Nota al Lector:

Posterior a la emisión del presente estudio (**Modelación Hidráulica del Sistema de Caguas**) se modificó el Plano Conceptual del Proyecto Embalse Beatriz (el Proyecto). El Proyecto según redefinido propone la construcción de una nueva planta de filtración en vez de la ampliación de la planta de filtración Caguas Sur y define las áreas de disposición de sedimentos y área de amortiguamiento de la cortina de la represa. Estas áreas en conjunto ocupan aproximadamente 70 cuerdas adicionales al área de estudio original, las cuales fueron estudiadas separadamente. Además incluye dos alternativas de acceso a la nueva planta de filtración, actualmente en evaluación. Sin embargo, estas modificaciones no alteran los resultados del presente estudio.

05PR031C60-0100-0130

Modelaje Hidráulico
del Sistema de Caguas
(Final-Revisado 11/05)

Preparado por CSA para AFI
Noviembre 2005

MODELAJE DEL SISTEMA DE CAGUAS

CSA Group, Inc.
Mercantil Plaza, Mezzanine Suite, S. J. , PR 00918 Tel. 787.641.6800 Fax 787.641.6850

Memorando

A:	Ing. Erick Donate (AFI)	**Nombre de Proyecto:**	Autoridad para el Financiamiento de la Infraestructura de Puerto Rico (AFI) - Modelaje del Sistema de Caguas
De:	Ing. Agnes Ayuso (CSA)		
C:	Ing. Ángel Ramírez (CPM) Ing. Greg Morris (GME) Ing. Aníbal Camacho (AFI) Ing.Ramón Russe (CSA) Ing. Mónica Machín (CSA)	**Número de Proyecto:**	05PR031C60-0100-0130
Fecha:	30 de noviembre de 2005	**Número de Contrato:**	

Asunto: **Modelaje Hidráulico del Sistema de Caguas (Final-Revisado 11/05)**

Este memorando resume la revisión del modelo hidráulico del Área Metro para el sistema de Caguas, el cual fue desarrollado para la Declaración de Impacto Ambiental del Embalse Beatriz preparada por Gregory L. Morris Engineering (GME) para la Autoridad del Financiamiento de la Infraestructura de Puerto Rico (AFI). El modelo se utilizó para definir a que áreas de Caguas puede enviarse el agua del nuevo Embalse Beatriz e identificar la ruta, diámetro y puntos de conexión de la nueva línea de transmisión desde la Planta de Filtración de Caguas Sur hacia el sistema existente de Caguas.

Como parte de la revisión del modelo para el sistema de Caguas se llevaron a cabo las siguientes tareas:

1) Inventario del sistema – Se integraron al modelo del Área Metro las áreas de Caguas que no fueron modeladas previamente, estas áreas incluyen los sistemas de: San Antonio, San Pedro, La Barra, La Mesa, San Luis / La Princo, Bairoa, La Pista, Cañaboncito, Beatriz, Altos de la Fuente, Villa Nueva, Turabo Gardens, Tomás de Castro, Villa de Castro y Hato. Se ajustaron las curvas de las bombas de acuerdo a capacidades suministradas por la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA).

2) Demandas y Ofertas – Se redistribuyeron las demandas del modelo de acuerdo a las capacidades de bombeo actuales obtenidas del personal de operaciones de la AAA de Caguas, el ingeniero Juan Calderón. Se revisaron las ofertas, y se ajustaron las demandas por zona de presión para que estuvieran de acuerdo con los totales estimados en el estudio de demandas.

3) Análisis por Año – Se llevaron a cabo corridas del modelo hidráulico y se verificó el balance de agua y el funcionamiento del sistema de Caguas para cada escenario.

4) Sistema de transmisión – Se identificaron alternativas para la línea de transmisión desde la Planta de Filtración (PF) Caguas Sur hacia su área de servicio.

Inventario del Sistema

El sistema de Caguas se divide en dos áreas de servicio principales: Caguas Norte y Caguas Sur. La **Figura 1** muestra el sistema existente, áreas de servicio y zonas de presión. Se operan válvulas para limitar el flujo entre Caguas Norte y Caguas Sur, las cuales están localizadas en la carretera PR-1 cerca del parque de pelota y el correo. Esta información la proveyó el señor Luis Camacho, quien fue previamente el encargado en la AAA de operar el sistema y actualmente labora con el Municipio de Caguas.

Al presente, el área de Caguas Norte se suple principalmente por transferencia del Área Metro a través de la Estación de Bomba (EB) La Muda (~13 mgd). El agua transmitida desde el Área Metro se une a la producción de la PF Caguas Norte (~3.5 mgd) para suplir el norte de la zona urbanizada y el casco del pueblo, además de transmitir agua por bombeo hacia Gurabo (~3 mgd) y varias zonas de presión en Caguas: San Antonio, San Pedro, La Barra, La Mesa, San Luis / La Princo, Bairoa, La Pista y Cañaboncito. Desde la zona de La Pista, hay una pequeña transferencia hacia Aguas Buenas (0.4 mgd) y desde la zona de San Luis una pequeña transferencia hacia Gurabo (0.6 mgd)

El área de Caguas Sur recibe agua desde esta planta (~6 mgd) e incluye el sur de la zona urbanizada. Desde esta área el agua fluye por bombeo a las zonas de presión de Beatriz, Altos de la Fuente, Villa Nueva, Turabo Gardens, Tomás de Castro, Villa de Castro y Hato. El área de Tomás de Castro también recibe un flujo pequeño (~0.5 mgd) desde la Planta Nueva de San Lorenzo y se suplementa con un flujo limitado de Caguas Norte (~0.5 mgd).

De acuerdo a la planificación previa de AFI, la planta de San Lorenzo debería contribuir con un flujo de 2 mgd al área de Tomás de Castro. El municipio de Caguas ha construido un sistema de tuberías para esta área para mejorar el servicio y en anticipación de nuevos desarrollos, contando con flujo adicional. Sin embargo, de acuerdo al personal de operaciones de la AAA el flujo que actualmente llega a Caguas es de sólo 0.5 mgd. Es posible que el proyecto del Municipio pueda suplirse del agua que podría retener Caguas una vez se supla Gurabo del proyecto de AFI para Gurabo-Juncos, lo cual se discute mas adelante.

Otras áreas de servicio en Caguas son San Salvador, que se suple de esta planta (~0.3 mgd); Guavate, que recibe agua de esta planta en Cayey (~0.6 mgd), y Cidra, que recibe agua desde este municipio (~0.4 mgd).

De acuerdo a las entrevistas al personal de la AAA, las zonas en Caguas con mayor deficiencia de agua son el barrio Tomás de Castro y las zonas que se sirven de los sistemas rurales: San Salvador, Guavate y Cidra.

