

ANEXO 7 – SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE LA RED MATRIZ DE ACUEDUCTO DE LA EAAB E.S.P.

El sistema de acueducto abastece a la ciudad de Bogotá y a los municipios aledaños de Gachancipá, Tocancipá, Sopó, Cajicá, Chía, La Calera, Funza, Madrid, Mosquera y Soacha. La población servida se encuentra alrededor de los nueve millones de habitantes, la que corresponde a un millón y medio de usuarios. La demanda promedio diaria es de 15,13 m³/s. La capacidad de tratamiento del sistema es de 27,5 m³/s pero se requiere de la construcción de infraestructura adicional para su utilización. Sin ésta, el caudal confiable de las fuentes es de únicamente 17,84 m³/s.

El sistema de distribución se alimenta de tres sistemas hidrológicos principales: El sistema Tibitoc (Agregado Norte), el sistema Chingaza y el sistema la Regadera (Agregado Sur). En la Figura 1 se presenta el esquema de la EAAB-E.S.P. con los tres sistemas de abastecimiento de agua potable que alimentan la red matriz de acueducto.

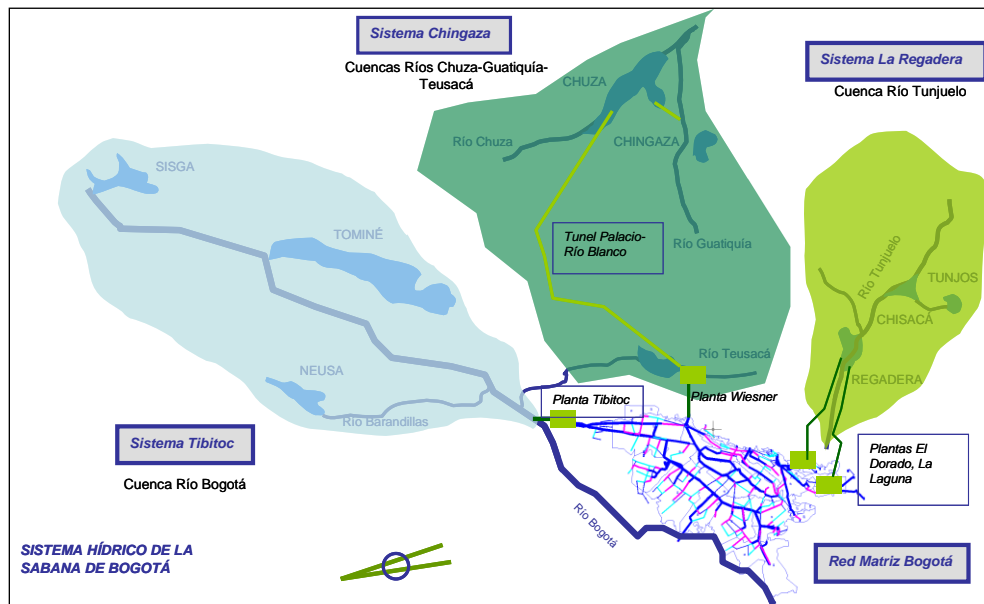


Figura 1. Sistema de abastecimiento de la ciudad de Bogotá

Fuente: Manual de Operación de Red Matriz 2010 v.2.

a) Sistema Chingaza

La PTAP Wiesner se alimenta del sistema Chingaza. El agua proviene del páramo de Chingaza a la cabecera de los ríos Chuza, La Playa y Frío, que a su vez son afluentes de los ríos Guatiquía y Blanco. El agua es tomada del embalse de Chuza (252 hm³), el embalse de San Rafael (70 hm³) y el sistema Río Blanco.



Figura 2. Sistema Chingaza - Tomado de la EAAB-E.S.P.

Fuente: Manual de Operación de Red Matriz 2010 v.2.

Esta cuenca originalmente no hacía parte de la cuenca del Río Bogotá, sino que drenaba hacia el oriente de la cordillera. Se requirió de la construcción de una serie de túneles para hacer el trasvase de las aguas a la cuenca del Río Bogotá, los cuales se listan en la Tabla 1.

Tabla 1. Conducciones Sistema Chingaza – Planta Wiesner

Conducción		Longitud (km)	Diámetro (m)
	Túnel Río Guatiquía – Chuza	3,2	-
	Túnel Quebrada Leticia – Chuza	0,3	-
Chuza - Wiesner	Túnel Palacio - Río Blanco	28,4	2,7; 3,2; 3,7
	Canal Simayá	0,3	(Rectangular)
	Túnel del Faro	0,9	3,7
	Tubería Simayá	4,5	3,0
	Túnel Siberia	3,0	3,7
	Sifón de Teusacá	0,6	3,7

Desde hace años se ha venido adelantando el proyecto de revestimiento de muchas de estas conducciones para asegurar su estabilidad. INGETEC recomienda utilizar dos frentes de trabajo para llevar a cabo la terminación de algunos tramos.

El caudal medio total de las fuentes utilizadas es de 16,51 m³/s, con un caudal confiable de 14,05 m³/s. La PTAP Wiesner, ubicada junto al embalse San Rafael, tiene una capacidad de 14,00 m³/s, con un consumo interno del 4%. Por lo tanto, el caudal de suministro confiable continuo es de 13,44 m³/s. Sin embargo, este caudal confiable puede verse afectado por las obras de revestimiento de los túneles de Chingaza. El costo promedio de producción en esta planta durante el primer

semestre de 2010 fue de alrededor de \$90/m³ (EAAB-E.S.P., 2010), un costo inferior al de los demás sistemas.

La planta fue diseñada para una calidad de agua muy buena y, por lo tanto, cuenta únicamente con una estructura de mezcla rápida y un sistema de 16 filtros. Sin embargo, en la práctica, la calidad del agua no se mantiene todo el tiempo, lo que se traduce en una disminución de la capacidad real de la planta debido a las operaciones de limpieza de los filtros. La planta cuenta con un tanque de almacenamiento de 50.000 m³. El agua es transportada a la ciudad a través de las conducciones listadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Conducciones Planta Wiesner – Ciudad de Bogotá

Conducción	Longitud (km)	Diámetro (m)
Tubería	0,4	4,0
Túnel Alterno de Usaquén	2,5	3,5
Túnel de Usaquén	2,2	3,2
Túnel de Santa Bárbara	0,3	3,5
Tubería Santa Ana	0,5	2,3
Túnel de Rosales	9,5	2,8

Con el fin de mejorar la confiabilidad del sistema, INGETEC recomienda continuar con las mediciones del comportamiento estructural de la presa Golillas, así como realizar un estudio de las laderas de este embalse y los deslizamientos que éstas presentan.

