el siguiente paso es traducir esto en demanda de agua. Para ello se hizo uso de la ecuación [1] descrita en la sección 4.1. y los postulados *j.* y *k.* de dicha sección (eje derecho de la gráfica 4).

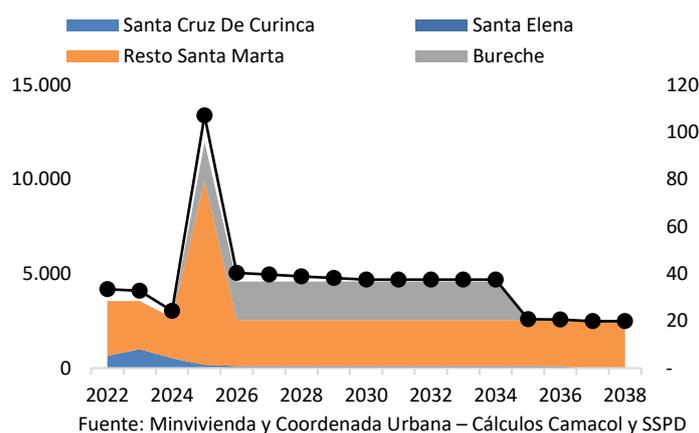
---

<sup>8</sup> La vivienda social o VIS son viviendas que tienen un valor igual o inferior a los 135 salarios mínimos legales vigentes y de 150 salarios en aglomeraciones urbanas definidas por el decreto 1467 de 2019.

<sup>9</sup> Este supuesto es razonable si se tiene en cuenta que proyectos estratégicos como macroproyectos suelen tener una duración superior a los 8 años (Minvivienda, 2021).

<sup>10</sup> En el caso del proyecto inactivo (ver sección 2.3.) Bureche, se asumen que desde 2022 registrará actividad y tendrá una velocidad de desarrollo de 7% anual.

**Gráfica 4. Estimación de entregas de vivienda en Santa Marta**



Fuente: Minvivienda y Coordinada Urbana – Cálculos Camacol y SSPD

Nota: Las estimaciones contemplan sólo los proyectos estratégicos propuestos a la fecha, lo cual no excluye que en el periodo puedan plantearse otros adicionales

### 4.3. Crecimiento inercial de la demanda de agua

Debido al crecimiento demográfico se espera que año tras año crezca la demanda por agua de manera inercial. Para proyectar la demanda de los próximos años se plantean dos escenarios:

a. **Escenario 1 (población DANE):**

Se toman las proyecciones de población del municipio en su área urbana (DANE, 2022b) y se aplica la ecuación [1] de la sección 4.1. Con lo cual se tiene en cuenta las necesidades reales de la ciudad.

b. **Escenario 2 (suscriptores SUI):**

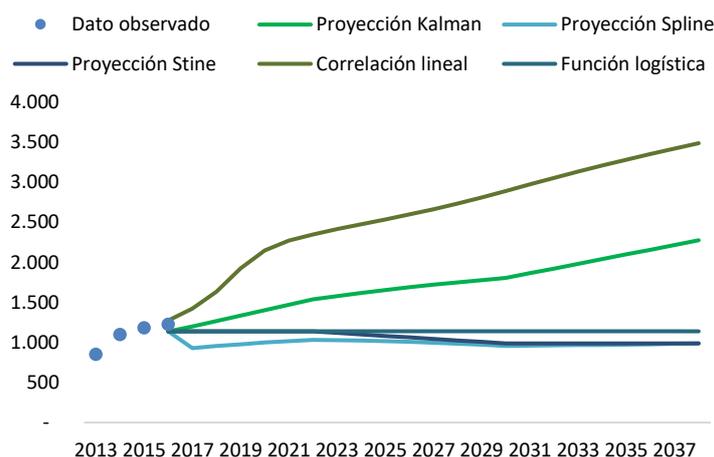
Usando los suscriptores contabilizados por el SUI entre 2013 y 2020 se proyecta su tendencia mediante distintos modelos estadísticos. Posteriormente, se traduce los suscriptores a agua usando la ecuación [1] y los postulados *i*, *j*, y *k*. de la sección 4.1. Vale la pena mencionar que, en relación con el dato de suscriptores relacionado en la Tabla X, la diferencia de magnitudes con respecto a la información de la vigencia 2020 empleada en el ejercicio de proyección se atribuye a la autonomía que tiene el prestador sobre el valor reportado en SUI. No obstante esta diferencia, se emplea la información del SUI por la disponibilidad de datos históricos y la consistencia entre sus magnitudes.

