



PLAN MAESTRO
RÍO MAGDALENA

3
**Hidrología
superficial
e infraestructura
hidráulica**



Introducción

El objetivo principal de esta sección es compilar y analizar la información de relevancia disponible sobre la hidrología superficial y la infraestructura hidráulica, la cual permita ofrecer un panorama documentado de las acciones que deberán implementarse para lograr el manejo integral y el aprovechamiento sustentable de la cuenca del río Magdalena, en la ciudad de México.

Existe una buena cantidad de documentos y bases de datos que dan cuenta de la información hidrológica e hidráulica que puede disponerse del río Magdalena. Entre estos documentos se encuentran primordialmente:

1. Informes de estudios que fueron preparados para la antigua Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y para el organismo que la reemplazó en funciones, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM).
2. Publicaciones o información de organismos gubernamentales de orden federal o local que realizan mediciones de variables hidrológicas, geográficas y estadísticas. Dentro de las primeras se cuenta con el Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI), la Comisión Nacional del Agua (Conagua) a través del Servicio Meteorológico Nacional y de la Gerencia Regional de Aguas del Valle de México (Gravamex), cuya denominación actual es Organismo de Cuenca del Valle de México). Del Gobierno de la Ciudad, las entidades correspondientes son del propio SACM, la delegación Magdalena Contreras y, por las características de la cuenca, la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (Corenader).
3. Trabajos académicos sobre la cuenca, en particular tesis de grado y artículos publicados en revistas científicas.

La mayor parte de las características de la cuenca que se tratan en esta sección han sido estimadas por los diferentes autores de las fuentes de información con las que se pudo contar. Dado que la



mayor parte de estos autores emplean diferentes métodos con información diversa y con objetivos particulares, el valor de los parámetros con los que se definen los elementos propios de la cuenca en estudio generalmente no coincide en un valor numérico único.

En cuanto a la hidrología superficial del río Magdalena, se hará una descripción del cauce y de la cuenca que considere las características del río y de las estructuras que se encuentran al seguir su trayectoria. La descripción se centrará en la cuenca que define la posición de la Presa Anzaldo puesto que a partir de ella los escurrimientos de aguas pluviales y residuales son conducidos por la red de drenaje de la zona.

Para la infraestructura hidráulica, la atención de la descripción se concentrará en la zona urbanizada de la cuenca, en donde las obras de drenaje tienen mayor presencia que los escurrimientos superficiales.



3.1 Delimitación de la Cuenca

En general, el concepto hidrológico con el que se obtienen los límites de una cuenca se basa en la delimitación de su parteaguas, Es una línea imaginaria que define el perímetro del área dentro de la cual toda el agua precipitada que logra escurrir se dirige hacia un punto de salida único. En el caso del río Magdalena, en los estudios con los que se contó coincide la referencia a las cumbres por las que pasa el parteaguas (Valdés, 2005; Jujnowsy, 2004). Sin embargo, dentro del gran número de referencias con las que pudo contarse para la delimitación de la cuenca del río Magdalena se encontró el uso de tres criterios para su obtención.

El primero de ellos es el que se refiere a la ubicación de la salida del agua de la cuenca, la cual varía según los alcances de cada estudio. Entre los puntos de salida propuestos se encuentran:

1. El emplazamiento del proyecto de la Presa río Magdalena
2. La estación hidrométrica en la entrada al parque (La Cañada)
3. La confluencia con el río Eslava
4. La presa Anzaldo
5. El río Churubusco

Además, tomando en consideración la relevancia de las estructuras hidráulicas que el cauce encuentra en su camino hacia el río Churubusco, podría al menos también agregarse el sitio de conexión al Interceptor del Poniente (túnel de drenaje conductor de las aguas hacia el norte para su salida de la Cuenca de México) en la lumbrera Núm. 1. Cabe agregar que en ciertos documentos se omite mencionar el lugar de salida de la cuenca, lo cual es fundamental para concluir el procedimiento que define el área de la misma.

El segundo criterio se refiere al procedimiento y a la información que se emplearon para calcular los límites de la cuenca. En este rubro existen aún mayores lagunas de información pues no se menciona si se usaron mapas o modelos digitales de elevación, y por supuesto no se mencionan las escalas de dibujo de estas fuentes. Se percibe sin embargo, que en los documentos anteriores al uso



cotidiano de procedimientos informáticos se emplearon mapas del INEGI, mientras que en fechas más recientes se utilizó esa misma información en formato digital y procedimientos computacionales de mayor sofisticación.

Finalmente, se tiene el criterio en el que se consideraría a los escurrimientos provenientes de otras cuencas a través de obras hidráulicas y que darían a la zona de estudio una talla mayor a la que se limita a considerar al caudal del río Magdalena. Además, los escurrimientos del río Eslava están siendo considerados como una aportación exógena (por estar fuera de los alcances de este estudio), en este rubro también se podría incluir a los gastos de los ríos Anzaldo, Coyotes y Texcalatlaco.

Aunque la urbanización de la zona intermedia de la cuenca (entre la Presa Anzaldo y la zona conocida como la Cañada) ha modificado su escurrimiento natural, el drenaje de aguas pluvio-sanitarias busca aprovechar los desniveles naturales del terreno y la configuración y trazo de las calles para propiciar el desagüe de la cuenca. Adicionalmente, no se encontró en la información y no se sabe de la existencia de estaciones de bombeo de aguas residuales exteriores a la cuenca que aporten caudales a la misma. Por esta razón puede decirse que el área natural de esta zona coincide con el que define la red de drenaje combinado que sirve a la zona urbana.

La determinación de la longitud del cauce también puede resultar difícil pues dependerá de la resolución de los datos considerados y del método de trazado de la trayectoria del río. Para su determinación se empleó el plano “Ríos y cauces del río Magdalena”, documento AutoCad proporcionado por el SACM. En el cuadro 1 se reportan las áreas de la cuenca y las longitudes del cauce que se estimaron para diferentes puntos de salida. Estos lugares corresponden a sitios donde ocurren cambios importantes en la configuración o en el escurrimiento del río Magdalena.

Cuadro 1

SUPERFICIE DE LA CUENCA Y LONGITUD DEL RÍO MAGDALENA

Estimaciones elaboradas para el Plan Maestro

Salida de La Cuenca	Área (km ²)	Longitud (km)
Estación hidrométrica de la Cañada	28,94	11,12
Confluencia con el río Eslava	30,57	14,72
Presa Anzaldo	32,89	17,42
Interceptor del Poniente	-	21,03
Río Churubusco	-	24,45

Fuente: Instituto de Ingeniería, 2008, con base en la información del SACM.