Adicionalmente, recomienda la estabilización de laderas mediante terrazas, colocación de muros de gaviones y en voladizo, colocación de anclajes, perfilado de las laderas, depresión del nivel freático, siembra de especies arbustivas y sellamiento de grietas para evitar las interrupciones de las bocatomas que pueden afectar los caudales confiables de largo plazo en Río Blanco. También se recomienda el mantenimiento de diferentes elementos que componen el sistema de bocatoma.

El estudio para el Plan de Manejo Ambiental para el Sistema Chingaza establece el cierre de 12 estructuras de captación en el sistema Río Blanco debido al costo que implicaría su adecuación para el cumplimiento de estándares. Sin embargo, INGETEC concluye que vale la pena realizar esta inversión debido al costo comparable de restauración de las corrientes y al aprovechamiento del caudal de 273,6 l/s.

Se alerta sobre el comportamiento del embalse San Rafael como trampa de sedimentos, coliformes totales, fósforo y otros agentes contaminantes producidos por las urbanizaciones en la cuenca alta del Río Teusacá. A partir de esta problemática se decidió realizar el desvío del río. Por otro lado, se resalta la

vulnerabilidad de la planta Wiesner frente a la turbiedad, haciendo que puedan ocurrir problemas temporales en períodos de crecientes gracias al deterioro del sistema de filtración. Se ha planteado utilizar el embalse San Rafael como un gran sedimentador y clarificador, pero esta medida no es suficiente en algunos casos. INGETEC recomienda también modificar el esquema de lavado y la composición de los filtros para alargar sus carreras.

Entre las acciones de optimización propuestas se incluye la instalación de estaciones hidrométricas en diferentes fuentes y la recirculación del caudal consumido en la planta para el lavado de filtros.

b) Sistema Tibitoc

La planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Tibitoc toma el agua de un grupo de embalses llamado el Agregado Norte que permiten la regulación de los caudales del Río Bogotá: El embalse de Sisga (101,2 hm³), el embalse de Neusa (101 hm³) y el embalse de Tominé (691 hm³). El área de drenaje de la cuenca completa es de alrededor de 1.500 km². El agua del Río Bogotá se utiliza para consumo humano, riego y generación de energía. También se cuenta con el agua del embalse de Aposentos (0,8 hm³) sobre el Río Teusacá.

El caudal medio del Río Bogotá es de 16,45 m³/s. El caudal disponible para ser utilizado por el acueducto depende de los demás usos y de las disposiciones impuestas por la CAR. Bajo la situación actual, el caudal confiable sería de 6,95 m³/s. La Figura muestra el sistema Tibitoc, incluyendo los embalses mencionados.

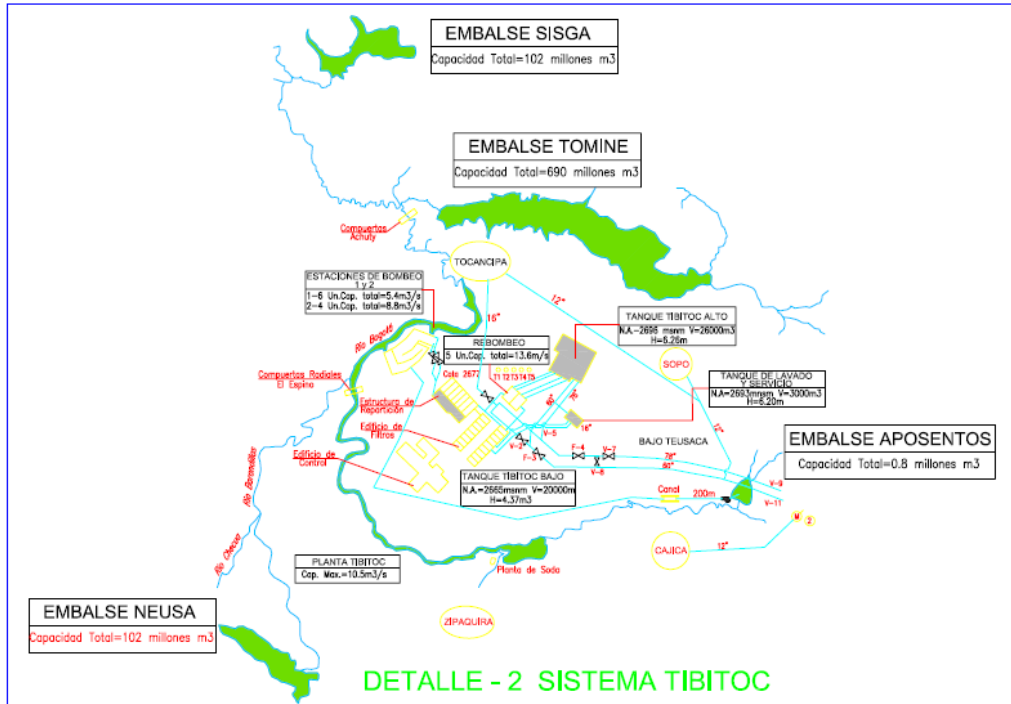


Figura 3. Sistema Tibitoc

Fuente: Manual de Operación de Red Matriz 2010 v.2.

La PTAP Tibitoc es de tipo convencional y tiene una capacidad de 12 m³/s. La planta cuenta con dos tanques de salida a diferentes alturas (2666 msnm y 2696 msnm) que pueden descargar el agua a dos tuberías con diámetros de 2 m (78") y de 1,5 m (60") que llevan el agua hasta la ciudad. La capacidad de los dos tanques es de alrededor de 50.000m³. El costo de producción de agua en esta planta para el primer semestre de 2010 fue de alrededor de \$130/m³ con una tendencia al alza (EAAB-E.S.P., 2010).

