



**Diagnóstico de la capacidad hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable
de la ciudadela La Prosperidad – operada por Aguas de La Prosperidad S.A.S. E.S.P.
en Madrid – Cundinamarca**

Luisa Fernanda Wilches Garzón

Trabajo de práctica presentado para optar al título Ingeniera Sanitaria

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Asesora interna

Verónica Isabel Castro Sánchez MSc en Ingeniería Ambiental

Universidad de Antioquia Facultad de ingeniería

Escuela ambiental.

Ingeniería Sanitaria

Medellín

2024

Cita	(Wilches, 2024)
Referencia	Wilches Garzón. L. (2024) <i>Diagnóstico de la capacidad hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de la prosperidad – operada por Aguas de La Prosperidad S.A.S. E.S.P. en Madrid – Cundinamarca</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

Quisiera en primer lugar expresar mi más sincera gratitud a la Universidad de Antioquía, que me acogió y me brindó educación de la más alta calidad, a cada una de las personas que a lo largo del camino se ha cruzado conmigo y me ha permitido un espacio para conversar, debatir e incluso llegar a consensos desde lo objetivo hasta lo subjetivo, viabilizando el diálogo enriquecedor, equilibrado y constructivo que ha formado mi pensamiento crítico.

A cada una de las empresas que me abrió las puertas para realizar práctica profesional agradecerles por ofrecerme un espacio donde aplicar mis conocimientos, y crecer tanto personal como profesionalmente. Mi agradecimiento especial va dirigido a todos los ingenieros y demás funcionarios quienes con su guía, experiencia y apoyo me ayudaron a desarrollarme como futura Ingeniera Sanitaria, cada consejo, cada enseñanza marcaron profundamente mi formación.

Así mismo quiero agradecer a mi asesora de prácticas Verónica Isabel Castro y a mi coordinador de prácticas Guillermo Sepúlveda por la paciencia y comprensión que hay tenido conmigo a lo largo de este periodo.

Por otra parte, quiero agradecer a todas las personas que, de una u otra manera, me acompañaron en este proceso, a mi familia, Dora, Aleja y Brian que han sido el motor que me impulsó a seguir adelante en los momentos más difíciles a pesar de la distancia, a Paula y la profesora Laura, que han recorrido este camino brindándome su apoyo incondicional, a mis amigos y compañeros por estar presentes.

Finalmente agradecer a mi padre que, aunque no esté físicamente conmigo, sembró en mí la semilla del conocimiento a través de su ejemplo, y día a día sigue siendo fuente de inspiración, esfuerzo y dedicación.

Tabla de contenido

1.	Introducción	13
2.	Planteamiento del problema.....	15
3.	Justificación.....	16
4.	Objetivos	17
4.1	Objetivo general:	17
4.2	Objetivos específicos:	17
5.	Marco teórico.	18
5.1.1.	Ubicación del proyecto.....	20
5.1.2.	Descripción del proyecto.....	21
5.1.5.	AIREACIÓN	24
5.1.6.	MEZCLA RÁPIDA Y FLOCULACIÓN	24
5.1.7.	FILTRACIÓN	24
5.1.8.	DESINFECCIÓN	24
6.	Metodología.	25
7.	Resultados y análisis.	26
7.1.	Diagnóstico.....	26
7.1.1.	Sistema de abastecimiento de agua	26
7.1.1.1	Abastecimiento agua de pozo	27
7.1.1.2.	Caudales y sistema de bombeo pozos.....	28
7.1.1.3.	Fuente de abastecimiento aguas lluvias	31
7.1.1.4.	Caudales y sistema de bombeo agua lluvia	32

7.1.2. Resumen de caudales fuentes de abastecimiento Pozos y EBALL.....	34
7.1.3. Líneas de impulsión sistema de abastecimiento.....	35
7.1.3.1. Impulsión desde pozos hasta PTAP.....	35
7.1.3.2. Impulsión desde EBALL hasta PTAP	37
7.1.4. Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP	38
7.1.4.1. Aireación.....	40
7.1.4.2. Mezcla rápida y coagulación	42
7.1.4.3. Filtración.....	44
7.1.4.4. Desinfección	46
7.1.4.5. Tanques de Almacenamiento.....	47
7.2. Dotación, pérdidas y caudales.....	48
7.2.1. Dotación Neta y Caudal residencial.....	49
7.2.1.1. Pérdidas.....	51
7.2.1.2. Dotación bruta	52
7.2.1.3. Caudal medio diario residencial	52
7.7. Tablero técnico ALP	56
8. Conclusiones	58
9. Recomendaciones.....	60
10. Referencias.....	61
11. Anexos.....	63
Anexo 1. Tren de Tratamiento Planta Agua Potable Aguas de La Prosperidad.....	63
Anexo 2. Dashboard Técnico Aguas de La Prosperidad	64

Lista de Tablas

Tabla 1. Áreas unidades de gestión.....	22
Tabla 2. Localización y caudales de los pozos	27
Tabla 3. Bombeo y caudales de los pozos	29
Tabla 4. Bombeo y caudales EBALL	33
Tabla 5. Características de impulsión pozos	35
Tabla 6. Características de impulsión EBALL	37
Tabla 7. Etapas PTAP	38
Tabla 8. Capacidad hidráulica Aireación.....	42
Tabla 9. Capacidad hidráulica Mezcla Rápida y Coagulación	43
Tabla 10. Capacidad hidráulica Filtración	45
Tabla 11. Capacidad hidráulica Desinfección.....	46
Tabla 12. Dotación neta máxima/hab según los m.s.n.m. de la zona atendida	49
Tabla 13. Caudal medio diario residencial (Qmd_residencial) proyectado.....	53

Lista de Figuras

Figura 1. Localización geográfica de la Ciudadela La Prosperidad.....	20
Figura 2. Pozos de agua subterránea, pozo 1 y pozo 2	28
Figura 3. Caudal diario de bombeo de los pozos 1, 2 y 3	30
Figura 4. Localización pondajes, PATP, EBALL y línea de impulsión.	32
Figura 5. Caudal diario de bombeo de la EBALL	33
Figura 6. Aporte de caudales pozos y EBALL	34
Figura 7. Vista Planta de Tratamiento Agua Potable	39
Figura 8. Dinámica de caudales a tratar	40
Figura 9. Proceso de aireación.	41
Figura 10. Proceso de mezcla rápida y coagulación	43
Figura 11. Proceso de filtración.	45
Figura 12. Tanques de almacenamiento.....	48
Figura 13. Comportamiento consumo enero a junio urbanizaciones Ciudadela La Prosperidad.....	50
Figura 14. IANC primer semestre de 2024.	51

Siglas, acrónimos y abreviaturas.

PTAP	Planta de Tratamiento de Agua Potable
UG1	Unidad de Gestión 1
UG2	Unidad de Gestión 2
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
ALP	Aguas de La Prosperidad
QMD	Caudal Máximo Horario
EBALL	Estación de Bombeo de Agua Lluvia
IANC	Índice de Agua No Contabilizada

Resumen

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Aguas de La Prosperidad es la encargada de suministrar y abastecer la demanda del recurso hídrico de La Ciudadela La Prosperidad, ubicada en el municipio de Madrid – Cundinamarca, esta planta opera desde el año 2018, actualmente cuenta con 14788 suscriptores, para satisfacer la necesidad hídrica, la planta se abastece de tres (3) pozos de aguas subterráneas, con un caudal total concesionado de 92.13 L/s, así mismo se abastece de aguas lluvias, por medio de un sistema de Pondajes, los cuales almacenan el agua lluvia para luego ser dirigidos a la planta por medio de una red de interconexión entre estos.

Debido a que la planta de tratamiento de agua potable está en funcionamiento desde hace seis (6) años y a los eventos recientes de escases de agua relacionados al fenómeno del niño y abatimiento del acuífero, el presente informe expone el estado de capacidad hidráulica actual, en donde se analizaron las etapas actuales que componen el tren de tratamiento, su capacidad hidráulica actual, comportamientos de caudales de captación, comportamientos de demanda de agua, por suscriptor y por centro urbano, así mismo se realizó una proyección de demanda futura para conocer la oferta requerida para abastecer a la población en los años próximos.

El resultado de este proyecto es el análisis de capacidad hidráulica actual de la planta de tratamiento comparada con la futura, encontrando que actualmente se encuentra operando al 77,406% de la capacidad total disponible atendiendo un caudal residencial (Qmd) de 58,25 L/s y 14.788 suscriptores, con una proyección de demanda de 76,04 L/s para atender los 19.305 suscriptores proyectados. Esto con el fin de proporcionar herramientas al operador para la toma de

decisiones y así lograr una gestión adecuada del recurso hídrico, abasteciendo a la comunidad asegurando cantidad, calidad y continuidad en la prestación del servicio.

Palabras clave: Acueducto; Agua potable; capacidad hidráulica; demanda, oferta, agua subterránea, aguas lluvias.

Abstract

The Aguas de La Prosperidad Potable Water Treatment Plant is responsible for supplying and meeting the water demand of the Ciudadela La Prosperidad, located in the municipality of Madrid – Cundinamarca. This plant has been in operation since 2018 and currently serves 14,788 subscribers. To meet the water demand, the plant is supplied by three (3) groundwater wells, with a total concessioned flow rate of 92.13 L/s. Additionally, it is supplied with rainwater through a system of reservoirs, which store rainwater and then direct it to the plant via an interconnected network.

Since the potable water treatment plant has been in operation for six (6) years, and considering recent events of water shortages related to the El Niño phenomenon and aquifer depletion, this report presents the current state of hydraulic capacity. It analyzes the current stages that make up the treatment process, its current hydraulic capacity, water intake flow behaviors, water demand behaviors per subscriber and urban center, and provides a future demand projection to determine the supply required to meet the population's needs in the coming years.

The result of this project is an analysis of the current hydraulic capacity of the treatment plant compared to future demands. The goal is to provide tools to the operator for decision-making, ensuring proper water resource management that supplies the community with water, ensuring quantity, quality, and continuity in service delivery.

Keywords: Aqueduct; Potable water; Hydraulic capacity; Demand; Supply; Groundwater;
Rainwater.

1. Introducción

El crecimiento económico y la seguridad en la salud pública están intrínsecamente vinculados a la provisión de servicios de alta calidad, teniendo en cuenta que el agua potable es un recurso natural esencial para la existencia de la vida y asegurar su consumo y el tratamiento adecuado es igualmente garantizar los derechos que están estrechamente ligados a éste, a saber: la vida, la salud y la dignidad humana. (Mejía, 2018)

En este sentido las plantas de tratamiento de agua potable son una obra de ingeniería que busca asegurar la calidad del agua y mejorar las condiciones de vida de la población, por ende, contribuye al aseguramiento de la salud pública.

En esta visión, la empresa de servicios públicos Conhydra S.A. E.S.P., es una organización que cuenta con experiencia en área del saneamiento y servicios públicos desde el año 1996, su misión es gestionar integralmente el recurso hídrico contribuyendo al desarrollo sostenible, generando valor a los grupos de interés, sin embargo, en el contexto actual del cambio climático, la creciente preocupación por la escases del agua y problemáticas generadas con el abastecimiento de agua a las comunidades y los hechos recientes ocurridos en Colombia durante el fenómeno del niño, desafían a las empresas a encontrar estrategias eficaces y sostenibles para la gestión del agua.

Bajo esta perspectiva se realizó la evaluación hidráulica de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Aguas de La Prosperidad – ALP para analizar cada una de las unidades con el fin de verificar su adecuado funcionamiento, capacidad de operación de acuerdo con la población actual y futura, así como su cumplimiento normativo.

Actualmente la Planta de Tratamiento de Agua Potable - PTAP cuenta con una concesión de agua de tres (3) pozos de agua subterránea de 35 L/s, 21 L/s y 35 L/s respectivamente, otorgada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR. Así mismo, la planta se abastece de agua lluvia, la cual se recolecta por medio de pondajes, esto con el fin de asegurar cantidad y continuidad del servicio para los 14.558 suscriptores que se tienen en promedio en lo que va del año 2024.

El sistema de tratamiento se comprende en dos etapas, cada una de ellas con una capacidad de 32 L/s, es decir, un total de 64 L/s. Estas etapas están compuestas de diversos módulos, que incluyen aireación, oxidación química, coagulación, filtración y desinfección.

2. Planteamiento del problema

El agua en el ordenamiento jurídico colombiano tiene una doble connotación pues se erige como un derecho fundamental y como un servicio público. En este sentido, todas las personas deben poder acceder al servicio de acueducto en condiciones de cantidad y calidad suficiente y al Estado le corresponde organizar, dirigir, reglamentar y garantizar su prestación de conformidad con los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad (Humberto Antonio Cierra, 2011).

Desde este punto de vista es de gran importancia asegurar la prestación del servicio a la población atendida cumpliendo con los índices de cantidad, continuidad y calidad del agua potable, cumpliendo así con los estándares sanitarios, garantizando la salud pública, el bienestar social y la sostenibilidad del recurso hídrico.