3.2 Delimitación de las Subcuencas

En lo que se refiere a las subcuencas del río Magdalena, su delimitación está estrechamente ligada al relieve de la cuenca, en particular en la zona de conservación. En esa zona, la presencia de arroyos está determinada por el relieve encañonado de las subcuencas, y en donde el inicio de estos afluentes suele asociarse a la presencia de manantiales, como se da cuenta en Jujnovsky (2003) y en el Plan Rector de Manejo de la Microcuenca Río Magdalena (2002).

En la zona intermedia de la cuenca se encuentra uno de los afluentes naturales más importantes del río Magdalena, que es el río Eslava. Además de las aportaciones de este río, la confluencia más distintiva es la del arroyo Texmaloya, que ha sido enteramente urbanizado y que confluye en el Magdalena en un sitio próximo a su cruce con el Boulevard Adolfo López Mateos (Periférico). El desagüe de esta subcuenca se efectúa al interior de colectores de drenaje urbano y a cielo abierto en algunos de sus tramos. El drenaje pluvial del resto de esta zona urbana es conducido por colectores hacia los colectores marginales del río.

Con el auxilio de algunos colectores, aguas abajo de la presa Anzaldo se reciben también las aportaciones de los ríos Anzaldo (Cañada del Rosal), San Jerónimo, Chico (río Texcalatlaco) y San Ángel (ríos San Ángel Inn y Tequilasco). La confluencia de estos ríos con el Magdalena se produce, respectivamente, en la llegada al Centro Comercial San Jerónimo, en el cruce del Periférico con la Av. San Jerónimo, en la calle Río Chico de la colonia Chimalistac y en la esquina de la Av. Universidad con la calle Cedros. Resulta importante destacar que la talla de estas cuencas es relevante en comparación con el tamaño de la cuenca del río Magdalena, por lo que los caudales que conducirían pueden llegar a ser de importancia.

Debe subrayarse que las descripciones de este apartado atañen exclusivamente a la estructura del drenaje natural de las cuencas, sin considerar las obras hidráulicas que han modificado los escurrimientos entre la cuenca del Magdalena y sus cuencas vecinas.



3.3 Identificación de Otras Descargas de Agua

Dentro del esquema de control de inundaciones del sistema general de drenaje del Valle de México existen 29 presas de detención (de control). Estas presas sirven para regular los caudales máximos que escurren en los ríos, lo cual se logra durante un tiempo de descarga mayor que el de la llegada de las crecidas a las presas, pero con niveles de caudal que no sean nocivos para la población o a la infraestructura. En este contexto, la Presa Anzaldo ocupa una función relevante ya que su capacidad de almacenamiento es superior al de las presas que se sitúan en los ríos más próximos. Esta propiedad le sirve para auxiliar la retención de volúmenes de esas presas a través de interconexiones subterráneas en forma de túneles del modo que se describe a continuación.

Debido al proceso histórico de urbanización de las cuencas vecinas, en algunas de ellas las capacidades de almacenamiento y control de caudales se han visto comprometidas por las invasiones que se han presentado en las márgenes de sus ríos y en las áreas de los embalses de las presas (Franco *et al*, 1992). Esta situación ha limitado o incluso imposibilitado la operación de sus compuertas y el uso de sus vertedores de demasías, obligando a las autoridades a buscar alternativas de desagüe y de control que garantizando la eficacia del servicio de manera segura.

Para dar respuesta a esta situación, existe una serie de túneles conectados en serie y cuya trayectoria se origina en una cuenca al norte del río Magdalena y que concluye en el embalse de la presa Anzaldo. El primero de estos túneles se encarga de llevar las aguas de la presa Texcalatlaco a la presa Coyotes si en el embalse de la primera las aguas alcanzan un nivel determinado. El segundo túnel lleva las aguas que se reciban en la Presa Coyotes (por cuenca propia o provenientes de la presa Texcalatlaco) hacia una Caja de Derivación que se encuentra en el camellón de la Av. Luis Cabrera. Cabe señalar que la Presa Coyotes funciona como una presa derivadora, lo que significa que todos sus caudales son conducidos por el túnel hacia la presa Anzaldo y no fluyen por su lecho natural, ya que éste se encuentra completamente ocupado por la urbanización local. Por último, el tramo final de este túnel se



desarrolla entre la Caja Derivadora y el embalse de la presa Anzaldo. Esta caja recibe también los escurrimientos provenientes de la Av. Luis Cabrera, en particular los del río Anzaldo.

En consecuencia, durante la ocurrencia de eventos de precipitación importantes en la zona suroccidental de la Ciudad de México, en la presa Anzaldo no sólo se recibirían las aguas del río Magdalena, sino que se captarían también los volúmenes provenientes de las presas Texcalatlaco y Coyotes y del Río Anzaldo. En efecto, en el embalse de la presa se puede observar la descarga de un túnel de 3.05 metros de diámetro, que corresponde a la salida de la interconexión Texcalatlaco-Coyotes-Anzaldo. En el cuadro 2 se presentan las áreas de estas subcuencas, las cuales deberían incluirse para estimar el área servida por la presa Anzaldo.

Cuadro 2
SUPERFICIE DE APORTACIÓN DE LAS CUENCAS QUE DRENAN A LA PRESA ANZALDO

Estimaciones elaboradas para el Plan Maestro

Cuenca adicional	Área (km ²)
Río Eslava	45.54
Río Anzaldo	2.73
Río Coyotes	2.75
Río Texcalatlaco	3.92

Fuente: Información del SACM con procesamiento en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, 2008. En el río Eslava se considera toda la cuenca, en el resto de los ríos se usa cuenca urbana.

Durante un recorrido que se hizo a estas presas se pudo corroborar la conexión de estos túneles en el sitio de la presa Coyotes (figura 1), lo cual se contradice con algunas de las informaciones con las que se pudo contar y que definen el trazo del túnel desde la presa Texcalatlaco directamente hacia la presa Anzaldo. La configuración aquí descrita es acorde además con los trabajos de Franco et al. (1992) e Ipecsa (1985). En una visita que se

hizo a las presas de la zona, se observó que en la presa Coyotes existe una gran cantidad de azolves en el túnel de llegada desde Texcalatlaco.

Figura 1
PORTALES DE ENTRADA Y SALIDA DE LOS TÚNELES
DE INTERCONEXIÓN EN LA PRESA COYOTES

En la imagen izquierda se observa la llegada del túnel desde la presa Texcalatlaco y la



presencia de azolves por remover. En la imagen derecha se distingue el túnel de salida hacia la presa Anzaldo y el flujo de aguas residuales de la cuenca del río Coyotes que se deriva en continuidad.

También es pertinente señalar que, al momento de elaborar este documento, la existencia, el funcionamiento y la ubicación de la Caja Derivadora en la Av. Luis Cabrera se supuso con base en las entrevistas con personal del SACM y los análisis de la información proporcionada por ellos, quedando pendiente la ratificación o rectificación de esta estructura y del funcionamiento de los túneles.