Se debe tener en cuenta que la producción de la planta se encuentra por debajo de la producción mínima pactada con el concesionario. Esto se debe a la reducción del consumo de agua por parte de la ciudad tras la emergencia de 1998 cuando colapsó un túnel en el sistema Chingaza. Por esta razón, se cuenta con un supuesto Banco de Agua según el cual el concesionario debería ser capaz de proveer el volumen no consumido. La Tabla 32 muestra los caudales mínimos de demanda establecidos en la concesión de Tibitoc.

Tabla 32. Demanda mínima para la concesión de Tibitoc (m³/s)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
2004	5,75	5,80	5,85	5,90	5,95	6,00	6,00	6,05	6,10	6,15	6,20	6,25	6,00
2005	6,76	6,72	6,68	6,63	6,59	6,55	6,55	6,51	6,47	6,42	6,38	6,34	6,55
2006	5,84	5,89	5,94	5,99	6,04	6,09	6,09	6,14	6,19	6,24	6,29	6,34	6,09
2007	7,83	7,59	7,35	7,11	6,87	6,63	6,63	6,39	6,15	5,91	5,67	5,43	6,63
2008	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
2009-2017	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50

Sin embargo, también se debe considerar que la calidad del Río Bogotá no ha cumplido con los estándares garantizados en el contrato, por lo cual se han tenido que desviar recursos hacia el mejoramiento de los procesos de potabilización en la planta. Adicionalmente, el problema de calidad ha hecho que se tenga que suspender el funcionamiento de la planta a ciertas horas del día y, en algunos casos, durante períodos prolongados.

El deterioro progresivo de la calidad de agua del Río Bogotá se ve reflejado en las mediciones de pH (> 9,7), manganeso (> 0,2 mg/l) y de materia orgánica (> 30 mg/l). Este deterioro se le atribuye a vertimientos eventuales de hidrocarburos, descarga de químicos, vertimientos no controlados de trituración y lavado de escombros, contaminación por cenizas provenientes de Termozipa, ineficiencia en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs) aguas arriba, falta de educación y conciencia ambiental de las comunidades ribereñas, y falta de seguimiento y control por parte de las autoridades ambientales (EAAB-E.S.P., 2010). Muchos vertimientos continúan funcionando, especialmente en horas de la noche, a pesar de los esfuerzos de las autoridades ambientales por controlarlos. Éstos han causado que la planta deba interrumpir su funcionamiento cerca de 10 horas al día.

El rendimiento del sistema Tibitoc se vería potencializado si se utiliza la capacidad completa del embalse de Tominé, el cual pertenece actualmente a la Empresa de Energía de Bogotá (EEB). El embalse tiene como afluentes los ríos Siecha y Aves, y cuenta con una estación con capacidad de bombear 16 m³/s del Río Bogotá. Se estima que su período de regulación es de cinco años. Además de su uso para consumo humano, las aguas de Tominé se utilizan para riego, generación de energía y recreación. En la Figura se muestra un esquema del embalse de Tominé. La Figura muestra el volumen almacenado histórico del embalse, etiquetando los eventos más relevantes que lo han afectado.



Figura 4. Embalse de Tominé

Fuente: EEB, 2010

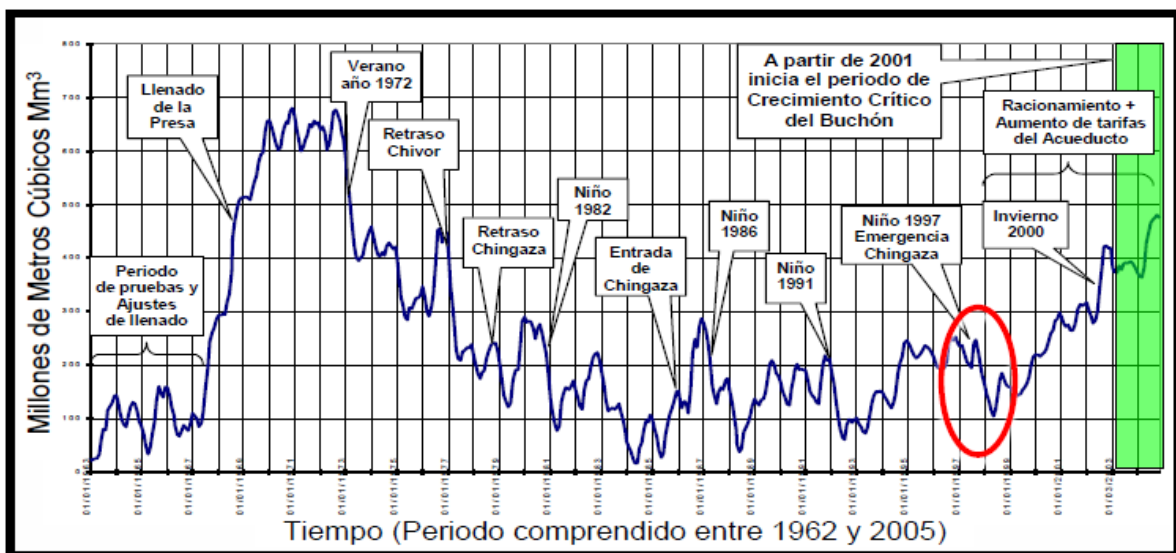


Figura 5. Volumen almacenado en el embalse de Tominé

Fuente: EEB, 2010

Utilizar el embalse con un nivel promedio multianual más alto, permitiría contar con un caudal confiable mayor en la planta Tibitoc ($9,25 \text{ m}^3/\text{s}$). La compra del embalse por parte de la EAAB-E.S.P. también le permitiría a ésta una mayor capacidad de maniobra para el control hidrológico de la cuenca. Por ejemplo, permitiría el desembalse de aguas de Tominé, sin requerir de la autorización de múltiples partes, en eventos en los cuales se quiera diluir la contaminación en el Río Bogotá y garantizar un mínimo de calidad que evite suspender el proceso de tratamiento en la planta Tibitoc.

