

# Intervención hidráulica para controlar la contaminación y prevenir el riesgo hidrometeorológico en el río Eslava, D.F.

Gilberto Sven Binnqüist Cervantes<sup>1</sup>, Carlos Hevia del Puerto Puente<sup>1</sup>, Marta Magdalena Chávez Cortés<sup>1</sup>

*Fecha de recepción: 24 de septiembre de 2012 – Fecha de aprobación: 29 abril de 2013*

## RESUMEN

El río Eslava es uno de los últimos afluentes del Distrito Federal que mantiene a cielo abierto gran parte de su cauce. La integridad del río y la naturalidad de su ribera disminuyen en medida de la consolidación del suelo urbano, esto como resultado del deterioro de la calidad del agua por descargas sanitarias, invasiones urbanas que alteran la trayectoria, eficiencia de la sección hidráulica, y el riesgo por peligros hidrometeorológicos. En este artículo se describe la estrategia de intervención para controlar la contaminación y prevenir el riesgo ambiental en el río Eslava. La solución hidráulica se diseñó adaptando las fases para la planeación sustentable del paisaje propuestas por André Botequilha y Jack Ahern (2002). Como resultado del estudio, se diseñó un sistema de colectores marginales de 10 km de largo, adecuaciones a las redes de atarjeas, obras de protección para prevenir el riesgo ante deslizamientos del terreno, y establecimiento de un conjunto de condiciones fundamentales para garantizar la viabilidad del proyecto de intervención.

**Palabras clave:** Colectores marginales, contaminación, riesgo, Río Eslava

## Hydraulic intervention to control of pollution and prevent hydrometeorological risk in the river Eslava in D.F.

### ABSTRACT

Eslava River is one of the last remaining open channel tributaries for most of its course in Mexico City. The integrity of this river and the naturalness of its banks diminish as urban soil consolidates, as a result of damages to water quality due to sanitary discharges, illegal settlements -which alter the path and efficiency of the hydraulic section- and hydrometeorological risks. This paper describes an intervention strategy to control pollution and prevent environmental risk at Eslava River. Its hydraulic solution was designed adapting the landscape sustainable planning phases proposed by André Botequilha and Jack Ahern (2002). As a result of the study, a 10 km-long system of border collectors was designed, in addition to sewage network improvements, protective measures to prevent landslide risk and the establishment of a set of base conditions to guarantee the feasibility of the intervention project.

**Key words:** Drainage pipes, pollution, risk, Eslava River

---

<sup>1</sup>Lab. Planeación Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Correo electrónico: gsven@correo.xoc.uam.mx

**Nota:** El período de discusión está abierto hasta el 1° de noviembre de 2013. Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 17, No. 1, 2013, ISSN 1665-529-X.

## **INTRODUCCION**

Los ríos que cruzan total o parcialmente las ciudades se han denominado como ríos urbanos (González et al., 2010). Desde la perspectiva social, estos espacios han sido la base para el establecimiento de las poblaciones humanas, pues son fuente de agua potable y de regadío, además de medio de transporte (Shannon, 1998; De la Rosa y Martinico, 2012). Los ríos siempre han estado sometidos a la presión del crecimiento urbano, ya que la expansión física de las ciudades y la necesidad de ganar suelo, han favorecido la contaminación de las aguas por descargas de drenajes sanitarios y se han usado como destinatarios de residuos domésticos, agrícolas e industriales (De la Cal y Pellicer, 2002; Zhao et al., 2007). La ocupación de las riberas y planicies de inundación contribuye a la alteración de los caudales de agua, al dragado y relleno de cauces, a la erosión del lecho y taludes, y a la remoción de la vegetación riparia (Randolph, 2004; Alberti, 2005; Pinto y Maheshwari, 2011), aspectos que menoscaban la integridad de estos cuerpos de agua. La manifestación más evidente de la presión urbana sobre la integridad hídrica de un cauce natural es la modificación de su calidad de agua, la alteración en el funcionamiento apropiado del ciclo del agua respecto a su biogeoquímica y el cambio en la dinámica de sedimentación (Baigun et al., 2002; Gibson, et al., 2005; Gurnell et al., 2007). Otros efectos negativos son la disminución de caudales, la degradación de hábitats para la biodiversidad y la disminución en la producción de biomasa para consumo humano (Kennen, et al., 2008).

Esta situación no es ajena ni en la Ciudad de México ni en otras ciudades del país o de otras naciones. De hecho, ha habido múltiples movimientos ciudadanos en distintas partes del mundo para tratar de prevenir la pérdida de los ríos urbanos remanentes (Riley, 1998). En el caso del Distrito Federal, esta preocupación detonó la respuesta de las autoridades del Gobierno del Distrito Federal por preservar los principales aportes de agua superficial de la Ciudad de México y proteger a los únicos “ríos vivos” que aún mantienen, a cielo abierto, gran parte de su cauce. Es así que en el 2007 la Secretaría del Medio Ambiente (SMA) creó el “*Programa de Rescate Integral de los Ríos Magdalena y Eslava*”.

En el caso del Eslava, este río nace en el Área de Conservación del Distrito Federal, y podría decirse que, en cierta medida, el grado de naturalidad de sus ecosistemas es bueno, dado que aún persiste la autenticidad y continuidad de sus bosques, y tanto los manantiales como los escurrimientos registran un grado aceptable de calidad del agua. Sin embargo,

conforme se avanza en la subcuenca aguas abajo, la integridad hídrica y la naturalidad de la ribera disminuyen en medida de la consolidación del suelo urbano de las delegaciones La Magdalena Contreras y Tlalpan. Esto es así, ya que en diversos puntos, las descargas sanitarias domiciliarias son vertidas al cauce modificando sustancialmente la calidad del agua del río, rebasando por mucho los límites permisibles de coliformes fecales (2000 y 1000 ufc/ml respectivamente) establecidos en las normas 001-ECOL-1996 y 003-ECOL-1996 (SMA, 2008). Esta situación se agrava por la presión del crecimiento urbano hacia el río, pues en las colonias: El Negro, El Zacatón, Tierra Colorada, Bosques del Pedregal, Chichicaspatl, Totolapan, Chichicaspa, El Gavillero, Ixtlahualtongo, Subestación, Ladero de Cristo, Las Huertas y San Nicolás Totolapan, las construcciones han invadido la zona federal asociada al cauce, transformando la naturalidad de la ribera, modificando la trayectoria natural del río y su eficiencia hidráulica.