Cabe resaltar estos escenarios de proyección no necesariamente recogen la dinámica que se observará en la vivienda. Como se evidenció en la sección 2.2., es posible que al interior de un municipio las ventas de vivienda se desalineen de la formación de hogares por factores de desbalances entre oferta y demanda de vivienda en otros municipios. Igualmente, las metas de generación de vivienda en proyectos estratégicos no necesariamente son capturadas por las proyecciones de población o la tendencia observada en el crecimiento de los suscriptores.

De esta manera, estas proyecciones darán un punto de partida (base) desde el cual se adicionará demanda de agua debido a la entrada de nuevas unidades de vivienda que proyecta entrarán desde 2022 (ver gráfica 5 de la sección 4.2.). La relación entre el punto de partida, la proyección de la demanda inercial, la demanda a causa de la dinámica de proyectos de vivienda, y las capacidades de la oferta se presentan en la sección 4.6.

Para el escenario 2 se pusieron en práctica varios modelos estadísticos: filtro de Kalman, Spline, Stine, regresión lineal simple<sup>11</sup> y función logística, las cuales se detallan en el Anexo 1. Los resultados obtenidos por los modelos (ver gráfica 5) permiten evidenciar que el modelo Spline, Stine y la función logística, presentan una disminución en la proyección de los suscriptores y un comportamiento relativamente constante en el tiempo. Lo que hace que sean descartadas, pues la población normalmente tiende a aumentar y así mismo la cantidad de suscriptores que demandan los servicios públicos.

**Gráfica 5. Caudal (l/s) según modelos de proyección de demanda base**



Fuente: SUI (2022) y DANE - Cálculos Camacol y SSPD

Por su parte, las proyecciones con el método Kalman y la regresión lineal presentan un comportamiento creciente. De esto se concluye que para Santa Marta la proyección con base en el método de correlación lineal se ajusta mejor a los datos históricos, tomados del 2013 al 2019 y conserva la tendencia de estos.

#### 4.4. Planificación de obras

El prestador de servicios ESSMAR y la alcaldía de Santa Marta iniciaron la ampliación y optimización de la PTAP El Roble, cuyo objetivo es abastecer y normalizar el servicio de agua potable a más de 342.000 habitantes de la zona sur de la ciudad. Esta obra tiene una inversión de total de \$4.380.591.729 pesos. La obra se inició como parte del mejoramiento y optimización de la infraestructura, pasando de 400 l/s a 550 l/s, donde se garantizará el acceso al agua potable a barrios como El Rodadero, Gaira, La Paz, Cristo Rey, el corredor turístico, los sectores aledaños a la calle 30, y a las comunidades que habitan el sector sur de Santa Marta que nunca han tenido el preciado líquido en sus hogares.

La alcaldía de Santa Marta y la gobernación del Magdalena en conjunto con Cenit Transporte y Logística de Hidrocarburos, filial de Grupo Ecopetrol, firmaron un convenio para la contratación de los

<sup>11</sup> Suscriptores en función de la población proyectada por el DANE (2022, b). Es similar al escenario 1, sin embargo, en este último caso no se asume que toda la población accede al servicio.