Una alternativa que se recomienda para el sistema de abastecimiento es la optimización de ríos y embalses a través del uso de modelos hidráulicos y de calidad de agua. El uso de este tipo de modelos podría potencializar el aprovechamiento de las aguas del Río Bogotá para sus múltiples usos y mitigar los diferentes riesgos asociados como las inundaciones y el desabastecimiento.

Por otro lado, como otras alternativas para la optimización del sistema, INGETEC propone la mejora del registro de caudales del Río Bogotá aguas arriba de Vuelta Grande y la recirculación del agua para el lavado de filtros en la planta Tibitoc.

c) Sistema La Regadera

El sistema La Regadera está compuesto por el Río Tunjuelo y sus afluentes como los ríos Curibital y Mugroso, localizados al sur de la ciudad. Tres embalses importantes regulan el caudal del Río Tunjuelo: El embalse de La Regadera (3,7 hm³ - vida útil de 27 años), el embalse Chisacá (6,7 hm³ - vida útil de 43 años) y la laguna Los Tunjos (2,40 hm³). A estos embalses se les conoce como el Agregado Sur. El período estimado de sostenimiento de caudales del sistema es de alrededor de 65 años.

El Río Tunjuelo tiene un caudal promedio multianual de 3,15 m³/s, y un caudal confiable de únicamente 0,88 m³/s, debido a la baja capacidad de regulación (aproximadamente 10hm³). El Río San Cristóbal, que alimenta la planta Vitelma, tiene un caudal promedio de 0,66 m³/s y un caudal confiable cercano a cero debido a que no existe regulación.

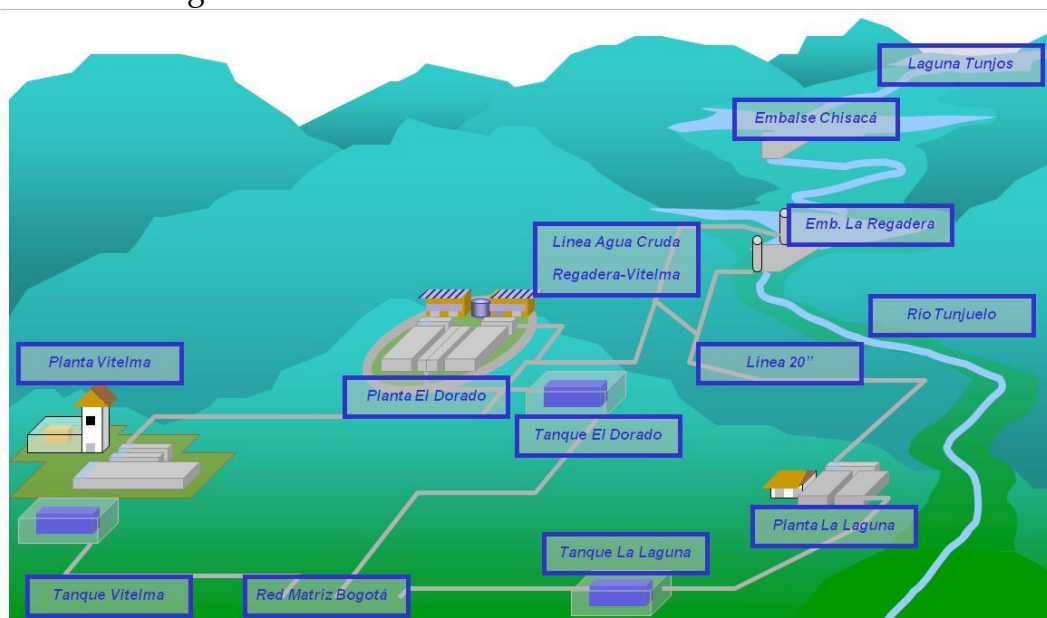


Figura 6. Sistema La Regadera

Fuente: Manual de Operación de Red Matriz 2010 v.2

La PTAP El Dorado tiene una capacidad de $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo, su capacidad está limitada por la conducción desde el embalse La Regadera. La planta tiene un consumo interno del 2,0% del agua, haciendo que el caudal de suministro confiable sea de $0,86 \text{ m}^3/\text{s}$. Es una planta de tipo convencional y cuenta con un tanque de almacenamiento de agua tratada de 3.000 m^3 . El sistema también cuenta con las PTAP Vitelma (capacidad de $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$) y La Laguna (capacidad de $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$). Sin embargo, éstas no se utilizan en condiciones normales debido a los altos costos de operación y a que las otras plantas pueden satisfacer las demandas actuales. El costo de producción de agua para este sistema durante el primer semestre de 2010 fue de alrededor de $\$550/\text{m}^3$ (EAAB-E.S.P., 2010), un costo sustancialmente mayor al de los otros sistemas.

Entre los elementos de mayor vulnerabilidad de este sistema se encuentra la conducción Regadera-Vitelma, la cual no cuenta con protección física ni legal, lo que ha llevado a la utilización inapropiada de los terrenos aledaños, poniéndola en riesgo y generando un alto nivel de fugas. INGETEC propone obras de estabilización de taludes, canales de conducción de caudales de escorrentía, estructuras de fijación y refuerzo y un anillo de refuerzo en la parte inferior de la tubería en zonas críticas identificadas en un estudio anterior.

Adicionalmente, se recomienda el reforzamiento sísmico de la caseta de válvulas del embalse La Regadera; el seguimiento a fisuras en el túnel de descarga del embalse de Chisacá; el reforzamiento sísmico del tanque sedimentador, el tanque de filtros, el tanque de almacenamiento y el edificio de administración de la planta La Laguna; y obras de reforzamiento sísmico en la Planta Vitelma.

Como alternativa para mejorar el rendimiento del sistema, se propone la construcción de conducciones entre La Regadera y las PTAPs Vitelma (capacidad de $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$) y La Laguna (capacidad de $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) para aprovechar los caudales en la época de invierno que actualmente deben ser rebosados. De manera similar, se propone el aumento de la capacidad de la conducción desde el Río San Cristobal para compensar la baja capacidad de regulación de los caudales del mismo.

d) Otros sistemas

El sistema de distribución cuenta con dos plantas adicionales: La planta San Diego (capacidad de 210 l/s), ubicada en el barrio La Macarena y que se alimenta del Río San Francisco. Entrega las aguas tratadas al antiguo tanque San Diego (capacidad de 28.000 m^3). Fue sacada de servicio en el 2003. La otra planta es la planta Yomasa (capacidad de 15 l/s) ubicada en el sur-orienté de la ciudad. Actualmente opera con una producción de 12 l/s .

e) Capacidad Total del Sistema de Abastecimiento

La Tabla 43 muestra el volumen de agua histórico suministrado por las diferentes plantas de tratamiento.

