

DOCUMENTO TÉCNICO MUNICIPAL

YUMBO, VALLE DEL CAUCA



Superservicios
Superintendencia de Servicios
Públicos Domiciliarios



DOCUMENTO TÉCNICO MUNICIPAL

YUMBO, VALLE DEL CAUCA

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.....	4
Listado de mapas.....	4
1. Introducción	5
2. Generación de vivienda nueva	5
2.1. Tendencia de ventas en la última década.....	6
2.2. Factor demográfico.....	7
2.3. Proyectos estratégicos.....	8
3. Prestación de servicio de agua y alcantarillado.....	9
3.1. Cobertura geográfica de la prestación del servicio.....	9
3.2. Descripción de los sistemas	11
3.3. Concesión de aguas	16
3.4. Permiso de vertimiento de aguas residuales.....	17
3.5. Indicadores de la prestación del servicio.....	17
3.6. Pérdidas de agua.....	18
3.7. Reflexiones sobre las condiciones de la oferta	19
4. Proyección demanda de agua y capacidades de la oferta.....	20
4.1. Postulados básicos.....	20
4.2. Proyección de entrega de viviendas	21
4.3. Crecimiento inercial de la demanda de agua	22
4.4. Planificación de obras.....	24
4.5. Ubicación proyectos estratégicos y áreas de prestación de servicio.....	24
4.6. Balance oferta y demanda	25
5. Conclusiones.....	27
6. Bibliografía.....	29
Anexo 1. Modelos de proyección de demanda.....	31
A1. Filtro de Kalman.....	31
A2. Spline	31
A3. Stine.....	32
A4. Correlación lineal.....	32
A5. Función logística	33

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
- CVC: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
- DAGMA: Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente
- DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística
- DAR: Dirección Ambiental Regional
- DNP: Departamento Nacional de Planeación
- EMCALI: Empresas Municipales de Cali
- ESPY: Empresa Oficial de Servicios Públicos de Yumbo
- 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
- 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
- PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- 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 EMCALI
- Tabla 2. Resumen características de los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales EMCALI
- Tabla 3. Resumen características hidráulicas de los componentes del sistema de acueducto ESPY
- Tabla 4. Resumen características de los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales ESPY
- Tabla 5. Resumen de los indicadores de agua potable y saneamiento básico

- Tabla 6. Resumen de los indicadores de agua potable y saneamiento básico
- Tabla 7. Resultados Indicador Único Sectorial (IUS) 2021

Listado de gráficas

- Gráfica 1. Ventas netas de vivienda en Valle del Cauca
- Gráfica 2. Ventas netas de vivienda según proyectos estratégicos en Yumbo
- Gráfica 3. Ventas netas de vivienda y formación de hogares
- Gráfica 4. Metas de vivienda en proyectos estratégicos
- Gráfica 5. Estimación de entregas de vivienda en Yumbo
- Gráfica 6. Caudal (l/s) según modelos de proyección de demanda base
- Gráfica 7. Oferta y demanda de caudal (l/s) – escenario 1
- Gráfica 8. Oferta y demanda de caudal (l/s) – escenario 2

Listado de mapas

- Mapa 1. Proyectos estratégicos
- Mapa 2. Área de prestación del servicio de acueducto
- Mapa 3. Área de prestación de servicio alcantarillado
- Mapa 4. Servicio de acueducto y proyectos estratégicos
- Mapa 5. Servicio de alcantarillado y proyectos estratégicos

1. Introducción

El documento técnico municipal de la ciudad de Yumbo, Valle del Cauca, se constituye como el informe de resultados de los análisis llevados a cabo en el marco del *“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 en la prestación del servicio. La prestación del servicio está actualmente a cargo de dos empresas: Empresa Oficial de Servicios Públicos de Yumbo - ESPY, y las Empresas Municipales de Cali - EMCALI.

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.

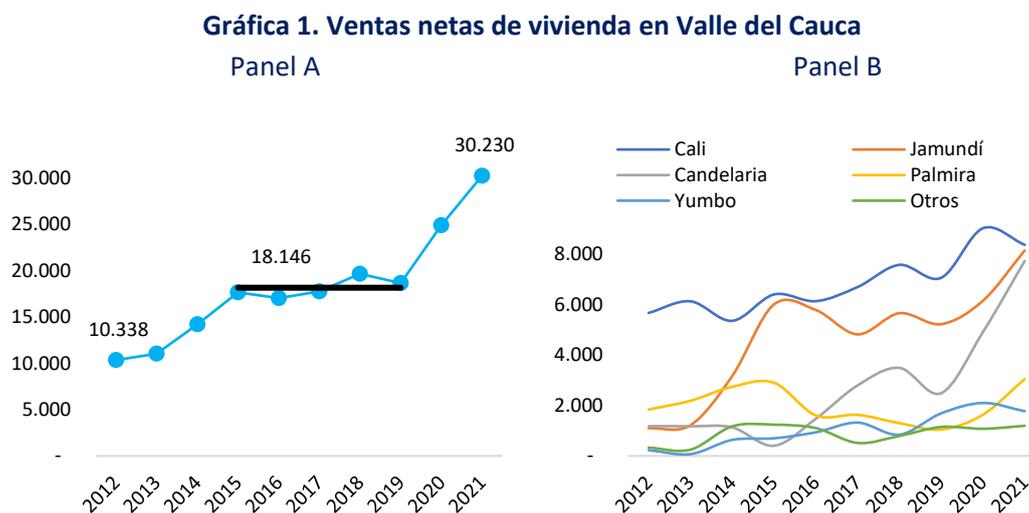
2. Generación de vivienda nueva

En esta sección se estudiará la dinámica de generación de vivienda en la última década en el municipio de Yumbo, Valle del Cauca, 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

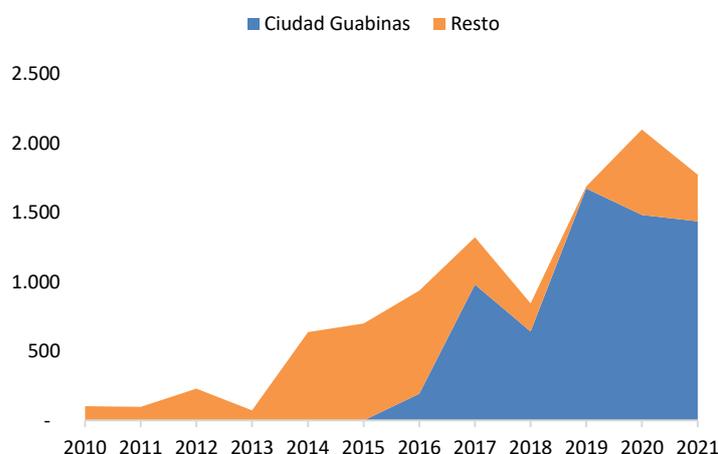
La generación de vivienda en el Valle del Cauca se ha multiplicado casi por tres en la última década (gráfica 1 – panel A) y Yumbo es uno de los municipios que explican este cambio detrás de Jamundí, Candelaria y Palmira. Entre 2012 y 2015 en Yumbo se vendieron un promedio de 410 unidades anuales y para el periodo 2016-2020 el promedio llegó casi a triplicarse, con 1.377 unidades al año. Ya para el año 2021 las ventas se ubicaron por encima de las 1.700 unidades (gráfica 1 – panel B). Así pues, esta ciudad es la quinta de mayor volumen en ventas dentro de la aglomeración de Cali definida por el Sistema de Ciudades¹.



Fuente: Coordinada Urbana – Cálculos Camacol y SSPD

Nota Panel B: Otros se refiere a Tuluá, Puerto Tejada, Guadalajara de Buga, Florida y Buenaventura

Gráfica 2. Ventas netas de vivienda según proyectos estratégicos en Yumbo



Fuente: Minvivienda y Coordinada Urbana – Cálculos Camacol y SSPD

Desde el año 2016 buena parte de las ventas en el municipio se deben al plan parcial Ciudad Guabinas, el cual desde ese año ha vendido 6.400 viviendas (ver gráfica 2). Para el año 2021 estas ventas

¹ Además de la aglomeración de Cali también se tuvieron en cuenta la de Tuluá, y la denominada Cali – Norte Valle por el Sistema de Ciudades.