Así mismo, es de gran importancia mencionar que el cambio climático es uno de los mayores desafíos a los que se enfrentan las empresas de servicios públicos en cuanto a la gestión del recurso hídrico para la prestación de y suministro de agua potable, ya que el aumento de las temperaturas, los cambios en los patrones de precipitación, la intensificación de los fenómenos de la Oscilación del SUR (ENOS), son factores que complican dicha gestión, teniendo en cuenta que la demanda de agua es directamente proporcional con el aumento de las temperaturas y el crecimiento poblacional.

estopor lo anterior, es imprescindible realizar análisis hidráulicos a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable, puesto que brindan información valiosa para asegurar una operación eficiente, brindando herramientas que permitan la toma de decisiones que van encaminadas a la continuidad y eficiencia en la prestación del servicio.

3. Justificación

El presente trabajo presenta un análisis hidráulico de la Planta de Tratamiento que abastece la Ciudadela La Prosperidad, en donde se describe la operación actual de esta, mencionan aspectos importantes en cuanto a la captación, análisis de caudales, operación de las unidades que componen la planta y distribución del agua potable, por otra parte en el desarrollo del presente trabajo se identificó la necesidad de desarrollar una herramienta que permitiera el procesamiento de los datos que se recopilan periódicamente y aquellos que se leen en tiempo real por medio de equipos de medición en línea, esto con el fin de procesar las bases de datos de una forma más amigable a la lectura, generando información de valor que permita la toma de decisiones oportunas, implementado así un tablero técnico con la ayuda de la herramienta Power BI desarrollada por Microsoft, procesando información acerca de la gestión técnico comercial - población atendida - , calidad del agua, consumo de energía asociada a la operación e información técnica de medición, tales como caudales, presiones y niveles del agua.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general:

- Elaborar un diagnóstico hidráulico de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Aguas de la Prosperidad.

4.2 Objetivos específicos:

- Realizar una investigación documental en la que se determinen los parámetros claves con los que debe cumplir las plantas de tratamiento de agua potable.
- Identificar los procesos unitarios que componen la planta de tratamiento.
- Presentar las memorias de cálculo con las variables y parámetros evaluados exigidos por la normatividad.
- Proponer alternativas de mejora de los procesos de la PTAP para aumentar el tiempo de operación y vida útil.

5. Marco teórico.

El agua es uno de los pilares del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es un decisivo vínculo entre la sociedad y el medioambiente (ONU, 2023).

En 2015, tres de cada diez personas en todo el mundo no tenían acceso a servicios de suministro de agua gestionados de forma segura (OMS/UNICEF, 2017). Para garantizar los servicios de abastecimiento de agua, como el agua potable para todos, existe una serie de condiciones previas: i) el agua debe estar disponible, ii) el agua debe ser accesible, y iii) el agua debe ser suficientemente tratada. (Naciones Unidas, 2019)

Bajo esta perspectiva, la meta 6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible consiste en proporcionar acceso universal y equitativo a agua potable salubre y asequible. El seguimiento de la meta se realiza mediante el indicador relativo a los servicios de suministro de agua potable gestionados de manera segura, es decir, agua potable procedente de una fuente mejorada ubicada en el lugar de uso, disponible cuando se necesita y sin contaminación fecal ni por sustancias químicas prioritarias. (OMS, 2023)

En este sentido, una Planta de Tratamiento de Agua Potable es un sistema que está compuesto por varias etapas, las cuales están diseñadas para eliminar contaminantes que están presentes en el agua cruda y convertirla en agua potable de alta calidad. Los procesos de tratamiento comunes incluyen procesos de coagulación, sedimentación, filtración y desinfección.

En este orden de ideas, en Colombia el tratamiento de agua potable se rige bajo diferentes normas como el Reglamento Técnico del Sector de Agua potable y Saneamiento Básico del año 2000 - RAS 2000 contempla en su Título C Sección II aspectos generales para el diseño de los sistemas de tratamiento de agua potable, hoy en día considerados como buenas prácticas de ingeniería.

El 08 de junio del año 2017 entró en vigor la Resolución 0330 “por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de agua Potable y Saneamiento Básico” – RAS 0330 de 2017, el cual reglamentó los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. Siendo esta aplicable a los prestadores de servicios públicos, pero también a los diseñadores, constructores, interventores, operadores, y otras entidades o personas contratantes que elaboren o adelanten diseños, ejecución de obras y sistemas propios del sector de agua y saneamiento básico. (MinVivienda, 2017).

Asimismo, La Resolución 2115 del 22 de junio 2007 “*por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*”, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio De Protección Social de Colombia establece los parámetros y estándares de calidad del agua potable. El monitoreo de la calidad del agua es esencial para asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares establecidos. Los parámetros comunes que se monitorean incluyen pH, turbidez, sólidos disueltos totales y cloro residual, entre otros. Este monitoreo garantiza que el agua sea segura para su consumo al evaluar aspectos físicos, químicos y microbiológicos, y detectar la presencia de sustancias y microorganismos no deseados.

Además, también indica que el Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano IRCA es un instrumento que mide la probabilidad de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano.

5.1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

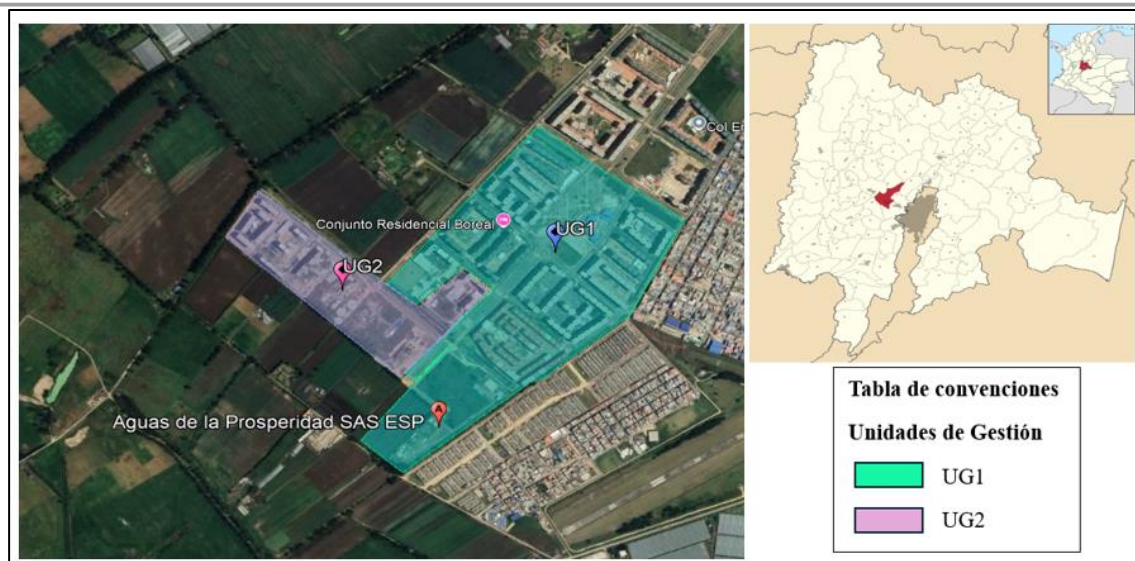
5.1.1. Ubicación del proyecto

El proyecto objeto de estudio se ubica en el municipio de Madrid, en el departamento de Cundinamarca, dentro de la zona geográfica del plan parcial Ciudadela La Prosperidad.

La Ciudadela La Prosperidad limita al norte con la vía que de Madrid conduce al municipio de Facatativá; al sur con predios privados, al oriente con el sector conocido como el Sosiego y otros barrios del municipio; y al occidente con el Instituto Cristiano de Juan Pablo y predios privados (Figura 1).

Figura 1.

Localización geográfica de la Ciudadela La Prosperidad.



Nota. Adaptado de Google Maps.

5.1.2. Descripción del proyecto

El proyecto Ciudadela La Prosperidad, actualmente se divide en dos etapas, llamadas Unidades de Gestión: UG1 y UG2, tal y como se muestra en la Figura 1, adicionalmente tiene contempladas dos unidades más, denominadas UG3 y UG4, estas cuentan con un tiempo de implementación de 13 años a partir del año 2028 (Tabla1).

En la Tabla 1 se muestran las unidades de gestión con la destinación de área correspondiente a las unidades de gestión existentes.

Tabla 1.

Áreas unidades de gestión

Destinación áreas	Unidades de gestión		
	UG1	UG2	Total
Área Neta Urbanizable (m ²)	635.055	236.467	871.522
Área Comercial (m ²)	35.600	0	35.600
Área Equipamiento (m ²)	43.300	19.200	62.500

Nota. Adaptado ALP.

5.1.3. Dotación

La dotación bruta para el diseño de cada uno de los componentes que conforman un sistema de acueducto se debe calcular conforme a la siguiente ecuación:

$$D_{bruta} = \frac{d_{neta}}{(1 - \%p)}$$

Donde,

- Dbruta: Dotación bruta
- dneta: Demanda neta de agua potable proyectada por suscriptor (m³/suscriptor-mes)
- %p: Porcentaje de pérdidas técnicas máximas para diseño.

Nota: El porcentaje de pérdidas técnicas máximas en la ecuación anterior engloba el total de pérdidas esperadas en todos los componentes del sistema (como conducciones, aducciones y redes) y no deberá superar el 25%. (MinVivienda, 2017)

5.1.4. Caudal de diseño

5.1.4.1. Caudal medio diario

Para un sistema de tratamiento de agua potable el caudal aplicado es el caudal máximo diario (QMD), que es el resultado de multiplicar el caudal medio diario por un factor K1, el cual en ningún caso serán superior a 1,3.

$$Q_{md} = \frac{\#suscriptores * D_{bruta}}{30}$$

Donde,

- Q_{md} : Caudal medio diario
- D_{bruta} : Dotación bruta, En esta ecuación 30 representa el número de días en el mes.

5.1.4.2. Caudal Máximo Diario

El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un período de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, k1.

$$QMD = Q_{md} * K1$$

Donde,

- Q_{md} : Caudal medio diario
- K1: Factor de mayoración igual a 1,3.

5.1.5. AIREACIÓN

La aireación en un sistema de tratamiento tiene como finalidad la remoción de gases disueltos y olores, así mismo la adición de oxígeno disminuye las sustancias volátiles del agua, por el oxígeno ayuda a oxidar el hierro Fe y el Manganese Mn, lo que mejora el sabor del agua al paladar.

5.1.6. MEZCLA RÁPIDA Y FLOCULACIÓN

La coagulación es el proceso que neutraliza los sólidos suspendidos cargados en el agua. Como las partículas naturales son típicamente negativas, los coagulantes o productos químicos cargados positivamente se agregan al proceso para neutralizar la carga. (Business, 2024)

5.1.7. FILTRACIÓN

La filtración del agua es un procedimiento que permite eliminar del agua sólidos suspendidos. Esto permite eliminar los contaminantes sólidos insolubles en aguas. (MinAmbiente, 2000)

5.1.8. DESINFECCIÓN

La filtración del agua es un procedimiento que permite eliminar del agua sólidos suspendidos. Esto permite eliminar los contaminantes sólidos insolubles en aguas

6. Metodología.

Para comenzar a desarrollar el proyecto, se realizó una visita de campo el día 9 de julio a la Planta de tratamiento Aguas de La Prosperidad, ubicada en el municipio de Madrid – Cundinamarca. Esto con el objetivo de recopilar información en campo acerca su funcionamiento y operación, así como conocer los desafíos a los que se habían enfrenado recientemente con el fenómeno del niño.

Luego, se realizó una revisión bibliográfica que facilitó la recopilación de la información por parte del operador y su análisis. La revisión bibliográfica incluyó la búsqueda de normas técnicas colombianas aplicables a la gestión del recurso hídrico y a empresas prestadoras de servicios públicos.

Posteriormente, se recopiló información suministrada por el la empresa y los operadores de la planta sobre: tren de tratamiento, operación diaria de la planta, proyección de demanda de agua y proyecciones de crecimiento, informes de laboratorio de calidad de agua y demás información de interés para la gestión del recurso hídrico y prestación del servicio. Con esta información se realizó el diagnóstico operacional de la planta.

Una vez obtenida la información necesaria, se desarrolló el diagnóstico de cada una de las fases que componen la planta de tratamiento, es decir: captación, aireación, mezcla rápida y floculación, filtración y desinfección, así mismo se realiza el procesamiento de la información referente a la dotación, consumo actual de la población atendida y análisis de los resultados de laboratorio de calidad del agua, comparándolos así con la Resolución 2115 de 2015.

7. Resultados y análisis.

7.1. Diagnóstico

El diagnóstico y análisis realizado de la infraestructura existente buscaba evaluar si es suficiente para satisfacer las demandas actuales de agua, así mismo las futuras del servicio de agua potable, ya que esto permite identificar deficiencias en la capacidad actual (si las hay) y así implementar mejoras para prestar un servicio adecuado y de calidad a la población atendida. Dicho diagnóstico permitió identificar lo siguiente:

7.1.1. Sistema de abastecimiento de agua

La empresa Aguas de la Prosperidad atiende actualmente a 14.788 suscriptores activos, con corte al mes de agosto.