Tabla 43. Volumen de agua suministrado por planta de tratamiento (m³/s)

Año	Vitelma	San Diego	Laguna	Dorado	Yomasa	Tibitoc	Wiesner	Total
1995	0,95	0,11	0,26	0,00	0,00	4,86	11,80	17,99
1996	0,91	0,13	0,28	0,00	0,00	5,26	11,00	17,58
1997	0,90	0,11	0,27	0,00	0,00	9,01	5,18	15,48
1998	0,73	0,09	0,22	0,00	0,00	5,35	9,31	15,69
1999	1,00	0,12	0,25	0,00	0,00	4,94	8,50	14,81
2000	0,94	0,12	0,29	0,00	0,00	4,02	9,37	14,73
2001	0,68	0,10	0,30	0,00	0,00	5,19	8,44	14,71
2002	0,58	0,10	0,28	0,02	0,00	5,06	8,70	14,72
2003	0,07	0,01	0,06	0,30	0,00	5,25	8,77	14,47
2004	0,01	0,00	0,00	0,36	0,01	4,54	9,34	14,25
2005	0,00	0,00	0,00	0,36	0,01	3,53	10,30	14,21
2006	0,00	0,00	0,00	0,35	0,01	3,36	10,70	14,42
2007	0,00	0,00	0,00	0,37	0,01	4,00	10,36	14,73
2008	0,00	0,00	0,00	0,35	0,01	5,40	9,28	15,04
2009	0,00	0,00	0,00	0,36	0,01	4,78	9,99	15,14

Fuente: EAAB-E.S.P., 2010

En la Tabla 54 se muestra la capacidad actual del sistema de acuerdo con las concesiones otorgadas.

Tabla 54. Conducciones Sistema Chingaza – Planta Wiesner

Parámetro	Unidad	Tibitoc	Wiesner	La Laguna	El Dorado	Vitelma	Total
Caudal confiable continuo de la fuente	m ³ /s	4,80	12,84	0,88		0	18,52
Capacidad máxima de producción	m ³ /s	12,00	14,00	0,50	0,60	1,50	m ³ /s
Consumo interno/producción	%	3%	4%	3%	2%	2%	%
Recirculación del caudal consumido	m ³ /s	NO	SI	NO	NO	NO	m ³ /s
Caudal confiable continuo de agua cruda	m ³ /s	4,80	12,84	0,88		0	18,52
Capacidad máxima de suministro	m ³ /s	11,64	13,44	0,48	0,59	1,47	m ³ /s
Suministro confiable máximo diario	m ³ /s	11,64	13,44	0,48	0,59	0	m ³ /s
Suministro confiable continuo	m ³ /s	4,66	12,32	0,86		0	17,84

El sistema permitiría un suministro confiable continuo de 17,84 m³/s. Suponiendo una utilización total del embalse de Tominé con un volumen de 691 hm³, se podría aumentar el suministro confiable continuo a 21,04 m³/s y un máximo diario de 26,15 m³/s. Es responsabilidad de la EAAB-E.S.P. realizar las gestiones con las autoridades ambientales para que éstas permitan el uso adicional de 2,80 m³/s del sistema Tibitoc y 1,12 m³/s del sistema Chingaza (Río blanco). La gestión debe ser respaldada por información hidrológica confiable.

A nivel de la red de distribución, el estudio propone la integración de los sistemas Norte y Sur a través de la construcción de una conducción adicional al túnel de Los Rosales, con lo cual se mejoraría la vulnerabilidad del sistema. También se podría utilizar como medida de regulación en el caso en el que se quieran ahorrar volúmenes de agua en los embalses del norte. La ejecución de las acciones de optimización planteadas permitiría aumentar el caudal de suministro confiable continuo a 24,21 m³/s.

f) Expansión del sistema

En la Figura 71 se muestran los datos históricos de la demanda y los diferentes escenarios de proyección desarrollados en el estudio suscrito con el consultor Humberto Molina. La Figura 82 incluye la oferta de agua histórica y futura.

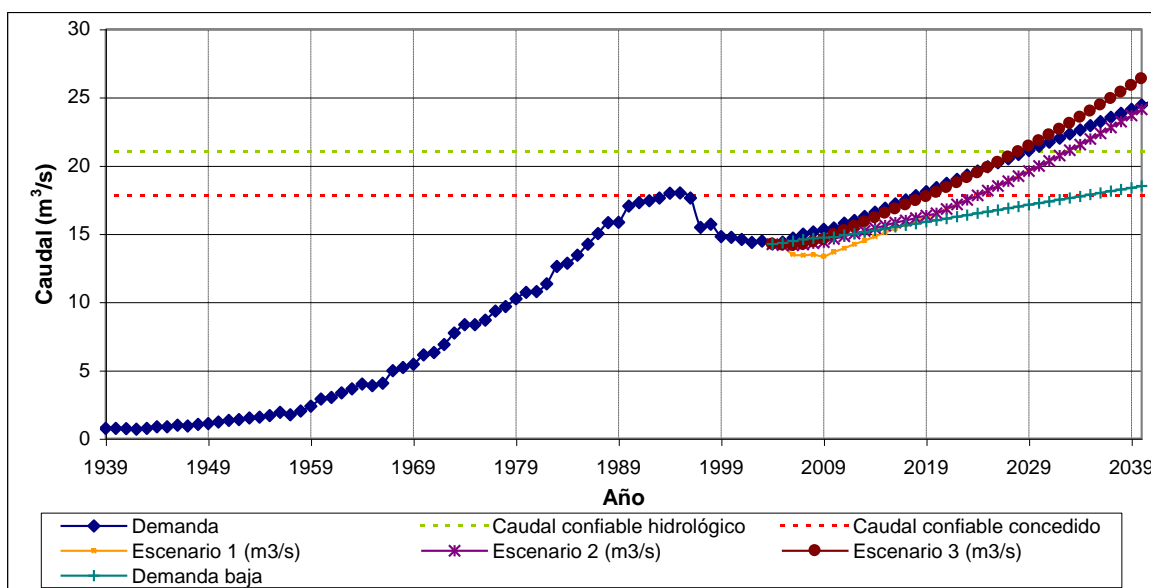


Figura 71. Demanda histórica y proyectada

Suministro de agua y escenarios de proyección - promedio anual (m³/s)