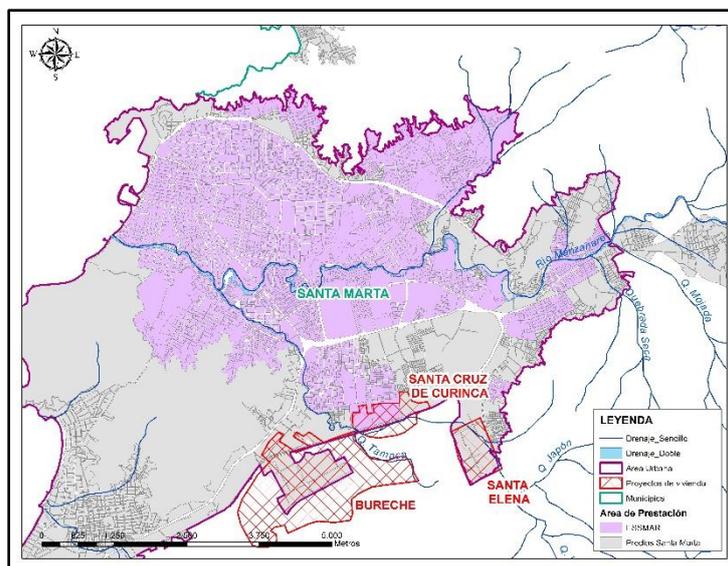
estudios y diseños del sistema de acueducto de “El Curval”. Este acueducto permitirá dar una solución definitiva al suministro de agua potable en los centros poblados de los corregimientos de Bonda, Taganga y parte del casco urbano del distrito de Santa Marta (Cenit Transporte, 2021).

Cenit aportará más de \$16 mil millones de pesos para los estudios y diseños del sistema de acueducto, cuya contratación, gerencia e interventoría estarán a cargo de la alcaldía, entre tanto, el distrito aportará en especie y gestión aproximadamente \$361 millones y la gobernación realizará una inversión de más de \$380 millones (Cenit Transporte, 2021). Este proyecto, utilizará para su producción la captación 400 l/s del río Piedras y, más adelante, gracias a dos ampliaciones se captarán 1.600 l/s del río Guachaca para un total de 2000 l/s.

#### 4.5. Ubicación proyectos estratégicos y áreas de prestación de servicio

De acuerdo con el mapa 3, los proyectos estratégicos de vivienda Santa Elena, Bureche y Santa Cruz de Curinca, se encuentran en el sur del municipio, y solo el último está parcialmente dentro del área de prestación actual, por su parte los otros dos proyectos se encuentran fuera de ésta. Por ello, se considera necesario el ajuste del POT, y por ende la ampliación operativa del perímetro de servicios para dar cobertura en materia de servicios públicos a los habitantes de estas nuevas viviendas.

**Mapa 3. Servicio de acueducto, alcantarillado y proyectos estratégicos**



Fuente: Minvivienda - Elaboración Camacol y SSPD

#### 4.6. Balance oferta y demanda

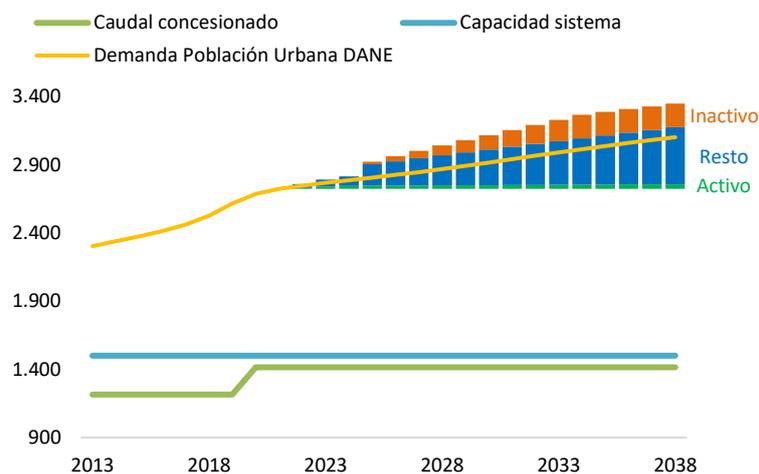
En este apartado se analiza en conjunto los resultados derivados de la proyección de entrada de nuevas viviendas (sección 4.2.), demanda inercial en los próximos años (sección 4.3.), caudal concesionado (sección 3.3.) y capacidades técnicas de los sistemas de acueducto (secciones 3.2 y 4.4.). Con esto se puede advertir de manera oportuna si, dadas las condiciones de los sistemas, existe la capacidad de satisfacer la demanda de agua que se va a generar en los próximos años debido al desarrollo de proyectos estratégicos de vivienda, así como del desarrollo inmobiliario fuera de estos.