Actualmente la planta se abastece de pozos de agua subterránea y de aguas lluvias, las cuales son transportadas por la línea de impulsión hasta el inicio del tren de tratamiento, para ser tratadas bajo los estándares de calidad de la Resolución 2115 de 2007, las cuales son almacenadas en un sistema de tanques para luego ser enviada a la población atendida por medio de redes de distribución.

En el Anexo 1 se muestra el tren de tratamiento de la PTAP Aguas de la Prosperidad.

7.1.1.1. Abastecimiento agua de pozo

Se tienen tres (3) pozos profundos los cuales actualmente se encuentran en operación, estos cuentan con concesión de agua subterránea, con un caudal total otorgado de 92.13 L/s, los cuales fueron otorgados a la empresa por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, a través de la Resolución 3026 de 30 de diciembre de 2015, con una vigencia de diez (10) años con posibilidad de prórroga, esta debe solicitarse ante la misma entidad, esto quiere decir que la empresa debe solicitar el próximo años la renovación de esta. A continuación, se indican los caudales asignados a cada pozo en la Tabla 2.

Tabla 2.

Localización y caudales de los pozos

Pozos	Ubicación			Caudal Concedido (L/s)	Caudal Concedido (m ³ /mes)	Tiempo De Bombeo (Horas/día)
	Coordenada Este	Coordenada Norte	Elevación			
1	976868	1015072	2561	35	90,720	12
2	977361	1015244	2560	22.13	57,361	21
3	977239	1014744	2561	35	90,720	12
TOTAL				92.13	238,801	

Nota. Adaptado ALP.

Figura 2.

Pozos de agua subterránea, pozo 1 y pozo 2.



Nota. Foto: Luisa Fernanda Wilches.

7.1.1.2. Caudales y sistema de bombeo pozos

A continuación, en la Tabla 3, se presenta la información acerca de los sistemas de bombeo utilizados para el abastecimiento de cada uno de los pozos, aquí se registran caudales de la bomba, los cuales se obtuvieron a partir de las curvas de rendimientos (estudio realizado en el año 2023), caudal promedio y caudal máximo bombeado durante el año 2024 hasta el mes de junio. Cabe resaltar que la información acerca del rendimiento de la bomba fue tomado por un estudio de éstas que fue realizado en el año 2023.

Tabla 3.

Bombeo y caudales de los pozos

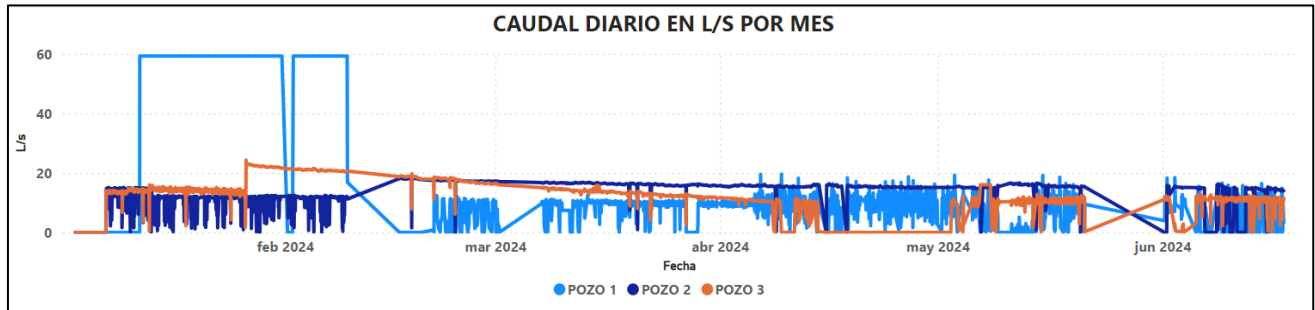
Pozo	Modelo bomba	TDH [m]	Caudal bomba [L/s]	Caudal concesión [L/s]	Caudal máximo bombeado 2024 [L/s]	Caudal promedio bombeado 2024 [L/s]
1	Franklin Electric de 125 HP modelo 425-SSI 13-125 A 440 Voltios	181,896	37	35	16,87	19,03
2	Franklin Electric de 100 HP modelo 425-SS5I100f36-1185 A 440 Voltios	201,08	24	22,13	18,41	13.63
3	Franklin Electric de 125 HP modelo 425-SSI 13-125 A 440 Voltios	201,08	35	35	24,28	11,48
TOTAL			96	92,13	59,56	30,51

Nota. Adaptado ALP.

De acuerdo con la información anterior, se evidencia que para los pozos 1, 2 y 3 el caudal máximo bombeado durante el periodo de año 2024, desde el mes de enero hasta el mes junio se encuentra por debajo del caudal concesionado. Así mismo, el caudal promedio bombeado por día en L/s para los pozos 1, 2 y 3 es de 19.03, 13.63 y 11,48 respectivamente, donde el pozo 1 es el que más aporta, luego le sigue 2 y finalmente el pozo 3. Por otra es importante monitorear el comportamiento de cada una de las fuentes de abastecimiento, esto con el fin de llevar un control de estos, por lo que a continuación se presenta un gráfico del comportamiento de los pozos.

Figura 3.

Caudal diario de bombeo de los pozos 1, 2 y 3.



Nota. Elaboración propia.

En la figura 3, se presenta la demanda de agua de cada uno de los pozos en funcionamiento, lo que indica que el consumo es relativamente homogéneo. Es de importancia destacar que desde el 12 de enero hasta el mes de febrero se observa un aumento significativo en el caudal del pozo 1, con cifras superiores a 50 L/s, a lo que corresponde a una complicación en el sistema de bombeo, a lo que da lugar a realizar un mantenimiento del pozo y la línea de bombeo, es por esto que este de valor de caudal no se tuvo en cuenta para los cálculos realizados. Así mismo, observando el comportamiento de cada uno de estos a lo largo del periodo del 2024, todos reflejan una variabilidad en la demanda de agua, lo que puede influir en la planificación y gestión del sistema.

Sin embargo, estas variaciones en el consumo de agua de los pozos pueden ser atribuidas a diversos escenarios relacionados con la operación propia de la planta, como mantenimientos preventivos o correctivos programados, lo que puede influir en su operación óptima.

Es importante tener en cuenta que estos factores para la planificación, puesto que esto asegura el abastecimiento eficiente y confiable del sistema de suministro de agua potable a la comunidad beneficiada.

Es relevante mencionar que actualmente la empresa ha adelantado permisos de prospección para tres (3) pozos adicionales, estos pozos tienen un caudal total estimado de 120 L/s, lo que significa que la Ciudadela La Prosperidad contaría con un total de 212 L/s de oferta hídrica proveniente de aguas subterráneas.

A la fecha se ha llevado a cabo la construcción de uno (1) de los tres (3) pozos con permiso de prospección, denominado como pozo N°5, el cual se encuentra ubicado dentro del predio de Aguas de la Prosperidad SAS, en el municipio de Madrid, específicamente en la Ciudadela La Prosperidad. El objetivo principal de este pozo es explorar las aguas subterráneas del acuífero confinado del Grupo Guadalupe.

7.1.1.3. Fuente de abastecimiento aguas lluvias

Como iniciativa de protección y conservación del acuífero, Aguas de La Prosperidad S.A.S. E.S.P. aprovecha las aguas lluvias generadas en la Ciudadela, con el objetivo de complementar el suministro de agua y así reducir la extracción de caudales de los pozos, estas acciones se vienen desarrollando desde el año 2022.

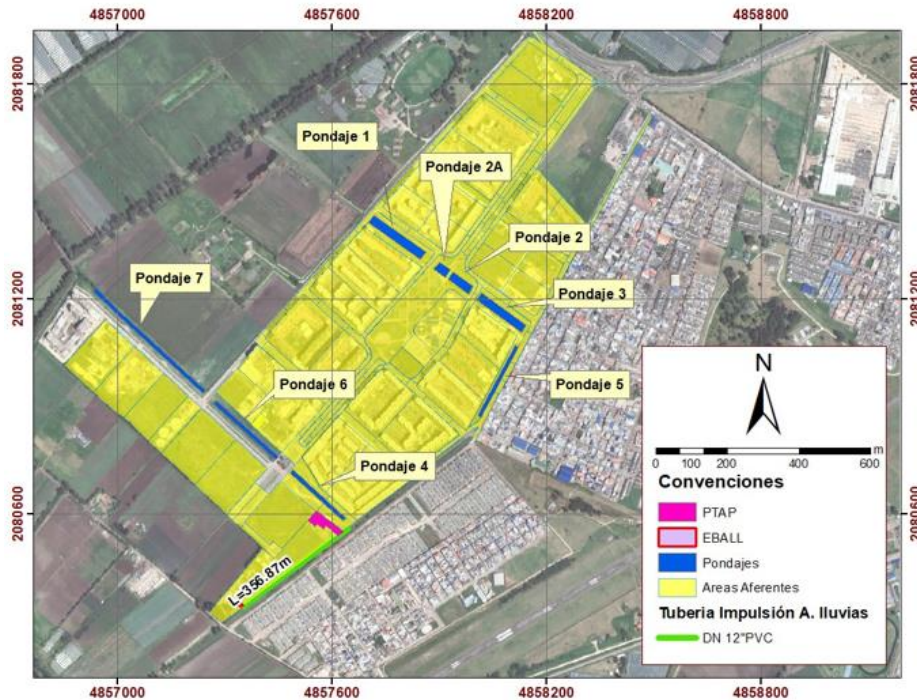
La ciudadela cuenta con un sistema de Pondajes, el cual está compuesto por 8 unidades de pondajes, los cuales se encuentran interconectados con el sistema pluvial de la ciudadela, así mismo este sistema al almacenar el agua lluvia juega un papel muy importante en los picos de lluvias, ya que evita el colapso del sistema pluvial, permitiendo una adecuada evacuación de las aguas, esto a través del Sistema de Bombeo de Aguas Lluvias – EBALL.

A continuación, en la Figura 4 se indican la ubicación de los pondajes dentro de la Ciudadela La Prosperidad, así mismo la localización de la PTAP, la Estación de Bombeo de Aguas

Lluvias y la línea de impulsión de estas.

Figura 4.

Localización pondajes, PATP, EBALL y línea de impulsión.



Nota. Tomada de ALP, 2024.

7.1.1.4. Caudales y sistema de bombeo agua lluvia

En la Tabla 4 que se muestra a continuación, se muestra información acerca del sistema del bombeo utilizado para el abastecimiento de aguas lluvias. En esta tabla se registra el caudal máximo bombeado desde el mes de enero hasta el mes de agosto. Así mismo, se muestra información acerca de la bomba utilizada, en la tabla 3 registran el caudal de la bomba, el cual se obtuvieron a partir de las curvas de rendimiento (estudio realizado en el año 2023).

Tabla 4.

Bombeo y caudales EBALL

Pozo	Modelo bomba	TDH [m]	Caudal bomba [L/s]	Caudal máximo bombeado 2024 [L/s]
EBALL	TSURUMI de 15 HP modelo 80 NHCC211-62 A 440 Voltios	49	15	26.25

Nota. Adaptado ALP.

A continuación, se muestran los caudales diarios de aguas lluvias extraídos por la bomba en el año 2024, desde el mes de enero hasta agosto.

Figura 5.

Caudal diario de bombeo de la EBALL



Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con la información de la Figura 5, se evidencia el comportamiento del caudal extraído proveniente de la Estación de Bombeo de Agua Lluvia, donde se observa que para los meses de marzo y abril es de 0 L/s, esto se debe a que en estas fechas el país se enfrentaba al fenómeno del niño y Cundinamarca fue uno de los departamentos más afectado. Por otra parte se

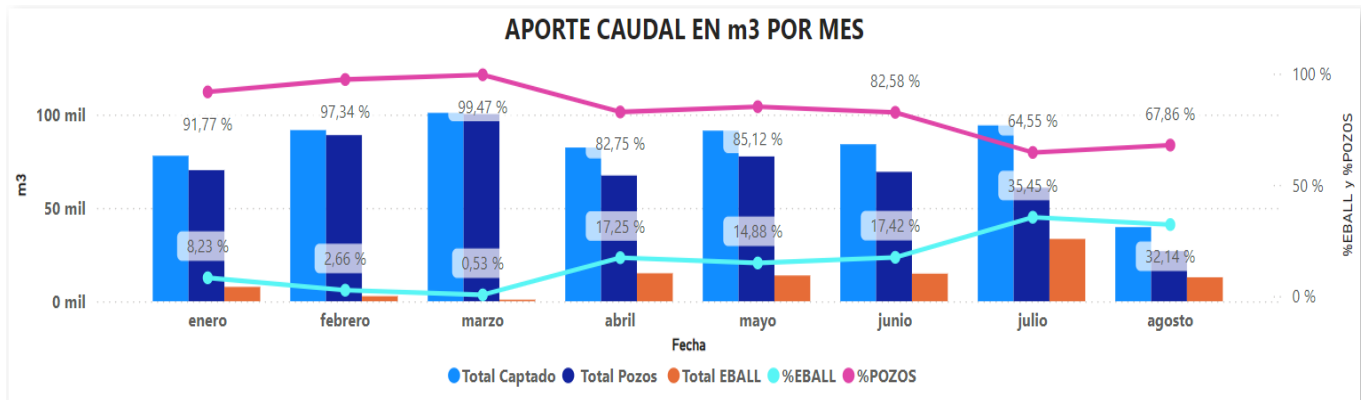
observa que para los meses de julio y agosto su aporte es considerable, con un valor máximo de extracción de 26.25 L/s.