Demandas y Ofertas

La **Tabla 1** muestra las demandas para el sistema de Caguas por zona de presión para los escenarios modelados. Se utilizó el estudio de demandas de la Oficina del Plan de Agua (OPA) del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales para definir la necesidad de producción total (demandas + agua no contabilizada) o agua a distribuirse por las tuberías del sistema de agua potable. Se utilizó el escenario más conservador, el escenario esperado alterno, el cual no contempla reducción de pérdidas. Esta decisión se tomó en base a que el propósito de este estudio es proveer ubicaciones y tamaños de líneas en lo cual se debe ser lo más conservador posible ya que la transmisión desde Caguas Sur es por gravedad y ya que no se desea tener que instalar futuras tuberías paralelas a las ya instaladas. Además, el uso de diámetros de tubería conservadores maximiza la flexibilidad del sistema de transmisión para servir cambios no anticipados en el patrón geográfico de crecimiento urbano y su consiguiente demanda de agua.

La necesidad de producción se distribuyó en el modelo hidráulico de acuerdo a información suministrada por la AAA para las áreas suplidas por bombeo y a la necesidad de producción asignada en el modelo hidráulico del 2000 para las áreas suplidas directamente por la EB La Muda y las plantas. Se obtuvieron las capacidades de bombeo actuales para las zonas servidas a través de bombeos de la AAA y se le asignó la necesidad de producción a estas zonas de acuerdo a estas capacidades. La necesidad de producción de las zonas bajas (y de mayor consumo) se calculó restando a la necesidad de producción total la cantidad bombeada a zonas más altas. La necesidad de producción del modelo hidráulico del 2000 para las zonas bajas se multiplicó por un factor de ajuste para que la necesidad de producción total del modelo fuese igual a la del estudio de demandas de OPA. Los factores de ajuste entre la necesidad de producción promedio 2000 modelada previamente y la necesidad de producción promedio 2005-2020 para las zonas de La Muda Caguas y Caguas Sur fueron entre 1.969 y 2.436.

Al utilizar las capacidades de bombeo actuales para definir la necesidad de producción de las zonas altas no se intentó evaluar si estas son adecuadas para suplir las poblaciones en estos sectores, ya que se consideró esta evaluación fuera del ámbito de este estudio. Si se consideró que al proveer transmisión del agua de Caguas Sur hasta el centro de Caguas se proveía flexibilidad para en un futuro aumentar las capacidades de bombeo, ya que la mayoría de los bombeos se suplen desde las tuberías principales en el área central de Caguas.

Las zonas de mayor consumo son La Muda Caguas y Caguas Sur. La Muda Caguas tiene una necesidad de 12.2 mgd y Caguas Sur de 7.6 mgd para el 2005. Adicional al consumo en la parte baja, el área de servicio de Caguas Norte tiene bombeos a zonas altas equivalentes a 2.8 mgd y el área de servicio de Caguas Sur tiene bombeos de 4.3 mgd.

La **Tabla 2** muestra las ofertas para las condiciones existentes y futuras. Esta tabla también muestra la capacidad de producción de diseño de las plantas y las producciones promedio en los años 2000-2002 según la AAA. Actualmente el área de servicio norte se suple principalmente de la EB La Muda y el área de servicio sur se suple de la PF Caguas Sur, según discutido anteriormente. Del flujo total bombeado por la EB La Muda (12.7 mgd) se transfiere agua hacia Guaynabo (2.6 mgd) y Gurabo (3.2 mgd), para un total neto hacia Caguas de ~7 mgd. Antes del 2010, (programado por AFI para el 2006) se completará el proyecto de Guaynabo-Juncos y la capacidad de transferencia desde el Área Metro aumentará hasta 27.6 mgd, de lo cual se podrá transferir hasta 12.7 mgd hacia Gurabo y Juncos y se continuará transfiriendo 2.6 mgd hacia Guaynabo, para un total neto hacia Caguas de hasta 12.3 mgd. Antes del 2015, (programado por AAA para el 2013) se completará el embalse Beatriz y ampliación de la PF Caguas Sur, aumentando la producción de esta planta a 13.0 mgd. También, antes del 2015, (programado por AAA para el 2012) se completará el embalse Valenciano y planta de filtración, lo cual eliminaría la transferencia de agua del Área Metro hacia Gurabo y Juncos.

Esto permite una reducción significativa en el bombeo desde el Área Metro a 13.5 mgd, para un total neto hacia Caguas de 10.9 mgd. Para los años 2020 y 2025, las ofertas se mantienen casi constantes, aumentando sólo levemente la transferencia desde el Área Metro a 14.5 y 15.5 mgd para compensar por el crecimiento en la demanda, ya que no se contemplan otros proyectos de abasto durante este periodo.

Existe la posibilidad de expandir el área de servicio de la PF Caguas Sur hacia las áreas que actualmente se suplen de la PF San Salvador, Guavate, y Cidra; ésta expansión no se consideró en el modelo ya que conllevaría construir sistemas nuevos para estas áreas, que actualmente no tienen conexión con el sistema de Caguas Norte y Sur y tienen líneas pequeñas.

Análisis por Año

El modelo hidráulico se corrió en simulaciones estáticas ("steady-state"), en las cuales el sistema se encuentra en una condición de flujo y de presión dada, con las ofertas en balance con la necesidad de producción. Basado en el análisis de demanda y oferta para Caguas, que se muestra en las **Tablas 1 y 2**, se analizaron y/o modelaron los siguientes escenarios:

1) 2005 – Situación existente, en la cual la oferta es de 17.2 mgd con las fuentes principales siendo la EB La Muda, la PF Caguas Sur y la PF Caguas Norte. La oferta es menor que la necesidad de producción de 27.8 mgd, y por lo tanto esta condición se analizó pero no se modeló.