Como se explicó en la sección 4.3. se plantean dos escenarios de proyección. En el primero todas las personas proyectadas por el DANE acceden al servicio, y en el segundo se proyecta la demanda de agua teniendo en cuenta la tendencia observada en el crecimiento de los suscriptores en el municipio. Las condiciones de oferta (caudal concesionado y capacidad del sistema) no cambian bajo uno u otro escenario.

Así pues, se define un caudal concesionado equivalente al caudal de la vigencia 2020, 1.415 l/s, con relación a la capacidad instalada se determina una capacidad de 1.500 l/s (ver gráficas 6 y 7). Se aprecia que la capacidad es superior al caudal concesionado, sin embargo, esta diferencia es reducida.

En la gráfica 6 se presentan los resultados del escenario 1. Se observa que el agua que se demandará por el desarrollo de los proyectos estratégicos, incluyendo el plan parcial Bureche que se encuentra inactivo (ver sección 2.3.), y por la generación de vivienda en el resto del municipio desde 2022, se ubica por encima de lo proyectado con base en la población esperada por el DANE en todos los años. Sin tener en cuenta la demanda adicional por el desarrollo de vivienda, hoy en día la concesión de agua y las capacidades del sistema están muy por debajo de las necesidades de agua que se proyectan teniendo en cuenta las estimaciones de población.

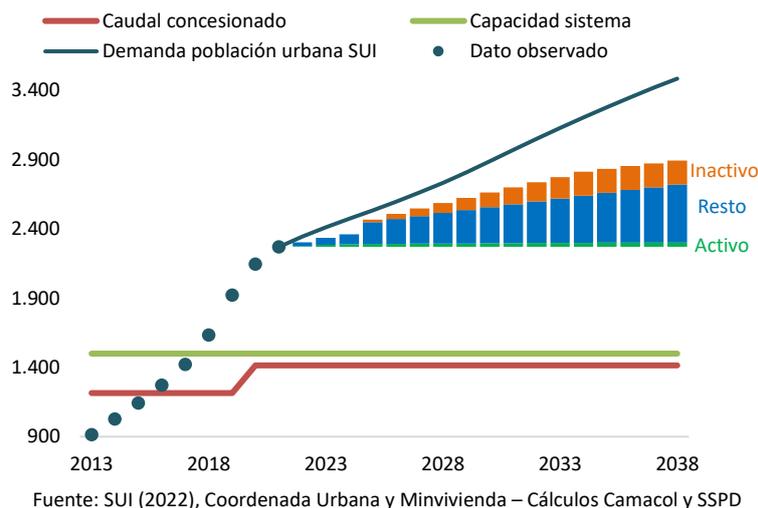
**Gráfica 6. Oferta y demanda de caudal (l/s) – escenario 1**



Fuente: DANE, Coordinada Urbana y Minvivienda – Cálculos Camacol y SSPD

En el caso del escenario 2 (ver gráfico 8) el incremento en la demanda esperada debido a la generación de vivienda se ubica por debajo de las que se estima teniendo en cuenta la tendencia de crecimiento de los suscriptores. Nuevamente, se resalta que la demanda actual y futura supera el caudal concesionado y la capacidad del sistema.

**Gráfica 7. Oferta y demanda de caudal (l/s) – escenario 2**



## 5. Conclusiones

La generación de vivienda en el municipio se ha duplicado en los últimos años. En el último año las ventas de vivienda nueva superaron las 4.700 unidades. Estas ventas se encuentran en un nivel cercano a la formación esperada de hogares en los próximos años, teniendo en cuenta el municipio cercano de Ciénaga.

El proyecto estratégico Santa Cruz de Curinca representó, en el último año, el 29% de las ventas en el municipio. Por su parte, el Plan Parcial Santa Elena mantendrá una relevancia en el mercado habitacional ya que tiene 1.239 unidades pendientes por desarrollar. Así mismo, el plan parcial Bureche, el cual se encuentra inactivo, tiene el potencial de desarrollar 20.578 unidades de vivienda.