Es evidente entonces que la variación de los volúmenes captados por la presa Anzaldo es sumamente importante, en particular durante el periodo anual de lluvias (mayo a octubre). Por esta razón, no se recomienda que la zona del embalse sea usada para otros objetivos (recreativos) diferentes al de la regulación de cada tormenta. En caso de que se desee emplear el agua y/o la zona del embalse para fines recreativos u otros durante ese periodo, deberá tomarse en cuenta la calidad y las variaciones del nivel del agua de modo que no impliquen riesgo para sus posibles usuarios. Por otra parte, durante el periodo de estiaje es posible que puedan mantenerse condiciones estables en el embalse para fomentar el uso del agua y del espacio correspondiente.



3.4 Descripción del Cauce

De la información que pudo revisarse existe una buena cantidad de información que da cuenta de las características del cauce en la zona de conservación. Entre esos documentos sobresalen los trabajos de Ipesa (1985), Jujnowsky (2004) y el Plan Rector del Manejo de la Microcuenca Río Magdalena (2002). El río en la zona de conservación podría describirse de la siguiente manera:

- En su parte alta (3300 m.s.n.m.), el cauce es sumamente angosto y se alimenta con el agua escasa de los manantiales vecinos; este lugar es relativamente plano e induce la formación de meandros.
- Hacia los 2800 m. a pesar de la incorporación del agua proveniente de otros arroyos, el río se compacta debido a la resistencia al flujo en un lecho de rocas consolidadas, lo que provoca cambios abruptos en la sección transversal.
- Entre las cotas 2800 y 2300 la pendiente del río es sumamente irregular lo que le da el aspecto de rápidos. Esta situación peligrosa se remedió en los años 80 con la construcción de pequeñas presas que detienen la fuerza de la corriente. Según información que data del año 2002, en la cuenca existían 40 de estas estructuras, entre presas de mampostería, de gaviones y de piedra acomodada, aunque se sabe que la construcción de estas obras ha continuado en los últimos años. En las visitas se ha observado que en ciertas presas es necesario realizar trabajos de mantenimiento correctivo y de limpieza de azolves, tanto para asegurar la integridad de las obras como para cumplir su función hidráulica.

Es adecuado anotar que, debido a varios procesos erosivos que se activaron tras los incendios forestales de amplias zonas en las partes más elevadas de la cuenca, la capacidad de regulación de una buena parte de estas obras se está viendo comprometida. Esta circunstancia debería motivar a que estas áreas forestales dañadas fuesen objeto de campañas agresivas de reforestación, tanto para frenar la pérdida de suelos en la cuenca como para limitar los volúmenes de azolves que modifican las capacidades de todo tipo de estructura hidráulica. Por otra parte, las descripciones de la zona



urbana tienen un perfil mucho más técnico (información proporcionada por el SACM) pues se dedican a tratar las dimensiones y las características constructivas de las obras de drenaje que han invadido o substituido a los cauces naturales.

Una de las obras de protección que se construyó en la cuenca está asociada a la confluencia de los ríos Magdalena y Eslava. La función de esta obra es hacer que la trayectoria del Eslava sufriera modificaciones con el objeto de hacer menos abrupta la unión de estos ríos y buscando reducir su fuerza. La obra de protección más importante en la cuenca es sin duda la Presa Anzaldo. Construida entre 1933 y 1934, la presa es considerada como una pieza fundamental en el control de inundaciones de la Ciudad de México. De modo resumido, la presa tiene una cortina de mampostería de 16 m. de altura y 104 m. de longitud de corona, 3 obras de toma con compuertas deslizantes con una capacidad de descarga total de 35.7 m³/s, y un vertedor de demasías con vertedor de 58.53 m. y capacidad de descarga de 41.14 m³/s (Franco *et al.* 1992). A pesar de que la presa continúa dando un servicio sumamente útil, existe una gran cantidad de problemas que están asociados al deterioro, a las invasiones de colonos y al continuo funcionamiento de la estructura. En primer término debe mencionarse que la mayor parte de los componentes de la presa tienen problemas serios de funcionamiento debidos al abandono en el que se ha tenido a la obra, entre los que destacan: las compuertas reciben muy poco mantenimiento y el vertedor de demasías está obstruido por arbustos y árboles que le restan capacidad de descarga. La presa Anzaldo también ha padecido la invasión de asentamientos y el depósito en el fondo de muchos azolves y basura que se originan en las cuencas que descargan a este embalse.

Por otra parte, desde el punto de vista operativo no se tiene registros del funcionamiento de las compuertas y tampoco se han medido variables hidráulicas o hidrológicas en la presa, como son las variaciones en el tiempo de los niveles, la apertura de las compuertas, los caudales de entrada y salida de la presa, por mencionar las más importantes. El problema de los azolves en la presa es sumamente grave y costoso, pues para garantizar que la capacidad de retención del embalse sea apropiada y el embalse esté

en condiciones óptimas para la temporada de tormentas, deben extraerse grandes volúmenes de material depositado del fondo de la presa. Franco et al. (1992) reportaron una pérdida de capacidad útil de 10,000 m³ aproximadamente, mientras que ITCSA (2005) compiló los registros de desazolve disponibles entre 1986 y 2005, donde se aprecia el ritmo anual que siguió esta operación (lo cual se puede observar en la gráfica 1).

Cuando la configuración original del río Magdalena cruza con lo que actualmente se conoce como Av. Insurgentes, el río se introduce en la colonia Chimalistac en donde aún se preservan ciertas características del lecho del cauce y de ciertas estructuras que evocan la existencia del río en esa zona. Un tramo similar se encuentra en el trayecto del río que es paralelo a la Av. Universidad. Se ha evocado la posibilidad de que estos lugares puedan ser aprovechados para convertirlos en espacios a los que la población pueda aproximarse con fines de esparcimiento, siempre que se cumplan los requerimientos de calidad del agua que lo hagan factible. Desafortunadamente no fue posible contar con la información detallada de la red de drenaje en estos tramos, por lo que por el momento sería difícil emitir una opinión respecto de esta posibilidad.

Gráfica 1

RITMO ANUAL DE DESAZOLVES EN LA PRESA ANZALDO



Fuente: ITCSA; “Estudio topográfico para determinar el volumen de azolve por extraer en las presas : Anzaldo, Tacubaya y Caja de Becerra, en la temporada de estiaje 2005-2006”, Informe final para el SACM, México, 2005.