Asimismo, en la porción media y baja de la subcuenca existen asentamientos humanos ubicados dentro del área decretada como “conservación ecológica”, la cual, además, está sujeta a riesgo por la ocurrencia de peligros hidrometeorológicos y geológicos. Algunas viviendas se establecieron en laderas que colindan con el cauce, las cuales, al momento en que se presentan lluvias extraordinarias o torrenciales, los terrenos y taludes se reblandecen, y ocurren deslizamientos de terreno. De facto, la delegación de La Magdalena Contreras ha determinado 29 sitios vulnerables, todos ellos ubicados alrededor de las zonas de Chichicaspa y Tierra Colorada, así como en las laderas de los cerros ubicados en San Nicolás Totolapan: El Ocotil y Cazulco. Es esta situación de riesgo ecológico y humano la que fundamentalmente motiva y orienta la estrategia de intervención que aquí se presenta. En este contexto, el objetivo del artículo es describir la estrategia de intervención para controlar la contaminación y prevenir el riesgo ambiental en el Río Eslava.

Rescatar la integridad hidrológica del río Eslava es un proyecto complejo, pues la magnitud de los asentamientos humanos dentro del suelo de conservación y la falta de voluntad política de la autoridad para controlar su expansión, son factores que acotan el alcance de la propuesta de intervención. Considerando este marco de referencia y desde una perspectiva adaptativa de planificación, se acordó, mediante consulta pública, que la prioridad sería atender el grave problema de contaminación del río a través del control de las fuentes de contaminación, la

separación del drenaje sanitario y pluvial, y la conducción eficiente de las aguas servidas. Se acordó además, evitar los posibles riesgos por peligros hidrometeorológicos asociados a la avenida del río y tormentas extraordinarias. Una vez recuperada la calidad del agua del escurrimiento, los esfuerzos se encaminarían a recuperar los espacios naturales en la ribera, y regenerar el espacio público deteriorado.

## **METODOLOGIA**

El desarrollo de la solución hidráulica tomó como marco metodológico las cinco fases para la planeación sustentable del paisaje propuestas por Botequilha y Ahern (2002) denominadas como: Enfoque, Análisis, Diagnóstico, Propuesta y Síndéresis (Ver Figura 1).

La fase de enfoque incluyó la identificación de la meta, propósitos y objetivos del trabajo de planeación a realizar. Fue propiamente la fase de la identificación del problema y del establecimiento de objetivos a perseguir. El producto de esta fase consistió en un visión preliminar (Bastian, 2001) del paisaje-territorio de interés, la cual sintetizó las metas y objetivos generales, así como el alcance del proceso de planeación que se llevó a cabo.

La fase de análisis se orientó a la construcción del contexto de la intervención hidráulica, caracterizando y analizando múltiples dimensiones (ecológicas, urbanas, socio-económica y culturales) que determinaron la situación ambiental del río, y a su vez proporcionó información de cómo los diferentes elementos que conformaron cada dimensión, influyeron en la problemática ambiental.

En la fase de diagnóstico se realizó concretamente la descripción del estado del sistema a planificar. En esta etapa se precisaron las evidencias para determinar si el funcionamiento del sistema era correcto y qué repercusiones tenía hacia el futuro. El producto final fue la identificación de los principales factores y restricciones que favorecían o no la imagen -objetivo de la intervención, así como los conflictos que influyeron en viabilidad de las soluciones propuestas.

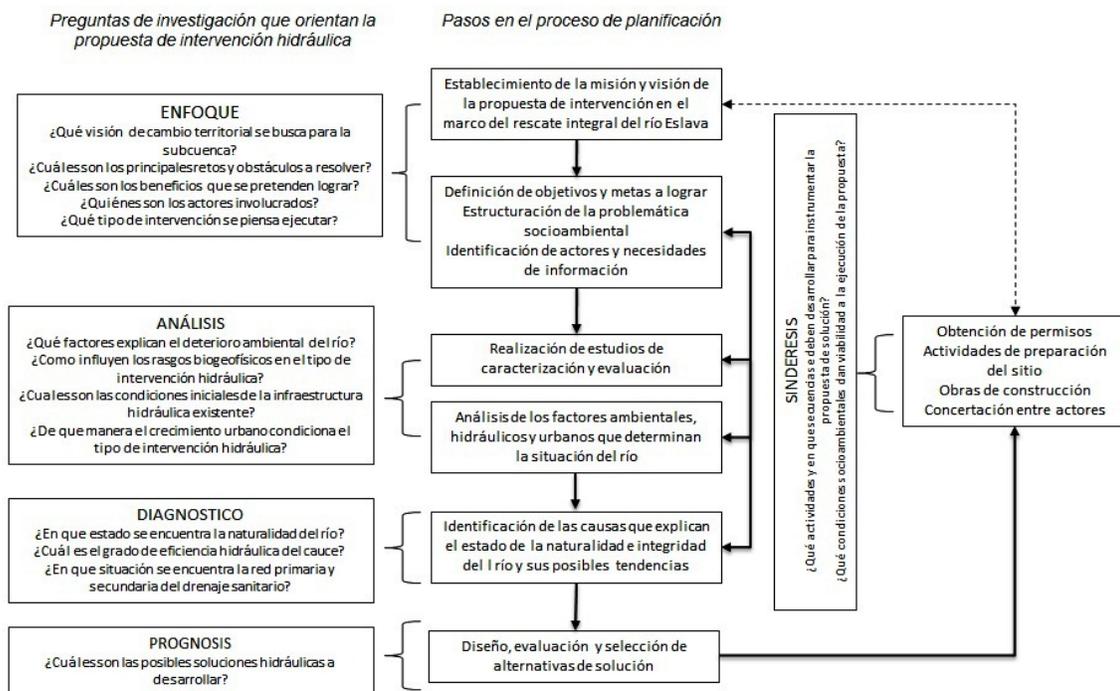
La fase de propuesta o prognosis se concentró en el desarrollo de posibles alternativas para alcanzar los objetivos y metas propuestas en la fase de enfoque. La síndéresis se dirigió al proceso de implementación de las alternativas seleccionadas y la evaluación de su éxito (Bolos, 1992 citado en Botequilla y Ahern, 2002). Esta etapa incluyó la obtención de permisos de construcción, actividades de preparación del sitio, construcción de la obra física y la concertación entre actores.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados del proceso de planeación se exponen a continuación, siguiendo las etapas del marco metodológico propuesto.