ESSMAR presta el servicio de acueducto y alcantarillado en la zona urbana del municipio. La infraestructura del servicio de acueducto consta de captación, aducción, desarenadores, potabilización, almacenamiento, conducción y distribución. Los sistemas de potabilización tienen capacidad de 1.500 l/s, y el caudal concesionado es de 1.415 l/s. La categorización del riesgo de la calidad del agua es “Bajo”, la continuidad del servicio es de 17,88 horas, y el indicador de pérdidas de agua es de 70,8%.

De acuerdo con el indicador sintético IUS, el riesgo para la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado se clasifica en riesgo “Medio alto” de acuerdo con el análisis de la vigencia más reciente. En esta calificación se destacan debilidades en las dimensiones: *gestión tarifaria, eficiencia en la planificación y ejecución de inversiones, sostenibilidad financiera y calidad de servicio*. Es conveniente señalar que el desempeño de este indicador se vio afectado por los problemas derivados a la toma de posesión de la ESSMAR, tales como deficiencias en el proceso de empalme, rotación de personal, pérdida de información entre otras.

Al contrastar la proyección de demanda de agua con las capacidades del sistema, se encuentra que la oferta no es suficiente para abastecer la demanda. Por tanto, es necesario revisar las condiciones la capacidad actual y formular obras para cumplir con la demanda respectiva.

## 6. Bibliografía

- Bacaër N. (2008). *Verhulst y la ecuación logística en la dinámica de la población*. [https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01562340v2/file/Verhulst\\_es.pdf](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01562340v2/file/Verhulst_es.pdf)
- Camacol. (2019). *Prospectiva Edificadora 2019. Una visión de corto y mediano plazo*. [https://camacol.co/sites/default/files/descargables/PROSPECTIVA%20EDIFICADORA%202019\\_1.pdf](https://camacol.co/sites/default/files/descargables/PROSPECTIVA%20EDIFICADORA%202019_1.pdf)
- Carollo M. (2012). *Regresión Lineal Simple*. <https://anestesiario.org/2020/la-distancia-mas-corta-el-metodo-de-los-minimos-cuadrados/>
- Cenit Transporte. (2021, 06 18). *Cenit aporta más de \$16.000 millones para el Sistema de Acueducto de "El Curval" en Santa Marta*. <https://cenit-transporte.com/cenit-aporta-mas-de-16-000-millones-para-el-sistema-de-acueducto-de-el-curval-en-santa-marta/>
- DANE. (2020) *Documento Metodológico de elaboración de las proyecciones de población de Bogotá, D.C., a nivel de localidad hasta el año 2035 y de Unidad de Planeamiento Zonal – UPZ hasta el año 2024*. <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/proyecciones-de-poblacion/Bogota/proyecciones-bogota-metodologia-desagreacion-loc-2018-2035-UPZ-2018-2024.pdf>
- DANE. (2022a). *Proyecciones de población*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
- DANE. (2022b). *Proyecciones de viviendas y hogares*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-viviendas-y-hogares>
- DNP. (2014). *Misión Sistema de Ciudades. Una política nacional para el sistema de ciudades colombiano con visión a largo plazo*. Bogotá: DNP.
- Equipo consultoría geografía urbana. (2020). *Plan de Ordenamiento Territorial*. Santa Marta, Colombia
- ESSMAR. (2021). *PLAN DE EMERGENCIA Y CONTINGENCIA. PRESTACIÓN DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO SANITARIO*. Santa Marta, Colombia.
- Función pública. (2011). *Ley 1469 de 2011*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=43213#0>
- Función pública. (2015). *Decreto 1077 de 2015 Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>
- González C. (s.f.). *Splines: Curvas y Superficies*. <http://www.inf-cr.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/AC/splines.pdf>
- Minvivienda. (2021). *Memoria justificativa - Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1077 de 2015*. [https://www.minvivienda.gov.co/system/files/consultasp/memoria-justificativa\\_misn.pdf](https://www.minvivienda.gov.co/system/files/consultasp/memoria-justificativa_misn.pdf)

Minvivienda. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*. Bogotá DC.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2017). *Resolución 330 de 2017*. 1–9.