2) 2010 – Se completa Proyecto Guaynabo-Caguas-Gurabo-Juncos para una oferta total de 25.1 mgd. Se aumenta la producción de la PF Caguas Norte a 6 mgd como resultado de los arreglos programados por la AAA para la planta. La oferta es menor que la necesidad de producción de 29.2 mgd, y por lo tanto esta condición se analizó pero no se modeló. Los impactos del proyecto Guaynabo-Juncos en Caguas son los siguientes:

a) Aumenta la capacidad de transferencia desde el Área Metro a Caguas de un total neto de ~7 mgd (12.7 bombeado por La Muda menos 2.6 mgd y 3.2 mgd transferidos a Guaynabo y Gurabo) a ~12 mgd (27.6 mgd bombeado por la nueva EB Piedras Blancas menos 2.6 mgd y 12.7 mgd transferidos a Guaynabo, Gurabo y Juncos). Este aumento en capacidad de transferencia hacia Caguas es un beneficio indirecto del proyecto Guaynabo-Caguas-Gurabo-Juncos, ya que al suplirse Gurabo y Juncos a través de la tubería nueva, se eliminan los bombeos actuales entre Caguas y Gurabo de ~3.2 mgd. Este aumento es en capacidad de transferencia y la magnitud de las transferencias futuras a Caguas dependerá de la cantidad de agua adicional para enviar hacia Caguas que se obtenga a través de la optimización de la operación del sistema del Área Metro.

b) Aumenta el potencial de transferencia entre Caguas Norte y Caguas Sur. Si aumenta el abasto hacia Caguas desde el norte, se podrá transferir agua adicional desde el área de servicio Caguas Norte hacia Caguas Sur.

c) El nuevo Tanque Ponderosa a 135 m dominará la rasante hidráulica hasta una válvula sostenedora / reductora que se ubicará cerca de Bairoa. Se llevó a cabo una reunión con el ingeniero Juan Calderón de AAA y el señor Luis Camacho del Municipio de Caguas en la cual se acordó que la ubicación de esta válvula será justo antes del punto de cotejo de la EB Bairoa en el área verde. El Tanque 5 MG a 106 m dominará la rasante del sistema desde esta válvula hacia el sur.

3) 2015-2025 – Se completa Embalse Beatriz y expansión de la PF Caguas Sur para una oferta total de 30.7-32.7 mgd, igualando las necesidades de producción promedio respectivas para este periodo. Por no haber variación significativa en las ofertas durante este periodo, se simuló la condición más conservadora, que es en el 2015, cuando la transferencia de Sur a Norte es más crítica dado a que la transferencia del Área Metro se minimiza. Los impactos del embalse Beatriz y ampliación de la PF Caguas Sur son los siguientes:

a) Aumenta la producción en Caguas Sur de 6.0 a 13.0 mgd y se elimina la transferencia hacia Gurabo y Juncos por razón del Embalse Valenciano, lo cual permite una reducción significativa en el bombeo desde el Área Metro a 13.5 mgd, para un total neto hacia Caguas de 10.9 mgd.

b) Se invierte la transferencia entre las áreas de servicio de Caguas Norte y Sur, siendo esta vez desde el sur hacia el norte, por una cantidad de ~1 mgd durante la condición promedio y ~3 mgd durante la condición de hora pico.

4) 2010, Sequía con Beatriz – Este escenario se analizó para determinar el área que podría servirse desde Caguas Sur cuando el bombeo de La Muda tenga que disminuir bajo condiciones de sequía u otra condición que reduzca este bombeo; y para asegurar que la PF Caguas Sur pueda suplir hidráulicamente esta área a través de las mejoras propuestas. Durante una condición de sequía una vez se complete el Embalse Beatriz, la PF Caguas Sur podría estar supliendo todo el sistema de Caguas urbano, hasta la válvula

sostenedora/reductora que separará el área de influencia del Tanque 5 MG con el Tanque Ponderosa. Los impactos de esta condición son los siguientes:

a) Se reduce la transferencia del Área Metro a aquella necesaria para suplir el sistema del Tanque Ponderosa, o ~5.5 mgd. La producción de agua para Caguas entonces sería de 22.7 mgd, lo cual es un poco mas bajo que la producción esperada para el 2010, de 25.1 mgd, con el proyecto Guaynabo-Caguas-Gurabo-Juncos. Ello conllevaría algún tipo de control operacional o racionamiento de agua dado la restricción en el agua por la condición de sequía.

b) Aumenta la transferencia entre las áreas de servicio de Caguas Norte y Sur, a una cantidad de ~4 mgd.

c) Se suple el Tanque de 5 MG a 106 m desde la PF Caguas Sur a 119 m.

Metodología

El modelo hidráulico tiene dos partes: 1) el modelo de datos, y 2) el programa de computadoras. El modelo de datos, que consiste de la facilidades existentes y de la información necesaria para definir sus características hidráulicas, incluyendo todas las estaciones de bombeo, tanques y válvulas principales, se interpreta por el programa de computadoras usando ecuaciones matemáticas. El programa de computadoras provee presiones en todos los nodos, y flujos en todas las tuberías.

En este proyecto se utilizó el programa H2OMap. Este programa provee la capacidad de análisis del sistema de tuberías en conjunto con una plataforma de GIS que permite visualizar el sistema e importar y exportar capas de información hacia ArcView y ArcGIS. El programa utiliza una base de datos robusta y provee la capacidad de fácilmente entrar datos y extraer resultados, incluyendo importar y exportar hacia Microsoft Excel. El programa utiliza como motor computacional el programa EPANET, el cual fue desarrollado por la "U.S. Environmental Protection Agency". Este programa determina una distribución de flujos en un sistema de tuberías (incluyendo flujos de los tanques) y calcula las presiones resultantes en los nodos (que incluyen puntos de intersección y demanda de agua); y determina pérdidas en las tuberías con la ecuación de Hazen-Williams o Darcy-Weisbach. Los flujos de las estaciones de bombeo y sus aumentos en presión también se proveen por los cómputos del modelo hidráulico.

Los tamaños mínimos de tubería a incluirse en el modelo hidráulico dependen del tamaño de la municipalidad. En el modelo de San Juan se incluyen todas las tuberías sobre 8" y aquellas menores de 8" (de 2", 4" y 6") donde se consideran tuberías de importancia. En Caguas se incorporaron la mayoría de estas tuberías menores y se verificó el sistema con el ingeniero Juan Calderón de operaciones de la AAA y el señor Luis Camacho, quien operó el sistema de la AAA y actualmente labora para el Municipio de Caguas.

Para calcular las pérdidas de las tuberías en el modelo hidráulico se utilizó la ecuación de Hazen-Williams y generalmente C=100, ya que se desconoce la edad y material de la mayoría de las tuberías existentes. Durante la calibración del modelo en el 2000, se modificaron los coeficientes de pérdida de las tuberías a valores entre C=80 y C=120 para representar menores o mayores pérdidas de acuerdo con las medidas de presión obtenidas en el campo. Para algunas tuberías recién instaladas se utilizó C=130. Las tuberías propuestas en este estudio se modelaron con C=100 como asunción conservadora ya que se transmitirá el agua por gravedad desde la PF Caguas Sur.

Los diámetros para las tuberías propuestas se juzgaron ser suficientes al observar las presiones de los nodos, y las velocidades y pérdidas en las tuberías. Los siguientes valores se usaron para determinar cuando un problema hidráulico estaba ocurriendo. Estos valores fueron utilizados como una guía y no son absolutos. Tuberías con diámetros más pequeños y tuberías cortas pueden tolerar velocidades y pérdidas más altas que tuberías más grandes de transmisión. Estos valores concuerdan con los estándares de diseño de la AAA. Estos estándares requieren una presión mínima de 30 psi [sección 2.07.01] y velocidades máximas de 4 y 8 pies/s, respectivamente para tuberías fluyendo por gravedad y bajo presión [sección 2.07.02]. Aunque la AAA no tiene estándares para presiones máximas, las presiones demasiado altas pueden causar roturas, filtraciones, y pueden romper tuberías en las propiedades servidas. Por lo tanto las presiones máximas se limitan normalmente entre 100-125 psi.