3.5 Gasto Medio

3.5.1 Espacio Natural y Rural

No existe cuenca que presente un gasto constante de manera natural, aunque las condiciones de escurrimiento de un cauce podrían considerarse constantes si el caudal que fluye en él tuviera ligeras variaciones en el tiempo. La condición de gasto constante sólo podría darse mediante la modificación del régimen hidrológico con la construcción de obras hidráulicas con las que se regule el flujo del río.

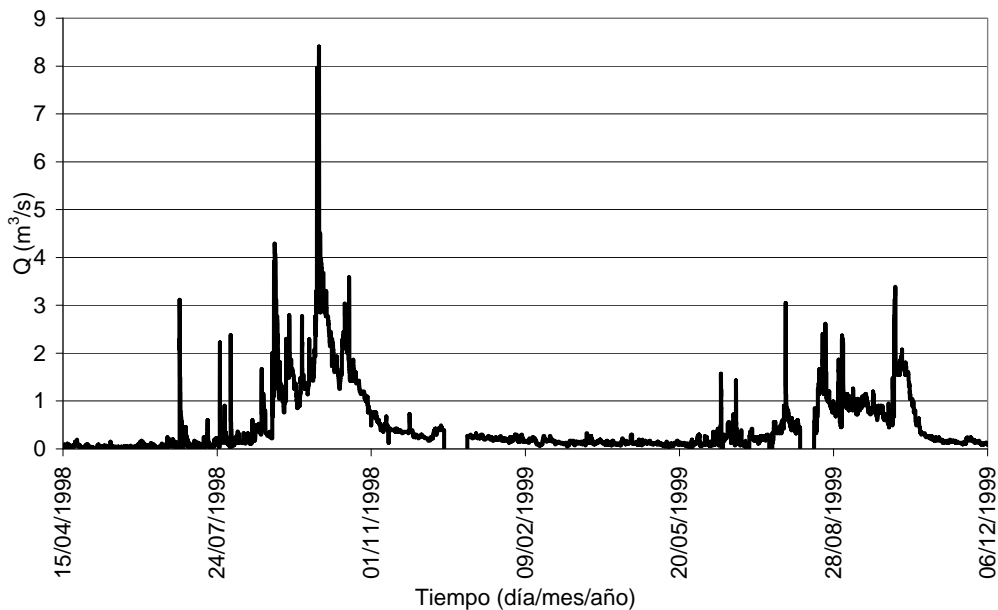
Por otra parte, para los fines de los estudios hidrológicos resulta de interés conocer el régimen de escurrimientos de todo río, lo cual suele hacerse a través de mediciones permanentes del caudal. Estas mediciones se efectúan en construcciones que reciben el nombre de estaciones hidrométricas, alojadas en el lecho del río, y donde puede medirse el gasto con cierta frecuencia, ya sea a través de mediciones directas (con la uso de aparatos de diversa sofisticación) o indirectas (a través de alguna otra variable, como el nivel en el río, y de su relación constante con el gasto. Este conocimiento es útil en la ingeniería para estimar una serie de variables de interés, como son los volúmenes de escurrimiento anual, los gastos máximos, medios y mínimos en el río por unidad de tiempo, etc.

En el caso del río Magdalena se cuenta con una estación hidrométrica en el paraje de la Cañada, la cual ha permitido contar con la medición de los caudales en algunos periodos. Construida por el Instituto de Ingeniería en los años 70, la estación fue rehabilitada en 1997 y usada hasta el año 1999 por dos empresas contratadas por el SACM para actualizar los valores de algunos parámetros hidrológicos de ésta y otras cuencas en el poniente del Distrito Federal (EFE, 1997; EFE, 1998; Aries, 1999). La estación fue nuevamente rehabilitada en el año 2004 y se efectuaron nuevas mediciones hasta el año 2005. En la gráfica 2 se observa el hidrograma medido en la estación entre abril de 1998 y diciembre de 1999, con mediciones reportadas por EFE (1998) y Aries (1999).

Como se ve en la gráfica, la variación de los gastos en el tiempo obedece claramente a la distribución de las precipitaciones durante el

año, las cuales se concentran entre los meses de mayo a octubre y que serán tratadas en el inciso siguiente. Sin embargo, se observa también que, una vez que el periodo de lluvias ha cesado, la tendencia en el valor de los gastos tiene un descenso gradual que se distribuye a lo largo de algunos meses, el cual se estabiliza hacia un valor mínimo y continúa descendiendo asintóticamente. Esta amplitud en la rama descendente del hidrograma es indicativa de la capacidad de la cuenca de retener el agua precipitada y liberarla lentamente a través del río según el espesor de los suelos y la velocidad del flujo subterráneo.

Gráfica 2
HIDROGRAMA DE LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA MAGDALENA



Fuente: Cisneros I, HL, Pelczer, IJ & Stevenin H, “Comparación de la eficacia de tres modelos para escurrimientos en una cuenca rural”, Ingeniería Hidráulica en México, V. XXII, Num.1, pp. 31-45, 2007

Como se aprecia también en la gráfica 2, los valores mínimos registrados en esta estación son inferiores a 0.5 m³/s, llegando a



valores incluso próximos a $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Este orden de valores también se encontró en una campaña de mediciones que llevó a término el Instituto de Ingeniería entre 2004 y 2005. Si a esta cantidad mínima se le agrega el gasto recuperado por la Planta Potabilizadora Río Magdalena (200 a 210 lt/s) se tiene entonces un caudal mínimo que es próximo a los 400 lt/s, muy por debajo del valor de $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ que propone Fernández (2002) y que se ha aceptado entre personal del SACM. Es oportuno señalar que sería de gran utilidad que en esa planta potabilizadora se llevara un registro de los caudales extraídos y no extraídos del río Magdalena.

En este contexto, la construcción y puesta en marcha de la segunda planta potabilizadora en la zona de la Cañada, con una capacidad instalada de 200 lt/s, podría tener algunas dificultades operativas en las condiciones actuales de escurrimiento en la cuenca. Este comentario se deriva de las reflexiones siguientes:

- La política de explotación de la planta de la Cañada no ha sido hecha pública y no se conoce si ésta funcionará continuamente durante todo el año o si podrá arrancar y detener su operación en función del caudal disponible. En particular,
- No se sabe a priori si la temporada de lluvias de cada año será suficientemente abundante para satisfacer la demanda de ambas plantas durante todo el año.
- En caso de que se pretenda aprovechar todo el caudal que puedan extraer las plantas potabilizadoras y de que éste sea igual al gasto en el río, deberá buscarse el cumplimiento de la normatividad federal vigente que solicita que en todo río escurra un gasto mínimo determinado.