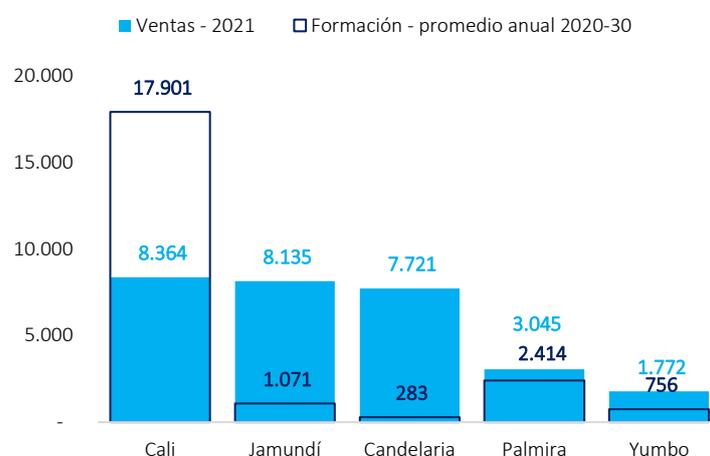
representaron el 81% del total de las ventas en el municipio. La relevancia de este proyecto estratégico se mantendrá en los próximos años, pues la meta de generación de vivienda de este es de 14 mil unidades (ver gráfica 4 de la sección 2.3.).

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 3 contrasta las ventas de vivienda nueva en los principales municipios del Valle en el último año, 2021, con la formación anual promedio de hogares esperada entre 2020 y 2030. Se puede observar que para el municipio de Yumbo se registran ventas de vivienda nueva a 2021 más de dos veces lo que se estima será la formación de hogares en los próximos años.

Gráfica 3. Ventas netas de vivienda y formación de hogares



Fuente: DANE y Coordinada Urbana – Cálculos Camacol y SSPD

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 de la aglomeración a la que pertenece. La relación estrecha al interior de la aglomeración urbana facilita que desbalances entre formación de hogares y generación de vivienda nueva generen procesos migratorios al interior de los municipios que la componen.

Se observa entonces cómo en Cali, centro de la aglomeración, se espera que se formen anualmente un poco más del doble de hogares a las viviendas nuevas que se generan en un año, 9.537 hogares por encima del nivel reciente en ventas. Este desbalance sugiere que hogares que no encuentren vivienda en el centro de la aglomeración se desplazarán a municipios cercanos como los que se observan en la gráfica 3.

2.3. Proyectos estratégicos

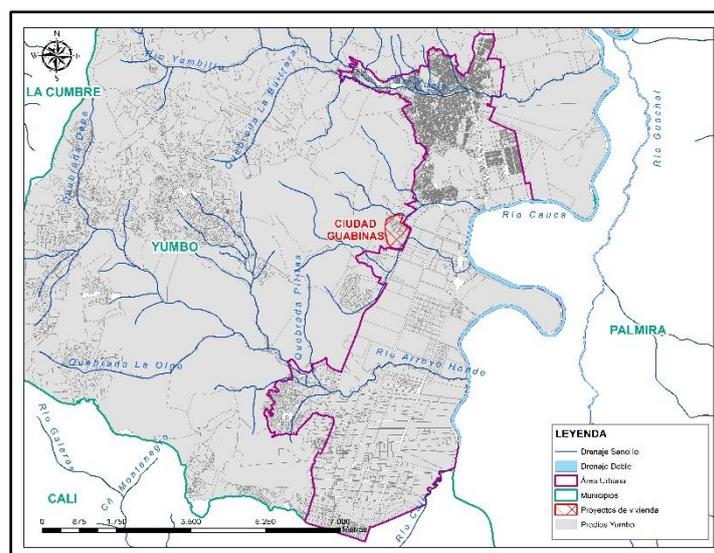
Los proyectos estratégicos de vivienda, planes parciales y macroproyectos, además de ser un mecanismo ideal de gestión y planeación del crecimiento de las ciudades, brindan información del potencial de generación de vivienda más allá de la dinámica general reciente de la comercialización y la proyección 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 Yumbo se identifica el plan parcial Ciudad Guabinas que aportó en 2021 casi el total de las unidades comercializadas de vivienda en el municipio. La ubicación de este proyecto y su extensión se puede ver en el mapa 1.

Mapa 1. Proyectos estratégicos



Fuente: Minvivienda - Elaboración Camacol y SSPD

En la gráfica 4 se descomponen las unidades de vivienda que el proyecto tiene como meta según su estado. Se observa que al plan parcial le falta por desarrollar aproximadamente la mitad de las unidades que tiene como meta, 50,1%; 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. De esta forma, el proyecto estratégico de Ciudad Guabinas tiene un potencial de desarrollar 7.015 unidades en los próximos años.

Gráfica 4. 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 de los dos prestadores de acueducto y alcantarillado del municipio de Yumbo: ESPY y EMCALI, presentando sus áreas de cobertura, descripción de los sistemas de acueducto y alcantarillado, características de sus componentes, concesiones, permisos vigentes y pérdidas de agua.

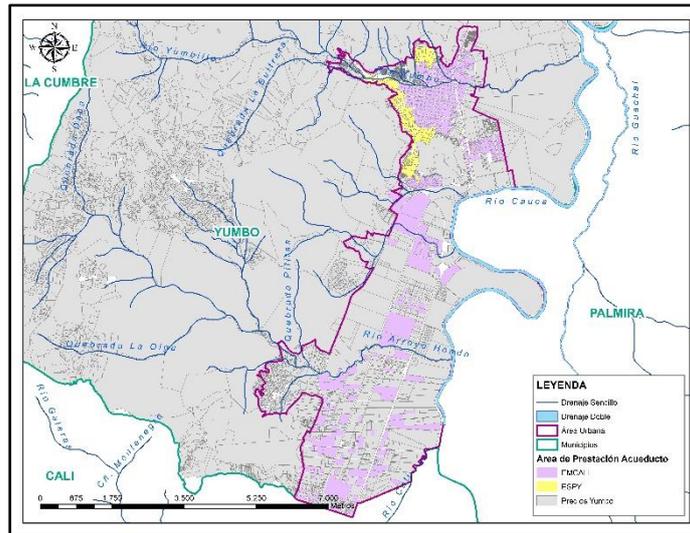
3.1. Cobertura geográfica de la prestación del servicio

La ESPY y EMCALI prestan los servicios de acueducto y alcantarillado en el municipio de Yumbo, abastecido por las aguas de los ríos Mallarino, Cauca, La Rivera, Yumbo, y la quebrada La Buitrera. En la actualidad los prestadores cuentan con un total de 27.886 suscriptores en el área de prestación de Yumbo, de acuerdo con la información más reciente reportada en el Sistema Único de Información - SUI (2022).

La ESPY presta el servicio de acueducto a la zona urbana de Ladera donde se concentran los estratos 1 y 2, la cual cuenta con un 20% del total de los usuarios residenciales del municipio y atiende a una población aproximada de 20.000 habitantes. El área de prestación del servicio de acueducto se ubica en la zona occidente del municipio de Yumbo, limitando al sur con la zona industrial del municipio y al oriente con el perímetro de servicios del prestador EMCALI, como se muestra en el mapa 2.

EMCALI presta el servicio de acueducto destinado al 80% de los usuarios residenciales ubicados en gran parte de la zona urbana del municipio. Adicionalmente, presta el servicio en la zona industrial y una pequeña parte de Ladera. En total atiende 20.302 suscriptores que equivalen a 80.000 habitantes. El área de prestación del servicio de acueducto se ubica en la zona oriente del municipio de Yumbo, limitando al sur, norte y oriente con la zona rural del municipio y al occidente con el perímetro de servicios del prestador ESPY (mapa 2).