Criterio	Valor
Presión mínima, psi	30
Velocidad máxima, pies/s	5
Pérdida máxima, m/1,000 m	4

Sistema de Transmisión

Se modelaron dos alternativas de sistemas de transmisión desde la PF Caguas Sur, de las cuales se decidió recomendar la Alternativa 1, en la cual los tramos de tubería son aquellos necesarios para aumento de capacidad, pero dejando la opción abierta para instalar un diámetro mayor de tubería en estos tramos y así reemplazar tubería de esto ser solicitado por la AAA.

Las **Figuras 2A, 2B y 2C** muestran las alternativas para la nueva línea de transmisión, con sus respectivos puntos de conexión y tanques propuestos.

La lógica que se siguió fue el tratar de optimizar la rasante disponible en el centro de Caguas, ya que el sistema es uno en que el agua se distribuye desde el centro hacia las áreas circundantes por bombeo. Se deseó el ser lo más conservador posible en el tamaño de la línea ya que la transmisión desde Caguas Sur es por gravedad y ya que no se desea tener que instalar futuras tuberías paralelas a las ya instaladas. Además, el uso de diámetros de tubería

conservadores maximiza la flexibilidad del sistema de transmisión para servir cambios no anticipados en el patrón geográfico de crecimiento urbano y su consiguiente demanda de agua.

La elevación de la PF Caguas Sur se modeló como 119 m dado que según la agrimensura realizada por Gregory L. Morris Engineering el nivel de tope de los tanques actuales de la PF Caguas Sur se encuentra entre 119 m y 121 m. Sin embargo, el nivel de la PF Caguas Sur Nueva podría aumentarse ya que proveería mas rasante para llevar el flujo por gravedad y no afectaría el sistema de Caguas Norte y Tanque 5 MG el cual estaría separado por válvulas sostenedoras / reductoras. Estas válvulas, que se muestran en las Figuras 2A, 2B y 2C, son críticas para el control de flujo entre la zona de Caguas Norte y Caguas Sur, que actualmente se logra estrangulando válvulas, lo cual permite menos control operacional.

Alternativa 1

1) Línea de 36" en la carretera PR-1 paralela a líneas existentes de 20", 16" y 12" por 3.4 km; desde PF Caguas Sur hasta línea de 36" que cruza el Expreso, cerca de succión EB Villa Nueva. Debe conectarse al final a las otras dos líneas, de 16" y 12".

2) Línea de 24" en la carretera PR-1 paralela a línea existente de 20" por 800 m; comenzando al extremo norte de las líneas de 12", 16" y 20" en PR-1 y terminando en conexiones a línea de 20" hacia Caguas Norte, línea de 20" desde PF San Lorenzo Nueva, línea de 20" (que se convierte en 16" y 6") hacia Tomás de Castro, y línea de 4" hacia Tomás de Castro.

Alternativa 2

1) Línea de 42" en carretera PR-1 reemplazando y aumentando capacidad de líneas existentes de 20", 16" y 12" por 3.4 km; desde PF Caguas Sur hasta línea de 36" que cruza el Expreso, cerca de succión EB Villa Nueva. Hay múltiples puntos de conexión ya que las líneas existentes se eliminan.

2) Línea de 36" en carretera PR-1 reemplazando líneas existentes de 20", 16" y 12" por 3.8 km; desde línea de 36" que cruza el Expreso hasta línea de 12" que suple Turabo Gardens. Debe conectarse al final a las otras dos líneas, de 16" y 12". Hay múltiples puntos de conexión ya que las líneas existentes se eliminan.

3) Línea de 30" en la carretera PR-1 reemplazando líneas existentes de 20", 16" y 12" por 700 m; desde línea de 12" que suple Turabo Gardens hasta extremo norte de las líneas de 12", 16" y 20" en PR-1. Hay múltiples puntos de conexión ya que las líneas existentes se eliminan.

4) Línea de 30" en la carretera PR-1 reemplazando y aumentando capacidad de línea existente de 20" por 800 m; comenzando al extremo norte de las líneas

de 12", 16" y 20" en carretera PR-1 y terminando en conexiones a línea de 20" hacia Caguas Norte, línea de 20" desde PF San Lorenzo Nueva, línea de 20" (que se convierte en 16" y 6") hacia Tomás de Castro, y línea de 4" hacia Tomás de Castro. Hay múltiples puntos de conexión ya que las líneas existentes se eliminan.

Alternativa Recomendada

1) Línea de 36" paralela o de 42" para reemplazo en carretera PR-1 aumentando capacidad de líneas existentes de 20", 16" y 12" por 3.4 km; desde PF Caguas Sur hasta línea de 36" que cruza el Expreso, cerca de succión EB Villa Nueva. Debe conectarse al final a las otras dos líneas, de 16" y 12". De reemplazarse líneas existentes, entonces deben hacerse múltiples puntos de conexión.

2) Línea de 24" paralela o de 30" para reemplazo en la carretera PR-1 aumentando capacidad de línea existente de 20" por 800 m; comenzando al extremo norte de las líneas de 12", 16" y 20" en PR-1 y terminando en conexiones a línea de 20" hacia Caguas Norte, línea de 20" desde PF San Lorenzo Nueva, línea de 20" (que se convierte en 16" y 6") hacia Tomás de Castro, y línea de 4" hacia Tomás de Castro. De reemplazarse líneas existentes, entonces deben hacerse múltiples puntos de conexión.

Se recomiendan dos nuevos tanques de 3 MG en la planta o cercanos a esta. Se recomienda una elevación mínima de piso de 119 m o mayor. Se modeló utilizando 119 m como la elevación del agua de los tanques, ya que según la agrimensura realizada por Gregory L. Morris Engineering el nivel de tope de los tanques actuales de la PF Caguas Sur se encuentra entre 119 m y 121 m. Sin embargo, el nivel de estos tanques puede considerar elevarse a mas de 119 m ya que proveería mas rasante para llevar el flujo por gravedad y no afectaría el sistema de Caguas Norte y Tanque 5 MG el cual estaría separado por válvulas sostenedoras / reductoras.

