

MESA DE TRABAJO PARA LA GESTIÓN DEL DRENAJE URBANO EN EL VALLE DE ABURRÁ



estamos ahí.

PROPUESTA TÉCNICA PARA LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA DE LA CONTRATACIÓN FORMULACIÓN DEL PLAN MAESTRO DE DRENAJE EN EL VALLE DE ABURRÁ

INTRODUCCIÓN

El desarrollo urbano se ha acelerado en la segunda mitad del siglo XX con gran concentración de población en pequeños espacios, estudios han demostrado que el 80% de la población mundial está ubicada en área urbana (Tucci, 2002), impactando el ecosistema terrestre y acuático y a la propia población a través de inundaciones, enfermedades y pérdida de calidad de vida, agravado por las implicaciones del cambio climático en los regímenes de los sistemas hidrogeológicos. El municipio de Medellín y el valle de Aburrá viene siendo objeto de un gran crecimiento y expansión urbana con las siguientes implicaciones:

- Disminución de las coberturas vegetales, las zonas verdes y las áreas boscosas.
- Disminución de la infiltración del agua lluvia en forma natural debido al incremento de las zonas impermeables.
- Aumento de los valores máximos de caudal y disminución de los tiempos de recurrencia en los que estos eventos presentan.
- Aumento de las velocidades y volúmenes de escorrentía superficial
- Insuficiencia hidráulica en las estructuras de drenaje, vías, quebradas, ríos y redes de alcantarillados.

Todas estas implicaciones se evidencian en el incremento de la frecuencia de las inundaciones y de puntos críticos asociados a esta problemática en los últimos años y en especial durante los tres últimos años.

Las inundaciones tienen efectos considerables en las personas y la ciudad, afectando el sistema vial, las redes de alcantarillado, los bienes patrimoniales y en general el espacio público en cualquiera de sus dimensiones. El impacto de estas inundaciones depende de los factores físicos y sociales y es la combinación de este tipo de factores lo que le otorga dimensión a esta problemática. La combinación de aspectos topográficos, hidrológicos, hidráulicos, de densidad habitacional y distribución poblacional, de emplazamiento industrial y de la infraestructura de transporte, así como también las costumbres de la población, son las que terminan definiendo el impacto económico y social que producen estos fenómenos.

Por otro lado, la falta de normatividad y de soporte interinstitucional en el tema, el cual no está debidamente reglamentado y sustentado económicamente, no permite la gestión y la ejecución de obras que minimicen los impactos.

Para alcanzar soluciones eficientes y sustentables a los problemas ligados a las inundaciones urbanas es necesario actuar sobre las causas y no sobre las consecuencias, abarcando todas las relaciones entre los diversos aspectos involucrados.

A medida que aumenta el proceso de urbanización de la ciudad se agravan las consecuencias de la falta de planificación y reglamentación en el manejo de las aguas lluvias. Después que el espacio es totalmente ocupado, las soluciones disponibles resultan extremadamente costosas y más complejas técnicamente.

En el siguiente esquema se sintetiza la problemática asociada con el crecimiento no planificado de la urbanización.



Los drenajes del municipio de Medellín y del valle de Aburrá, han sido intervenidos a lo largo de sus recorridos desde tiempo atrás pero con más intensidad en los últimos años y fenómenos tales como el desarrollo urbanístico no planificado afectan las quebradas y su entorno. El cambio acelerado en el uso del suelo y altas presiones sobre el terreno, han generado el diseño y la construcción de inadecuadas obras hidráulicas con una alta desarticulación de las mismas y con problemas de insuficiencia hidráulica. Estas dificultades se ven agravadas aún más por la creciente expansión urbana sobre terrenos rurales y con la construcción acelerada de parcelaciones en unos casos e invasiones en otros.

Cuando la expansión urbana y la planificación del uso del suelo no se realizan en forma conjunta, se produce el crecimiento desordenado de la población, normalmente acompañado por una falta de infraestructura que multiplica las dificultades para lograr un drenaje eficiente. Las corrientes en la cuenca del valle de Aburrá en la zona urbana, se encuentran muy intervenidas, con cauces y zonas aledañas invadidas, lo que se evidencia en el incremento de la frecuencia de las inundaciones y de puntos críticos asociados a esta problemática en los últimos años y en especial durante los últimos cuatro años.