Aunado a esta situación, si dentro de los objetivos del Plan Maestro del Río Magdalena se propone que el espacio que componen el cauce, sus márgenes y sus proximidades sea recuperado por la sociedad para su uso no hídrico, sería paradójico que en el río no escurra ningún caudal. Una posible solución para esta situación (desde el punto de vista hidráulico) es que pueda llevarse a cabo la construcción de la Presa Magdalena en un sitio cercano al Segundo Dínamo, el cual es un proyecto que data de los



años 80 y que no se ha llevado a cabo (Ipesa, 2005). Esta presa, sin embargo, ha sido propuesta para funcionar como una presa de detención y no como una presa de almacenamiento, lo cual requeriría de una estructura de mayores dimensiones que la que se necesita solamente para regular los caudales del río. Por normatividad, si un proyecto de esta naturaleza fuese construido, deberían estimarse los impactos al medio ambiente que generarían la obra y su funcionamiento, y justificar plenamente los beneficios recibidos por su construcción. Es probable que la resistencia de la sociedad a esta obra pueda ser mayor que el balance objetivo entre beneficios e impactos, y que su medición sea sumamente complicada.

Por otra parte, la estimación de caudales máximos en la zona de conservación tiene valores relativamente conservadores pues la cuenca funciona como un retén de los escurrimientos que, según ciertas publicaciones, son apenas superiores a los 20 m³/s (Fernández, 2002). Por otra parte, de entre las mediciones con las que se pudo contar en el Instituto de Ingeniería, el caudal máximo reportado es inferior a los 13 m³/s (Domínguez et al., 2004; Cisneros et al. 2007; campañas de medición no publicadas). Esto contradice los valores reportados por algunos documentos que se pudieron consultar, los cuales sostienen que el caudal máximo registrado supera los 200 m³/s (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2005). Este valor está fuera de toda proporción y, para darle una escala de comparación sencilla, su magnitud es similar al gasto máximo estimado que descarga el Drenaje Profundo del Distrito Federal, el cual sirve a una gran parte de la ciudad de la que forma parte la cuenca del río Magdalena.

3.5.2 Espacio Urbano

Para efectos de las estimaciones del caudal que escurre por el Magdalena hacia la presa Anzaldo debe considerarse que la zona urbana es en cierto modo una zona de generación de caudales, aunque se trate de aguas residuales. Esta aseveración se deriva del hecho de que una buena parte del agua potable que se entrega a la población ribereña no es originaria de esta cuenca. Según datos del



abastecimiento de agua potable, una parte del agua que se consume en la cuenca no proviene de los manantiales y del río, sino que es importada del Sistema Lerma-Cutzmala y de algunos pozos de extracción profundos que se sitúan en lugares próximos al Periférico y cuyos caudales de aportación podrían considerarse externos a la cuenca desde el punto de vista de la hidrología superficial.

Según los datos reportados por la Gaceta Oficial del Distrito Federal (2005), el abastecimiento con que cuenta la delegación Magdalena Contreras asciende a 600 lt/s, de los cuales 280 lt/s son importados. Por su parte, las cifras del SACM correspondientes son de 640 lt/s, de los cuales 340 lt/s provienen de fuentes externas a la cuenca. Tomando en consideración la práctica común que se tiene en México de estimar la magnitud de los caudales de aguas residuales a partir del producto de la dotación por un factor fijo de 0.8, y tomando en cuenta la proporción del área urbana de la delegación que es ocupada por la cuenca del Magdalena, deberían agregarse al escurrimiento que ingresa a la presa Anzaldo alrededor de 85 lt/s.

En lo que se refiere a los gastos máximos que llegan a la presa Anzaldo y que correspondan exclusivamente a la zona urbana, se desconoce si existen estimaciones de sus magnitudes. En todo caso, los gastos máximos provenientes de la propia cuenca (cf. la subsección 3.3 de este documento) no estarían desligados de los escurrimientos provenientes de la zona de conservación. En este contexto, sería de gran utilidad efectuar las mediciones de los caudales de llegada a la presa Anzaldo, provenientes de los distintos orígenes que ya se han referido anteriormente.

Para el tramo del río comprendido entre la presa Anzaldo y la llegada al río Churubusco se tienen grandes dificultades para estimar cualquier tipo de caudal. Esto se debe a que la complejidad del sistema de drenaje en esta zona está determinada por la presencia y el funcionamiento de muchas obras hidráulicas (entre las que destaca el túnel Interceptor del Poniente), así como y por la aportación de varios ríos cuyos flujos sufren modificaciones continuas por presas de regulación y derivaciones a otras obras de drenaje.



3.6 Precipitación Pluvial

El uso de información de datos pluviométricos resulta de gran utilidad en la hidrología porque permite hacer estimaciones de los caudales que pueden escurrir en un río. Por lo general, estos cálculos se basan en el uso de modelos matemáticos que pueden variar en complejidad en función del número de variables medidas, de la cantidad de datos disponibles de cada una de ellas y del aspecto hidrológico que desea evaluarse. Entre las formas de medición de precipitación más frecuentes que se puede encontrar se encuentran las que efectúan los pluviómetros y los pluviógrafos. Genéricamente, la diferencia entre ellas consiste la forma de medir la precipitación, pues la primera proporciona la lámina de lluvia precipitada para un periodo determinado (que suele ser de 24 horas), mientras que la segunda permite conocer la evolución de la lluvia en el tiempo (intensidad de precipitación). La medición que realizan los pluviógrafos se logra aumentando la frecuencia de las mediciones o bien, condicionándolas a la emisión y registro de una señal. Esta señal se produce cuando el aparato desecha una lámina de lluvia muy pequeña que se va almacenando durante una tormenta, lo que deja al aparato en condiciones de continuar registrando nuevas mediciones sucesivas, iguales todas entre sí (pluviógrafo de balancín). En este aspecto existen otros tipos de aparatos de mayor sofisticación que se basan en principios físicos distintos que no es necesario describir aquí. El SACM inició la implantación de una red de 49 pluviógrafos en el año 1982 en la zona urbana de la Ciudad de México, la cual se ha extendido con el paso de los años hasta contar actualmente con 78 aparatos. La función para la que fue creada esta red es la de tener una estimación en tiempo real de la cantidad de lluvia precipitada en la Ciudad de México que facilite la operación de las estructuras de drenaje y control de inundaciones de la ciudad.