7.1.2. Resumen de caudales fuentes de abastecimiento Pozos y EBALL

Con el objetivo de analizar los caudales provenientes de cada una de las fuentes de abastecimiento utilizadas actualmente por el sistema de acueducto que opera la empresa ALP y abastece la comunidad de La Ciudadela La Prosperidad, se realizó una comparación de aportes de caudal que alimentan la PTAP y se muestran en la Figura 6.

Figura 6.

Aporte de caudales pozos y EBALL



Nota. Elaboración propia.

Al analizar los resultados se observa que el mayor aporte lo realizan los pozos de aguas subterráneas, sin embargo, las aguas lluvias para los meses de julio y agosto realizan un aporte de 35.45% y 32.14% respectivamente, siendo estos los más altos en el transcurso del año 2024. Por otra parte, el aporte menos significativo de las aguas lluvias estuvo en los meses de febrero y marzo con aportes de 2.66% y 0.53% respectivamente, a lo que muy probablemente esté asociado al fenómeno del niño en Colombia. Es importante tener en cuenta que el caudal aportado por las aguas

lluvias es variable y depende del régimen de lluvias de cada año.

7.1.3. Líneas de impulsión sistema de abastecimiento

Para los sistemas de abastecimiento la planta cuenta con sistemas de impulsión, tanto para la extraída de los pozos como para la de pondajes, a continuación, se realiza una descripción de estas.

7.1.3.1. Impulsión desde pozos hasta PTAP

La planta cuenta actualmente con tres (3) líneas de impulsión, correspondientes a cada uno de los pozos en operación y se comprende de tubería PVC, cabe resaltar que cada una de esta cuenta con diferentes longitudes y diámetros.

- **Pozo 1:** Cuenta con una longitud de 721 m y un diámetro de 8”
- **Pozo 2:** Cuenta con una longitud de 936 m y un diámetro de 8”
- **Pozo 3:** Cuenta con una longitud de 294 m y un diámetro de 8”

A continuación, se presenta una tabla con las principales características.

Tabla 5.

Características de impulsión pozos

Punto inicio impulsión	Punto de llegada impulsión	Capacidad requerida actual (L/s)	Diámetro (Pulg)	Longitud (m)
Pozo 1	PTAP	35	8	721
Pozo 2	PTAP	22	8	936
Pozo 3	PTAP	35	8	294

Nota. Adaptado ALP.

De acuerdo con el Artículo 15, "Aducción y Conducción", de la Resolución 0799/2021 emitida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - MVCT, se establecen los parámetros de velocidad mínima y máxima en las redes de aducción o conducción por gravedad o impulsión por bombeo. Según dicha normativa, la velocidad mínima permitida es de 0.5 m/s, mientras que la velocidad máxima varía en función del material de la tubería, siendo de 10 m/s para tuberías de PVC. Utilizando estos parámetros y considerando el diámetro de la tubería, se calcula el caudal mínimo y máximo que pueden transportar las líneas de impulsión. Este cálculo es esencial para evaluar la capacidad actual y futura del proyecto.

$$Q (\text{Caudal}) = V(\text{velocidad}) \times A (\text{área})$$

$$\text{Área} = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{0.2^2}{4} = 0.03 \text{ m}^2$$

$$Q_{min} = V_{min} \cdot A = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.03 \text{ m}^2 = 0.016 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 16 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$Q_{max} = V_{max} \cdot A = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.03 \text{ m}^2 = 0.3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 300 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Es importante mencionar que no se recomienda operar con las velocidades máximas en las redes de aducción, ya que esto implica mayores pérdidas hidráulicas, por otra parte, disminuye el tiempo de vida de las tuberías (Iagua, 2024).

Teniendo en cuenta que cada línea de impulsión es independiente, que el caudal máximo captado fue de 49.54 L/s y que este es la suma de cada una de las fuentes, se puede inferir que cuentan con la capacidad necesaria para transportar el caudal actual.

7.1.3.2. Impulsión desde EBALL hasta PTAP

El agua que se transporta desde la Estación de Bombeo de Aguas Lluvias hasta la PTAP, comprende de una línea de impulsión de tubería PVC y cuenta con una longitud de 398 m y un diámetro de 12”. A continuación, se presenta una tabla con la información más relevante de este proceso.

Tabla 6.

Características de impulsión EBALL

Punto inicio impulsión	Punto de llegada impulsión	Capacidad actual (L/s)	Diámetro (Pulg)	Longitud (m)
EBALL	PTAP	26	12	398

Nota. Adaptado ALP.

De acuerdo con la información anterior, se calcula el caudal mínimo y caudal máximo que puede transportar, si antes mencionar que la capacidad actual corresponde al caudal máximo transportando hasta la fecha, el cual corresponde al día 21 de julio de 2024.

$$Q \text{ (Caudal)} = V(\text{velocidad}) \times A \text{ (área)}$$

$$\text{Área} = \pi \frac{D^2}{4} = \pi \times \frac{0.3^2}{4} = 0.07 \text{ m}^2$$

$$Q_{min} = V_{min} \cdot A = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.07 \text{ m}^2 = 0.035 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 35 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$Q_{max} = V_{max} \cdot A = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.07 \text{ m}^2 = 0.7 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 700 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Según los resultados, la línea de impulsión cuenta con la capacidad suficiente para transportar el caudal máximo registrado, dado que el caudal promedio transportado es de 5 L/s, es importante destacar que en ocasiones, la velocidad mínima puede no cumplirse debido a una baja demanda de agua.

7.1.4. Planta de Tratamiento de Agua Potable – PTAP

La Planta de Tratamiento de Agua Potable se diseñó para atender la demanda de las dos unidades de gestión UG1 y UG2, y está compuesta por una serie de unidades de tratamiento, las cuales están en capacidad de tratar aguas lluvias y aguas subterráneas, asegurando un agua que cumpla con los estándares de calidad. En el diseño inicial de la PTAP se consideraron 4 etapas o módulos, cada una de ellas con una capacidad de 32 L/s.

Actualmente se han construido los módulos 1 y 2, contando con una capacidad total de 64 L/s, es decir que la planta está operando a la mitad de capacidad de diseño. Teniendo en cuenta esto, la planta puede atender una mayor demanda de las unidades de gestión 1 y 2.

El proceso de tratamiento cuenta con las siguientes etapas:

Tabla 7.

Etapas PTAP

ETAPA	CAPACIDAD (L/S) Módulo 1 y 2
Aireación	64
Oxidación Química	64
Coagulación - Mezcla rápida	64
Filtración y Desinfección	64

Nota. Adaptado ALP.

Figura 7.

Vista Planta de Tratamiento Agua Potable



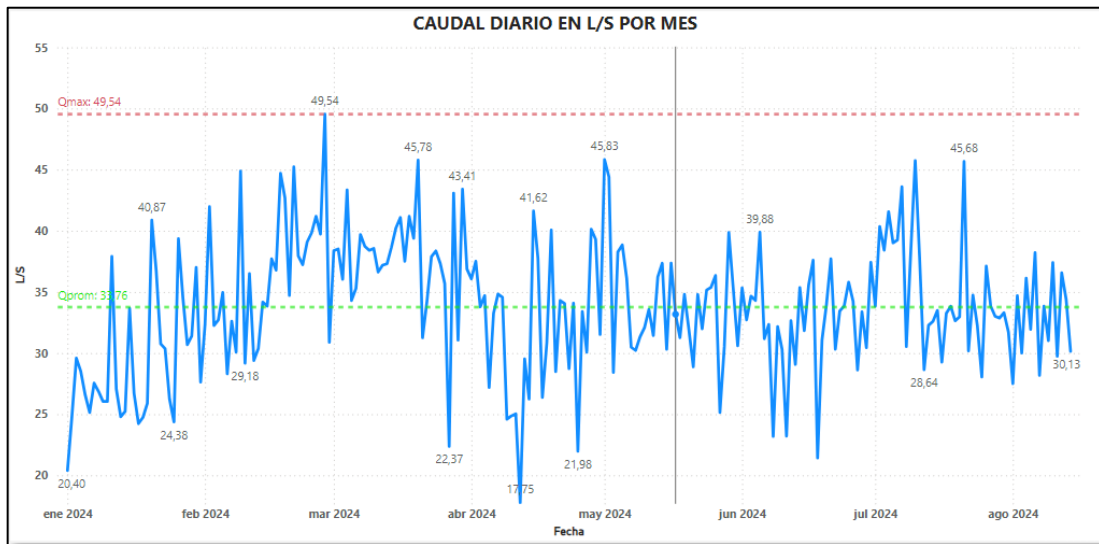
Nota. Foto: Luisa Fernanda Wilches.

Para realizar el análisis de capacidad hidráulica de cada una de las etapas de la planta, se realizó un análisis de caudales captados desde cada una de las fuentes disponibles, totalizando así el caudal captado diario correspondientes al año 2024 desde el mes de enero hasta el mes de agosto, luego este caudal es el que ingresa a la primera etapa, siendo este el caudal a tratar, así mismo se marca el caudal máximo y el caudal promedio.

A continuación, se muestra la dinámica de caudales captados a tratar.

Figura 8.

Dinámica de caudales a tratar.



Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con la figura 8 se evidencia que el comportamiento del caudal es variable y tiene presente fluctuaciones, así mismo el caudal máximo corresponde a 49.54 l/s, este valor se eligió el caudal de referencia para realizar el análisis de la capacidad.

7.1.4.1. Aireación

El propósito de la aireación en una planta de tratamiento de agua potable es favorecer la oxidación y eliminación de sustancias orgánicas y volátiles del agua, realizando las siguientes reacciones químicas:

- Transferir oxígeno para aumentar la concentración de oxígeno disuelto (OD)
- Disminuir la concentración de Ácido Sulfúrico (H_2S)

- Remover gases como metano (CH_4) y amoníaco (NH_3)
- Disminuir la concentración de Dióxido de Carbono (CO_2)
- Oxidar hierro (Fe)

El proceso comienza con la inyección de Bisulfato de Sodio, el cual se dosifica mediante una bomba dosificadora de diafragma electromagnético. El objetivo de esta dosificación es convertir una parte de la alcalinidad en CO_2 y facilitar su eliminación al entrar en contacto con el aire. (Clair N Sawyer, 2000)

Así mismo la torre cuenta con un relleno llamado “biolam” el cual tiene como objetivo la oxidación del hierro presente en el agua, el cual es una tecnología usada comúnmente para tratar aguas de pozos profundos altas en minerales como Hierro – Fe y Manganeso – Mn.

Figura 9.

Proceso de aireación.



Nota. Foto: Luisa Fernanda Wilches.

Tabla 8.

Capacidad hidráulica Aireación

ETAPA	CAPACIDAD (L/S) Módulo 1 y 2	CAUDAL MÁXIMO 2024	% OPERACIÓN
Aireación	64	49,54	77,406

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la Tabla 8, se verificó que la etapa está operando dentro del margen de capacidad de diseño de acuerdo con la demanda actual de consumo, contando con un margen de operación adicional del 22.59%.

7.1.4.2. Mezcla rápida y coagulación

Luego del proceso de aireación, se le aplica hipoclorito de sodio y el coagulante. Estos productos químicos se utilizan para llevar a cabo la oxidación y para desestabilizar los sólidos en suspensión y la turbidez presente en el agua.

Esta etapa incluye oxidación, mezcla rápida y coagulación, donde los químicos reaccionan con las impurezas presentes en el agua, permitiendo su posterior eliminación en etapas posteriores del tratamiento, en este caso, la filtración.

La etapa de mezcla rápida está diseñada para proporcionar un gradiente de mezcla superior a $1000s^{-1}$, lo que garantiza una mezcla efectiva de los químicos y el agua. Posteriormente, se produce una disminución gradual del gradiente de velocidad para favorecer la formación de

flóculos durante la etapa de coagulación, donde se busca generar un flujo laminar.

Figura 10.

Proceso de mezcla rápida y coagulación.



Nota. Foto: Luisa Fernanda Wilches.

Tabla 9.

Capacidad hidráulica Mezcla Rápida y Coagulación

ETAPA	CAPACIDAD (L/S) Módulo 1 y 2	CAUDAL MÁXIMO 2024	% OPERACIÓN
Mezcla rápida y coagulación	64	49,54	77,406

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la Tabla 9, se pudo inferir que al igual que la etapa de aireación la etapa de mezcla rápida y coagulación se encuentra operando dentro del margen de capacidad de diseño de acuerdo con la demanda actual de consumo, contando con un margen

de operación adicional del 22.59%.