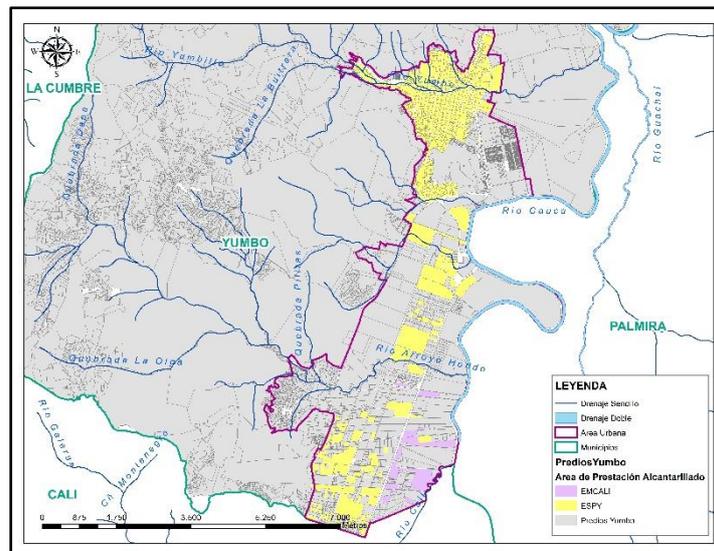
Mapa 2. Área de prestación del servicio de acueducto



Fuente: Elaboración Camacol y SSPD

La ESPY presta el servicio de alcantarillado en toda la zona urbana del municipio. Adicionalmente, atiende la mayor parte de la zona industrial, como se muestra en el mapa 3. EMCALI, por su parte, presta el servicio de alcantarillado en una pequeña parte de la zona industrial del municipio. Como se puede observar, las empresas no tienen la misma área de prestación para los dos servicios, pues mientras EMCALI presta el servicio de acueducto al 80% del municipio, la ESPY se encarga del alcantarillado de más del 80% de este.

Mapa 3. Área de prestación de servicio alcantarillado



Fuente: Elaboración Camacol y SSPD

3.2. Descripción de los sistemas

3.2.1. EMCALI

Con base en la información reportada en el Plan de Emergencias y Contingencias - PEC del prestador EMCALI (2020), la infraestructura del sistema de acueducto permite abastecer totalmente al municipio de Santiago de Cali y parcialmente a los municipios de Palmira, Yumbo y Candelaria con un caudal total concesionado de 9.854 l/s, cuyas especificidades se encuentran detalladas en la sección 3.3.

El sistema de acueducto presta servicio a 2,5 millones de habitantes y consta de procesos de captación, aducción, potabilización, conducción, almacenamiento, bombeo y distribución. Este sistema se conforma por 5 plantas de potabilización, 2 reservorios, 3.071 kilómetros de redes, 19 estaciones de bombeo y 38 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 EMCALI.

Componente	Tipo	Capacidad diseño	Condiciones actuales o caudal operativo	Descripción general
Captación	Bocatoma Puerto Mallarino- Captación Lateral	11.240 l/s	6.355 l/s	Bocatoma lateral en el costado izquierdo del río
	La bocatoma de opera por dos operarios, cada uno en un turno de 8 horas. Bocatoma Río Cauca- Captación Lateral	2.800 l/s	1.689 l/s	Captación Lateral ubicada al costado izquierdo del río compuesta por una rejilla y dos sifones.
	Sistema Río Cali Bocatoma de Fondo	1.000 l/s Capta el agua por medio de unas láminas metálicas perforadas de 16,6 metros de largo y 1,2 metros de ancho.	474 l/s	Cuenta con bocatomas laterales de fondo y la sumergida se abre como contingencia en caso de que la demanda sobrepase la capacidad.
	Sistema Río Cali Bocatoma Lateral	1.700 l/s Capta el agua por medio de una ventana con una reja de 4,5 metros de largo y 2,36 metros de alto, con rieles de 3 ½" cada diez centímetros.	711 l/s	Es la principal captación proveniente de la hidroeléctrica y posee ventaja de las captaciones puesto que el agua captada viene desarenada previamente.
	Hidroeléctrica Chidral	2.000 l/s	ND	
	Bocatoma La Reforma-Superficial Fondo	1.000 l/s	174 l/s	La bocatoma es ejecutada por dos operarios, cada uno en un turno de 8 horas. Se cuenta con un sensor de alerta temprana de inundaciones
	Bocatoma La Reforma-Superficial Lateral		261 l/s	
	Bocatoma La Riviera-Superficial Lateral	90 l/s	33 l/s	La captación se realiza sobre una acequia derivada de la margen izquierda del río Pance (la cual es interceptada mediante una

				bocatoma lateral con capacidad de captación de 90 l/s. Esta captación se hace por gravedad.
Aducción	Planta de Tratamiento de Agua Potable - PTAP Puerto Mallarino: Tubería por bombeo	Las tuberías cuentan con 2.200 l/s	3 tuberías de acero con longitud de 223 Km y diámetro mayor a 24"	En general las líneas de conducción son en canal y tubería por bombeo y gravedad con materiales de acero, hierro fundido.
	PTAP Río Cauca: Tubería por bombeo	Las tuberías cuentan con 1.090 l/s	2 tuberías de hierro fundido con longitud de 2.546 Km y diámetro mayor a 24"	
	PTAP Río Cali: Canal cerrado por gravedad	Canal en concreto reforzado con capacidad de 2.500 l/s	Una tubería con longitud de 2.500 Km y diámetro mayor a 24"	
	PTAP La Reforma: Tubería por gravedad	Tubería con capacidad de 1.000 l/s	Tubería de 2500 Km y diámetro mayor a 24"	
	PTAP La Rivera: Canal trapezoidal	ND	Longitud del canal abierto de 100 metros.	
Desarenadores	Desarenadores en concreto reforzado con diseño en tolva.	ND	El desarenador de la PTAP La Rivera posee un desarenador con longitud de 12 metros y ancho de 1 metro.	La PTAP de Mallarino cuenta con dos desarenadores en paralelo. El sistema de la PTAP del Río Cauca cuenta con una criba vertical auto limpiante. El sistema de la PTAP la Reforma posee dos desarenadores en línea.
Potabilización	PTAP Puerto Mallarino	6.600 l/s	4.313 l/s	Diseñada y construida bajo la tecnología de ciclo completo.
	PTAP Río Cauca	2.500 l/s	1.543 l/s	Diseñada y construida con un sistema de ciclo completo.
	PTAP Río Cali	1.800 l/s	1.103 l/s	De tipo convencional, optimizada modernizando su proceso de filtración.
	PTAP La Reforma	1.000 l/s	402 l/s	Es de tipo convencional tipificado, con la posibilidad de trabajar con filtración directa y en línea.
	PTAP La Rivera	1.000 l/s	9 l/s	Fue adquirida por EMCALI en el 2005, en el año 2010 se construye una nueva planta utilizando algunas estructuras existentes como los filtros lentos
Almacenamiento		40.000 m ³	ND	La PTAP Río Cali cuenta con 5 tanques de almacenamiento

	38 tanques de almacenamiento en total. En concreto-semienterrados	5.000 m ³	ND	La PTAP La Reforma cuenta con dos tanques de almacenamiento
		800 m ³	ND	La PTAP La Rivera cuenta con cinco tanques de almacenamiento
Conducción Distribución	Tuberías	3.071 km de redes con diámetros entre 3" y 56"	La edad promedio de la red de distribución es 25 años.	Tiene como áreas de cobertura las cabeceras municipales de las ciudades de Santiago de Cali y Yumbo y pequeños sectores de Candelaria y Palmira Sus principales materiales son Cloruro de Polivinilo - PVC con una participación del 57,4% siguiéndole el asbesto cemento con el 26,2% y el hierro fundido con el 8,1%.

Fuente: SSPD (2018), EMCALI, (2020, 2022a, 2022b) – Elaboración Camacol y SSPD

El sistema de alcantarillado presta su servicio a aproximadamente 2,3 millones de habitantes de los municipios de Santiago de Cali y Yumbo, mediante procesos de recolección, bombeo, tratamiento y vertimiento de aguas residuales y lluvias. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR de Cañaveralejo es de gran envergadura en el país. De manera general, cuenta con rejillas finas y gruesas, desarenador y sedimentador primario, una línea de tratamiento de lodos y generación de energía como parte del aprovechamiento energético.