**Enfoque.** Para definir la visión que guió la estrategia hidráulica, se retomó la imagen objetivo propuesta en el Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Eslava (PMMIASCRE). En donde el río se visualizó como un territorio que había recuperado su completa naturalidad en virtud del control de las fuentes de contaminación al cauce; se preservaron las funciones ecosistémicas mediante la participación de la sociedad en acciones de conservación; y se recuperaron espacios públicos que brindan oportunidades de sustento para la comunidad local, como de esparcimiento a los habitantes y visitantes de la Ciudad de México. Para complementar el panorama anterior, se retomó la preocupación social por la seguridad pública y patrimonial ante los potenciales peligros hidrometeorológicos asociados a tormentas extraordinarias. A partir de esta visión territorial, se establecieron las metas que la estrategia hidráulica debería alcanzar y que se resumen a continuación:

- Controlar las descargas sanitarias que se vierten al cauce por los asentamientos humanos y el deterioro de la red de atarjeas.
- Recuperar la calidad del agua del río considerando los límites permisibles de contaminantes establecidos en la normatividad ambiental.
- Desazolver el cauce por la acumulación de sedimentos y desechos sólidos que son arrojados al río y en la ribera.
- Recobrar el área de la cárcava y la eficiencia hidráulica de conducción del cauce, así como de la zona de ribera de acuerdo al nivel de aguas máximas ordinarias (NAMO).
- Restablecer la naturalidad del trazo original del río.
- Separar el drenaje pluvial y el sanitario y conducir las aguas servidas a través de una red de atarjeas y colectores marginales para su posterior tratamiento, y en su caso reuso.
- Reducir los costos de mantenimiento y operación de los colectores marginales, cajas de captación y conexión, vertedores y demás obras hidráulicas.
- Evitar riesgos por desbordamientos del río, inundaciones y deslizamientos del terreno producto de tormentas o lluvias extraordinarias.



**Figura 1.** Metodología para el desarrollo de la solución hidráulica para la parte media y baja de la Subcuenca del Río Eslava

Para estructurar la situación socioambiental a enfrentar se recopiló y analizó información documental sobre las características naturales y construidas del sitio: fisiografía, relieve, clima, edafología, geología, hidrología y vegetación existente, usos del suelo y asentamientos urbanos. Se consultó la normatividad ambiental a nivel federal y de la ciudad de México, así como las normas oficiales relacionadas con descargas de aguas residuales, sistemas de alcantarillado, redes de distribución de agua potable, delimitación de zona federal en cauces y periodos de retorno de las avenidas de río (CONAGUA, 2005; CONAGUA, 2007; SEMARNAT, 1996; SEMARNAT, 1998a; SEMARNAT, 1998b). Se realizaron más de 20 reuniones de trabajo con funcionarios y personal de la Dirección de Planeación y Construcción del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), y se entrevistaron a los Jefes Delegacionales de La Magdalena Contreras y Tlalpan. También se efectuaron tres talleres con autoridades y personas del Ejido de San Nicolás Totolapan así como 3 foros de discusión con vecinos de más de 13 colonias de ambas delegaciones y funcionarios de la SMA como de la Coordinación del Programa de Rescate Integral de los ríos Magdalena y Eslava. De manera paralela se efectuaron múltiples recorridos con un doble propósito: 1) identificar y ratificar los principales disfuncionamientos de la subcuenca relacionados con el deterioro ambiental del cauce y su calidad de agua;

y 2) georeferenciar sitios en donde se hayan registrado peligros hidrometeorológicos. Los recorridos ayudaron a establecer los temas y el tipo de datos que debían ser generados en la fase de análisis, especialmente la magnitud de las invasiones al río por asentamientos humanos regulares e irregulares, el estado de la infraestructura hidráulica (colectores, red de alcantarillado, estructuras y obras existentes), las áreas de aportación de gasto sanitario y pluvial, y las condiciones geotécnicas del cauce.

**Análisis.** Los resultados derivados de la investigación documental y de la supervisión en campo, evidenciaron que para el diseño de la solución hidráulica era necesario considerar los siguientes aspectos:

- 1.- Con base en el relieve, la hidrología superficial, la distribución y el tamaño de la población asentada en la subcuenca, las áreas de aportación de gasto pluvial y de gasto sanitario tenían una extensión de 28.89 Km<sup>2</sup>, asumiendo una población de proyecto de al menos 66,487 habitantes, a razón de una densidad de 5.4 habitantes/vivienda.
- 2.- De acuerdo con la experiencia del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) en la construcción y operación de los sistemas de alcantarillado en el D.F., se consideró en el diseño de los colectores marginales una dotación de 150 lts por habitante al día y un factor de aportación de 1. Para

determinar los diámetros y las características de funcionamiento de los colectores marginales, resultó fundamental analizar la variación geográfica de la dotación de consumo de acuerdo a la distribución y la

densidad de la población asentada en la subcuenca, así como las características topográficas y de escurrimiento de las redes de atarjeas (Ver Figura 2).