7.1.4.3. **Filtración**

En esta etapa se lleva a cabo la eliminación de los materiales suspendidos presentes en el agua, como la turbiedad, los compuestos de floc, los metales oxidados y los microorganismos.

La filtración ascendente se realiza de manera eficiente, capturando y reteniendo las partículas indeseables a medida que el agua atraviesa los medios filtrantes, luego pasa a un filtro de carbón activado, el cual tiene la capacidad de eliminar contaminantes orgánicos del agua a través del proceso de adsorción.

La capacidad de adsorción del carbón activado lo convierte en una etapa esencial en el proceso de filtración, contribuyendo a mejorar la calidad del agua tratada al eliminar diversos contaminantes presentes en ella (Water Technologies, 2024).

Figura 11.

Proceso de filtración.



Nota. Foto: Luisa Fernanda Wilches.

Tabla 10.

Capacidad hidráulica Filtración

ETAPA	CAPACIDAD (L/S) Módulo 1 y 2	CAUDAL MÁXIMO 2024	% OPERACIÓN
Filtración	64	49,54	77,406

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con la información obtenida en la Tabla 10, esta etapa se encuentra operando dentro del margen de capacidad de diseño de acuerdo con la demanda actual de consumo, contando con un margen de operación adicional del 22.59%.

7.1.4.4. Desinfección

Después de la etapa de filtración, el agua tratada pasa por un proceso de desinfección, siendo esta la última etapa del proceso de tratamiento, esta tiene como finalidad eliminar los microorganismos patógenos presentes en ella. Para llevar a cabo este proceso, se utiliza una solución de cloro, que se inyecta en la línea de agua tratada.

Este proceso cuenta con una bomba dosificadora de diafragma electromagnético y un mezclador estático. La bomba dosificadora se encarga de dosificar y controlar la cantidad precisa de solución de cloro que se inyecta en el agua tratada. Por su parte, el mezclador estático facilita la mezcla homogénea del cloro con el agua, asegurando una distribución uniforme del desinfectante en todo el flujo de agua.

Tabla 11.

Capacidad hidráulica Desinfección

ETAPA	CAPACIDAD (L/S) Módulo 1 y 2	CAUDAL MÁXIMO 2024	% OPERACIÓN
Desinfección	64	49,54	77,406

Nota. Elaboración propia.

Tal y como sucedió en las etapas anteriores, al contar con la misma capacidad, esta etapa también se encuentra operando dentro del margen de capacidad de diseño de acuerdo con la demanda actual de consumo, contando con un margen de operación adicional del 22.59%.

7.1.4.5. Tanques de Almacenamiento.

El sistema de almacenamiento de agua tratada consta de dos tanques de almacenamiento, cada uno con una capacidad de 1000 m³, lo que da un total de 2000 m³ de capacidad de almacenamiento. Estos tanques se utilizan para almacenar el agua tratada en la planta de tratamiento de agua potable antes de ser enviada a la red de distribución.

El Artículo 81 de la Resolución 0330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - MVCT, se establece que el volumen de almacenamiento debe ser igual a 1/3 del Caudal Máximo Diario (QMD), donde tenemos qué:

$$\text{Volumen Almacenamiento (m3)} = \frac{1}{3} \text{ QMD} \times 86.4 \text{ m}^3/\text{día} = 2000 \text{ m3}$$

$$\text{QMD (L/s)} = 3 \times \frac{2000 \text{ m3}}{86.4 \text{ m3/día}} = 69.44 \text{ L/s}$$

De acuerdo con el resultado se puede inferir que los tanques de almacenamiento actuales tienen la capacidad suficiente para satisfacer las necesidades actuales. Con un Caudal Máximo Diario (QMD) de 30 L/s en el mes de marzo de 2024, la demanda real representa solo el 43% del volumen total de almacenamiento disponible.

Figura 12.

Tanques de almacenamiento.



Nota. Foto: Luisa Fernanda Wilches.

7.2. Dotación, pérdidas y caudales

Calcular las dotaciones, caudales y pérdidas en un sistema de acueducto asegurar una operación eficiente, garantizar el suministro adecuado y cumplir con los estándares de calidad del agua, ya que estos cálculos permiten dimensionar correctamente la planta y optimizar su funcionamiento en función de las necesidades de la población y los recursos disponibles, así mismo es un requisito normativo para llevar a cabo la operación, tal y como lo menciona el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 0330 de 2017.

La dotación neta se refiere al volumen de agua disponible y utilizado efectivamente por cada individuo en un área determinada para satisfacer sus necesidades diarias. Por otro lado, las pérdidas representan las fugas, infiltraciones y otras formas de pérdida de agua. La dotación bruta, por su parte, corresponde al volumen total de agua después de tener en cuenta las pérdidas y consumos internos en el sistema de abastecimiento. Finalmente, los caudales son los flujos de agua

que se utilizan como base para el diseño de la infraestructura requerida, teniendo en cuenta la cantidad de agua disponible y la demanda de los usuarios.

7.2.1. Dotación Neta y Caudal residencial

De acuerdo con el artículo 43 de la Resolución 0330 de 2017 “*determinarse haciendo uso de la información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores, disponible por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto...*” así mismo, “*...En todos los casos, se deberá utilizar una dotación que no supere los máximos establecidos en la Tabla 1...*”.

Información que se muestra en la tabla 12.

Tabla 12.

Dotación neta máxima/hab según los m.s.n.m. de la zona atendida

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/hab*día)
>2000 msnm	120
1000 - 2000 msnm	130
<1000 msnm	140

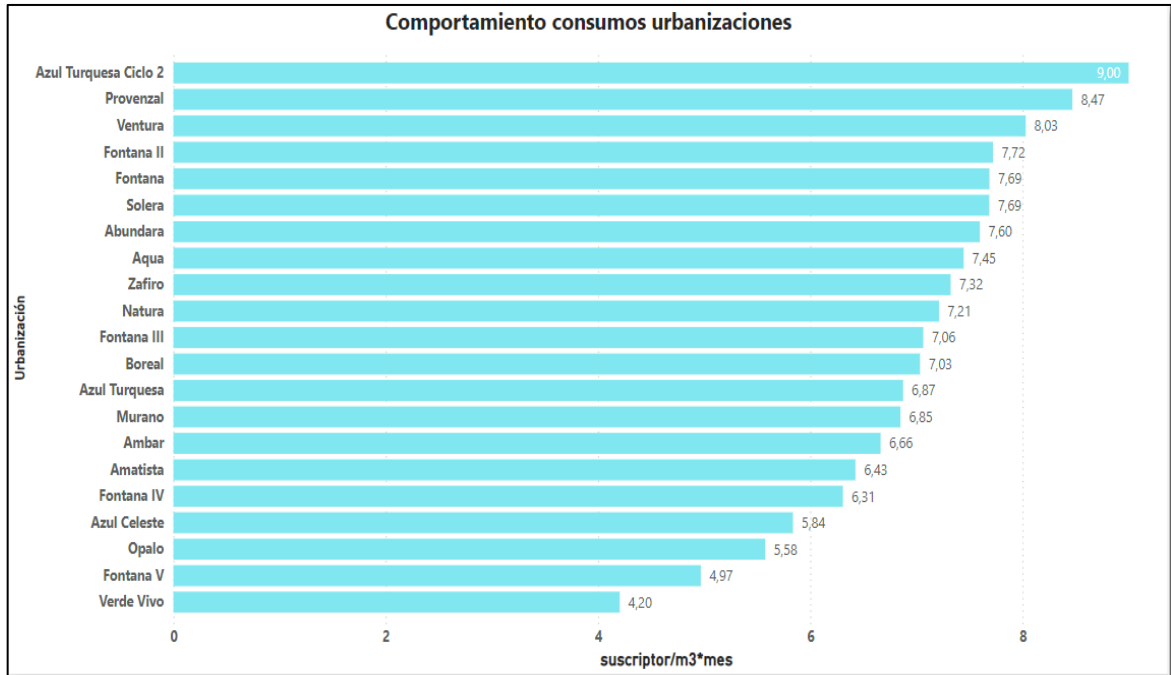
Nota. Adaptada Resolución 0330 de 2017.

La altura a la que se encuentra el sistema de abastecimiento y la Ciudadela La Prosperidad es mayor a los 2000 m.s.n.m. por lo que la dotación neta es de 120 L/Hab*día y estimando 3.1 habitantes por vivienda, se obtiene un máximo de consumo por vivienda de 11.16 m³/mes.

A continuación, se muestra el comportamiento de los consumos promedio de cada uno de los conjuntos residenciales.

Figura 13.

Comportamiento consumo enero a junio urbanizaciones Ciudadela La Prosperidad.



Nota. Elaboración propia.

Basándonos en los datos proporcionados, se observa que el consumo residencial promedio en La ciudadela La Prosperidad fue de 6.95 m³/sus-mes. Esto indica la cantidad promedio de agua utilizada por cada suscriptor residencial. Por otra parte, el mayor consumo corresponde a la urbanización Azul Turquesa Ciclo 2 de 9 m³/sus-mes.

Realizar el cálculo de dichos datos es de gran importancia, ya que sirve para evaluar el comportamiento del consumo de agua residencial y entender las variaciones en la demanda a lo largo del tiempo, lo que puede ser útil para dimensionar la infraestructura de suministro y planificar la capacidad necesaria.

Al analizar la densidad habitacional reportada por el DANE en el CENSO oficial de 2018, es de 3,1 hab/viv se tiene una dotación neta de 96,77 L/hab*día. Ello refleja un adecuado uso del recurso hídrico por parte de los habitantes de La Prosperidad, teniendo en cuenta el valor de

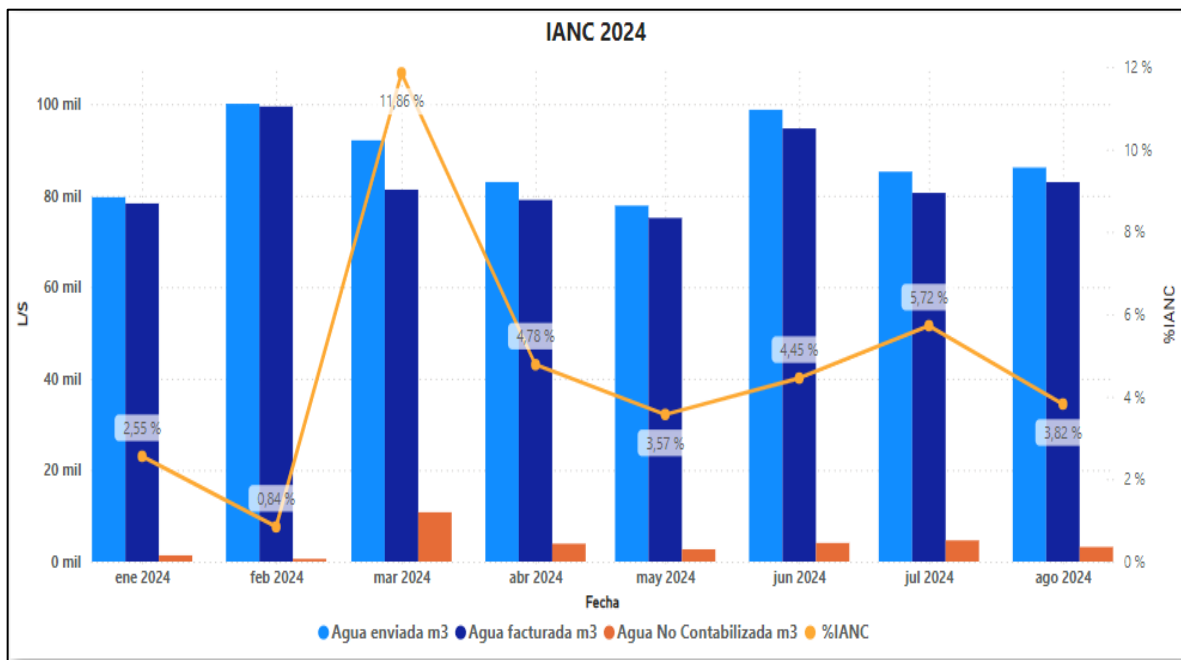
referencia para la dotación máxima establecida en la Resolución 0330 de 2017, la cual es de 120 L/Hab/día.

7.2.1.1. Pérdidas

El índice de agua no contabilizada es el indicador porcentual que relaciona el volumen total de agua tratada y enviada a la red Vs el volumen total de agua que se factura a los suscriptores en un período determinado, a continuación, se indica el IANC correspondiente al primer semestre del año 2024.

Figura 14.

IANC primer semestre de 2024.



Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con Figura 13 el porcentaje del IANC seleccionado para el cálculo de la Dotación Bruta y la proyección de la demanda de agua es de 11,86 % correspondiente al mayor porcentaje registrado durante el mes de marzo.