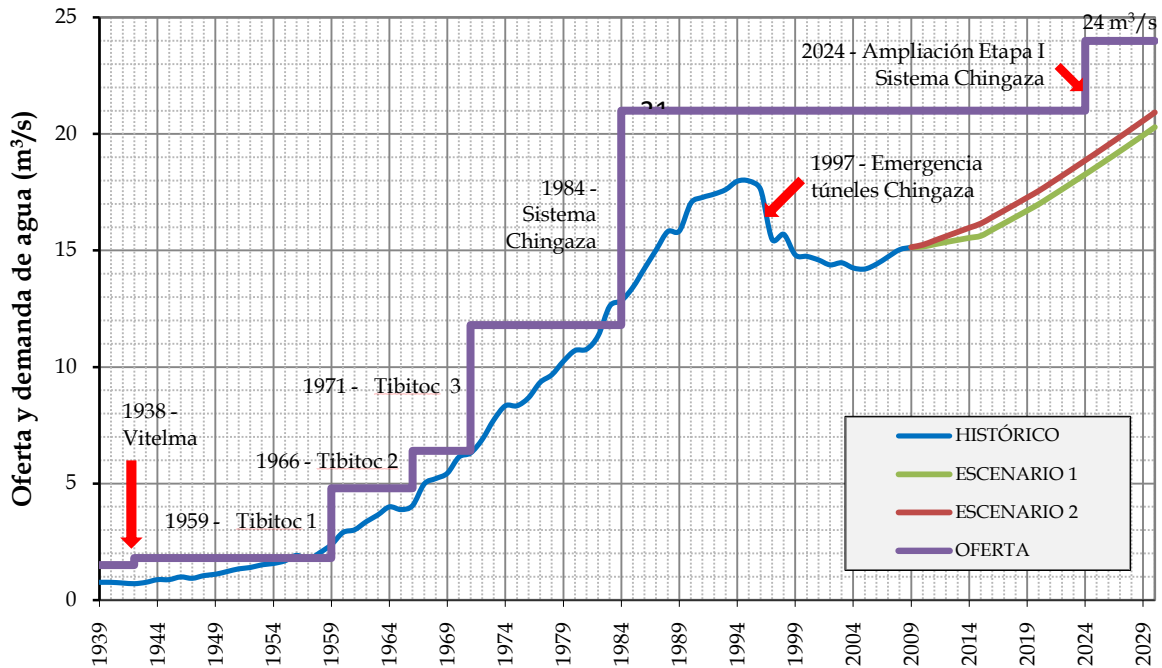


Figura 82. Oferta y demanda de agua histórica y proyectada

Fuente: EAAB-E.S.P., 2010

Con base en estas proyecciones, INGETEC propone una serie de proyectos para la ampliación de la capacidad de abastecimiento de la ciudad. Los proyectos son los siguientes:

- **Bombeo Golillas.** Este proyecto consiste en el uso del caudal de filtración de la presa Golillas como aporte al caudal del Río Chuza. Este aporte puede ayudar a completar el caudal ambiental exigido por los entes reguladores y, de esta manera, se podría hacer uso de un caudal confiable adicional de 0,11 m³/s. Las obras incluyen un tanque de almacenamiento, una estación de bombeo, una tubería de impulsión, una subestación eléctrica y un sistema de control.
- **Chuza Norte.** Desviación de varias corrientes al embalse de Chuza a través de 50 bocatomas, 41 km de conducciones superficiales y 11 km de conducciones subterráneas. Implica la ampliación de la capacidad de la planta Wiesner en un 10%. El caudal confiable agregado total es de 3,90 m³/s. Este proyecto reduciría los caudales para tres centrales de la Empresa de Energía de Bogotá (EEB).
- **Chingaza Sur-Este.** Consiste también en la desviación de corrientes hacia el embalse de Chuza. Éstas incluyen vertientes del Río Guájaro, el Río Guatiquía y la quebrada Blanca. Consiste en nueve bocatomas, 15,9 km de

conducción principal (superficial y subterránea), 3,2 km de ramales secundarios y 839 m de conducción en galerías. El caudal confiable agregado sería de 0,83 m³/s.

- **Embalse La Playa.** Construcción de un embalse de 135 hm³ aguas arriba del desvío del Río Guatiquía para mejorar la regulación de sus caudales. El caudal confiable agregado por esta ampliación sería de 0,79 m³/s.
- **Alto Tunjuelo.** Aumento de la capacidad del embalse de La Regadera.
- **La Regadera II.** Construcción de una presa de 90 m de altura, localizada inmediatamente aguas debajo de la existente para crear un embalse de 34 hm³ y aumentando el caudal confiable en 1,3 m³/s.
- **Macizo de Sumapaz.** Existen dos alternativas mutuamente excluyentes para aprovechar las aguas de este macizo. La primera, denominada Sumapaz Alto consiste en desviar corrientes de la cuenca del Río Blanco a la cuenca del Río Tunjuelo y la construcción del embalse Chisacá II de 135 hm³. La segunda, denominada Sumapaz Medio, consisten en la desviación de afluentes del Río Blanco y del Río Ariari a la cuenca del Río Muña, la construcción del embalse Alto Muña con una capacidad de 373 hm³ y la construcción de una PTAP con una capacidad de 8,91 m³/s.
- **Aguas subterráneas.** Esta alternativa propuesta por la firma JICA comprende la construcción de 76 pozos en cinco zonas del Distrito Capital que podrían producir 2 m³/s. Aún se cuenta con poca información sobre la verdadera capacidad de las fuentes subterráneas de la ciudad de Bogotá, por lo que se recomienda continuar con el proceso de exploración de acuíferos. Adicionalmente, se contempla que esta alternativa sirva como medida de contingencia más que como una fuente continua para el abastecimiento de la ciudad.