Estas problemáticas fueron abordadas en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá, POMCA, donde se realizó un diagnóstico y se identificaron las causas de cada una de las problemáticas. El POMCA además, formuló las políticas, lineamientos y proyectos para la planificación, gestión y manejo articulado de las quebradas de la cuenca hidrográfica del río Medellín y se plantearon los criterios, acciones y proyectos asociados al Plan Maestro de Drenaje Urbano.

Con el fin de continuar con los lineamientos planteados en el POMCA, el Municipio de Medellín, el Área Metropolitana del valle de Aburrá y Las Empresas Públicas de Medellín, conformaron la Mesa de Trabajo para el Manejo del Drenaje Urbano, el cual uno de sus productos será la contratación de una consultoría cuyo objetivo primordial es la formulación de un Plan Maestro del Drenaje Urbano para la ciudad de Medellín, en el cual se analice y se complemente la información existente, se

amplíen los estudios hidrometeorológicos, se planteen soluciones estructurales y no estructurales y se propongan alternativas de solución para cada una de las zonas de la ciudad donde se concentran los problemas de inundación. Además, se requiere un modelo de actuación que permita que el manejo de las aguas lluvias dentro del valle de Aburrá tengan fundamento institucional, normativo y financiero y que incluya el análisis de los componentes social, ambiental, hidrológico e hidráulico correspondiente.

Antecedentes

La gestión integrada, entendida como interdisciplinaria e intersectorial de los componentes de las aguas urbanas, es una condición necesaria para que los resultados atiendan las condiciones del desarrollo sustentable urbano. La búsqueda de estos objetivos no puede ser realizada individualmente, debe ser un trabajo colectivo para cambiar e intentar una visión más sustentable del hombre en el espacio.

El Plan Maestro de Drenaje Urbano es el mecanismo de gerenciamiento de las inundaciones y del drenaje urbano en las ciudades. Este plan debe estar integrado a los distintos planes de infraestructura de la ciudad, principalmente los relacionados al saneamiento ambiental, entendido como la gestión del acueducto, el alcantarillado, los residuos sólidos y el medio ambiente, y subordinado al Plan Integral Urbano que integra el conjunto de planeamiento de la ciudad.

En la siguiente figura se pueden observar como los diferentes Planes de la ciudad se integran y buscan identificar los componentes de integración apuntando a la solución de estos aspectos de manera integrada.



Para la búsqueda de una solución ambientalmente sustentable para el drenaje urbano es necesario el gerenciamiento integrado de la infraestructura urbana, comenzando por la definición de la ocupación del espacio y teniendo en cuenta la preservación de las funciones naturales como es la infiltración y la red natural de drenaje.

Por lo tanto, es necesario desarrollar estrategias dentro de dos plataformas principales:

- controlar los impactos existentes a través del escenario de acciones correctivas estructurales que tratan de la gestión por subcuencas urbanas;
- medidas no estructurales que lleven a los nuevos emprendimientos a utilizar un desarrollo con menor impacto y más sustentable.

Estas dos medidas pueden ser implementadas a través del Plan Maestro de Drenaje Urbano.

Objetivos

Objetivo de la contratación

El objetivo fundamental a contratar será la *“Formulación del Plan Maestro del Drenaje Urbano para los municipios del valle de Aburrá en el que se incluya el desarrollo de un modelo a nivel metropolitano para la gestión integrada del drenaje urbano y la definición de mecanismos para la construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura urbana relacionada con el drenaje de la escorrentía de las aguas lluvias”*.

El Plan Maestro de Drenaje Urbano buscará disminuir la probabilidad de inundaciones, evitar los impactos negativos sobre la infraestructura urbana y mitigar las pérdidas económicas, con el fin de tener un desarrollo sustentable del ambiente urbano.

Objetivos específicos

Describir y caracterizar el actual sistema de aguas lluvias, tanto desde el punto de vista de los caudales generados para tormentas de diferentes período de retorno, así como del sentido del flujo del escurrimiento, de los cauces y conducciones receptoras, de los problemas de inundaciones y otros generados por dichas tormentas y de las proyecciones de dichos elementos en el tiempo (con un desarrollo del área en estudio a 30 años).

Modelar la situación de aguas lluvias en el valle de Aburrá, considerando en forma separada cada una de las zonas que, por condiciones topográficas, drenan sus aguas a través de subcuencas independientes, lo que permite simular el efecto de distintas configuraciones de sistemas de evacuación de aguas lluvias.