7.2.1.2. Dotación bruta

De acuerdo con Figura 13 el porcentaje del IANC seleccionado para el cálculo de la Dotación Bruta y la proyección de la demanda de agua es de 11,86 % correspondiente al mayor porcentaje registrado durante el mes de marzo.

De acuerdo con el Artículo 44. de la Resolución 0330/2017, la Dotación Bruta es igual a:

$$\text{Dotacion Bruta: } D_{bruta} = \frac{D_{neta} \left(\frac{m^3}{\text{vivienda} * \text{mes}} \right)}{(1 - \text{Perdidas} (\%))}$$

En este sentido y de acuerdo con la dotación neta y el índice de agua no contabilizada (pérdidas de agua) calculado en los numerales anteriores, se tiene una dotación bruta igual a:

$$\text{Dotacion Bruta: } D_{bruta} = \frac{9 \frac{m^3}{\text{suscriptor} * \text{mes}}}{(1 - 11.86\%)} = 10.21 \frac{m^3}{\text{suscriptor} * \text{mes}}$$

7.2.1.3. Caudal medio diario residencial

Teniendo en cuenta la proyección de viviendas, la dotación bruta calculada en el numeral anterior, el número de suscriptores actuales y la proyección de entregas de apartamentos, la cual fue suministrada por la empresa Aguas de La Prosperidad, teniendo en cuenta lo mencionado en el Artículo 40. *Periodo de Diseño* de la Resolución 0330 de 2017 el periodo de diseño es de 25 años, se calculó:

$$Qmd_{residencial} = \frac{N^{\circ}suscriptores * Db}{30}$$

$$Qmd_{residencial} = \frac{14788 \text{ viv} * \frac{10.21m^3}{\text{viv} - \text{mes}}}{30} * 1000/86400$$

$$Qmd_{residencial} = 58.25 \text{ L/s}$$

A continuación, se presenta la proyección del caudal medio residencial (Qmd):

Tabla 13.

Caudal medio diario residencial (Qmd_residencial) proyectado

CAUDAL MEDIO DIARIO RESIDENCIAL					
	ALP1				ALP1
Año	Apartamentos entregados (UG1-UG2)	Consumo promedio (Dotación Neta m ³ /Suscriptor/mes)	IANC	Dotación Bruta (m ³ /Suscriptor/mes)	Caudal residencial (UG1-UG2) (Qmd) L/s
2024	14788	9	11,86	10,21	58,25
2025	19305	9	11,86	10,21	76,04
2026	20789	9	11,86	10,21	81,89
2027	20915	9	11,86	10,21	82,39
2028	20915	9	11,86	10,21	82,39
2029	20915	9	11,86	10,21	82,39
2030	20915	9	11,86	10,21	82,39
2031	20915	9	11,86	10,21	82,39
2032	20915	9	11,86	10,21	82,39
2033	20915	9	11,86	10,21	82,39
2034	20915	9	11,86	10,21	82,39
2035	20915	9	11,86	10,21	82,39
2036	20915	9	11,86	10,21	82,39
2037	20915	9	11,86	10,21	82,39
2038	20915	9	11,86	10,21	82,39
2039	20915	9	11,86	10,21	82,39
2040	20915	9	11,86	10,21	82,39

2041	20915	9	11,86	10,21	82,39
2042	20915	9	11,86	10,21	82,39
2043	20915	9	11,86	10,21	82,39
2044	20915	9	11,86	10,21	82,39
2045	20915	9	11,86	10,21	82,39
2046	20915	9	11,86	10,21	82,39
2047	20915	9	11,86	10,21	82,39

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados de la proyección del caudal medio diario residencial se tiene que a partir del año 2027 no se entregarán más viviendas en las unidades de gestión 1 y 2, por lo que el caudal a partir de ese año será de 82.39 L/s.

7.6. Alternativas de mejora.

De acuerdo con los resultados en el diagnóstico de cada una de las unidades que conforman la Planta de Tratamiento y teniendo en cuenta la buena gestión del recurso hídrico, ya que la capacidad de operación hidráulica se encuentra en un 77,406% de la capacidad total respecto a una dotación bruta de 10,21 L/suscriptor/mes, a lo que corresponde una dotación neta de 96,77 L/hab/día, el cual está por debajo del valor establecido por la Resolución 0330 de 2017 de 120 L/hab/día; es por esto que a continuación se describen algunas acciones de mejora que van encaminadas a la gestión operacional, que contribuyen al incremento de vida útil de las unidades.

7.6.1. Captación

- Realizar mantenimientos regulares de los equipos de bombeo, incluyendo inspecciones de los motores, tuberías de succión y válvulas, esto con el fin de prevenir fallas y alargar la vida útil de las bombas.

- Revisar el diseño de los pozos para asegurar una captación eficiente, minimizando el ingreso de sedimentos que pueden causar desgaste en las bombas o generar obstrucciones.
- Realizar un estudio de eficiencia de las bombas con el fin de evaluar su rendimiento, ya que esto contribuye a la reducción de costos en términos de energía y alarga la vida útil.

7.6.2. Aireación

- Mantener los difusores y sistemas de inyección de aire limpios para prevenir obstrucciones que reduzcan la eficiencia del proceso y aumenten el consumo de energía.

7.6.3. Mezcla rápida y coagulación

- Establecer pruebas de jarras periódicas para determinar las dosis óptimas de coagulante y ajustarlas ante cambios en la calidad del agua de entrada.
- Evaluar el uso de coagulante usado actualmente respecto a nuevos productos que sean más eficientes y generen menos residuos, reduciendo los costos de operación y mantenimiento.

7.6.4. Filtración

- Instalar sensores de presión para detectar cuándo los filtros necesitan ser limpiados o reemplazados, evitando su sobrecarga y prolongando su vida útil.
- Evaluar el tipo de material filtrante teniendo en cuenta los fabricantes y

distribuidores, esto con el fin de elegir el que ofrezca mejor capacidad de retención, durabilidad y fácil mantenimiento.

7.6.5. Desinfección:

- Evaluar el desempeño de insumo químico actual y compáralo con las demás opciones disponibles en el mercado, con el objetivo de evaluar: eficiencia contra patógenos, formación de subproductos, residualidad en la red de distribución, costo y facilidad de operación.

7.6.6. Talento humano

- Realizar capacitaciones periódicas al personal de la planta, tanto administrativo como operativo con el propósito de garantizar una operación eficiente, detección rápida de anomalías y adecuada gestión de recursos.

Dichas alternativas permitirán optimizar el rendimiento de operación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, contribuyendo a aumentar la vida útil de los equipos y mejorar la eficiencia en el uso de recursos.

7.7. Tablero técnico ALP

En el transcurso del desarrollo del presente proyecto se identificó la necesidad de desarrollar una herramienta que permitiera el procesamiento, visualización amigable y análisis de la data disponible acerca de la operación de la empresa de servicios públicos Aguas de La Prosperidad S.A.S. E.S.P., por lo cual se desarrolló un dashboard en la herramienta de Microsoft Power BI, la cual me permitió que conectar la base datos disponible , esta desde varias fuentes como, archivos Excel (esta data se almacenó en un SharePoint), GoogleSheets, Microsoft List,

Microsoft Forms.

Una vez conectada la base de datos se llevó a cabo el procesamiento de estas, es decir generar valor a la información existente y generar a partir de ésta nueva información relevante, lo que me permitió pasar al proceso de visualización, es decir realizar los gráficos adecuados, ya que estos deben transmitir la información clara y veraz.

Finalmente se dio a conocer la herramienta a los involucrados en el proceso, lo cual permitió generar un valor agregado a la operación, seguimiento y medición.

En este dashboard técnico se presenta la siguiente información.

- Calidad de Agua Potable (Agua cruda, agua en proceso, agua enviada a la red)
- Calidad Agua Residual
- Datos provenientes del SCADA (Caudal en pozos, nivel en pozos, presión en pozos, presión en filtros y presión en la red)
- Consumos de energía asociados a la operación de la PTAP y la PTAR.
- Información técnico-comercial (agua enviada a la red, agua facturada y % IANC)

Cabe resaltar que esta herramienta brinda múltiples beneficios, tales como: múltiples conexiones de datos, generar datos nuevos dentro de editor Query, permite la integración de datos en la nube, visualización de datos en tiempo real, seguridad de la información y toma de decisiones acertadas y a tiempo.

Actualmente sigue en desarrollo, esto se debe a la gran cantidad de información disponible, sin embargo, este se encuentra activo y usado por el personal de ALP.

8. Conclusiones

Con el diagnóstico realizado en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Aguas de La Prosperidad, se infiere que es evidente el compromiso con la gestión sostenible del recurso hídrico, pues está en búsqueda constante de la mejora continua, así mismo muestra su interés en adoptar tecnología que van de la mano con la innovación en temas tratamiento de agua potable.

Durante el periodo evaluado se logró identificar que el caudal de captación de los tres (3) pozos de aguas subterráneas se encuentran por debajo del caudal concesionado por la CAR, lo cual indica buena gestión del recurso, así mismo se logró evidenciar que el aporte de aguas lluvias en el suministro juega un papel importante, aunque este aporte es de aproximadamente del 25% este ayuda a reducir la demanda de captación de los pozos. Por otra parte, la implementación de pondajes dentro de la Ciudadela La Prosperidad representa beneficios hidráulicos en la gestión de la mitigación del cambio climático, puesto que reduce el riesgo de inundaciones.

En cuanto a la capacidad hidráulica de la infraestructura actual respecto a la demanda de consumos se encuentra operando adecuadamente, de hecho cuenta con un margen de un poco más de 20% para aumentar la oferta hídrica, cabe resaltar que el periodo evaluado indicó un consumo de dotación neta por debajo de lo que indica la norma, a lo que se puede inferir que la Ciudadela realiza un consumo responsable del recurso hídrico, así mismo en el cálculo de pérdidas, este se encuentra por debajo del 25%, lo cual indica una gestión adecuada, sin embargo es importante

trabajar en reducir las existentes.

Finalmente, se prevé que para el año 2025 sea necesario construir un tercer módulo que complemente los módulos existentes para el tratamiento y suministro del agua potable, esto con el fin de garantizar la demanda futura de 82,39 L/s.

9. Recomendaciones.

Se recomienda al operador de la planta Aguas de La Prosperidad realizar un estudio de oferta hídrica de los pozos existentes, esto con el fin de asegurar la demanda de caudales proyectados, así mismo, es importante destacar que es necesario realizar una evaluación periódica de la capacidad de las impulsiones para garantizar que puedan satisfacer las demandas futuras, considerando posibles aumentos en el consumo de agua u otros factores que puedan afectar el sistema.

Por otra parte, se recomienda realizar un seguimiento al % de Índice de Agua No Contabilizada, esto con el fin de monitorear dichas pérdidas y en la medida de lo posible reducirlas, ya que esto contribuye a una gestión adecuada del recurso, así mismo puede incrementar la sostenibilidad económica de la operación.

Finalmente se recomienda al operador que considere la ampliación de la PTAP para garantizar el suministro para el año 2025, ya que se estima un caudal medio diario de 76,04 L/s.

10. Referencias

Business, A. I. (2024). Coagulación y floculación. Obtenido de <https://www.lmipumps.com/es-co/technologies/coagulation-and-flocculation-in-water-treatment>

Clair N Sawyer, P. L. (2000). QUIMICA PARA INGENIERÍA AMBIENTAL. Obtenido de [file:///C:/Users/PracticanteUT/Downloads/Qu%C3%ADmica%20para%20ingenier%C3%ADa%20ambiental%20\(%20PDFDrive%20\).pdf](file:///C:/Users/PracticanteUT/Downloads/Qu%C3%ADmica%20para%20ingenier%C3%ADa%20ambiental%20(%20PDFDrive%20).pdf)

Humberto Antonio Cierra, M. V. (3 de Octubre de 2011). Corte Constitucional República de Colombia. Obtenido de <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2011/T-740-11.htm>

Iagua. (2024). Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-mongeredondo/conducciones-y-algunos-aspectos-relacionados-calculo>

Mejía, S. A. (2018). Proyecto de Acto Legislativo No. 009 de 2018 Cámara “Por el cual se incorpora el artículo 49-A dentro del Capítulo II del Título II de la Constitución Política de Colombia.”. Informe de ponencia para el primer debate al proyecto Acto Legislativo No. 009 2018, (pág. 17). Bogotá D.C.