El volumen de almacenaje se determinó por el análisis que se muestra en la **Tabla 3**. Al considerar la demanda pico del sistema (por un factor de 1.5 sobre la demanda ajustada), se da la diferencia de flujo que debe proveerse por el almacenaje de la zona de presión. En el caso de la zona de Caguas Sur, la producción de la zona de 13 mgd se reparte entre los bombeos a zonas mas altas (~4 mgd) y el consumo de la zona (8.6 mgd promedio y 12.9 pico). Para suplir la demanda pico, se deben proveer 3.8 mgd de almacenaje. Para suplir la demanda promedio en caso de un paro en la planta, se deben proveer 8.6 mgd, lo cual es la condición mas conservadora. Considerando que se eliminarían los 1.6 MG de almacenaje en la planta existente y que se utilizaría el volumen del tanque existente de Tomás de Castro de 3 MG, se recomiendan dos tanques nuevos de 3 MG para un total de almacenaje de 9 MG. El almacenaje se propone en la planta o cercana a esta ya que se suple el sistema por gravedad, el área del sur del sistema tiene potencial de crecimiento, y el área de Tomás de Castro ya cuenta con el tanque Tomás de Castro de 3 MG. A este tanque no se le está dando

un uso significativo y de no poder incrementarse su uso con el flujo desde San Lorenzo debe considerarse el conectarlo al sistema de Caguas Sur.

Las **Figuras 3A, 3B y 3C** muestran la distribución de flujo modelada para la Planta de Filtración de Caguas Sur para las condiciones 2015 promedio, 2015 pico y 2010 sequía con Beatriz. Se puede observar que hasta la conexión hacia Tomás de Castro y Caguas Norte, al extremo norte de la línea, se transmite un flujo significativo, de 5.4 mgd, 8.5 mgd y 8.0 mgd, respectivamente. También es importante señalar que se estiman 2.4 mgd, 3.5 mgd y 0.8 mgd (respectivamente) en consumo distribuido a lo largo de la línea; y que se estiman 1.9 mgd, 2.8 mgd y 1.3 mgd (respectivamente) en consumo "futuro" al final de la línea. El consumo al final de la línea se mantuvo en el modelo dado que es la asunción mas conservadora y dado a que se espera un crecimiento significativo en el área de Tomás de Castro, que según el señor Luis Camacho del Municipio de Caguas consiste de urbanizaciones, la ampliación de un hospital y un complejo deportivo.

Tabla 1 - Demandas en Modelo Hidráulico de Caguas

Area de Servicio	Zona de presión	Necesidad de producción*						
		base	2005	2010	2015	2020	2025	2010 sequía
Caguas Norte	La Muda Caguas	6.17	12.15	12.96	13.70	14.39	15.03	8.95
	San Antonio	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
	San Pedro	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
	La Barra	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	La Mesa 1	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	La Mesa 2	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
	San Luis / La Princo	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
	Bairoa	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
	La Pista	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
	Cañaboncito 1	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	Cañaboncito 2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	Cañaboncito 3	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
	subtotal bombeos Caguas Norte	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
	subtotal Caguas Norte	8.97	14.95	15.76	16.50	17.19	17.83	11.74
Caguas Sur	Caguas Sur	3.87	7.62	8.13	8.59	9.03	9.43	5.61
	Beatriz 1	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
	Beatriz 2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	Beatriz 3	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
	Beatriz 4	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
	Altos de la Fuente	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
	Villa Nueva	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
	Turabo Gardens	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
	Tomas de Castro 1 - 1ra etapa	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
	Tomas de Castro 1 - 2nda etapa	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	Tomas de Castro 1 - 3ra etapa	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	Tomas de Castro 1 - 4ta etapa	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
	Tomas de Castro 2 - 1ra etapa	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
	Tomas de Castro 2 - 2nda etapa	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
	Tomas de Castro 2 - 3ra etapa	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
	Villa de Castro	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
	Hato	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
	subtotal bombeos Caguas Sur	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26
	subtotal Caguas Sur	8.13	11.88	12.39	12.85	13.29	13.68	9.87
San Salvador	San Salvador -1ra etapa	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	Segunda Etapa San Salvador	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	Tercera Etapa San Salvador	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	subtotal San Salvador	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Cidra	Cidra	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
Guavate	Guavate	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
Total	Total	18.11	27.84	29.16	30.36	31.49	32.53	22.63

factores de ajuste						
La Muda Caguas / Caguas Sur	1.969	2.101	2.220	2.333	2.436	1.45
otras zonas	1	1	1	1	1	1

* Necesidad de producción = Demanda + Agua No Contabilizada = Agua a Distibuirse por Tuberías del Sistema de Agua Potable

Tabla 2 - Ofertas en Modelo Hidráulico de Caguas

Municipios	Fuentes de Abastos	Capacidad de Producción 2000**	Producción Promedio (mgd) 2000**	Producción Promedio (mgd) 2001**	Producción en 2002 (mgd)	2005 Capacidad de producción (mgd)	2010 Capacidad de producción (mgd)	2015 Capacidad de producción (mgd)	2020 Capacidad de producción (mgd)	2025 Capacidad de producción (mgd)	2010 Sequía con Beatriz Capacidad de producción (mgd)	Cambios / Comentarios
Caguas	**Caguas Norte PF**	4.75	4.33	3.33	3.50	3.50	** **6.00**	** **6.00**	** **6.00**	** **6.00**	** **6.00**	Mejoras PF
	Caguas Sur PF	6.00	6.16	5.66	5.70	6.00	6.00	*** **13.00**	*** **13.00**	*** **13.00**	*** **13.00**	Em. Beatriz
	Pozos	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
	PC San Antonio	1.00	0.89	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	PC San Salvador	0.28	0.29	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	
	Transferencia del Area Metro (La Muda)				12.70	12.70	* **27.60**	* **13.50**	* **14.50**	* **15.50**	**5.50**	Linea de Guaynabo
	Transferencia a Guaynabo (La Muda)				-2.60	-2.60	**-2.60**	**-2.60**	**-2.60**	**-2.60**	**-2.60**	Linea de Guaynabo
	Transferencia a Gurabo (La Muda)				-3.20	-3.20	**-12.70**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	Linea de Guaynabo / Em. Valenciano
	Transferencia a Gurabo (San Luis)				-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	-0.60	
	Transferencia a Aguas Buenas (La Pista)				-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	-0.40	
	Transferencia de Cidra				0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	
	Transferencia de Cayey				0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	
	Transferencia de San Lorenzo				**** 0.50	**** 0.50	**** 0.50	**** 0.50	**** 0.50	**** 0.50	**** 0.50	
	Subtotal Producción	**12.03**	**11.67**	**9.37**	**16.86**	**17.16**	**25.06**	**30.66**	**31.66**	**32.66**	**22.66**	
	Demanda (Tabla Demandas)					**27.84**	**29.16**	**30.36**	**31.49**	**32.53**	**22.63**	
	Factor de Disponibilidad					**0.62**	**0.86**	**1.01**	**1.01**	**1.00**	**1.00**	