CONAGUA ha efectuado también mediciones de las láminas de precipitación diarias que se encuentran archivadas en dos bases de datos, la denominada CLICOM (Cómputo Climático, por sus siglas en inglés), la cual contiene registros de variables climatológicas de las estaciones administradas por CONAGUA (aunque algunos datos provienen de la red del SACM a través de convenios entre estos

organismos) y la base de datos llamada ERIC (Extractor Rápido de Información Climatológica), la cual sólo contiene datos de precipitación diaria. Todas estas bases de datos pueden conseguirse con facilidad en las oficinas de los organismos correspondientes. Para la hidrología es importante contar con registros de lluvia al interior y/o en las proximidades de la cuenca que se vaya a estudiar porque esta información se usa para calcular la lluvia media de la cuenca. Esto puede hacerse con la ayuda de diferentes métodos: media aritmética, media ponderada. Debido a su facilidad de cálculo, una de las técnicas de mayor aceptación para obtener la precipitación media en las cuencas es el método de los polígonos de Thiessen. Éste consiste en encontrar las líneas medianas entre cada estación para formar polígonos y hacer la hipótesis de que toda la lluvia caída en cada polígono tiene una lámina de precipitación igual a la estación que lo formó. En seguida se obtiene la media ponderada de la precipitación con la suma del producto de lámina de lluvia de cada estación por el porcentaje de área de la cuenca que contiene cada polígono.

Figura 2

POLÍGONOS DE THIESSEN EN LA CUENCA DEL MAGDALENA

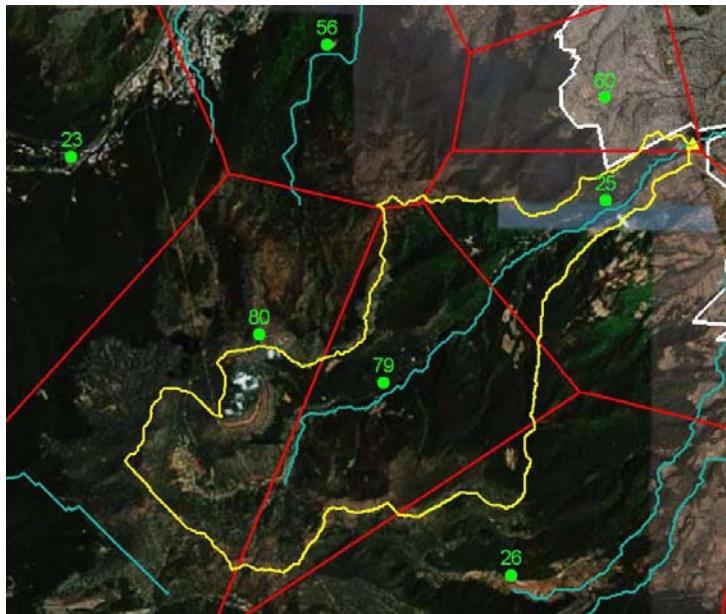


Fuente: Ubicación de las estaciones: SACM. Fondo: Imagen Google. Parteaguas (amarillo) y Polígonos de Thiessen (rojo): cartas topográficas del INEGI en formato digital y programa ArcView. Numeración en verde: número de la estación asignado por el SACM. La línea azul representa el cauce del río. El triángulo amarillo es la estación hidrométrica de la Cañada.

En las proximidades de la cuenca del río Magdalena (se usa aquí la cuenca que define la posición de la estación hidrométrica de la Cañada) se encuentran varias estaciones de la red del SACM, las cuales se presentan en la figura 2. En esta figura se observa que con la técnica de los polígonos de Thiessen se ha obtenido la injerencia de 5 estaciones pluviográficas de la red de drenaje, representados por los puntos verdes y cuya numeración corresponde a la que el SACM les ha asignado.

Figura 3

POLÍGONOS DE THIESSEN EN LA CUENCA DEL MAGDALENA CON DOS ESTACIONES IMPLANTADAS POR EL INSTITUTO DE INGENIERIA



Fuente: Ubicación de las estaciones: SACM. Fondo: Imagen Google. Parteaguas (amarillo) y Polígonos de Thiessen (rojo): cartas topográficas del INEGI en formato digital y programa ArcView. Numeración en verde: número de la estación asignado por el SACM. La línea azul representa el cauce del río. El triángulo amarillo es la estación hidrométrica de la Cañada. La numeración de las nuevas estaciones es arbitraria

Se observa en la figura 2 que la lámina de precipitación de áreas grandes de la cuenca es estimada con datos ubicados a distancias considerables. Además, grandes áreas de la cuenca son estimados con la información de sólo 2 estaciones. Tomando en

cuenta las características de esta cuenca y de las cuencas vecinas (ríos largos al fondo de grandes cañadas), se estudió si las mediciones en estas estaciones proporcionaban buena información de la precipitación pluvial de la cuenca (Brune, 2006). Para ello el Instituto de Ingeniería instaló en el 2004 dos nuevos pluviómetros al interior de la cuenca en donde se reunieran ciertas características de interés hidrológico y de seguridad para la integridad de las estaciones. La configuración obtenida se muestra en la figura 3.

En el cuadro 3 se presentan las estaciones empleadas en la configuración de las figuras 2 y 3, así como las proporciones de los polígonos de Thiessen en la cuenca. Con esta configuración se obtuvieron mediciones que dan cuenta de la precipitación al interior de la cuenca, pero además se desechó el uso de la estación 23 y se restringió el de la 26. Aunque se conserva la circunstancia de tener una estación que cubre más del 50 % del área, la estación de la nueva configuración se encuentra al centro de la misma

Cuadro 3
**PROPORCIONES DE ÁREA DE LOS POLÍGONOS DE THIESSEN
 EN LA CUENCA DEL MAGDALENA**

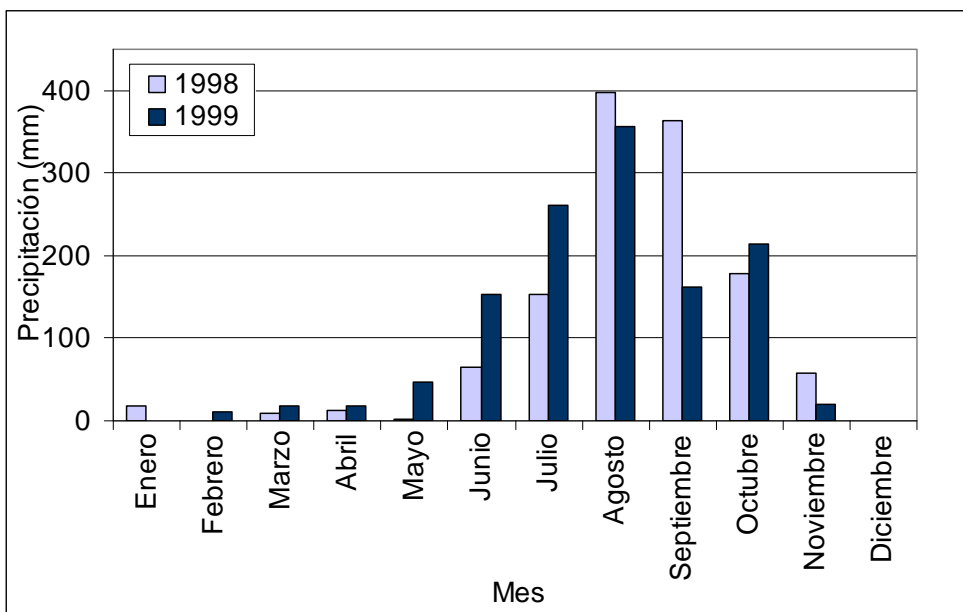
Estación de la red	Proporción del área de los polígonos en la cuenca	
	Red de 5 estaciones	Red de 6 estaciones
23	10.30	-
25	34.29	17.23
26	53.34	4.51
56	1.50	0.27
60	0.57	0.70
79	-	54.17
80	-	23.13

Fuente: Información de la ubicación de las estaciones otorgada por el SACM. Datos topográficos procesados en el Instituto de Ingeniería con ayuda del programa Arc-View.