MinAmbiente. (2000). Sección II Título C. Obtenido de https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483

MinVivienda. (8 de Junio de 2017). Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Obtenido de <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf>

Naciones Unidas. (2019). Obtenido de informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos: No dejar a nadie atrás: <https://www.acnur.org/media/informe-mundial-de-las-naciones-unidas-sobre-el-desarrollo-de-los-recursos-hidricos-2019-no>

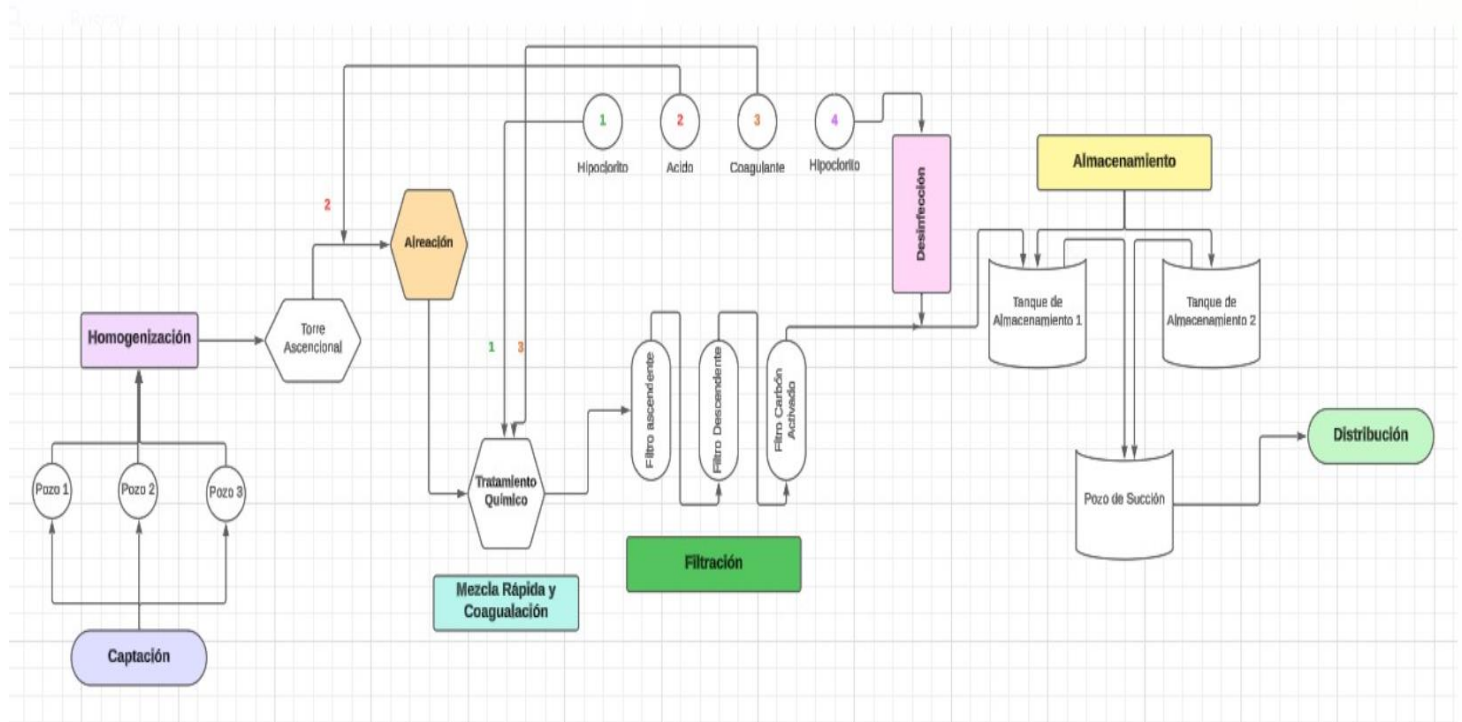
OMS. (2023). Organización Mundial de la Salud. Obtenido de Agua para consumo humano: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

ONU. (2023). Obtenido de Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano: <https://www.un.org/es/global-issues/water>

Water Technologies. (2024). Obtenido de <https://www.tratamientosdeagua.com/ventaenlinea/blog/Filtros-de-agua/Que-es-la-filtracion-del-agua-por-carbon-activado>

11. Anexos

Anexo 1. Tren de Tratamiento Planta Agua Potable Aguas de La Prosperidad

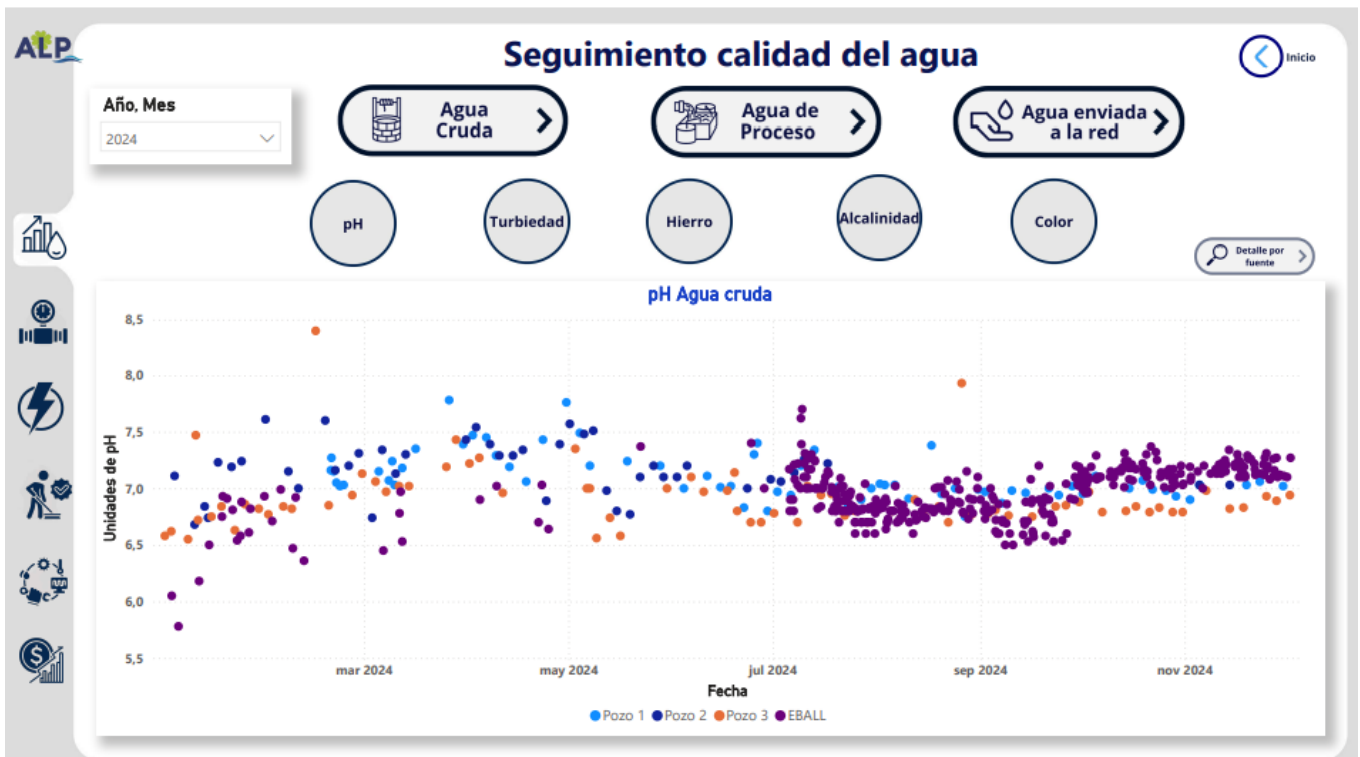


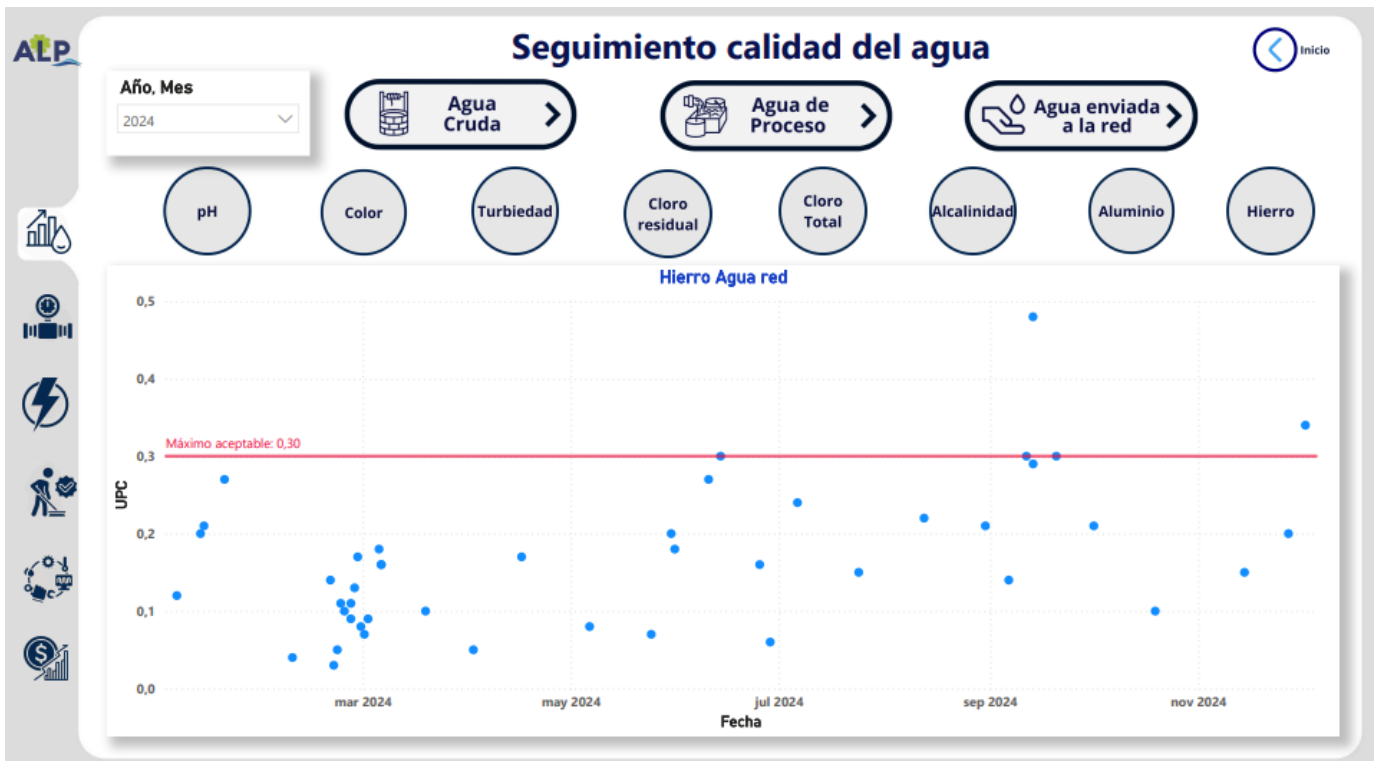
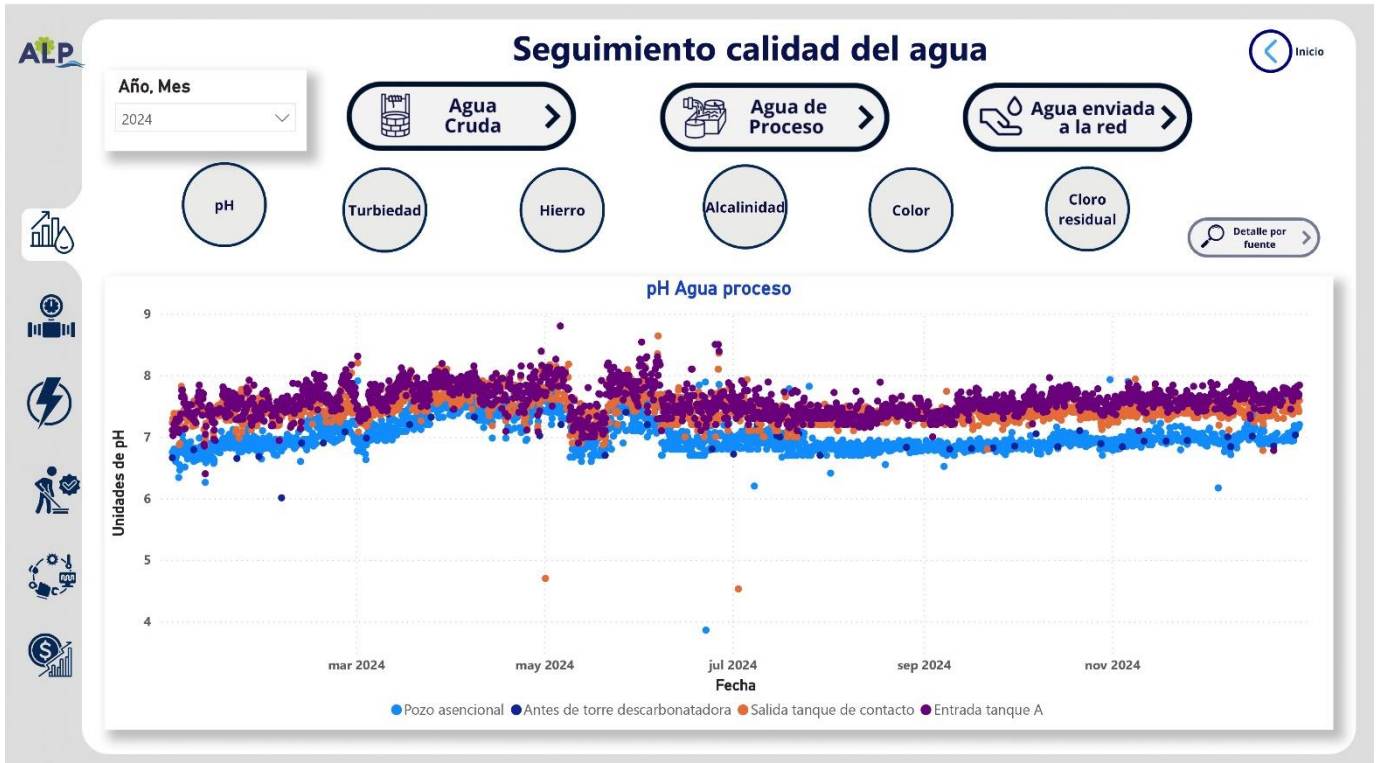
Nota. Elaboración propia.