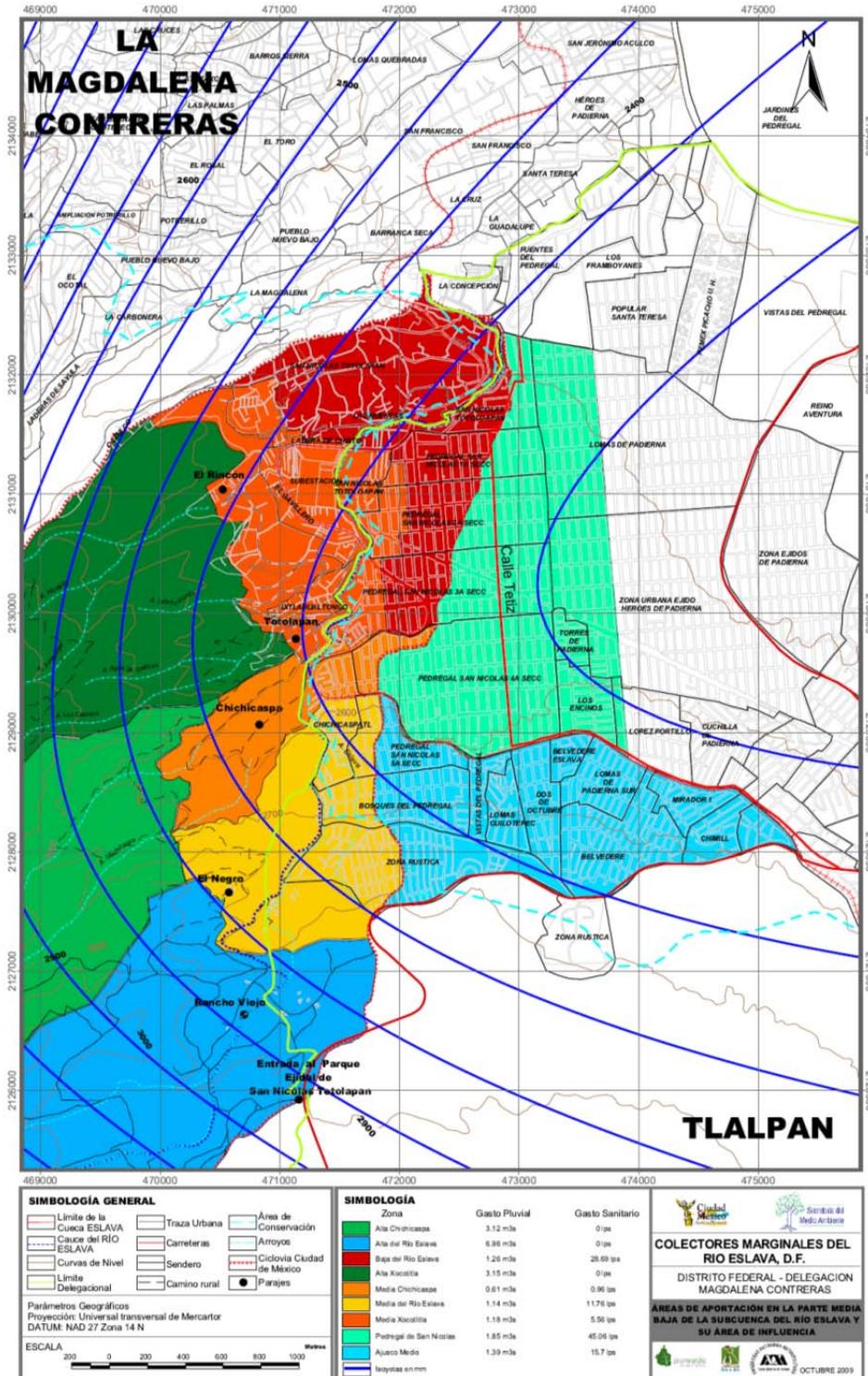


Figura 2. Áreas de aportación pluvial y sanitaria en la parte media y baja de la Subcuenca del Río Eslava

3.- La discontinuidad de escurrimiento superficial por las características geohidrológicas de la subcuenca, aunado a la carencia de sistemas de monitoreo puntual de gasto pluvial, impidieron la determinación directa de gastos pluviales, por lo que se recurrió a estimar los datos pluviométricos con base en registros de las estaciones meteorológicas de sistema Eric de Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA, así como a las isoyetas determinadas por la S.C.T., CONAGUA y C.F.E. en la zona de estudio. Resultó entonces fundamental explorar diversos escenarios de gasto pluvial (mínimo, máximo y máximo extraordinario o instantáneo), especialmente en caso de tormentas extraordinarias, considerando un periodo de retorno (Tr) de 50 años, con un coeficiente de escurrimiento de 0.45 y un tiempo de concentración de 30 minutos.

4.- La dotación de agua potable que ingresa a una vivienda no se aporta en su totalidad alcantarillado sanitario. Además, en una vivienda es posible que múltiples accesorios sanitarios se estén utilizando simultáneamente. Para calcular la capacidad requerida de las tuberías para cada sección hidráulica se estimó el gasto máximo instantáneo, considerando el coeficiente de Harmon (M) o de variación instantánea, que se aplica en las horas en que se estima que usa se utiliza más el sistema de drenaje. En México, para poblaciones mayores a 63,000 habitantes el coeficiente de Harmon es de 2.17 (Lara, 1991).

5.- El gasto sanitario promedio anual asciende a 115.43 l.p.s, mientras que el gasto mínimo alcanza los 57.71 l.p.s y el máximo 250.48 l.p.s. En caso de una aportación simultánea de toda la población de proyecto a servir, el colector marginal sería sometido a una condición extraordinaria de trabajo, para lo cual se consideró un coeficiente de previsión  $C_p=1.5$ , de aquí que el gasto extraordinario calculado fue de 375.72 l.p.s.

6.- La contaminación del río y la mala calidad del agua son producto de los asentamientos humanos regulares e irregulares que vierten sus aguas residuales directamente al cauce. Sin embargo, en las redes de atarjeas algunas presentaban filtraciones hacia el cauce, siendo un factor a considerar para el control eficaz de las fuentes de contaminación.

7.- El río Eslava conducía por el mismo cauce la propia escorrentía natural, las aguas residuales de las viviendas, y el drenaje pluvial; por lo que la solución hidráulica tenía que considerar, obligadamente, la separación de las aguas servidas que debían ser conducidas con respecto al agua pluvial que corre por el cauce natural.

8.- Para el diseño de las estructuras hidráulicas para interceptar y conducir las aguas servidas de las

viviendas (colectores marginales), se requiere asumir un escenario en donde las autoridades delegacionales, así como otras instancias del Gobierno de la Ciudad, no instrumentarían medidas de reordenamiento urbano, pues políticamente no era factible la reubicación o el desalojó de los asentamientos irregulares, aunque sí se considera el crecimiento cero de la población.

9.- La subcuenca debió ser jerarquizada con base en áreas de aportación debido a la heterogeneidad de los gastos sanitarios y pluviales. El cauce fue zonificado en secciones hidráulicas, dado el grado de consolidación de los núcleos urbanos asentados en las márgenes del cauce. La magnitud de los gastos sanitarios, la complejidad de la topografía, la estratigrafía y la geotecnia del terreno, fueron factores que determinaron en gran medida la trayectoria y dimensiones de las estructuras hidráulicas a ser proyectadas.

10. El río Eslava presentaba, en algunas secciones, un avanzado grado de azolve debido al efecto de las edificaciones que invaden el cauce, modificando el trazo natural del río. Ante esta perspectiva fue imperativo evaluar la eficiencia hidráulica de la cárcava en términos de su capacidad de conducción y del gasto pluvial acumulado en ese tramo de la subcuenca.

11.- El funcionamiento hidráulico y la rectificación del cauce era un componente estratégico para prevenir riesgos a la población por peligros hidrometeorológicos como desbordamientos e inundaciones. Ante este panorama las secciones hidráulicas deberían ser caracterizadas con base en la pendiente del terreno, la permeabilidad del suelo, el gasto pluvial ( $m^3/seg$ ) que la sección podía conducir, la disminución de la sección hidráulica y el grado de invasiones por edificaciones en el cauce y la ribera.