Brune (2006) utilizó esta nueva configuración y encontró que la información generada en las estaciones 79 y 80 resulta de gran utilidad para describir los escurrimientos de la cuenca con un modelo hidrológico distribuido conceptual. Encontró también que cuando la precipitación más importante ocurría en la zona urbana se tenían escurrimientos mayores en la estación hidrométrica, mientras que en los eventos con lluvia importante en áreas de mayor altitud la cuenca amortigua las crecidas, lo que sirve para reiterar la importancia de la preservación, mantenimiento y vigilancia de la zona de conservación de la cuenca.

Gráfica 3

HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL MAGDALENA



Fuente: Cisneros I, HL, Pelczer, IJ & Stevenin H, “Comparación de la eficacia de tres modelos para escurrimientos en una cuenca rural”, Ingeniería Hidráulica en México, V. XXII, Num.1, pp. 31-45, 2007.

En el caso particular de la cuenca del río Magdalena, los datos pluviográficos del SACM y la configuración de las estaciones de la figura 2 sirvieron para conocer la distribución mensual media de las precipitaciones y las precipitaciones medias anuales. A manera de ejemplo, los valores obtenidos para estas variables en los años 1998



y 1999 se presentan en la gráfica 3. La precipitación anual total de estos años oscila alrededor de los 1250 mm, lo que se aproxima a los datos de precipitación media publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal (2005); un ejercicio de verificación deberá en cambio practicarse sobre los valores de la envolvente de precipitación máxima mensual que se incluyen en ese trabajo.

Además de la medición de la precipitación, la cuenca del Magdalena podría ser un espacio de estudio hidrológico sumamente interesante si se lograra medir otras variables. En particular sería deseable que en la cuenca pudiera contarse con mediciones de temperaturas, humedades relativas, espesores de suelo, transporte de sedimentos y evapotranspiración, entre otros. Este cúmulo de variables podría servir para enriquecer las posibilidades de probar y validar modelos hidrológicos que redundarían en beneficio de la propia cuenca.



3.7 Estimación del Balance Hidrológico

Dentro del paquete de información con el que se contó se encontraron algunas evaluaciones del balance hidrológico de la cuenca. Estos balances suelen estar basados en estimaciones o cálculo de los parámetros que componen los elementos que intervienen en ese ejercicio, como son la precipitación y los escurrimientos si se cuenta con la información que lo permita. Sin embargo algunos de estos parámetros no pueden ser calculados con facilidad porque no se cuenta con la información necesaria para ello, por lo que en la ecuación del balance se introducen valores supuestos. Entre estos parámetros suelen encontrarse la infiltración en el suelo y la evapotranspiración, cuyas mediciones y validación necesitan de procesos científicos que rara vez son llevados a cabo.

Aunque esos parámetros puedan deducirse de simulaciones hidrológicas apropiadas, esta circunstancia debería motivar la creación de campañas de investigación que permitan caracterizar, por un lado el comportamiento y la influencia de la vegetación en la hidrología de la cuenca, y por otro la dinámica de los escurrimientos subterráneos en cada región. Sería sobre todo deseable que esos trabajos consideraran la distribución espacial de estas características para que esta información pudiera explotarse mejor con simulaciones del comportamiento de la cuenca desde el punto de vista hidrológico.

Ver Anexo Metodológico 12



3.8 Sistema de Drenaje Entubado y a Cielo Abierto hasta Anzaldo

Durante las visitas que se han efectuado a la zona urbana de la cuenca del Magdalena se ha constatado que el río conduce aguas residuales. Desde los años 80 el SACM ha hecho algunas obras para remediar esta situación y para dar cumplimiento con los reglamentos ambientales del país que se refieren a las descargas en cuerpos hídricos. En efecto, desde la zona de la Cañada (inicio de la zona urbana) hasta la Presa Anzaldo existen tramos de río en los que se han instalado colectores de drenaje combinado para sanear el cauce. Además, algunos tramos de los colectores existentes han sufrido algún deterioro por el paso de las crecidas del río o por la acumulación de sedimentos al interior de los mismos. Sería deseable que estas conducciones fuesen reparadas y completadas, y que tuvieran como destino alguna planta de tratamiento en la que el agua captada tuviese un reuso apropiado.

En el recorrido de campo se identificaron 13 tramos de colectores marginales a lo largo del cauce del río Magdalena:

Cuadro 4.
ESTADO DE LOS COLECTORES MARGINALES

Tramo	Ubicación	Estado
1	Desde la altura de la calle de Cañada hasta antes del Cjon. Primavera	Colector marginal existente en la MI expuesto.
2	Desde antes del Cjon. Primavera hasta la altura del Cjo, del Zapote.	Colector marginal encajonado en la MI
3	Desde el Cjon. Del Zapote hasta delante de las calles Nogal y Espinazo en la confluencia del río Eslava.	Colector existente al centro con fugas
4	Desde la confluencia del río Eslava hasta antes del Cjon. Don Juanito.	Colector existente al centro que recibe las aguas del río Eslava
5	Desde antes del Cjon. Don Juanito hasta el Cjon. De la Plazuela	Colector marginal MI existente
6	Desde el Cajon. De la Plazuela hasta la Avenida México	Colector existente al centro
7	Desde la Avenida México hasta el	Drenaje abierto de descargas

	ingreso del cauce proveniente de la margen izquierda	locales
8	Desde el punto anterior hasta la curva del cauce	Cauce abierto
9	Desde la Calle Querétaro hasta su confluencia con el Río Magdalena	Drenaje abierto de zona urbana
10	Desde la curva del punto final del tramo 8 hasta antes del Hotel Camino Real	Cauce abierto con dos descargas locales sin tratar
11	Dentro de la Presa Anzaldo	Colector que recibe las aguas residuales de Coyotes y Texcaltlaco dentro de la Presa antes de ingresar al embalse y hasta su obra de toma
12	Aguas abajo de la cortina de la presa hasta el Blvd. De La Luz	Colector marginal izquierdo sobre el cauce para transportar aguas residuales del colector que sale de la Presa Anzaldo
13	Desde el Blvd. De la Luz hasta antes del centro Comercial Plaza San Jerónimo	Colector Marginal MI sobre el cauce para transportar aguas residuales del tramo anterior

Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM, 2008.