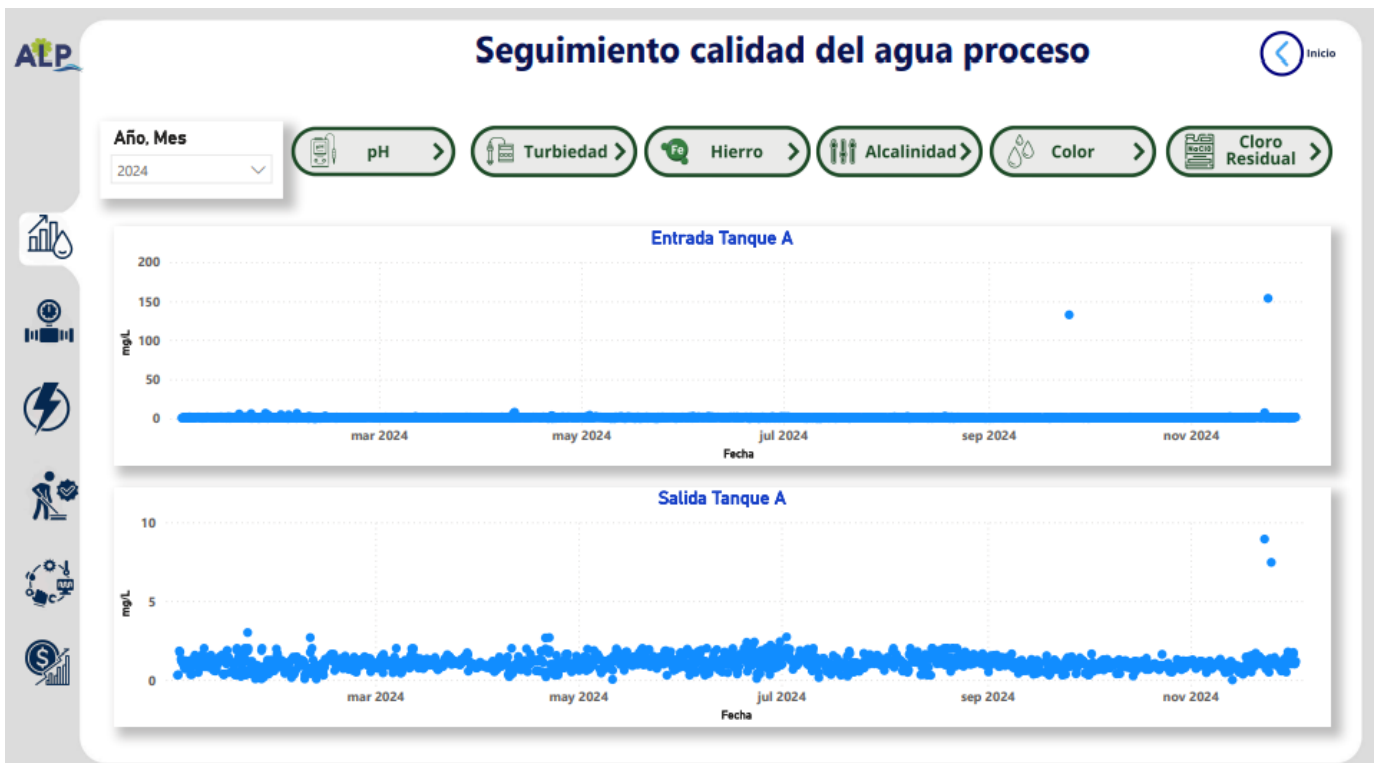
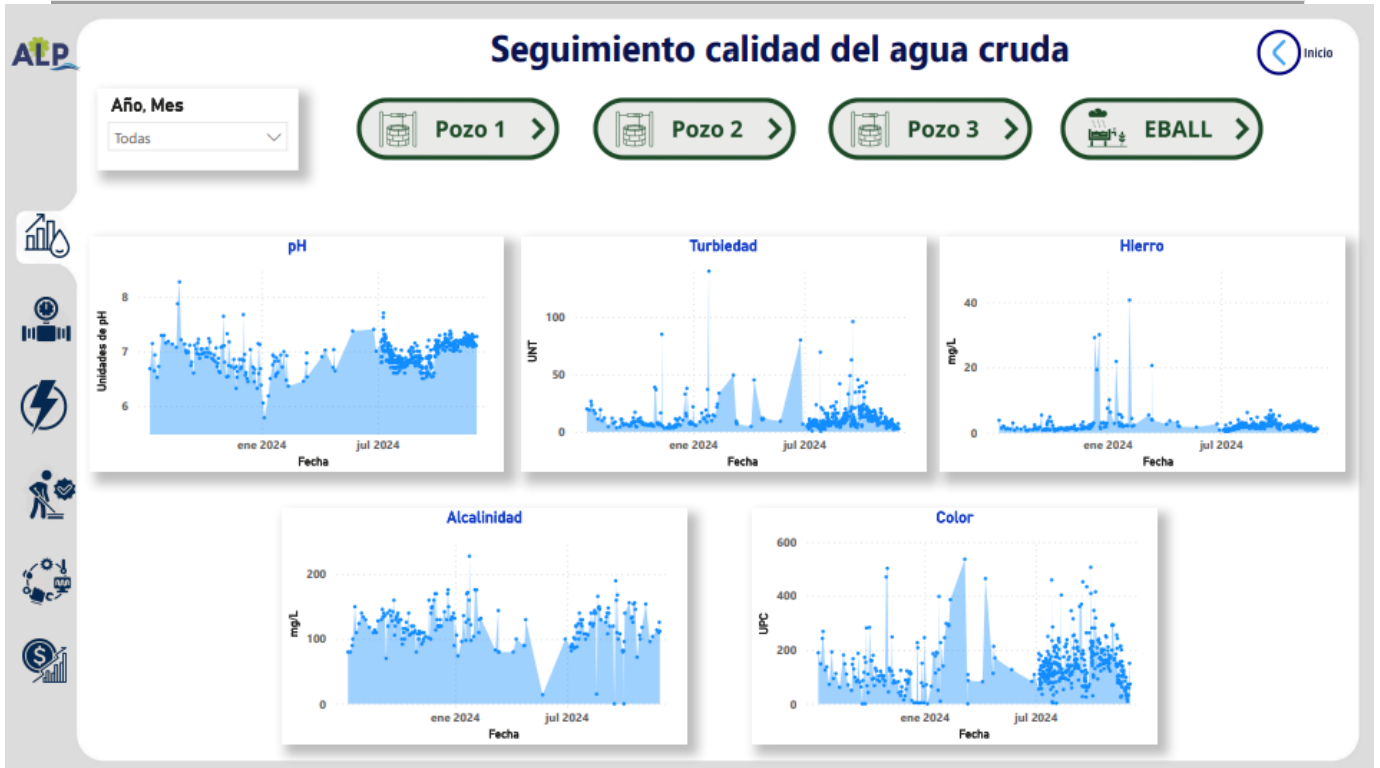
Anexo 2. Dashboard Técnico Aguas de La Prosperidad



The dashboard features the ALP logo (Aguas de La Prosperidad S.A.S. E.S.P.) in the top left. A navigation bar at the top right contains six icons: Calidad del Agua, SCADA, Consumos de energía, Aseo, Plan Maestro Dinámico, and Gestión Técnico-Comercial. The main title 'Dashboard Técnico Aguas de La Prosperidad' is displayed in large green and black text. A 'Inicio' button with a right-pointing arrow is located at the bottom left.







ALP Seguimiento calidad del agua Inicio



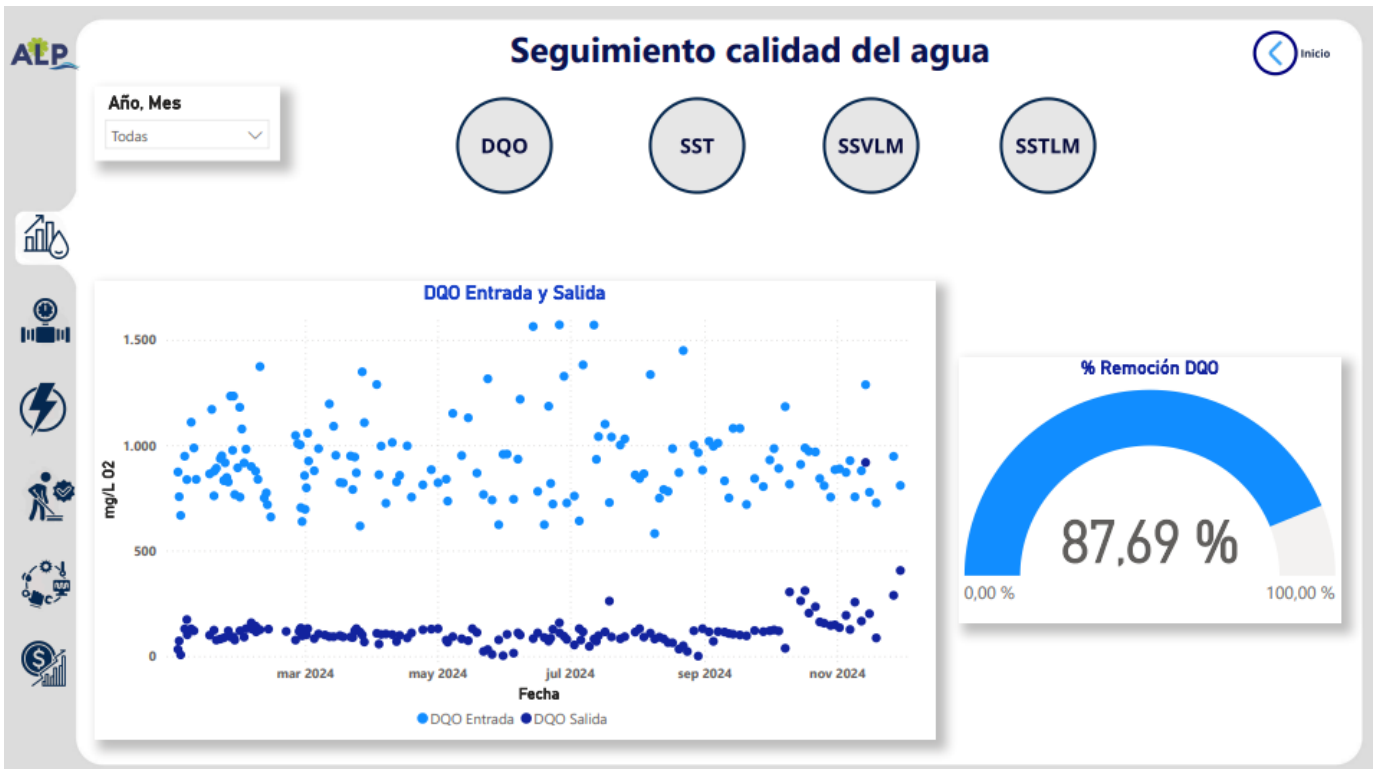
This dashboard features a vertical sidebar on the left with icons for water, power, and maintenance. The main area contains two circular images: the left one shows industrial tanks and pipes labeled 'PTAP', and the right one shows aeration tanks labeled 'PTAR'. Both images are set within blue circular frames with corresponding labels below them.

ALP Seguimiento calidad del agua Inicio

Año, Mes
Todas

DQO SST SSVLM SSTLM

DQO Entrada y Salida



The dashboard includes a filter for 'Año, Mes' set to 'Todas'. Below are four circular buttons for 'DQO', 'SST', 'SSVLM', and 'SSTLM'. The main visualization is a scatter plot titled 'DQO Entrada y Salida' showing data from March to November 2024. The y-axis is labeled 'mg/L O2' and ranges from 0 to 1500. The x-axis is labeled 'Fecha' with markers for 'mar 2024', 'may 2024', 'jul 2024', 'sep 2024', and 'nov 2024'. A legend indicates 'DQO Entrada' (light blue dots) and 'DQO Salida' (dark blue dots). To the right, a gauge chart shows the '% Remoción DQO' at 87,69%, with a scale from 0,00% to 100,00%.