La tabla 2 resume las características del sistema de alcantarillado y componentes de EMCALI:

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

Componente	Tipo	Capacidad diseño	Condiciones actuales o caudal operativo	Descripción general
Recolección y transporte	Tuberías	3.372 km redes con diámetros entre 4" y 2,8 m.	La edad promedio de la red de alcantarillado es de 30 años.	Estructura en hormigón simple con una participación del 83,1% siguiéndole el PVC con el 8,8% y el Hormigón Reforzado con el 7,9%.
Tratamiento	PTAR Cañaveralejo: Tratamiento primario avanzado	7.600 l/s	6.370 l/s	Integración de flujos, rejillas, sistema de dosificación de productos químicos, trampa de grasa, desarenadores, sedimentadores primarios, espesadores, digestores anaerobios, deshidratadores de lodos, intercambiador de calor, filtros prensa
Puntos de Descarga	117 vertimientos de agua residual están conectados a la red hídrica de la ciudad y 256 están en los canales de aguas lluvias.	ND	ND	Descarga en el río Cauca mediante la resolución del DAGMA. El agua residual que viaja por los canales llega a los ríos Meléndez, Cañaveralejo y Cali

Fuente: SSPD (2018), EMCALI (2020) – Elaboración Camacol y SSPD

3.2.2. ESPY

El sistema de acueducto que compone la ESPY capta sus aguas del río Yumbo y la quebrada La Buitrera (ver sección 3.3.). A la llegada de la planta de potabilización el agua es dirigida a las unidades de mezcla rápida, clarificación, filtración y posteriormente es bombeada hasta los tanques de almacenamiento que en total poseen un volumen de 3.063 m³.

La tabla 3 resume los componentes del sistema de acueducto y sus principales atributos hidráulicos:

Tabla 3. Resumen características hidráulicas de los componentes del sistema de acueducto ESPY

Componente	Tipo	Capacidad diseño	Condiciones actuales o caudal operativo	Descripción general
Captación	Fuentes superficiales: Río Yumbo y quebrada la Buitrera Bocatoma de fondo	85-95 l/s	ND	Bocatoma de fondo con un ancho útil de 11,7m y una rejilla de derivación de 0,50m conformada por varillas de 5/8" y una separación de 2,5 cm entre varillas.
	Fuentes subterráneas: Pozo profundo Higuieron	30 HP, 160 m de profundidad	30 l/s, durante un periodo de 12 horas al día.	La concesión de agua está dada por la Resolución Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC.
	Pozo profundo Platanares:	Profundidad de 202 metros y capacidad de aprovechamiento de 30 l/s	Tiempo de aprovechamiento de 14 horas al día. Volumen máximo de bombeo 180 m ³ por hora-2520 m ³ por día.	El pozo fue inaugurado en el año 2021 para el beneficio de los barrios Panorama, Buenos Aires y Hacienda Verde.
	Pozo La Estancia:	20 l/s	Tiempo de aprovechamiento de 18 horas al día.	ND
Aducción	Fuentes superficiales: Canal en hormigón reforzado	70-75 l/s	Longitud del canal de 44 m.	Canal en hormigón reforzado con una plantilla de 0,75 m, una profundidad variable que va desde los 0,9 m hasta los 1,4 m aproximadamente.
	Fuentes subterráneas: Pozo profundo Higuieron	ND	Longitud de 2.7 km aprox.	Tubería de hierro dúctil, de diámetro de 10". Desde el tanque Panorama hasta Nuevo Horizonte.
	Fuentes subterráneas: Pozo profundo Platanares:	Bomba de dos etapas marca Franklin Electric de 60 HP a 460 v.	4.7 Km de línea de impulsión con tiempo de permiso de bombeo de 18 horas al día	Tubería de hierro dúctil.
	Pozo La Estancia:	Bomba sumergible con capacidad de 25 l/s	ND	Abastece aproximadamente 2.000 viviendas.
	Pozo Nuevo Horizonte:	ND	ND	Tubería de hierro dúctil, de diámetro de 12".
Desarenadores	Desarenadores en concreto reforzado con diseño en tolva	70 l/s	El desarenador es de 18 m de largo por 3,45 m de ancho, con una profundidad promedio de 2,9 m	Posee un desarenador.
Potabilización	PTAP Barrio la Estancia	20 l/s	Luego del tratamiento el agua es bombeada con tres bombas centrífugas verticales con capacidad de bombeo de 15 l/s cada una.	Cuatro unidades de floculación, en acero de carbono de 1,51m de diámetro X 3m de altura y cuatro unidades de filtración automáticas a gravedad, en acero de carbono, de 1,75m de diámetro x 4m de altura.
	Fuentes subterráneas:	Planta modular compacta de dos	Posee 4 filtros automáticos por módulo	Posee sedimentadores y de inyección de químicos.

	PTAP Platanares	módulos x 30 l/s para un caudal total de 60 l/s		Se entregó la obra a mediados del 18 de febrero de 2022 e hizo parte de las acciones de Vallecaucana de aguas y la Gobernación.
	Pozo Higuerón:	ND	ND	Se hace tratamiento con hipoclorito de sodio, el agua se lleva al reactor y se genera el proceso de sedimentación.
	PTAP Nuevo Horizonte	90 l/s	76 l/s	Convencional, ubicada en el barrio nuevo horizonte, con 18,5 horas de operación al día.
Almacenamiento	Fuentes superficiales: Tanque planta de tratamiento Nuevo Horizonte	1500 L	ND	Tanques de almacenamiento en concreto reforzado.
	Tanque Bellavista	90 L	ND	
	Tanque Manzanillo	500 L	ND	
	Tanque Cruces	250 L	ND	
	Tanque Portachuelo	500 L	ND	
	Tanque Zona Nororiental	200 L	ND	
	Tanque Pechenecito	70 L	ND	
	Tanque Panorama	500 L	Se encuentra conectado con el sistema Nuevo Horizonte	
	Tanque Buenos Aires	70 L	ND	
	Fuentes subterráneas: Pozo Platanares	1000 L en vidrio de sílice fusionado al acero, con diámetro de 18,80 m y 3,72m	ND	
Tanque de la fuente subterránea-PTAP Nueva Estancia. Área de expansión Oriental	760m ³	ND	Tanque en concreto reforzado semienterrado	
Conducción Distribución	Tuberías Nuevo Horizonte	90 l/s	ND	Tubería de 14" de hierro dúctil -Sistema Las Cruces: dos Bombas de 100 HP y una de 50 HP -Sistema Bellavista: dos Bombas de 100 HP, longitud de 54,47 km.
	Tuberías Barrio Nueva Estancia	ND	ND	Redes en PVC instaladas por los urbanizadores de los nuevos terrenos.
	Fuentes subterráneas: Pozo Platanares	Estación de bombeo con caudal de 75 l/s y una potencia de la bomba de 150 HP con velocidad de 1800 rpm.	Actualmente cuenta con una turbina en operación y una en reserva.	Posee una estación de bombeo para el agua tratada con 2 turbinas verticales.

Fuente: ESPY (2020, 2021, 2022a, 2022b) – Elaboración Camacol y SSPD

El sistema de alcantarillado del municipio de Yumbo está distribuido en tres zonas: norte, sur y centro; las cuales están constituidas principalmente por colectores que drenan las aguas residuales combinadas hasta la margen del río Yumbo. Actualmente, el municipio no cuenta con un Sistema de Agua Residual - STAR operativo ya que éste se encuentra en proceso de construcción.