SSPD. (2021a). *Radicado 20214243076741. Cierre vigilancia especial*. Santa Marta, Colombia.

SSPD. (2021b). *Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado 2020*. [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/informe\\_sectorial\\_aa\\_30-12-21\\_vf.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/informe_sectorial_aa_30-12-21_vf.pdf)

SSPD. (2021c). *Informe de vigilancia especial*. Bogotá.

SUI (2022). *Formatos Facturación Acueducto y Alcantarillado*. Consulta Bases de Datos SUI.

## Anexo 1. Modelos de proyección de demanda

### A1. Filtro de Kalman

El filtro de Kalman es un algoritmo para restablecer un dato en la proyección lineal de un sistema de variables sobre el conjunto de información disponible, según se va estableciendo nueva información. Este filtro permite calcular de modo sencillo la verosimilitud de un modelo dinámico lineal, uniecuacional o multiecuacional, lo que permite estimar los parámetros y obtener predicciones de los modelos.

Los filtros de Kalman operan en modelos de espacio de estado, de acuerdo con Durbin y Koopman (2012), de la siguiente forma:

$$y_t = z\alpha_t + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t \sim N(0, H) \quad [2]$$

$$\alpha_{t+1} = T\alpha_t + n_t \quad n_t \sim N(0, Q) \quad [3]$$

$$\alpha_1 \sim N(\alpha_1, P_1) \quad [4]$$

donde  $y_t$  es la serie observada (posiblemente con valores faltantes) pero  $\alpha_t$  no se observa por completo. La primera ecuación (la ecuación de "medición") dice que los datos observados están relacionados con los estados no observados de una manera particular. La segunda ecuación (la ecuación de "transición") dice que los estados no observados evolucionan con el tiempo de una manera particular.

El filtro de Kalman funciona para encontrar estimaciones óptimas de  $\alpha_t$  (se supone que  $\alpha_t$  es Normal:  $\alpha_t \sim N(\alpha_t, p_t)$ ), por lo que realmente hace el filtro de Kalman es calcular la media condicional y la varianza de la distribución para  $\alpha_t$  condicional en las observaciones hasta tiempo  $t$ ).

Una vez que el filtro de Kalman se ha aplicado a todo el rango de tiempo, tiene estimaciones óptimas de los estados en,  $p_t$  para  $t = 1, 2, \dots, t$ . Imputar datos es entonces simple a través de la ecuación de medición. En particular, solo se calcula:

$$\hat{y}_t = z\alpha_t \quad [5]$$

## A2. Spline

Es un modelo de regresión no paramétrica cuyo objetivo es encontrar un modelo computacional que permite predecir el valor de la variable en función de las covariables. Este modelo utiliza un método de interpolación que estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, lo que resulta una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada. Estos puntos se ajustarán después con funciones polinómicas continuas de la siguiente forma:

- a) La curva realiza interpolación del conjunto de puntos de entrada cuando las secciones polinómicas se ajustan de modo que la curva pasa a través de cada punto de entrada de acuerdo con Gonzáles Morcillo (s.f).
- b) La curva realiza una aproximación al conjunto de puntos de entrada cuando los polinomios se ajustan a la trayectoria general del punto de entrada sin pasar necesariamente a través de ningún punto de entrada de acuerdo con Gonzáles Morcillo (s.f).

La función polinómica de n-ésimo grado se define como:

$$y = a_0 + a_1x + a_1x^2 + \dots + a_{n-1}x^{n-1} + a_nx^n \quad [6]$$

Donde  $a_t$  son constantes diferentes de cero y n es un entero no negativo.