La Tabla 6 muestra la secuencia de entrada de los proyectos de expansión basándose en las proyecciones de demanda.

Tabla 65. Proyectos de expansión propuestos

Orden	Ampliación	Etapas	Inversión	Caudal confiable adicional	Costo unitario esperado del agua	Caudal confiable del sistema (con concesiones)	Año en que se copa el caudal confiable ⁽¹⁾	Caudal confiable del sistema (con la hidrología)	Año en que se copa el caudal confiable ⁽¹⁾
			MUSD	m³/s	USD/m3	m³/s		m³/s	
	Sistema actual					17.84	2012	21.04	2021
1	Rebosadero de Chuza	Única	5.30	0.10	0.053	17.94	2009	21.14	(2)
2	Chuza Norte	1 y 2	96.46	2.33	0.098	20.27	2019	23.47	2029
3	Chuza Norte	3	61.77	1.57	0.137	21.84	2024	25.04	2033
4	Embalse La Playa	Única	59.11	1.05	0.121	22.89	2027	26.09	2036
5	Chingaza Sureste	Única	65.19	1.08	0.122	23.97	2030	27.17	2040
6	Embalse Regadera II	Única	123.60	0.70	0.248	24.67	2032	27.87	2042
7	Sum Alto sin central Soacha	Única	756.45	7.58	0.261	32.25	Después del año 2050	35.45	Después del año 2050
7	Sum Medio	Única	1109.26	17.82	0.680	42.49	Después del año 2050	45.69	Después del año 2050

La Tabla 7 muestra los años de entrada de los proyectos de expansión propuestos basándose en las proyecciones de demanda.

Tabla 76. Años de entrada de proyectos de expansión propuestos

Orden	Ampliación	Etapas	Inversión	Caudal confiable adicional	Costo unitario esperado del agua	Caudal confiable del sistema	Año en que se copa el caudal confiable ⁽¹⁾
			MUSD	m³/s	USD/m3	m³/s	
	Sistema actual					21.04	2021
	Sistema optimizado			3.17	---	24.21	2031
1	Rebosadero de Chuza	Única	5.30	0.10	0.053	24.31	(2)
2	Chuza Norte	1 y 2	96.49	2.33	0.098	26.64	2038
3	Chuza Norte	3	61.77	1.57	0.137	28.21	2043

Orden	Ampliación	Etapas	Inversión	Caudal confiable adicional	Costo unitario esperado del agua	Caudal confiable del sistema	Año en que se copa el caudal confiable ⁽¹⁾
			MUSD	m ³ /s	USD/m ³	m ³ /s	
4	Embalse La Playa	Única	59.11	1.05	0.121	29.26	2046
5	Chingaza Sureste	Única	65.19	1.08	0.122	30.34	2049
6	Embalse Regadera II	Única	123.60	0.70	0.248	31.04	Después del año 2050
7	Sum Alto sin central Soacha	Única	756.45	7.58	0.261	38.62	Después del año 2050
7	Sum Medio	Única	1109.26	17.82	0.680	48.86	Después del año 2050

Como un análisis preliminar, se puede argumentar que el Plan Maestro de Abastecimiento, desarrollado por INGETEC, se ha centrado en garantizar los caudales a futuro a través de la ejecución de proyectos que sean económicamente eficientes. Sin embargo, las emergencias que se han presentado en los últimos años, incluyendo las ocasionadas por los fuertes inviernos desde el año pasado, recalcan la necesidad de adoptar un enfoque más amplio. El problema real del sistema de abastecimiento no es, en el futuro cercano, de cantidad de agua. El problema real tiene que ver con la vulnerabilidad del mismo, representada en su mayoría por el riesgo de fallas y por el deterioro de la calidad de agua de las fuentes.

Desde este punto de vista, el Plan Maestro de Red Matriz juega un papel muy importante, debido a que se debe enfocar en la planeación de soluciones en el mediano y en el largo plazo para que se haga un aprovechamiento de las fuentes de abastecimiento con un alto grado de confiabilidad. Esto implicaría la construcción de líneas adicionales que permitan el flujo de norte a sur y que reduzcan el riesgo de racionamiento en el sur de la ciudad por fallas en líneas como Silencio - Vitelma y Quindío - Juan Rey, las cuales presentan un alto riesgo de falla. Estas líneas también deberían proyectarse para que en el largo plazo permitan abastecer el norte de la ciudad desde el sur tras la entrada de los proyectos en La Regadera y en Sumapaz Medio.

g) Despacho óptimo de plantas

El estudio de INGETEC incluyó la optimización de costos operativos de despacho en las PTAPs. El proceso requirió el modelado hidráulico de diferentes situaciones de demanda, entre 14 m³/s y 18 m³/s. El modelo desarrollado debía tener en cuenta una serie de restricciones, en donde las más significativas eran las correspondientes a las plantas de Tibitoc y de Wiesner.

Por un lado, la concesión de la planta de Tibitoc especifica caudales mínimos de demanda, los cuales se muestran en la Tabla 32. Esto implica que cualquier valor de consumo que sea inferior al valor de la tabla se factura con el valor de la misma. De esta manera, los esquemas de despacho que utilicen valores pequeños para el caudal de Tibitoc estarían desperdiciando una cantidad de agua por la que ya se pagó. Desde otra perspectiva, se estarían realizando aportes al banco de agua, del cual no es posible técnicamente almacenar agua o garantizar que cuando ésta se requiera esté disponible.

En cuanto a la planta Wiesner, se tienen restricciones al caudal máximo debido a las diferentes actividades de refuerzo de las conducciones entre el embalse Chuza y la planta, por lo cual se supone un caudal máximo durante los períodos de mantenimiento de 7,5 m³/s. Esta condición implica una mayor utilización de la planta Tibitoc y esquemas de operación que permitan mantener los estándares de servicio.