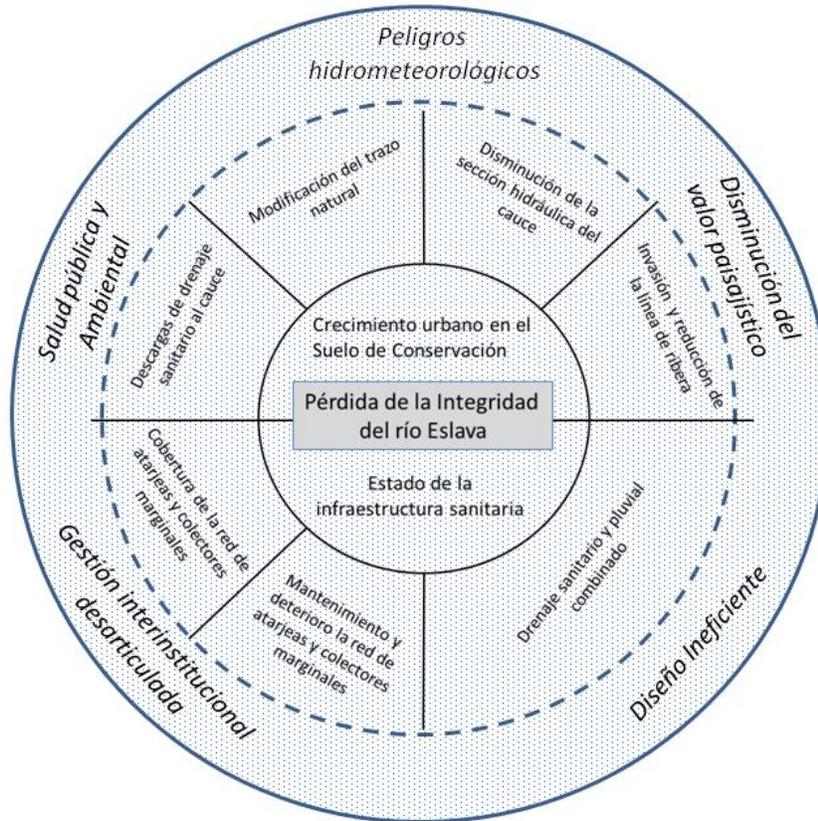
12.- El análisis de la prevención de riesgos también demanda considerar la posibilidad de desprendimientos de materiales y derrumbes en aquellas secciones donde el lecho de roca no fuera aglomerada y consolidada. Por ello fue necesario valorar la estabilidad de taludes y la pertinencia de construir obras de protección.

**Diagnóstico.** De acuerdo a los resultados del análisis, se llegó a la conclusión de que la contaminación del río Eslava es un problema ambiental resultado de la sinergia de tres situaciones básicas (Ver Figura 3) 1.- *La complacencia de las autoridades y la falta de voluntad política para prevenir y revertir el establecimiento de asentamientos humanos dentro del Suelo de Conservación.* Más del 60% del territorio de la subcuenca se encuentra considerado como área de protección y, por lo tanto, no cuenta con servicios

públicos por ser un área no urbanizable. Los asentamientos humanos que se establecieron en la parte media y baja canalizaron de manera clandestina sus drenajes hacia los escurrimientos naturales, modificando sustancialmente los parámetros fisicoquímicos y biológicos asociados a la calidad del agua, e incrementando los riesgos en la salud pública tanto en la población como en el ecosistema. El crecimiento urbano también promovió invasiones por edificaciones dentro de la Zona Federal del río, y en algunos tramos llegaron a establecerse sobre el cauce.

Esta situación disminuyó considerablemente la naturalidad de la ribera y de la planicie de inundación, además de mermar de forma considerable su valor paisajístico como espacio público. El establecimiento de viviendas en las márgenes del río, y las invasiones de paramentos, fueron los principales factores para que se modificara la trayectoria original del río y disminuyera la sección hidráulica del cauce, afectando la eficiencia de conducción del río e incrementando el riesgo por peligros hidrometeorológicos y geológicos. 2.- *La visión*

*estrictamente sectorial con la que el Sistema de Aguas y las delegaciones políticas planificaron el drenaje primario y secundario de la zona. Esta perspectiva de planificación ha tenido un importante peso en la baja eficiencia en el manejo del gasto sanitario y pluvial de la Ciudad de México. Cabe hacer notar que aun cuando la norma oficial mexicana de 1995 lo dictamina, fue hasta el 2003 que la Ley de Aguas del Distrito Federal estableció que el Sistema de Aguas desarrollara sistemas de drenaje separados para la captación y conducción de aguas pluviales, y de aguas negras y grises. 3.- *La deficiente coordinación intersectorial respecto a una política coordinada sobre la gestión de los cauces en áreas urbanas. Aún no es claro el nivel de competencia y corresponsabilidad entre diversas instancias federales como de la Ciudad de México respecto a las acciones de intervención para prevenir la contaminación de los cauces naturales en zonas urbanas y el mantenimiento del drenaje sanitario y pluvial de la subcuenca (CONAGUA, SACMX, SMA y las delegaciones políticas).**



**Figura 3.** Problemática ambiental de la subcuenca del Río Eslava

**Propuesta.** Tomando en consideración las evidencias de los disfuncionamientos prácticos del sistema, así como las metas establecidas, se evaluaron diversas alternativas para la ubicación de los colectores marginales, las características de los materiales de construcción, y el tipo de adecuaciones a la infraestructura hidráulica. Para definir la ubicación y trayectorias de los colectores marginales se consideró la ubicación de los puntos de descargas sanitarias de acuerdo con las márgenes del río. Esto obligó a considerar en el diseño un colector “central” en la margen derecha del cauce, que es la zona en donde existen la mayor cantidad de aportaciones. Sin embargo, existen tres arroyos que reciben la descarga sanitaria de viviendas, y que se conectan al cauce principal por la margen izquierda. Por esta razón, se incluyeron otros colectores denominados “madrinas”, cuyas aportaciones se unen al colector central en diversos puntos. El control de las descargas domiciliarias y su vertido en el colector marginal se hizo mediante un pozo de visita cercano, o un registro en donde coincidían el tubo de la descarga sanitaria y el colector.

Debido a que las calles Bosques, Encinos, Cascada, Gavillero, Subestación, Tlalmahuacala y Mariano Matamoros cruzan el cauce, y en ellas existen redes de atarjeas que presentan fugas y contaminan el río, fue necesario diseñar cajas de intercepción y conducción en ambas márgenes del cauce. Dado que la red de atarjeas funcionaba como un drenaje combinado, en el diseño de las cajas se consideraron diversos diámetros para su conexión al colector (30 cm hasta los 60 cm), así como esquemas para descargar de forma controlada el gasto excedente; cada caja incluyó un vertedor de demasías, así como de un desarenador que detenga el arrastre de materiales finos que contiene el suelo de la zona y evite el azolve del colector.

Un elemento crucial en la propuesta fue privilegiar la eficiencia para conducir el gasto sanitario, a partir de mantener de forma segura la velocidad de flujo y los tirantes del agua dentro de los tubos. Para lo cual, el relieve y la pendiente del terreno fueron los factores críticos considerados, ya que afectan el funcionamiento hidráulico de las tuberías. En las cañadas con pendientes muy inclinadas, el desnivel a vencer con la tubería fue mayor que la pendiente natural del terreno. Esto incrementaba la velocidad del flujo del agua dentro del tubo, lo cual era un riesgo; especialmente en el caso de eventos meteorológicos extraordinarios. Para que el agua descendiera de forma más controlada y con menor velocidad, se consideró la creación de estructuras de caída, como son pozos o cajas. Para la conexión de

los colectores secundarios y madrinas, y las descargas directas de redes de atarjeas o domiciliarias, también se consideró en el diseño la ubicación de pozos, cajas y registros.