En la tabla 5 se resumen las características del sistema de alcantarillado y sus componentes operados por ESPY:

Tabla 5. Resumen características de los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales ESPY

Componente	Tipo	Capacidad diseño	Condiciones actuales o caudal operativo	Descripción general
Recolección y transporte	Combinado	Sanitaria: 32,05 Km Combinada: 9,85 Km Pluvial 2,12 Km	NA	Sistema de tipo combinado, sanitario y pluvial con tubería en PVC.
	Colectores	Diámetro nominal: 84"	ND	
	Red menor de Alcantarillado	Diámetro nominal: 108"	ND	
	Pluvial: Estructura final de vertimiento	Diámetro nominal: 36"	ND	
	Interceptores	Diámetro nominal: 59"	ND	
Tratamiento	No	N/A	N/A	Se encuentra proyectada la obra en su fase final en acuerdo con CVC y administración municipal de Yumbo.
Puntos de Descarga	Cuenta con dos tipos de vertimientos, el vertimiento puntual colectivo y el vertimiento puntual directo. Posee 13 vertimientos colectivos y 28 vertimientos puntuales directos.	N/A	N/A	La fuente receptora es el río Yumbo.

Fuente: ESPY (2020), SUI (2022) – Elaboración Camacol y SSPD

3.3. Concesión de aguas

El sistema de acueducto de ESPY suministra agua potable a las zonas de Ladera y al barrio La Estancia del Municipio de Yumbo. Capta agua de dos fuentes superficiales denominadas río Yumbo con un caudal concesionado² de 50 l/s y quebrada La Buitrera³ con 11,9 l/s concesionados. Posteriormente se otorgaron⁴ 50 l/s para el río Yumbo y 11,9 l/s para la quebrada La Buitrera, obteniendo un caudal total para las dos fuentes superficiales de 61,9 l/s.

Respecto a la captación de fuentes subterráneas del pozo profundo La Estancia, a ESPY le fue otorgada la concesión⁵ de 25 l/s. En cuanto al pozo Platanares, fue otorgado un caudal⁶ de 50 l/s. El pozo Higuierón fue concesionado⁷ en 2020.

² Resolución DAR SOC No. 00005 del 23 de enero de 2007

³ Resolución 0710 No.0711-000256 del 25 de marzo de 2009

⁴ Resolución CVC 0713-010-002-127 de 2019

⁵ Resolución 0710 de CVC No. 0713- 000602 de fecha 01 de julio de 2016

⁶ Resolución CVC 0710 No. 0713-000251 del 17 de abril del 2020

⁷ Resolución CVC 0710 No. 0713-001398 del 21 de diciembre del 2020.

Por su parte para EMCALI, según la Evaluación Integral adelantada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios - SSPD (2018), la fuente de abastecimiento es el río Cauca con un caudal adjudicado⁸ de 6.300 l/s, el cual aumentó⁹ a 8.000 l/s. Para el río Cali fue otorgado¹⁰ en 2007 y prorrogado¹¹ hasta 2028 con un caudal de 1.500 l/s. En cuanto al río Meléndez¹² se adjudicaron 300 l/s, posteriormente se generó una prórroga¹³. Respecto al río Pance fue otorgado¹⁴ un caudal de 30 l/s, no obstante, se adjudicó¹⁵ en 2018 un caudal de 54 l/s.

3.4. Permiso de vertimiento de aguas residuales

Respecto al permiso de vertimientos de aguas residuales, la CVC aprobó¹⁶ a ESPY el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos - PSMV para la zona urbana del municipio de Yumbo. La ESPY se compromete a implementar el tratamiento y eliminación de los puntos de vertimiento al río Yumbo y la quebrada La Rafaela.

Por su parte EMCALI cuenta con el PSMV otorgado para el período 2016-2030¹⁷ por el Departamento Administrativo de Gestión Medio Ambiente - DAGMA, que fue modificado¹⁸ en 2017, el cual se encuentra orientado al cumplimiento de reducción de carga contaminante que se vierte al río Cauca. A través del acto administrativo se solicita el desvío de aguas servidas y su conducción hacia la Planta de Tratamiento de Cañaveralejo.

3.5. Indicadores de la prestación del servicio

En la tabla 6 se observan los indicadores de la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado en el municipio de Yumbo por parte de los prestadores en estudio:

Tabla 6. 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	0,8	%	0,0 a 5,0	Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable - SIVICAP
Nivel de Riesgo Calidad del Agua	Sin Riesgo	NA	Sin riesgo	SIVICAP
Continuidad	19,1	hr/día	21,1 – 24 (Continuo)	Base sectorial 2020
Índice de Agua No Contabilizada – IANC	54,16	%	25	Base sectorial 2020
Índice de Pérdidas por Suscriptor Facturado - IPUF	15,05	m ³ /susc-mes	6,0	Base sectorial 2020
Tratamiento de Aguas Residuales	Si	ND	Si	Base sectorial 2020

⁸ Resolución 0711-00841 del 18 de noviembre de 2010

⁹ Resolución CVC 0710-0712- 000404 del 26 de marzo de 2018

¹⁰ Resolución CVC 0711- 000690 del 28 de diciembre del 2007

¹¹ Resolución 0710-0712- 000579 del 11 de mayo de 2018

¹² Resolución 0710-0711- 000689 del 28 de diciembre de 2007

¹³ Resolución 0710 No. 0712 001210 de 2018

¹⁴ Resolución 070 No. 0711 000361 de 2011

¹⁵ Resolución 0710-0711- 000321 del 16 de marzo de 2018

¹⁶ Resolución 01000 No. 0710 - 0097 de 19 de febrero de 2016

¹⁷ Resolución No. 4133.021.1484 de 2016

¹⁸ Resolución No. 4133.010.21.058 de 2017

Suscriptores acueducto	27.886	Total suscriptores	ND	Base sectorial 2020
Suscriptores alcantarillado	27.475	Suscriptores residenciales	ND	Base sectorial 2020

Fuente: SSPD (2021) – Elaboración Camacol y SSPD

Los indicadores de desempeño de la prestación del servicio público son construidos con base en la información del PEC, SUI, Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable - SIVICAP, y visitas de vigilancia adelantadas por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios - SSPD.

Teniendo en cuenta el desempeño de los diferentes indicadores y estándares de prestación de servicios se incorporó, 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 EMCALI un nivel de riesgo “Medio bajo” para 2020 y 2021 y para la empresa ESPY un nivel de riesgo “Alto” para 2020 y “Medio alto” para 2021. El detalle de estos resultados se presenta a continuación.

Tabla 7. Resultados Indicador Único Sectorial (IUS) 2020 – 2021

Dimensiones	ESPY				EMCALI			
	2020		2021		2020		2021	
	Puntuación ponderada	Porcentaje de cumplimiento						
1. Calidad del Servicio (CS)	5,79	46,32%	10,29	82,32%	11,07	88,56%	8,33	66,64%
2. Eficiencia en la Planificación y ejecución de inversiones (EP)	2,50	20,00%	3,70	29,60%	11,25	90%	12,50	100%
3. Eficiencia en la Operación (EO)	0	0%	8,41	67,28%	10,49	83,92%	9,49	75,92%
4. Eficiencia en la Gestión Empresarial (GE)	0	0%	10,00	80%	12,50	100%	12,50	100%
5. Sostenibilidad Financiera (SF)	4,94	39,50%	0,00	0%	7,78	62,22%	9,29	74,32%
6. Gobierno y Transparencia (GYT)	0	0%	7,15	57,20%	9,38	75%	9,08	72,64%
7. Sostenibilidad Ambiental (SA)	0	0%	5,00	40%	7,5	60%	10,00	80%
8. Gestión Tarifaria (GT)	2,50	20%	8,76	70,08%	11,25	90%	12,50	100%
IUS	15,73 %		53,31%		81,21%		83,69%	
NIVEL DE RIESGO	Riesgo Alto		Riesgo Medio Alto		Riesgo Medio Bajo		Riesgo Medio Bajo	

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.