Se debe tener presente que los Splines son:

- Una curva definida a trozos mediante polinomios.
- Se utilizan para aproximar curvas con formas complicadas.
- Tienen una representación sencilla y son fáciles de implementar.
- Tienen buenas propiedades matemáticas

## A3. Stine

Es un modelo de regresión no paramétrica que se basa en la interpolación racional con funciones racionales especialmente elegidas para satisfacer las siguientes condiciones:

- Si los valores de las ordenadas de los puntos especificados cambian de forma monótona y las pendientes de los segmentos de línea que unen los puntos cambian de forma monótona, entonces la curva de interpolación y su pendiente cambiarán de forma monótona.
- Si las pendientes de los segmentos de línea que unen los puntos especificados cambian de forma monótona, las pendientes de la curva de interpolación cambiarán de forma monótona.
- Si ocurre un pequeño cambio en la ordenada o la pendiente en uno de los puntos de las condiciones anteriores, estos dejarán de cumplirse. Entonces, hacer este pequeño cambio en la ordenada o la pendiente en un punto no causará más que un pequeño cambio en la curva de interpolación.

## A4. Correlación lineal

Es un modelo matemático paramétrico usado para aproximar la relación de una variable predicha a partir de otra predictora. Mediante las técnicas de regresión se busca una función que sea una buena

aproximación de una nube de puntos  $(X_i, Y_i)$ . El modelo de regresión lineal simple tiene la siguiente expresión:

$$y = \alpha + \beta x + \varepsilon \quad [7]$$

Donde,  $\alpha$  es la ordenada en el origen (el valor que toma  $y$  cuando  $x$  vale 0),  $\beta$  es la pendiente de la recta (e indica cómo cambia  $y$  al incrementar  $x$  en una unidad) y  $\varepsilon$  es una variable que incluye un conjunto grande de factores, cada uno de los cuales influye en la respuesta sólo en pequeña magnitud, a la que llamaremos error.  $x$  e  $y$  son variables aleatorias, por lo que no se puede establecer una relación lineal exacta entre ellas.

Para hacer una estimación del modelo de regresión lineal simple se utiliza el método de mínimos cuadrados que trata de buscar una recta minimizando la suma de cuadrados de las diferencias entre los valores reales observados ( $y_i$ ) y los valores estimados ( $\hat{y}_i$ ), mencionado por Carollo M. (2012).

Aplicado al caso de estudio, el concepto de correlación lineal se emplea para estimar los parámetros de la función lineal que modela una dependencia lineal entre dos variables: la demanda de acuerdo con la proyección de población según las estimaciones del DANE (2020) y la demanda de acuerdo con la proyección de suscriptores reportados en el SUI (2022). Para calibrar el modelo se emplean datos conocidos para ambas variables en un periodo comprendido entre 2013 y 2020.

La utilidad de este modelo radica en que se encuentra implícita una lógica de proporcionalidad entre el modelo empleado por el DANE (2020) para proyectar población y la dinámica de crecimiento de suscriptores. Esta aproximación encuentra un sustento importante en los planteamientos teóricos fundamentos estadísticos del DANE (2020) en los ejercicios de proyección.

## A5. Función logística

La función logística, conocida también como curva logística en forma de S (curva sigmoidea), es una función matemática que se utiliza en el crecimiento de poblaciones, mejorando el modelo exponencial. Se define mediante la siguiente ecuación:

$$P(t) = \frac{KP_0 e^{rt}}{K + P_0(e^{rt} - 1)} \quad [8]$$

Donde,  $P$  representa el tamaño de la población,  $r$  representa la tasa de crecimiento,  $e$  es la constante de Euler,  $t$  es el tiempo y  $K$  el tamaño máximo de la población. Mediante la etapa de crecimiento se genera un modelo exponencial y a medida que comienza la saturación, el crecimiento se convierte en un modelo lineal hasta llegar a un punto donde se detiene.

El modelo exponencial de Thomas Robert Malthus no era muy realista, así que el matemático belga Pierre François Verhulst propuso la función logística donde comenta que la tasa de reproducción es proporcional a la población existente y a la cantidad de recursos disponibles, en igualdad de condiciones. Por ende, esta función permite ser utilizada en modelos de crecimiento demográfico. Sin embargo, se debe tener en cuenta que esta función requiere de dos parámetros iniciales, como lo son la población inicial  $P_0$  y el tamaño máximo de la población  $K$ .