Otro factor limitante para la ubicación de los colectores fue la cantidad de espacio disponible en las márgenes del río. Lo idóneo, era que la ubicación de las estructuras hidráulicas fuera en la Zona Federal (5 metros a cada margen del cauce), sin embargo, en la sección “Ladera de Chisto – Las Huertas”, el grado de consolidación de las construcciones que invaden la ribera, determinó que no era posible recuperar la franja libre de la zona federal.

En las secciones “Chichicarpa” y “Subestación” se reordenó la conducción del escurrimiento pluvial y el colector de drenaje sanitario. Se rectificó la trayectoria del cauce y la re-nivelación longitudinal, evitando cambios de dirección drásticos, garantizando una pendiente uniforme y una sección hidráulica suficiente. En la sección Chichicarpa, las aportaciones sanitarias provienen de la margen derecha del escurrimiento, por lo que fue conveniente ubicarlo en el paramento derecho de la sección. La cárcava tuvo que ser construida de forma paralela al colector marginal, ya que es más eficiente dar continuidad al escurrimiento proveniente de aguas arriba y abajo, evitando un doble cruce con una terracería que da acceso a la zona. Finalmente, esta se restituyó, con un ancho de 8.0 m para conservar las condiciones actuales de comunicación y mejorando el nivel de servicio. En el caso de la sección Subestación, el colector marginal mantuvo su trayectoria para conectar las descargas de las propiedades contiguas a la calle Subestación. La cárcava del canal se orientó hacia el oriente, a través de algunas parcelas, para evitar las deflexiones actuales y mejorar la continuidad del escurrimiento, reintegrándose aguas abajo a la trayectoria previa, en el cruce de FF.CC. Cuernavaca. Para la rectificación de ambas secciones se consideró un bordo libre de 40 centímetros por encima del nivel de aguas máximas, lo que equivale al fondo de plantilla del canal, más la altura de diseño de la sección.

Para el diseño del sistema de colectores marginales, se retomaron las normas de proyecto y el manual de proyecto para obras de aprovisionamiento y saneamiento de asentamientos humanos elaborados por la Comisión Nacional del Agua. Una característica importante en la eficiencia hidráulica de un colector, es garantizar su hermeticidad. Para el caso del sistema propuesto, el material más adecuado fue el plástico PAD considerando su ligereza y que la longitud de los tubos llegaba hasta los 6 metros, lo

cual no requiere de tantas uniones como los de concreto. Además, es más sencillo de instalar y su costo es más económico.

Dadas las condiciones fisiográficas del cauce, fue necesario considerar materiales con coeficientes de rugosidad bajos ( $n=0.009$ ); esto con el fin de evitar la erosión en las paredes de las tuberías por las posibles velocidades del caudal de acuerdo a la inclinación del terreno. Además, por su flexibilidad, el uso de tuberías plásticas incrementa la capacidad de adaptación a las condiciones del terreno y las variables de diseño respecto al funcionamiento hidráulico.

Establecidas la ubicación y las trayectorias, se determinó el perfil topográfico de cada colector, estableciendo los niveles de terreno natural a cada 10.0 m y para cada obra hidráulica en particular. Se consideró la pendiente longitudinal de escurrimiento para definir los diámetros de tubería, las velocidades

y tirantes del funcionamiento hidráulico considerando la pendiente del terreno, se calcularon los gastos puntuales para cada tramo entre pozos, pozos-cajas o cajas de caída mediante una tabla de cálculo "FLUJO COLECTOR". Con estos datos, se establecieron las cotas de plantilla para cada tramo, la asignación de diámetros de tubería, el cálculo de volúmenes de obra. Los resultados del análisis de funcionamiento hidráulico brindaron información para determinar si las variables propuestas en la tabla de flujo para cada colector, cumplen con los parámetros de diseño y operación en casos normales y extraordinarios dispuestos en las normas oficiales (Ver Cuadro 1)\*.

En el cuadro 2 se muestran las velocidades, tirantes y pendientes máximas y mínimas a tubo lleno alcanzados en cada colector, cabe destacar que en ningún caso se excedieron los parámetros hidráulicos para casos excepcionales conforme a las normas hidráulicas.

**Cuadro 1.** Parámetros hidráulicos de referencia considerados para el sistema de colectores marginales

Diámetro de tubería PEAD en centímetros	Pendiente mínima en casos normales ( $s_n$ )	Pendiente mínima en casos excepcionales ( $s_e$ )	Pendiente máxima en casos normales ( $S_n$ )	Pendiente máxima en casos extraordinarios ( $S_e$ )	Velocidad mínima en casos normales ( $v_n$ )	Velocidad mínima en casos excepcionales ( $v_e$ )	Velocidad máxima en casos normales ( $V_n$ )	Velocidad máxima en casos extraordinarios ( $V_e$ )
30	2.2	1.3	48.5	400.0	0.641	0.493	3.012	8.6
38	1.6	1.3	35.0	325.0	0.641	0.578	2.998	9.1
45	1.3	1.1	28.0	165.0	0.646	0.594	2.998	7.2
60	0.9	0.8	19.0	140.0	0.651	0.614	2.991	8.1

**Cuadro 2.** Velocidades, tirantes y pendientes máximas y mínimas a tubo lleno alcanzado en cada sector

Colector	Pendiente máxima (milésimas)	Pendiente mínima (milésimas)	Velocidad máxima (m/seg)	Velocidad mínima (m/seg)	Tirante máximo (m)	Tirante mínimo (m)
Principal	99	1	7.49	0.99	0.513	0.002
Madrina 2	99	10	7.28	2.31	0.081	0.001
Madrina 3	90	5	5.93	1.40	0.080	0.001
Madrina 4	72	5	5.30	1.40	0.128	0.001
Madrina 5	99	4	6.22	1.46	0.191	0.001
Secundario A	6	6	1.53	1.53	0.042	0.004
Secundario B	40	15	3.95	2.42	0.007	0.002
Secundario C	36	6	3.75	1.53	0.011	0.002

Fuente: Elaboración Propia

\* Fuente: Elaboración propia a partir de: CONAGUA. 2009. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Alcantarillado Sanitario. SEMARNAT. México. 132 p; UNAM. 1993. Normas de proyecto para obras de alcantarillado sanitario en localidades urbanas de la república mexicana. Facultad de Ingeniería. UNAM. México. 87 p