El comportamiento del indicador de pérdidas de agua para los prestadores estudiados se revisó así:

- Con base en las consultas realizadas al sistema SUI, en el año 2020 ESPY reportó un volumen de producción anual de 1.677.855 m³/año. Comparando este valor con el volumen facturado reportado al SUI para la vigencia 2020, se estimó un volumen de agua perdida equivalente a 1.007.712 m³/año, lo cual, en términos de este indicador, resultó un valor de IANC de 54,16%.
- Para el año 2020 EMCALI reportó al sistema SUI un volumen de producción anual de 195.199.468 m³/año, teniendo en cuenta que este prestador abastece a los municipios de Cali, Candelaria, Yumbo y Palmira, los valores mencionados corresponden al sistema en su totalidad. Comparando este valor con el volumen facturado reportado a SUI para la vigencia 2020, se estimó un volumen de agua pérdida equivalente a 103.410.693 m³/año, lo cual, en términos de este indicador, resultó un valor de IANC de 53% para este sistema.

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 15,05 m³/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.

Por otro lado, se evidencia que el prestador ESPY realiza transacciones por compra de agua en bloque para la vigencia 2020, en un volumen de 135.292 m³, siendo el proveedor EMCALI.

3.7. Reflexiones sobre las condiciones de la oferta

En el municipio de Yumbo gran parte de la cobertura urbana del servicio de acueducto es atendida por el prestador EMCALI y algunos predios que corresponden a la zona rural (ver mapa 2). El área restante es complementada por ESPY, cuya operación se centra en el servicio de alcantarillado cubriendo la totalidad del área urbana y la mayor parte de la zona industrial (ver mapa 3). Los indicadores reflejan lo dicho anteriormente, pues la cobertura urbana de acueducto y alcantarillado es de 100% y 99,98% respectivamente, para los centros poblados. Para fincas y viviendas dispersas representa el 25,42% y 24,29%, respectivamente.

El Índice de Riesgo de Calidad del Agua - IRCA presenta un valor de 0,8 que clasifica este municipio "Sin Riesgo" (ver tabla 6), lo que indica que el agua del municipio es apta para consumo humano, 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 las zonas de Bellavista, Las Cruces y Panorama presentan valores que oscilan entre las 6 y 8 horas al día para el prestador ESPY. Por el contrario, para el prestador EMCALI el indicador es de 23,93 horas al día, obteniendo un valor municipal de 19,1 (ver tabla 6).

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 ESPY y EMCALI en Yumbo, que incluye el desarrollo urbanístico del proyecto estratégico Ciudad Guabinas.
- b. El APS para la ESPY está constituida por suscriptores de usos comercial, oficial, especial y estratos socioeconómicos del 1 al 3 y; el APS para EMCALI 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 el DAGMA y la CVC.
- 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):

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

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 4 de la sección 2.3.) o fuera de ellos (resto). Por el otro, se realizaron estimaciones sobre la generación de vivienda nueva, es decir, supuestos lanzamientos de proyectos que se realizarán 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 tarda¹⁹ cada fase hasta la entrega se estima el año de entrega de las viviendas. Los tiempos que se usan son los calculados para viviendas de interés social²⁰, 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 proceso 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 y a estos se les aplica el tiempo entre el lanzamiento y la entrega. Dicha estimación se realiza 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%²¹ anual. Luego de comparar ambas velocidades se tomó la que mostrara el mayor número de unidades por año entre las dos, 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 2 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. Esto se supone razonable al tener en cuenta el desbalance

¹⁹ Ejemplos de estos tiempos (calculados con información previa a la usada en este estudio) se pueden ver en Camacol (2019).

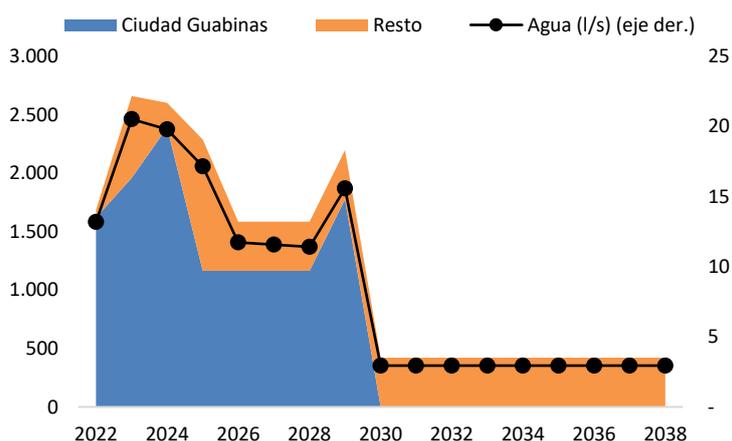
²⁰ La vivienda social o VIS son viviendas que tienen un valor igual o inferior a los 135 salarios mínimos legales vigentes y de 150 salarios en aglomeraciones urbanas definidas por el decreto 1467 de 2019.

²¹ 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).

entre formación de hogares y generación de vivienda en Cali, que incide directamente en la generación de vivienda dentro de los municipios de la aglomeración, como es el caso de Yumbo (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 5 hay algunos picos de entregas en los años 2023 y 2029 con 2.660 y 2.190 unidades entregadas, respectivamente. El proyecto Ciudad Guabinas entregará unidades de vivienda hasta el año 2029 de acuerdo con los métodos de estimación descritos previamente. 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 5).

Gráfica 5. Estimación de entregas de vivienda en Yumbo



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. Co lo cual se tiene en cuenta las necesidades reales de la ciudad.

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

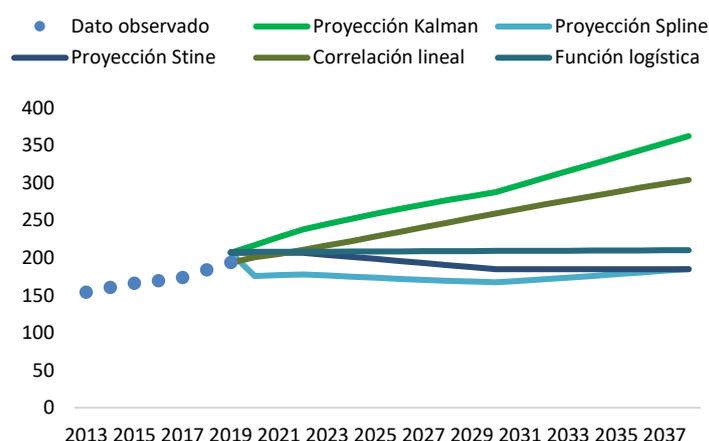
Usando los suscriptores contabilizados por el SUI entre 2013 y 2020 se proyecta su tendencia mediante distintos modelos estadísticos. Posteriormente, se traduce los suscriptores a agua usando la ecuación [1] y los postulados *i.*, *j.* y *k.* de la sección 4.1.

Cabe resaltar que 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 desbalance 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.

Gráfica 6. Caudal (l/s) según modelos de proyección de demanda base



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

Para el escenario 2 se pusieron en práctica varios modelos estadísticos: Filtro de Kalman, Spline, Stine, regresión lineal simple²² y función logística, las cuales se detallan en el Anexo 1. Los resultados obtenidos por los modelos (gráfica 6) permiten evidenciar que los modelos Spline, Stine y la función logística, presentan una disminución en la proyección de los suscriptores y un comportamiento relativamente constante en el tiempo. Esto hace que sean descartadas, pues la población normalmente tiende a aumentar y así mismo la cantidad de suscriptores que demandan los servicios públicos.

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

²² 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.

4.4. Planificación de obras

4.4.1. ESPY

La construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Yumbo (ESPY, 2022a), es una obra liderada por la CVC y la Administración Municipal de Yumbo. Uno de los objetivos de esta planta es disminuir los niveles de contaminación en las cuencas hídricas de los ríos Yumbo y Cauca (ESPY, 2021), proyectando atender el caudal generado por la cabecera municipal de Yumbo hasta el año 2042.

Según la CVC esta planta podrá operar bajo un caudal medio de 200,5 l/s y un máximo de 432,3 l/s. Estos datos son una proyección al año 2030, año en el que se espera permita tratar las aguas residuales de una población de aproximadamente 99.920 habitantes de 23 barrios de la cabecera municipal. La CVC definió una inversión total de \$50.000.000.000 de los cuales \$45.833.290.409 son para la obra y el resto para su interventoría (CVC, 2020).