Teniendo en cuenta estas restricciones, se plantearon una serie de escenarios posibles de despacho y se corrieron utilizando el modelo hidráulico. La Tabla 87 muestra los parámetros más relevantes de cada uno de estos escenarios. Como se mencionó, cada escenario fue probado para diferentes condiciones de demanda.

Tabla 87. Escenarios de despacho de plantas

No.	Situación operativa	Condición en Tibitoc	
		Tanque	Tubería abierta
1	Normal	Bajo	60"
2	Normal	Bajo	78"
3	Normal	Bajo	78" + 60"
4	Normal	Alto	78"
5	Normal	Alto	60"
		Bajo	78"
6	Normal	Alto	78" + 60"
7	Concesión	Según lo requiera la situación operativa	
8	Mantenimiento de los túneles de Chingaza		
9	Máxima producción en Wiesner		
10	Mantenimiento de los túneles y tubería de 60" fuera de operación		

A partir de la disponibilidad de agua, la programación de obras de mantenimiento y los costos de operación (teniendo en cuenta los costos variables menos beneficios de la generación hidroeléctrica), se establecieron alternativas de despacho óptimo de plantas. En la Tabla 98 y en la Tabla 109 se muestran alternativas de despacho

óptimo para escenarios de demanda alta y baja, incluyendo la generación de energía eléctrica en la central Santa Ana.

Tabla 98. Alternativas de despacho óptimo – escenario bajo

Año	No de meses al año	Situación operativa	Condición en Tibitoc	Rango de variación de caudales (m ³ /s)			Producción total (m ³ /s) sin PTAP Dorado	
				Tibitoc	Wiesner	Central Santa Ana		
2005-2006	9	Normal	Bajo 78	3,55	10,47 - 10,57	7,55	14.02	14.12
	3	Mantenimiento	Alto 78	7,26 - 7,27	6,77 - 6,86	3,26 - 3,33	14.03	14.13
2007 - 2012	9	Normal	Bajo 60	2,11 - 2,12	12,13 - 12,45	8,91 - 8,93	14.24	14.57
	3	Mantenimiento	Alto 78+60	7,66 - 7,67	6,59 - 6,91	3,35 - 3,51	14.25	14.58
2013 - 2019	12	Normal	Bajo 60	2,13 - 2,14	12,56 - 13,08	8,94	14.69	15.22
2020	12	Max Wiesner	Bajo 78	2,1	13,13	8,99	15.23	

Tabla 109. Alternativas de despacho óptimo – escenario alto

Año	No de meses al año	Situación operativa	Condición en Tibitoc	Rango de variación de caudales (m ³ /s)			Producción (m ³ /s) sin PTAP Dorado	
				Tibitoc	Wiesner	Central Santa Ana		
2005-2006	9	Normal	Bajo 78"	3,56	10,51 - 10,81	7,55	14.07	14.37
	3	Mantenimiento	Alto 78"	7,27 - 7,28	6,81 - 7,09	3,29 - 3,47	14.08	14.37
2007-2011	9	Normal	Bajo 60"	2,13 - 2,14	12,56 - 13,04	8,94	14.69	15.18
	3	Mantenimiento	Alto 78" +60"	7,67 - 7,68	7,02 - 7,49	3,57 - 3,65	14.69	15.17
2012	9	Max Wiesner	Bajo 78"	2,2	13,13	8,91	15.33	
	3	Mantenimiento	Alto 78" +60"	7,68	7,61	3,67	15.29	
2013-2018	12	Max Wiesner	Bajo 78"	2,47 - 3,88	13,13	8,72 - 7,57	15.6	17.01
2019-2020	12	Max Wiesner	Bajo 78" +60"	4,17 - 4,46	13,13	7,64 - 7,49	17.3	17.59

Bajo las dos alternativas de demanda planteadas, este estudio proyectó que el caudal requerido por la ciudad para el año 2020, año final del análisis para el despacho óptimo, corresponde a 18,40 m³/s teniendo en cuenta la siguiente distribución: caudal máximo requerido por la planta de Tibitoc de 4,46 m³/s, por la planta Wiesner de 13,13 m³/s, y por las plantas del sur de 0,8 m³/s con lo cual se atendería la demanda total para ese año.

Se analiza que las alternativas planteadas para la operación del despacho óptimo no tienen en cuenta una serie de factores que impide la operación planteada. Éstas son las principales razones o discrepancias encontradas:

- La operación de la línea de 78" con tanque alto, debido a la alta vulnerabilidad que presenta la línea por fallas estructurales en un tramo el cual no ha sido rehabilitado (tramo entre la válvula V3 a la V9). Este tramo,

de acuerdo con revisiones estructurales realizadas por la Dirección de Red Matriz, muestra problemas de asentamiento y cambios de alineación de la línea así como la rotura de espiras en muchas tuberías de la línea.

- La operación de la planta Tibitoc con producción mayor a $7,0 \text{ m}^3/\text{s}$, bajo mantenimiento de túneles de Chingaza, es una operación con alto grado vulnerabilidad e incertidumbre, dado que la producción de la planta no depende sólo de la capacidad física instalada sino de las condiciones climatológicas de la sabana y de calidad del agua del Río Bogotá. Incluso, en estos últimos meses, en los cuales el país ha sufrido por la Ola Invernal con desbordamiento e inundaciones causadas por el Río Bogotá, genera problemas de calidad que reducen los tiempos de operación de la PTAP Tibitoc.
- La producción de la PTAP Wiesner planteada de $13,13 \text{ m}^3/\text{s}$ (proyectado para demanda baja a partir del año 2013 y para demanda alta a partir del año 2012) sin el proyecto de expansión de Río Blanco no es posible de mantener ya que generaría desabastecimiento de embalses. En la actualidad, sin las obras de Río Blanco, el caudal máximo de producción confiable es de $12,84 \text{ m}^3/\text{s}$ para el sistema Chingaza.
- Mantener la superficie de presiones del sistema de red matriz en la Zona Baja Norte operando el sistema de Tibitoc con una de las líneas, ya que con el aumento de velocidades en cualquiera de las dos líneas y aumento de la demanda de las zonas conectadas a la misma, se requiere realizar un análisis hidráulico que garantice que la superficie de presiones se mantendrá y no generará problemas de suministro en las colas de servicio.