Según la información proporcionada por el SACM y con base en los resultados de juntas con personal responsable se sabe que una posibilidad para enfrentar esa situación es un proyecto en el que se construiría una planta de tratamiento en las proximidades de la presa Anzaldo y que el agua producida por la planta fuese aprovechada de alguna manera. Entre alternativas que podrían considerarse para ese reuso se propone llevar a la zona de la cañada una línea de bombeo para entregar esta agua al río, buscando que se cumplieran las normas respectivas de descargas en cuerpos de agua y de reuso de aguas residuales tratadas.

Otra posibilidad consiste en crear una batería de pozos de absorción para inducir la infiltración de las aguas tratadas al subsuelo, lo cual podría reducir la demanda de evacuación de aguas residuales a través del drenaje y almacenar en el acuífero una cierta cantidad de agua que podría ser extraída más tarde para su aprovechamiento. Sin embargo, esta alternativa es sumamente delicada pues la calidad del agua infiltrada deberá tener una calidad



óptima desde el punto de vista del consumo humano, además de contar con las características del agua residente en el subsuelo para que no se generen reacciones indeseables que podrían modificar su calidad y tener efectos irreversibles, como la obturación del acuífero (cristalización) y la generación de subcompuestos inapropiados para el consumo.

Finalmente, se ha mencionado la alternativa que considera que el agua tratada sea re-usada por industrias, comercios y quienes puedan ser consumidores del agua que satisfaga sus demandas de volumen y calidad. Esta alternativa, aunque es muy atractiva porque sustituiría el uso de agua potable (la cual en ocasiones tiene una calidad que supera la que se necesita en ciertas actividades económicas), conlleva la desventaja de requerir de redes de abastecimiento cuya construcción deba amortizarse con la venta del agua en un tiempo razonable y con la necesidad de tener un mercado de consumo estable.

Otra posibilidad sería atomizar el tratamiento de las aguas residuales en pequeñas plantas de tratamiento en los sitios en los que las redes actuales de drenaje sanitario se encuentran con el río. Esta alternativa tendría la ventaja de que el río podría conducir las aguas tratadas y no sería ya necesario que existieran (o que al menos pudieran reducirse) los colectores marginales al cauce. Sin embargo, se sabe que este esquema tendría la dificultad de tener que operar varias plantas de tratamiento y de la necesidad de grandes espacios para alojar esas instalaciones. Sería interesante conocer si existen alternativas de tratamiento que permitan la instalación de plantas que no requieran de mucho espacio para su colocación. A este esquema podría además asociarse la construcción de redes de aguas de drenaje sanitario con las que se alimenten las plantas, dejando que los escurrimientos producidos por las precipitaciones reconozcan naturalmente su trayectoria hacia el río (al interior de colectores para evitar los riesgos que se derivan de su contacto con la población).

Por último, dentro de la información que se recibió del SACM se encontró que se proyecta construir un colector de aguas residuales que conecte a la Planta Potabilizadora Río Magdalena con el drenaje existente en la zona urbana. Es probable que una mejor alternativa



fuera la que proporciona este servicio sin que la obra por construir se aloje en el lecho o en las márgenes del río, sino que se aleje de él lo más que sea posible. Esto induciría además que en el futuro, si existiesen demandas de conexión de drenaje para servir a otras áreas vecinas a esa planta, las áreas conectadas tuvieran como límite la frontera que definiesen estas obras.



Bibliografía

ARIES, Ingeniería Integral, “Estudio para analizar la información hidrométrica de la estación magdalena y de la hidrológica de la cuenca del río Magdalena en la zona surponiente del Distrito Federal”. Informe para la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, Diciembre 1999.

Cisneros I, HL, Pelczer, IJ & Stevenin H, “Comparación de la eficacia de tres modelos para escurrimientos en una cuenca rural”, Ingeniería Hidráulica en México, V. XXII, Num.1, pp. 31-45, 2007

Domínguez M., R., Cisneros I., H.L., Fuentes M, G.E., Durand M., R., Argánis J., M.L & Pelczer, I.J., “Análisis del comportamiento hidrológico de cuatro cuencas del poniente del valle de México, programa de visualización de isoyetas y asesoría sobre dos programas de infiltración”. Instituto de Ingeniería, Informe para el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, Diciembre 2004.

EFE Asesores, “Estudio para la actualización de los coeficientes de escurrimiento en la zona poniente del Distrito Federal”. Informe para la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, Tomos 1 y 2, Noviembre 1997.

EFE Asesores, “Estudio para la operación de las estaciones hidrométricas de los ríos Mixcoac, Villa Verdúm, Becerra y Puerta Grande, ubicados en la zona poniente del Distrito Federal”. Informe para la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, Diciembre 1999.

EFE Asesores, “Obtención de datos hidrométricos de cinco cauces de la zona poniente del Distrito Federal”. Informe para la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, Tomos 1 y 2, Diciembre 1998.



Fernández E, A., F. Uribe C, I. Ramírez R, B. A y M. A. Vázquez. "Evaluación del avance de la mancha urbana sobre el área natural protegida de la Cañada de los Dinamos". Gaceta ecológica. No. 62. INE-SEMARNAT, 2002. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/62/fernandez.html>

Franco V., Gutiérrez L., A., Peña P., T. C., Sánchez E., L., Caamaño, V., Domínguez M., M. & Martínez A., A., "Diagnóstico de las presas del poniente". Instituto de Ingeniería, Informe para la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, Febrero 1992.

Gaceta Oficial del Distrito Federal, Asamblea Legislativa del Distrito Federal, México, D.F. Enero 2005.

IPESA, Ingeniería y Procesamiento Electrónico S.A. de C.V., "Proyecto ejecutivo de dos presas para captar aguas pluviales y recargar acuíferos en la delegación Magdalena Contreras. Esquemas de anteproyecto y Estudio hidrológico". Informe para la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Departamento del Distrito Federal, Octubre 1985.

ITCSA; "Estudio topográfico para determinar el volumen de azolve por extraer en las presas: Anzaldo, Tacubaya y Caja de Becerra, en la temporada de estiaje 2005-2006", Informe final para el SACM, México, 2005.

Jujnovsky O., J., "Las unidades de paisaje en la cuenca alta del río Magdalena, México, D.F., Base fundamental para la planificación ambiental". Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM, 2003.

Moreno V., A., "Modelo lluvia-escorrentamiento de la cuenca del río Magdalena". Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM, 2005.