Esta PTAR también hace parte del plan de inversiones en expansión, reposición y rehabilitación de alcantarillado de ESPY, el cual tendrá una inversión, en materia de construcción y puesta en marcha, de \$21.108.550.871 en el año 2023 (ESPY, 2015).

4.4.2. EMCALI

El prestador de servicios EMCALI tiene proyectado construir las obras matrices de acueducto para el refuerzo Sameco - Estación de Bombeo Puerto Isaacs – Yumbo, obra que tendrá un costo aproximado de \$30.000.000.000. Adicionalmente, está gestionando la elaboración de la consultoría de un Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, del que se espera como producto un plan completo de obras por etapas para el área de prestación del servicio entre las que se espera la inclusión de aquellas destinadas a la expansión de capacidad para Yumbo en los próximos 10 años (EMCALI, 2022b).

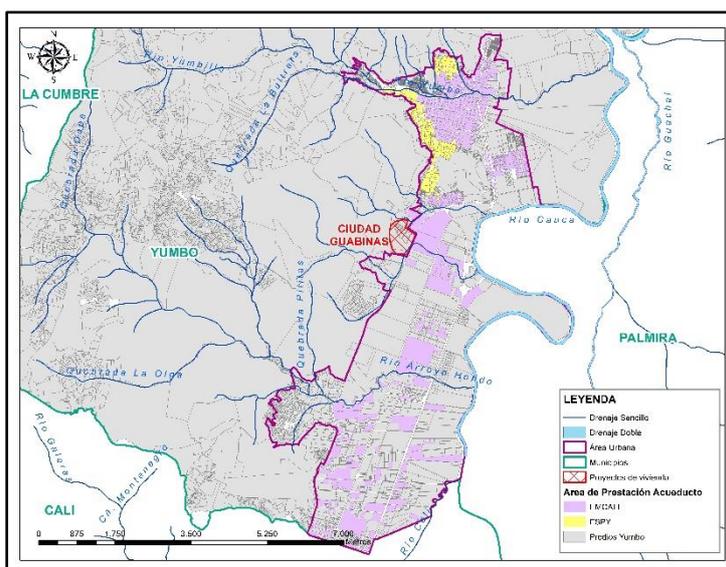
4.5. Ubicación proyectos estratégicos y áreas de prestación de servicio

Dado que el municipio de Yumbo cuenta con dos prestadores de servicios públicos para acueducto y alcantarillado, se tienen dos panoramas para cada uno. Como se observa en el mapa 4, la empresa EMCALI abastece la mayor parte del municipio en materia de acueducto, incluyendo las zonas aledañas al proyecto estratégico Ciudad Guabinas, por tanto, se puede inferir que, dada la ubicación de este con respecto al área de prestación de EMCALI, es altamente probable que sea este prestador el que se encargue del abastecimiento de agua en este proyecto.

Como se observa en el mapa 5 la empresa ESPY se encarga de la recolección y transporte de las aguas residuales de la mayor parte del municipio y requerirá la ampliación de redes en materia de alcantarillado que permitan prestar este servicio al proyecto estratégico Ciudad Guabinas, dada la cercanía de este con su área de manejo del saneamiento básico.

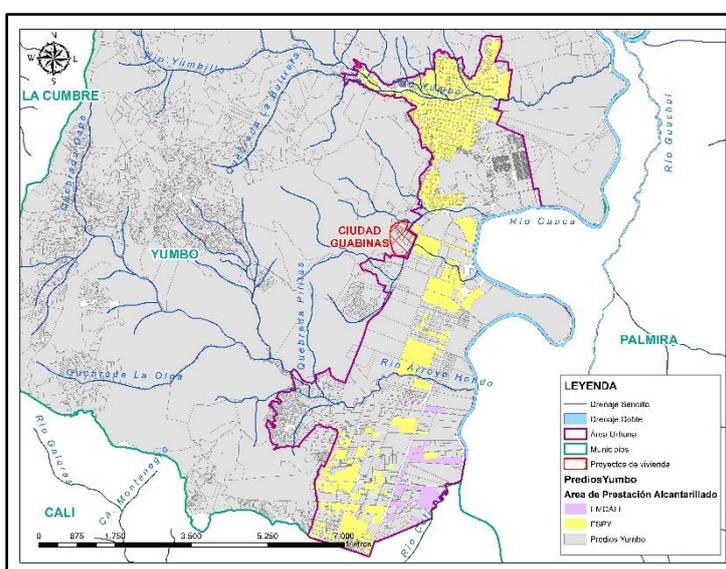
Esto permite concluir que el proyecto de vivienda Ciudad Guabinas no se encuentra dentro del área de prestación de las empresas contempladas, por tanto, es necesario el ajuste al POT y con esto, la ampliación del perímetro de servicios de los prestadores para dar cobertura en materia de acceso de acueducto y alcantarillado a los habitantes de estas nuevas viviendas.

Mapa 4. Servicio de acueducto y proyectos estratégicos



Fuente: Minvivienda - Elaboración Camacol y SSPD

Mapa 5. Servicio de 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 concesionado²³ (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

²³ Es necesario aclarar que el prestador EMCALI presta sus servicios a los municipios de Cali, Palmira, Candelaria y Yumbo, por consiguiente, para hallar el dato del caudal concesionado y capacidad instalada se ponderó cada municipio con relación al número de suscriptores atendidos para cada uno.

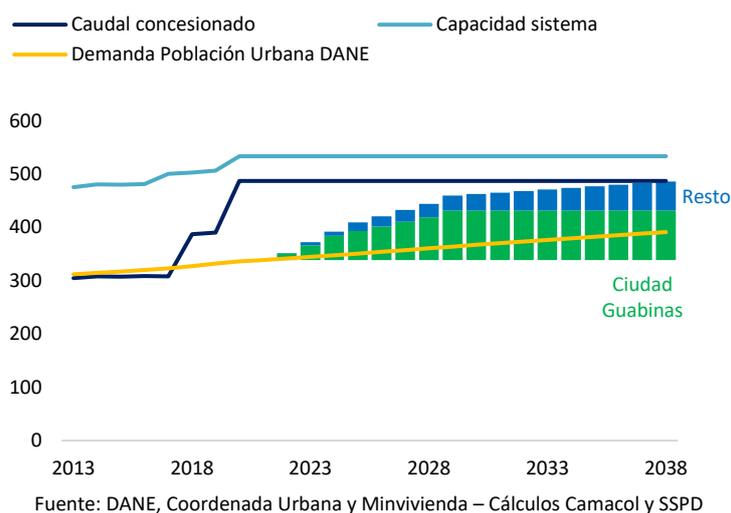
la capacidad de satisfacer la demanda de agua que se va a generar en los próximos años debido al desarrollo de proyectos estratégicos de vivienda, así como del desarrollo inmobiliario fuera de estos.

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, 487 l/s. Con relación a la capacidad instalada, se observa (gráficas 7 y 8) un incremento en los últimos años dada a la apertura de nuevas instalaciones para ampliar la cobertura del servicio por parte del prestador ESPY, puntualmente los Pozos Platanares e Higuero, de esta manera se tiene una capacidad de 533 (l/s). Igualmente, se aprecia que la capacidad es incluso superior al caudal concesionado.

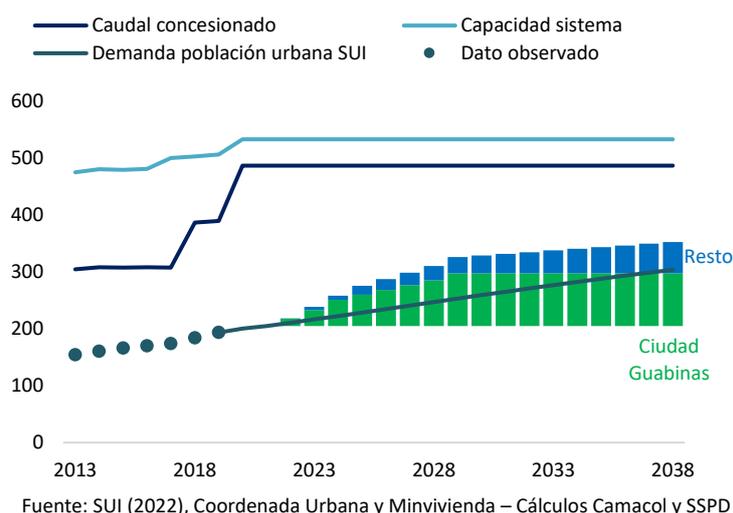
En la gráfica 7 se presenta los resultados del escenario 1. Se observa que el agua que se demandará por el desarrollo del proyecto estratégico Ciudad Guabinas, y por la generación de vivienda en el resto del municipio desde 2022, se ubica por encima de lo proyectado con base en la población esperada por el DANE en todos los años. Desde 2035 la demanda de agua estaría muy cerca del caudal concesionado.