Analizar y seleccionar las alternativas de solución para cada uno de los casos, considerando los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales relevantes. Proponer a nivel de pre-factibilidad una solución técnica mediante la definición de infraestructura adecuada a los problemas de inundación de la ciudad y una priorización de las obras a realizar.

En posteriores etapas se procederá con el diseño de ingeniería de la obra y su construcción.

Principios básicos para el diseño del Plan

Para la formulación del Plan Maestro de Drenaje Urbano se deberá partir de los siguientes principios:

El concepto de servicio público: El sistema de drenaje urbano es un servicio público no domiciliario, y en consecuencia debe ser planificado en beneficio de la comunidad.

La inclusión del sistema de drenaje urbano en la planificación urbana integral: El sistema de drenaje urbano es parte del sistema urbano integral y su planificación y gestión posterior deben ser coordinadas e integradas con la planificación urbana y muy especialmente con los servicios de saneamiento (acueducto, alcantarillado, aseo y salud pública).

La planificación del aprovechamiento de los recursos hidráulicos: El sistema de drenaje urbano es también parte del sistema de manejo de los recursos hidráulicos y en consecuencia, un Plan Maestro de Drenaje Urbano no debe alcanzarse con la visión restringida a una ciudad, localidad o problema específico, sino dentro del contexto regional e hidrográfico o sea debe ser analizado a nivel de las cuencas hidrográficas en que se encuentran las urbanizaciones sin considerar las subdivisiones geopolíticas de las mismas.

El mejoramiento de las condiciones sanitarias: En ningún caso un Plan Maestro de Drenaje Urbano puede ocasionar un empeoramiento de las condiciones sanitarias de la población, sino que por el contrario, debe mejorarlas.

Contribución en la mejora ambiental: Contribuir al mantenimiento ecológico y mejora ambiental de las ciudades y cuencas hidrográficas adyacentes, tiene especial significado en el proyecto de un sistema de drenaje.

Mantener la situación hidrológica natural de los predios, promover la construcción de un mínimo de obras y captar las aguas lluvias en el sitio a construir, evitando su transporte: Es necesario, en lo posible, que las aguas lluvias se manejen en los sitios donde se precipitan, evitar la mezcla con las aguas residuales, mantener su flujo lento y retirar sus contaminantes y sedimentos antes. Con esto se pretende evitar el diseño de grandes tuberías, tanques de almacenamiento y de detención de aguas lluvias.

Planificación participativa: La participación activa y real de los actores de las zonas urbanas, fundamentalmente a través de los propios afectados y todas las organizaciones no oficiales y oficiales desde el mismo inicio del Plan Maestro es un elemento fundamental para alcanzar soluciones que resulten efectivas y duraderas para la comunidad involucrada.

Aspectos a considerar dentro del Plan

El Plan Maestro de Drenaje Urbano deberá estar estructurado básicamente en los siguientes aspectos:

Concepción: Definición desde el punto de vista local de los principios, los objetivos, los escenarios, la viabilidad económica y las estrategias, necesarias para su implementación.

Desarrollo: Definición en forma conceptual de las medidas estructurales más convenientes para los municipios del valle de Aburrá donde se incluya la evaluación económica correspondiente.

Productos: Plan de implementación de las medidas no estructurales. Para las medidas estructurales el consultor deberá entregar los diseños en forma conceptual de las obras, los planes de mantenimiento preventivos requeridos y las recomendaciones de dragado de fuentes naturales con un alcance al valle de Aburrá y acompañado de un plan de ejecución. Además, el consultor con apoyo de los funcionarios de la mesa de trabajo para el manejo del drenaje urbano en la ciudad de Medellín, seleccionará una de las zonas identificadas como críticas dentro del estudio, con el fin de proponer en forma detallada la alternativa seleccionada, tal como se especifica en el numeral 7 de estos términos de referencia.

Programas: Comprenderán las acciones recomendadas que complementan el Plan a mediano y largo plazo para su monitoreo y la realización de estudios adicionales tendientes a recopilar información adicional para futuros ajustes del Plan.

Alcance.

El consultor deberá formular el Plan Maestro de Drenaje Urbano para el Valle de Aburrá el cual comprende los municipios de Caldas, La Estrella, Sabaneta, Itagüí, Envigado, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota, Barbosa. Adicionalmente deberá realizar el diseño de la solución para una de las zonas definidas para la ciudad de Medellín.