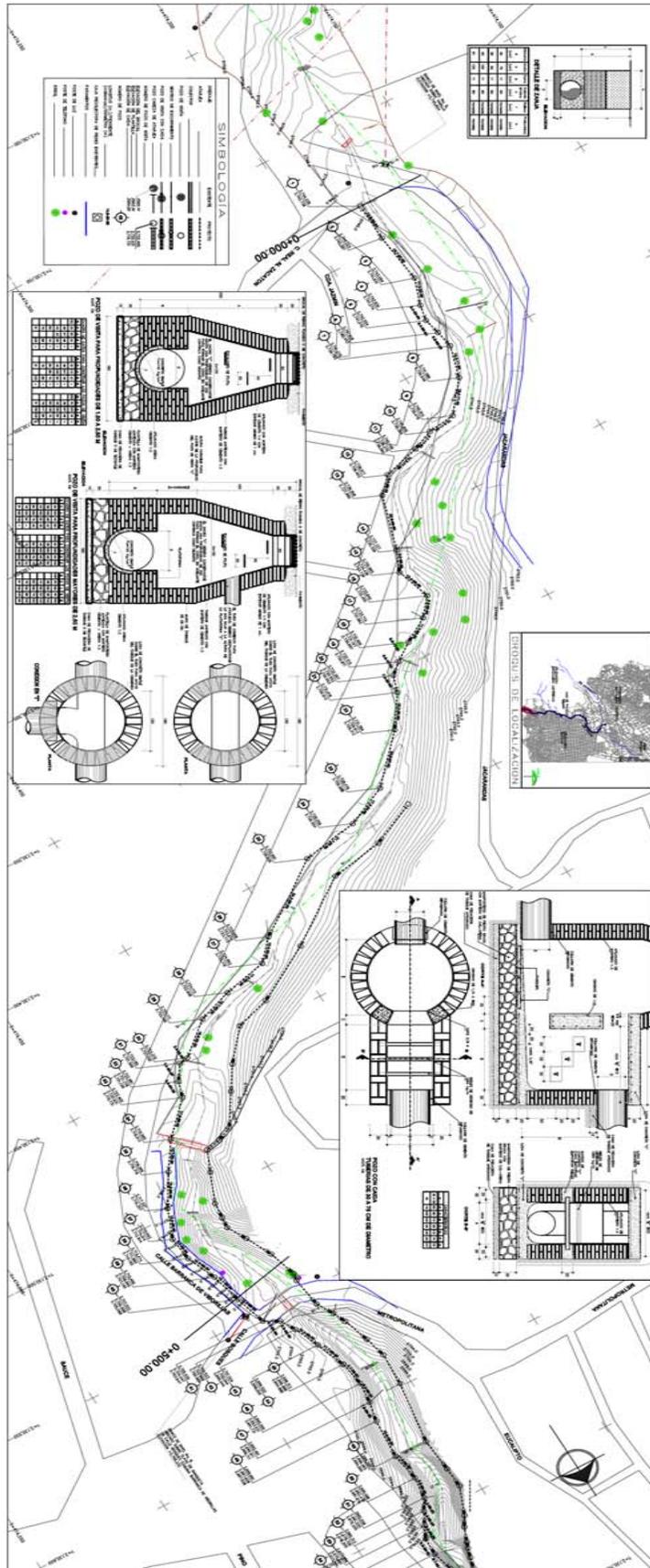


Figura 4. Planta y perfil de una sección del sistema de colectores marginales diseñados.

Con el fin de evitar los posibles daños a la tubería y pozos en los tramos con pendientes empinadas, se analizaron diversas soluciones para disminuir la velocidad del caudal, entre ellas, “rápidas con tuberías de acero” o PAD y platos deflectores para disipación de energía, y cajas de caída. Estas últimas, son estructuras verticales de concreto armado con escalones donde el caudal cae en desniveles uniformes, de manera controlada. En la figura 4 se presenta a manera de ejemplo, uno de los 25 planos, en donde se detalla la planta y perfil de los colectores marginales, las atarjeas presentes, cajas recolectoras propuestas, paramentos de edificaciones, árboles y postes. Los colectores que anteriormente existían en la subcuenca habían sido dañados por avenidas del río en la temporada de lluvias, inhabilitando su funcionamiento. Para evitar daños en los nuevos colectores, estos se protegieron con la construcción de encoframientos de mampostería o concreto y la construcción de muros de contención de taludes. También se diseñaron muros de contención de mampostería para la protección del talud al pie del cauce del río, así como para la ribera del río, en los tramos en que los estudios de mecánica de suelos señalaron su necesidad por la inclinación del talud y sus características estructurales.

**Sindéresis.** Esta etapa se orientó hacia la puesta en práctica de las acciones definidas en la estrategia hidráulica. El proceso de constructivo de la obra consideró tres fases de implementación: la primera dedicada a la obtención de los permisos ambientales y de usos del suelo requeridos para la construcción, y a prever posibles conflictos sociales por las medidas que representaba recuperar la zona federal asociada al cauce, demoliciones por invasión de paramentos al cauce, y el retiro de los invasores. La segunda etapa consideró las tareas para preparar la zona, como fue la recolección de desechos sólidos, la limpieza, el trazo y la nivelación del terreno, y la ejecución de demoliciones de paramentos. La tercera etapa fue propiamente la construcción de la obra, que consideró excavaciones, rellenos, colocación de tubería, construcción de pozos de visita y cajas con caída para aminorar la velocidad y fuerza del agua, construcción de cajas especiales para interceptar aportaciones de las redes de drenaje sanitario, la rectificación del cauce, el retiro de basura del mismo, edificación de bardas y muros de contención.

El 28 de noviembre de 2012, el Jefe de Gobierno del Distrito Federal Marcelo Ebrard Casaubón entregó oficialmente a la delegada de La Magdalena Contreras, la obra concluida de los 10,977 metros de colectores marginales considerados como meta del

Programa de Rescate Integral de los ríos Magdalena y Eslava.

## **CONCLUSIONES**

Recuperar la integridad hídrica de un río urbano, es una estrategia de intervención hidráulica que se inicia con el control de las fuentes de contaminación en las partes altas de la cuenca para evitar que se modifiquen los límites permisibles de calidad de agua establecidos en la normatividad ambiental. Por ello, es estratégico contemplar acciones hidráulicas encaminadas al control, intercepción de las descargas sanitarias e industriales que son vertidas a los cauces, su conducción eficiente y posterior tratamiento.

Dado que la disponibilidad de agua es vital en el mantenimiento de los sistemas de soporte de vida, el reuso de los efluentes se vuelve estratégico pues éstos son un recurso que no se ha aprovechado adecuadamente en las zonas urbanas y conurbadas con usos del suelo agrícolas. De lograr este reuso, la presión sobre las fuentes naturales de agua se reduciría en el área de estudio.

Un elemento fundamental para mantener la eficiencia del drenaje del Distrito Federal y evitar encharcamientos e inundaciones, consiste en evitar el colapso en las redes de colectores. Esto solo se logrará en medida de que la separación del drenaje pluvial y sanitario, sea una premisa fundamental en el diseño de las nuevas redes de atarjeas y colectores marginales en zonas urbanas y se implementen programas de mantenimiento preventivo y correctivo eficientes.