Gráfica 7. Oferta y demanda de caudal (l/s) – escenario 1



En el caso del escenario 2 la lectura es similar (gráfica 8). El caudal adicional demandado por la entrada de nuevas viviendas supera el caudal esperado por la proyección de suscriptores, con base en la tendencia observada, en todos los años. Sin embargo, al final de periodo analizado, 2038, no se evidencia que la demanda por agua esté cerca del caudal concesionado.

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



Lo anterior se debe a diferencias en la base de demanda de agua que proyecta en cada escenario en el año 2021. En el escenario 2 la base depende de la cantidad de suscriptores, con lo cual no necesariamente recoge el hecho de que en los últimos años pudo haber problemas de acceso de la población al recurso hídrico. Por otro lado, el escenario 1 asume que toda la población tiene acceso.

En ese sentido, si en los próximos años se logra que el total de la población en el municipio tenga acceso al agua de manera adecuada, más allá de la generación de vivienda, la demanda por el recurso estará muy cerca del límite concesionado desde el año 2035.

5. Conclusiones

La generación de vivienda en el municipio se ha cuatuplicado en la última década. En el último año las ventas de vivienda nueva superaron las 1.700 unidades. Estas ventas se encuentran por encima de la formación esperada de hogares en los próximos años, esto explicado por desbalances en la oferta y demanda de vivienda en la aglomeración de Cali²⁴, que derivan en procesos migratorios hacia el municipio de Yumbo.

El proyecto estratégico Ciudad Guabinas representó, en el último año, el 80% de las ventas en el municipio. El potencial de generación de vivienda de este proyecto se mantendrá hasta 2029, pues la mitad de la meta de vivienda aún falta por desarrollarse.

Dos empresas, ESPY y EMCALI, prestan el servicio de acueducto y alcantarillado en el municipio. La infraestructura del servicio de acueducto consta de captación, aducción, desarenadores, potabilización, almacenamiento, conducción y distribución. Los sistemas de potabilización tienen capacidad de 533 l/s, y el caudal concesionado es de 487 l/s²⁵. La categorización del riesgo de la calidad del agua es “sin riesgo”, la continuidad del servicio es de 19,1 horas y el indicador de pérdidas de agua es de 54,2%.

²⁴ Definida por el Sistema de Ciudades del DNP (2014)

²⁵ Vale la pena mencionar que los prestadores cuentan con un caudal concesionado por parte de la autoridad ambiental de 10.018 l/s, sin embargo, este dato en proporción a la dimensión de suscriptores del municipio de Yumbo estaría aproximado a 487 l/s.

De acuerdo con el APS del servicio de acueducto y dada la cercanía geográfica al proyecto estratégico Ciudad Guabinas, el prestador EMCALI podría estar a cargo del servicio de acueducto de éste, mientras que ESPY podría prestar el servicio de alcantarillado, teniendo en cuenta la cercanía geográfica.

De acuerdo con el indicador sintético IUS, el riesgo para la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado del prestador EMCALI se clasifica con riesgo “Medio bajo” según el análisis de la vigencia más reciente. En esta calificación se destacan fortalezas en las dimensiones: *gestión tarifaria, eficiencia en la gestión empresarial y eficiencia en la planificación y ejecución de inversiones*. Por su parte la empresa ESPY se clasifica con riesgo “Medio alto” de acuerdo con el análisis de la vigencia más reciente. En esta calificación se destacan debilidades en las dimensiones: *sostenibilidad financiera, eficiencia en la planificación y ejecución de inversiones, sostenibilidad ambiental y gobierno y transparencia*.

Al contrastar la proyección de demanda de agua a 2038 con las capacidades del sistema, se encuentra que, asumiendo que se presta servicio a la totalidad de la población urbana, la demanda se ubicaría muy cerca al límite de concesión de agua en 2035. Por el contrario, si se proyecta la demanda con base en el crecimiento observado de los suscriptores (que no necesariamente abarca toda la población), al final del periodo las capacidades del sistema podrían satisfacer los requerimientos de la demanda por el recurso hídrico.

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
- Camacol. (2019). *Prospectiva Edificadora 2019. Una visión de corto y mediano plazo*. 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/>
- CVC. (2020). *Inició la construcción de la fase I de la Ptar de Yumbo*. <https://cvc.gov.co/2020248>
- 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-desagregacion-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.
- EMCALI. (2020). *Plan de emergencia y contingencia Acueducto y Alcantarillado 2020. Plan de emergencia y Contingencia Acueducto y Alcantarillado- Reporte SUI*.
- EMCALI. (2022a). *Radicado SSPD 20225290616352. Respuesta EMCALI E.I.C.E E.S.P. solicitud de información*. 6.
- EMCALI. (2022b). *Radicado SSPD 20225291539302. Respuesta EMCALI E.I.C.E E.S.P. solicitud de información*. (p. 3).
- ESPY. (2015). *PLAN DE INVERSIONES EN EXPANSIÓN, REPOSICIÓN Y REHABILITACIÓN ALCANTARILLADO QUE VAN A COSTOS DE REFERENCIA Y ESTRUCTURAS TARIFARIAS VALOR DEL PLAN DE INVERSIONES ALCANTARILLADO ZONA ATENDIDA POR LA ESPY 2015 - 2025*.
- ESPY. (2020). *Plan de emergencia y contingencia 2020*.
- ESPY. (2021a). *Plan de Emergencia y Contingencia Acueducto y Alcantarillado 2021 (Issue 2)*.
- ESPY. (2021b). *Reportes públicos SUI*. http://www.sui.gov.co/riesgo/anexos/sui_ane_2020_1_10240345_2056683.pdf

- ESPY. (2021c). *ESPY S.A. E.S.P.* //www.espyumbo.gov.co/noticias/344-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-ptar-cuenta-con-un-avance-del-52
- ESPY. (2022a). *Radicado SSPD 20225290610152 respuesta ESPY S.A. E.S.P. a la solicitud de información* (p. 3).
- ESPY. (2022b). *Radicado SSPD 20225291392392- Respuesta EMCALI E.I.C.E E.S.P. a la solicitud de información* (p. 15).
- 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>
- Gonzales Morcillo, C (s.f.). *Splines: Curvas y Superficies.* <http://www.inf-cr.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/AC/splines.pdf>
- Megbolugbe, I., et al. (1991). *The Economic Theory of Housing Demand: A Critical Review. The Journal of Real Estate Research*, 6(3), 381-393.
- 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
- Minvivienda. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.* Bogotá DC.
- Minsalud. (2017). *Resolución 0330 de 2017.*
- SSPD. (2018). *Evaluación Integral de Prestadores. Empresas Municipales de Cali E.I.C.E. E.S.P. - EMCALI E.I.C.E. E.S.P. Superservicios Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2(003), 1-224*
- SSPD. (2021). *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
- 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 α_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 α_t (se supone que α_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 α_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:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_{n-1}x^{n-1} + a_nx^n \quad [6]$$

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, α es la ordenada en el origen (el valor que toma y cuando x vale 0), β es la pendiente de la recta (e indica cómo cambia y al incrementar x en una unidad) y ε 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:

$$P(t) = \frac{KP_0e^{rt}}{K+P_0(e^{rt}-1)} \quad [8]$$

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 .