* Estimado de AFI-CSA para satisfacer demanda promedio de Caguas

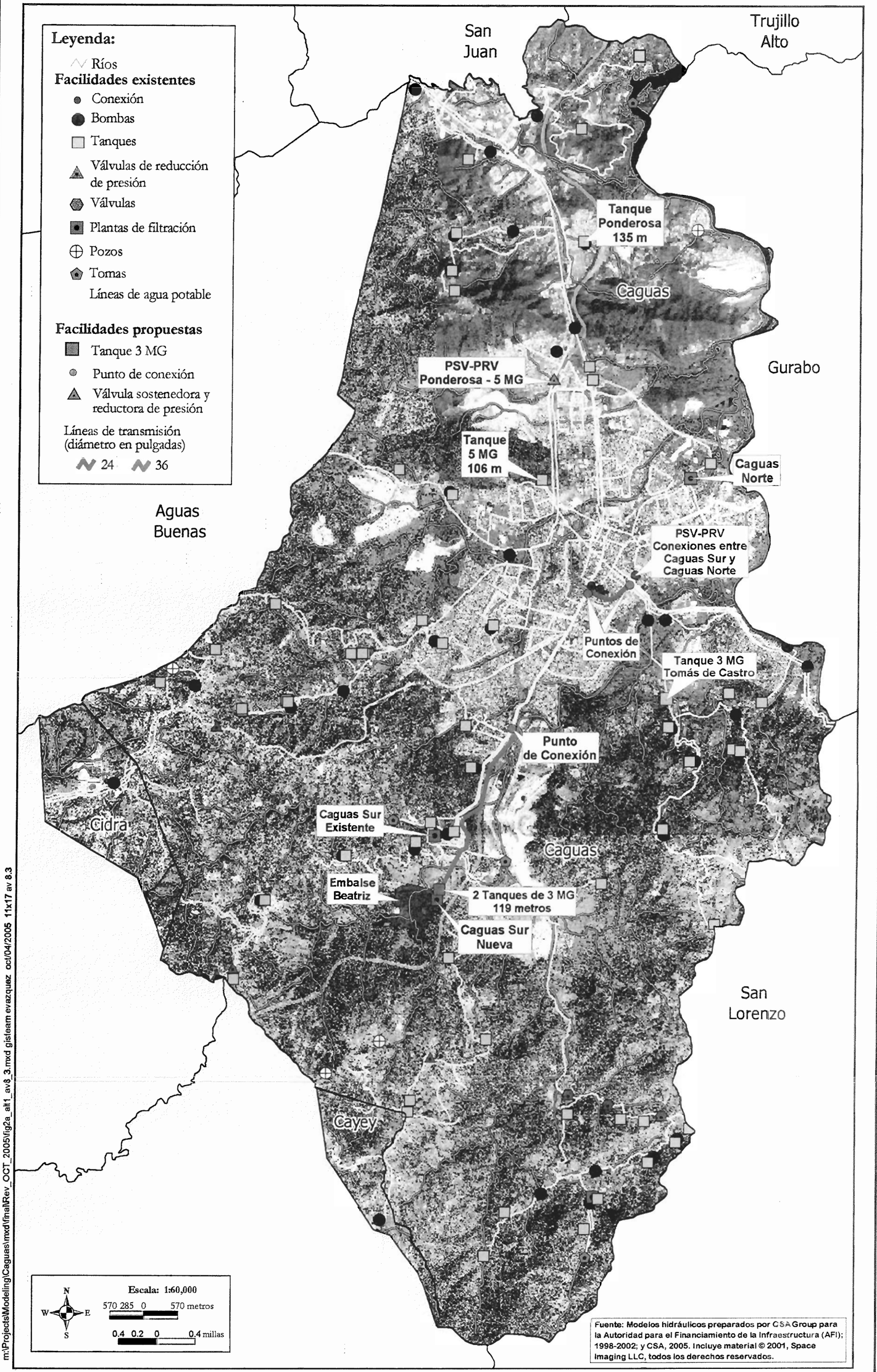
** Capacidad de producción de diseño de acuerdo a información provista por la AAA, directorado de Infraestructura