Conceptos básicos

Drenaje urbano

Se entiende como drenaje urbano, el conjunto de medidas estructurales y no estructurales, destinadas a evitar o minimizar en la medida de lo posible, que las aguas lluvias causen daños a las personas o a las propiedades en las ciudades u obstaculicen el normal desenvolvimiento de la vida urbana.

Los componentes del drenaje urbano son las obras de infraestructura destinadas a evacuar las aguas lluvias de las áreas públicas a las fuentes de agua, como:

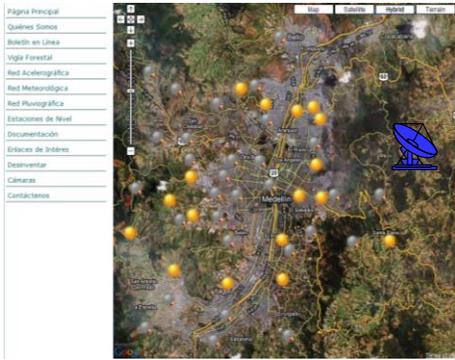
- Vías y cunetas.
- Sumideros, cárcamos y redes de alcantarillado de aguas lluvias.
- Almacenamientos temporales y disipadores de energía.
- Quebradas, canales, coberturas y zanjones.
- Ríos.

Dentro de los principios fundamentales para la gestión del Drenaje Urbano se destacan: *(i)* El desarrollo urbano no puede ocurrir sin la búsqueda de la sustentabilidad del territorio luego de la ocupación de la población; *(ii)* el drenaje urbano debe preservar las condiciones naturales de infiltración para evitar la transferencia hacia aguas abajo del aumento de caudal, del volumen del escurrimiento pluvial y de la erosión del suelo y; *(iii)* para alcanzar soluciones eficientes y sustentables a los problemas ligados a las inundaciones urbanas es necesario actuar sobre las causas y no sobre las consecuencias, abarcando todas las relaciones entre los diversos aspectos involucrados.

El drenaje urbano debe preservar al máximo las condiciones naturales de infiltración para evitar la transferencia hacia aguas abajo del aumento de caudal, volumen y carga de contaminantes del escurrimiento pluvial y de la erosión del suelo.

Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales son acciones de prevención y gestión, que mediante legislación, reglamentación de la legislación (existente o propuesta) y programas de acción vinculados a la participación y concientización de la población y al mejoramiento de las prácticas operativas de los organismos de servicio, buscan introducir los principios establecidos en el Plan Maestro de Drenaje Urbano para controlar los futuros impactos (Tucci, 2000).



Sistema de Alerta Temprana (SIATA)



Mantenimiento de quebradas, redes y sumideros



Reforestación

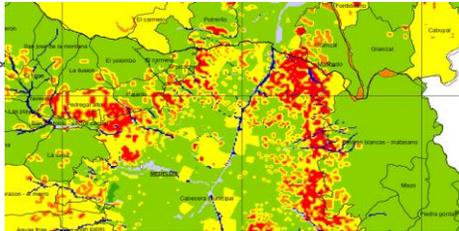


DECRETO DE
DISPONE
 Artículo 1° Caudales máximos entregados a la red...
 Artículo 2° Áreas impermeables...
 Artículo 3° Beneficios...