En el caso de las construcciones nuevas que se establezcan fuera del Suelo de Conservación, estas no deberán de conectar su drenaje al colector marginal a fin de evitar su posible saturación. El SACMEX debe de dar seguimiento al crecimiento urbano de las colonias que tributan al colector Ajusco Medio, a fin de evitar una sobresaturación del drenaje sanitario.

En la Ciudad de México es fundamental mantener de manera permanente los programas para evitar el azolve de los ríos urbanos e implementar las obras de protección ante desbordamientos e inundaciones, así como para el control de avenidas de ríos. En consecuencia, es prioritaria la realización del vaso regulador de Ixtlahualtongo, a fin de prevenir avenidas de ríos e inundaciones en la porción baja de las subcuencas de los ríos Eslava y Magdalena.

La revitalización integral de los ríos urbanos, vistos como ecosistema fluvial, se inicia con el saneamiento de los cauces, la recuperación de la calidad del agua y

restablecimiento de las funciones ecosistémicas de producción, regulación biogeoquímica y hábitats para biodiversidad asociada. Sin embargo, el éxito de este proceso de restauración depende de que los propios ciudadanos recobren el interés por estos espacios urbanos. Para lograr esta visión, es un imperativo que los ríos urbanos se mantengan como espacios públicos naturales, limpios, seguros y accesibles para que los ciudadanos regresen a disfrutar y convivir

armónicamente con el cauce y su ribera; esto convertirá a estos elementos del patrimonio biocultural de las ciudades en elementos simbólicos y motivo de orgullo e identidad ciudadana. Es posible que entonces, actividades como el reasentamiento queden en el pasado a cambio de la conservación de un patrimonio que, indudablemente, mejora la calidad de vida de las personas.

## **RECONOCIMIENTOS**

Este trabajo fue financiado por Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México según el convenio específico de colaboración con la UAMX No. CONV-GDF-SMA-FM-03-2009. Los autores reconocen la valiosa colaboración de las siguientes personas, sin la cual no hubiera sido posible llevar a buen término este trabajo: Marcelo Ebrard Casaubón, Jefe de Gobierno del Distrito Federal; Martha Delgado Peralta, Secretaria del Medio Ambiente; Humberto Parra Ramos, Coordinación Consultora del Programa de Rescate de los Ríos Magdalena y Eslava; Dirección de Técnica del SACMEX; Laboratorio de Planeación Ambiental de la UAM-X; EEIGR, S.A de C.V. así como a los vecinos de la delegación La Magdalena Contreras y el Ejido San Nicolás Totolapan.

## **REFERENCIAS**

Alberti, M. (2005). The Effects of Urban Patterns on Ecosystem Function. *International Regional Science Review*, 28(2):168-192

Baigún, C., Oldani, N. y J Nestler (2005). Integridad ecológica en los ríos Paraná y Mississippi: ¿trayectorias paralelas o divergentes? En: "Temas de la Biodiversidad del Litoral fluvial argentino", Aceñolaza, F. G. (coor.), II. INSUGEO, Miscelánea 14: 91-104.

Bastian, O. (2001). Landscape ecology-towards a unified discipline?, *Landscape Ecology* 16:757-766

Botequilha, L. y J. Ahern (2002). Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning, *Landscape and Urban Planning* 59:65-93

Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA) (2000). NOM-011-CONAGUA-2000, Conservación del recurso agua – que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial de la Federación, México, 17 de abril de 2002.

Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA) (2005). NOM-001-CONAGUA-1995, Sistema de alcantarillado sanitario– especificaciones de hermeticidad, Diario Oficial de la Federación, México, 10 de octubre de 1996.

De la Cal, P. y F. Pellicer (2002). Ríos y ciudades: Aportaciones para la recuperación de los ríos y riberas de Zaragoza, Institución " Fernando el Católico", Zaragoza, España.

Gibson, C. A., Mier, J.L., Poff, N.L., Hay, L.E. y A. Georgakakos (2005). Flow regime alterations under changing climate in two River basins: implications for freshwater ecosystems, *River Research Applic.* 21: 849–864

Kennen, J.G., Kauffman L.J., Ayers M.A. y D.M. Wolock (2008). Use of an integrated flow model to estimate ecologically relevant hydrologic characteristics at stream biomonitoring sites. *Ecological Modelling* 211:57–76.

Lara, G. J. (1991). Alcantarillado. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica. Departamento de Ingeniería Sanitaria. México.

La Rosa, D. y F. Martinico (2012). Assessment of hazards and risks for landscape protection planning in Sicily, *Journal of Environmental Management*, <http://dx.doi.org/j.jenvman.2012.05.030>

González, R. A. E., Hernández, M. L., Perló, C. M. e I.Z. Sáenz (2010). Rescate de ríos urbanos. Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Humanidades, Programa Universitario de Estudios Sobre la Ciudad, México, D.F. 109 p

Gurnell, A., Lee, M., y C. Souch. (2007). Urban Rivers: Hydrology, Geomorphology, Ecology and opportunities for Change. *Geography Compass*, 1:1-20

Pinto, U. y B.L. Maheshwari. (2011). River health assessment in peri-urban landscapes: An application of multivariate analysis to identify the key variables. *Water Research*, 4(5):915–3924

Riley, A.L. (1998). *Restoring Streams in Cities. A Guide for Planners, Policymakers, and Citizens*. Island Press, Washington, D.C., USA.

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA) (2008). Plan maestro de rescate integral del río Eslava. Secretaría del Medio Ambiente, Programa de Estudio Metropolitanos, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (1997). NOM-001. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en agua y bienes nacionales, Diario Oficial de la Federación, México, 06 de enero de 1997.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1998a). NOM-002. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillados urbanos o municipales. Diario Oficial de la Federación, México, 03 de junio de 1998.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (1998b). NOM-003. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se re usen en servicios al público. Diario Oficial de la Federación, México, 21 de septiembre de 1998.

Shannon, M.A. 1998. Social Organizations and Institutions. En Naiman, R.J., Bilby, R.E (Editores) *River Ecology and Management*, Springer-Verlag, New York, NY, USA. pp. 529-552

Zhao, Y.W., Yang, Z. F. y F. Xu. (2007). Theoretical framework of the urban river restoration planning. *Environmental Informatics Archives* 5:241- 247

---

Este documento debe citarse como: Binnqüist Cervantes G. S., Hevia del Puerto Puente C., Chávez Cortés M. M., (2013). **Intervención hidráulica para controlar la contaminación y prevenir el riesgo hidrometeorológico en el río Eslava, D.F.** Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 17-1, pp 67-79, ISSN 1665-529-X.