*** Se asume que Embalse Beatriz se construye para el 2013

**** AAA estimado

Tabla 3 - Análisis de Almacenaje en Zonas de Presión Caguas Sur y La Muda Caguas

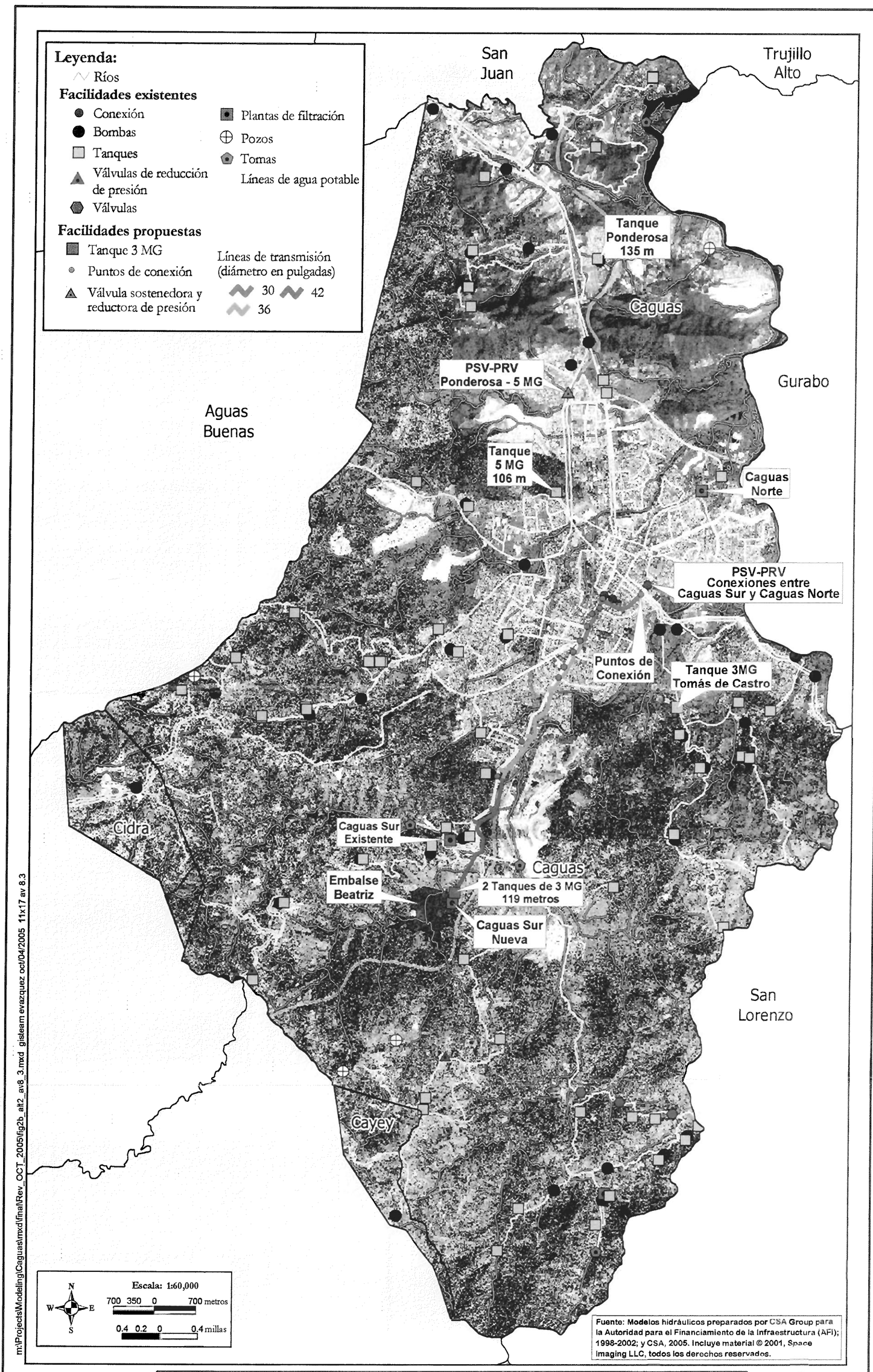
PRESSURE ZONE	FLOW IN (MGD)				FLOW OUT (MGD)						STORAGE TANKS (MG)				
	WTP		PIPELINE		PUMP STA		PIPELINE		FLOW TO PRESSURE ZONE		flow in storage	EXISTING		ADDITIONAL	
	NAME	FLOW	NAME	FLOW	NAME	FLOW	NAME	FLOW	average	peak	required	NAME	Volume	NAME	Volume
Caguas Sur	Caguas Sur	13	Caguas Norte-Sur	0	Beatriz 1 PS (Beatriz 1ra etapa)	1.01	Caguas Sur-Norte	0	8.59	12.89	**-3.85**	Caguas Sur	1.60	Caguas Sur New #1	3.00
					Alto de la Fuente PS (Alto de la Fuente)	0.43					**peak**	Tomás de Castro	3.00	Caguas Sur New #2	3.00
					Villa Nueva PS (Villa Nueva)	0.43					**-8.59**				
					Turabo Gardens PS (Turabo Gardens)	0.58					**average**				
					Tomás de Castro 1 - 1ra etapa PS (1ra etapa Tomás de Castro 1)	0.35									
					Villa de Castro-(Villa de Castro PS)	0.29									
					Hato (Caguas)- (Hato (Caguas)	0.29									
					Tomás de Castro 2 - 1ra etapa PS (1ra etapa Tomás de Castro 2)	0.58									
		13.00		0.00	Total	3.96		0.00				Total	3.00	Total	6.00
	Sub Total In			**13.00**	**Sub Total Out**					**16.85**		**Total Storage**		**9.00**	
La Muda Caguas	Caguas Norte	6	San Juan-Guay-Caguas	13.50	San Antonio PS (San Antonio)	0.43	Caguas Norte-Sur	0	13.70	20.55	**-6.82**	5 MG	5.00	Ponderosa	5.00
			San Lorenzo-Caguas	0.50	San Pedro PS (San Pedro)	0.50	Caguas-Gurabo	0			**peak**	Caguas Norte	0.60		
			Caguas Sur-Norte	0	San Luis PS (San Luis)	0.72	San Juan-Guaynabo	2.6			**-13.70**				
					La Princo PS (La Princo)	0.58					**average**				
					Bairoa PS (Bairoa)	0.43									
					La Pista PS (La Pista)	0.72									
					Cañaboncito PS (Cañaboncito 1)	0.29									
					Navarro PS (Navarro)	0.00									
					Rincón PS (Rincón)	0.00									
					Gurabo PS (Gurabo)	0.00									
		6.00		14.00	Total	3.67		2.60				Total	5.60	Total	5.00
	Sub Total In			**20.00**	**Sub Total Out**					**26.82**		**Total Storage**		**10.60**	



m:\Projects\Modeling\Caguas\mxd\final\Rev_OCT_2005\fig2a_alt1_av8_3.mxd gisteam evazquez oct/04/2005 11x17 av 8.3

Figura 2A. Línea de Transmisión para Expansión a Planta de Caguas Sur - Alternativa 1