Reglamentación



Definición de retiros



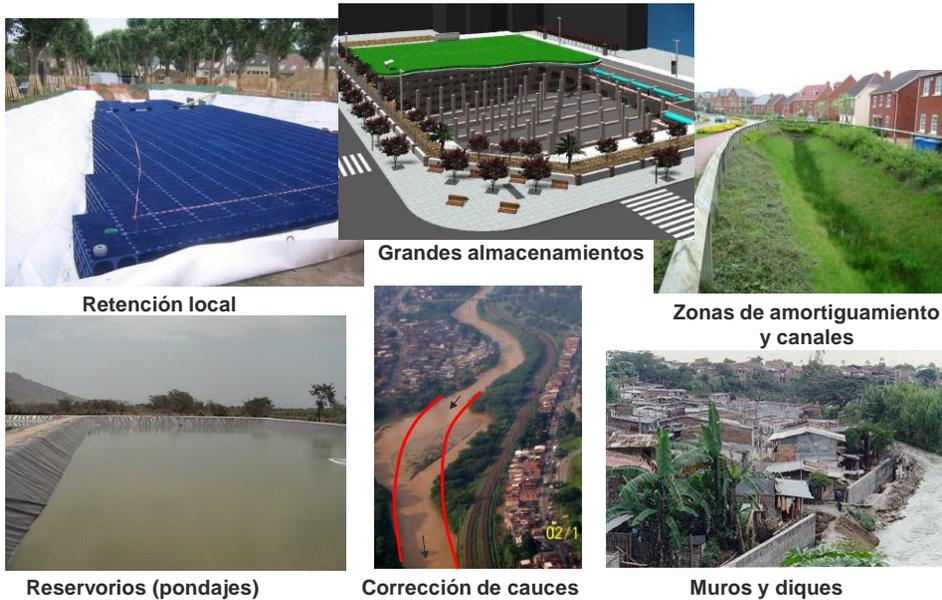
Mapas de amenaza

Dentro de las medidas no estructurales, se podrá recomendar mantenimientos preventivos de actividades como limpieza y dragado de corrientes naturales

Medidas estructurales

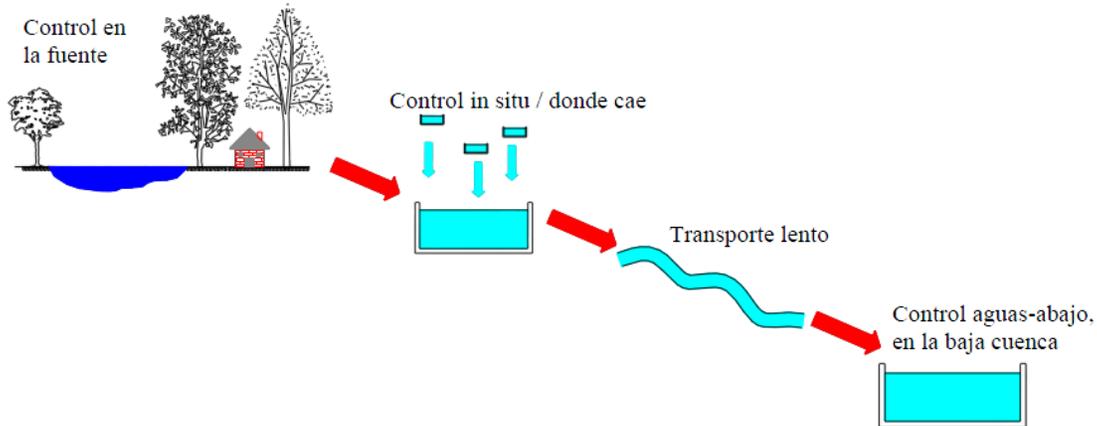
Comprenden el conjunto de obras que conforman el plan y que diseñadas con múltiples usos, complementan las medidas no estructurales con el fin de controlar los impactos actuales y futuros en una cuenca hidrográfica (Tucci, 2006).

En la siguiente figura se presentan algunos ejemplos de medidas estructurales:



Un criterio para el diseño conceptual de las obras de drenaje se ilustra en la siguiente figura, en ella las estructuras que conforman el sistema de drenaje pueden ser categorizadas en cuatro grupos:

- Control del escurrimiento de las aguas lluvias en la fuente (dominio privado).
- Control in situ del escurrimiento sobre espacio público aguas abajo de pequeñas subcuencas de drenaje.
- Transporte lento del escurrimiento mediante canalizaciones.
- Control del escurrimiento aguas abajo, en la parte baja de la cuenca de drenaje.



Desarrollo sustentable

El término desarrollo sostenible, perdurable o sustentable se aplica al desarrollo socio-económico y fue formalizado por primera vez en el documento conocido como Informe Brundtland (1987), fruto de los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en Asamblea de las Naciones Unidas en 1983. Dicha definición se asumió en el Principio 3º de la Declaración de Río (1992), como la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades.

Actividades

Para la formulación del Plan Maestro de Drenaje Urbano deberá realizarse un análisis de los siguientes aspectos: la planificación del uso del suelo y del espacio público, los aspectos ambientales, el manejo de los residuos sólidos urbanos, los aspectos sociales y los aspectos hidráulicos e hidrológicos, los cuales se detallan a continuación.

Para cada uno de estos aspectos el consultor realizará un diagnóstico documentado y entregará las propuestas y recomendaciones que deberán ser implementadas dentro del Plan Maestro de Drenaje Urbano.