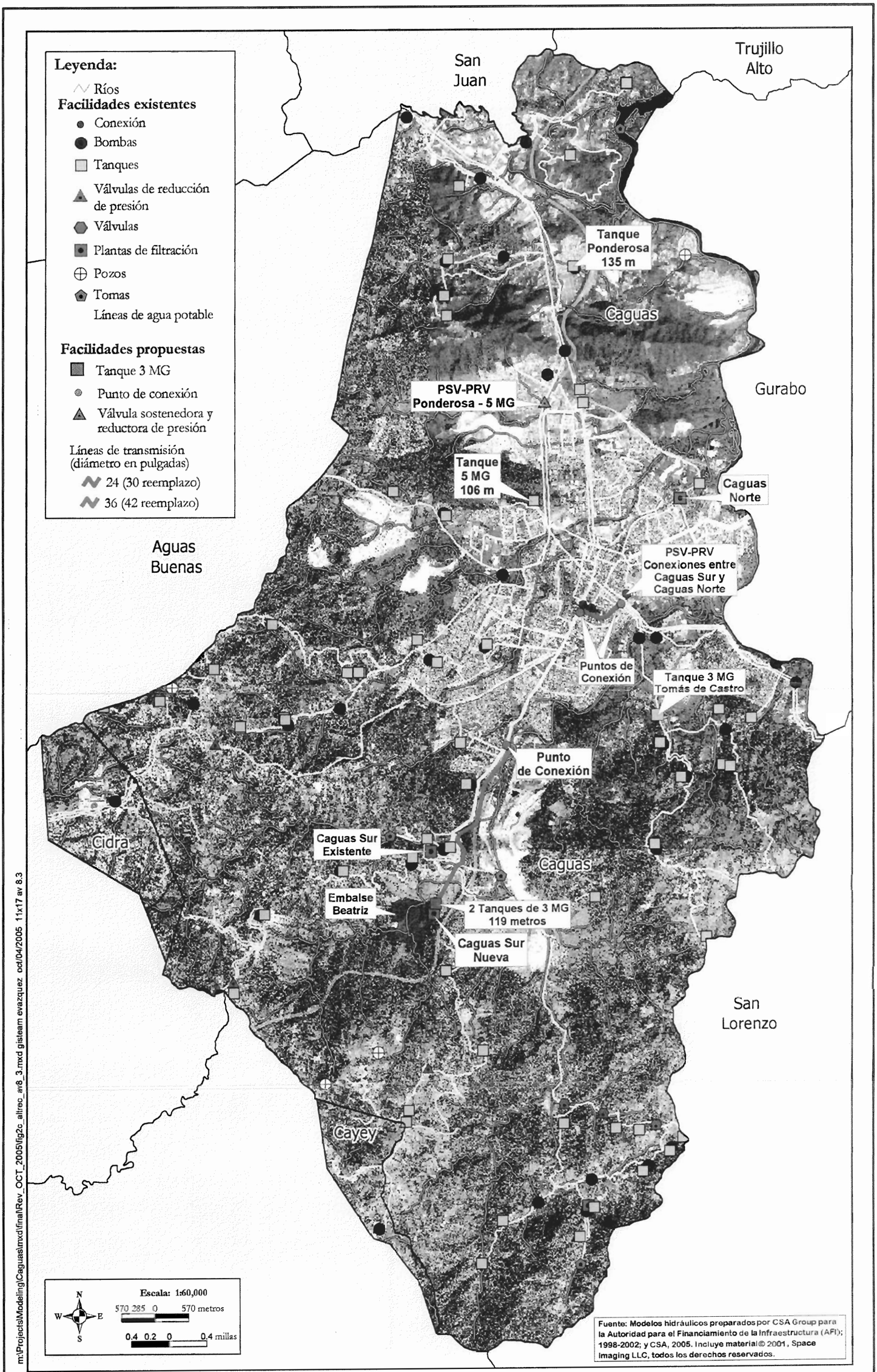
Municipio de Caguas



m:\Projects\Modeling\Caguas\mxd\final\Rev_OCT_2005\fig2b_alt2_av8_3.mxd gisteam evazquez oct/04/2005 11x17 av 8.3

Figura 2B. Línea de Transmisión para Expansión a Planta de Caguas Sur - Alternativa 2

Municipio de Caguas



m:\Projects\Modeling\Caguas\mxd\final\Rev_OCT_2005\fig2c_altrec_av8_3.mxd gisteam evazquez oct/04/2005 11x17 av 8.3

Figura 2C. Línea de Transmisión para Expansión a Planta de Caguas Sur - Alternativa Recomendada

Municipio de Caguas

Figura 3A. Diagrama de Flujo de la Planta de Filtración Caguas Sur para el Año 2015 -Demanda Promedio

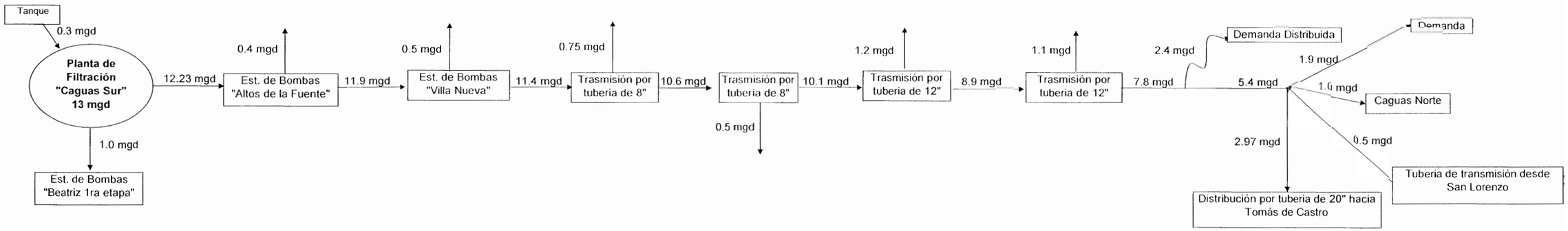


Figura 3B. Diagrama de Flujo de la Planta de Filtración Caguas Sur para el Año 2015 - (Demanda Pico)

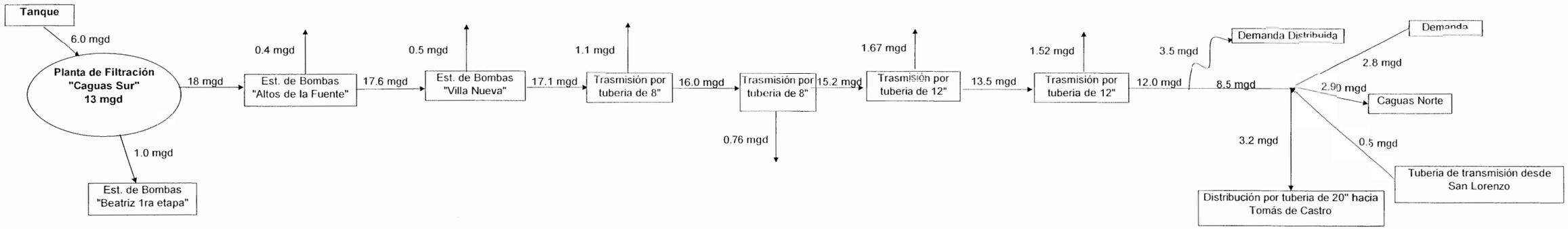
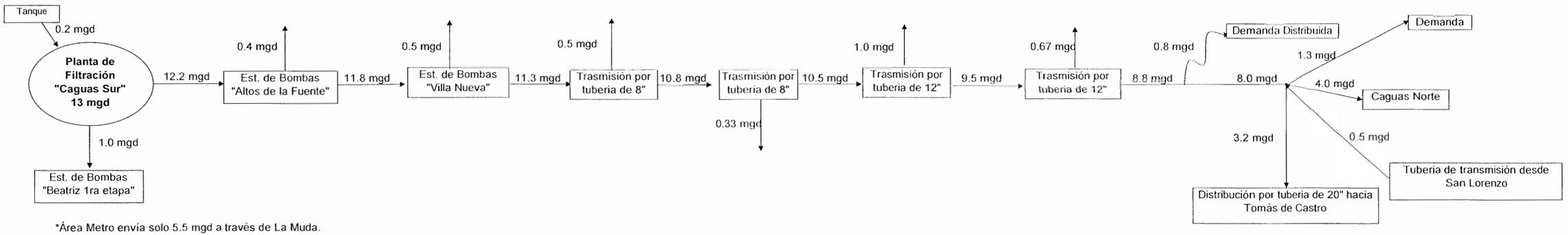


Figura 3C. Diagrama de Flujo de la Planta de Filtración Caguas Sur para el Año 2015 -Distribución durante 2010 Sequía con Beatriz*



*Área Metro envía solo 5.5 mgd a través de La Muda.