La planificación urbana

El Plan Maestro de Drenaje Urbano será parte de la planificación regional y de la planificación urbana y deberá utilizar los conceptos de uso del suelo y ambientales establecidos en ellos. Para ello se deberá analizar los planes de ordenamiento territorial (POT) vigentes de los municipios que se asientan en el valle de Aburrá. En la elaboración del Plan podrán surgir propuestas para modificar la planificación existente las cuales deberán surtir el proceso de revisión y ajuste, acorde a lo dispuesto en la Ley 388 de 1997 y sus decretos reglamentarios. El Plan deberá dar criterios para que los planificadores urbanos puedan prevenir los problemas relacionados con el drenaje de las aguas lluvias en los municipios del valle de Aburrá.

En relación a la problemática de los drenajes, el Plan deberá recomendar una ocupación del suelo que contemple y planifique las condiciones del soporte para evitar muchos de los impactos negativos generados por el desarrollo de las ciudades.

Esta problemática está íntimamente relacionada con factores tales como: el tamaño de la población, el ritmo de crecimiento, la concentración espacial y las características del medio natural, las condiciones de entropía que produce el intercambio entre la ciudad y el medio en el que se desarrolla, las características de las actividades que configuran la base económica de los núcleos urbanos y sus entornos y el perfil sociocultural de sus habitantes.

Dentro de este aspecto, el Plan deberá entregar las medidas no estructurales que impulsen la acción de política urbana con respecto a la gestión integrada del agua superficial, considerando la evolución del crecimiento urbano, los escenarios actuales y futuros, focalizando la atención en las áreas actuales y en los niveles de afectación a la población más vulnerable.

Las actividades que se deben abordar son los siguientes:

- Análisis de los POT vigentes y consolidación de la información en archivos shape.
- Relacionar y documentar las causas y consecuencias en el sistema de drenaje asociado a la urbanización del territorio, teniendo en cuenta el cambio de la permeabilidad del suelo y analizar los cambios en las probabilidades de inundación por cambio en el uso del suelo, la interacción y demanda de espacio público y la afectación a los tiempos de concentración.
- Definir los criterios de ubicación de las zonas, predios, lotes y retiros tanto del espacio público, como de predios privados en caso de requerirse, donde se deberán ubicar la infraestructura requerida para la red de drenaje urbano.
- Enunciar las propuestas de modificación donde se establezcan los aspectos del drenaje que tengan relación con el espacio público: zonas verdes y espacios públicos que pueden ser utilizados para la materialización de algunas de las medidas estructurales, entre otros. Esta información deberá entregarse en archivos shape.
- Revisar y definir las zonas de retiros de seguridad de los principales cuerpos hídricos existentes, los retiros de protección y las zonas de inundación. Definición clara del límite de prohibición de construcción. Esta información deberá entregarse en archivos shape.
- Definir una sectorización dentro del valle de Aburrá, considerando en forma separada cada una de las zonas que, por condiciones topográficas, drenan sus aguas a través de subcuencas independientes con el fin de facilitar la simulación y la futura implementación del Plan en forma paralela por etapas. Dentro de la documentación se deberá entregar los criterios que se tuvieron en cuenta y las características principales de cada zona y de los cauces naturales o artificiales que actúan como receptores de aguas lluvias. Esta información, además deberá entregarse en archivos shape.
- Definir la interrelación de las obras de drenaje con las otras infraestructuras de los servicios públicos: energía, gas, acueducto, alcantarillado de aguas residuales, telecomunicaciones y otras infraestructuras de servicios como poliductos de combustibles, redes de protección voltaica, entre otros. Se deben entregar las secciones típicas donde se muestre la ubicación de la infraestructura de drenaje dentro del subsuelo.
- Presentar alternativas aplicables de solución para el manejo del drenaje en las actuales y nuevas urbanizaciones, así como los criterios que se deben tener en cuenta en los diseños de los espacios públicos que lleven a un control de las aguas lluvias desde su origen.
- Presentar una propuesta de normatividad aplicable al medio para el control de las aguas lluvias en viviendas, urbanizaciones y espacios públicos como vías, parques, andenes, antejardines, etc.

- Definir los criterios que se deben tener en cuenta para la construcción de espacios públicos subterráneos, vías deprimidas, placas superficiales y otras estructuras que se encuentren por debajo del nivel original del terreno, las cuales pueden verse afectadas en un futuro por inundaciones.

Aspectos ambientales

El componente ambiental articula las medidas estructurales y no estructurales necesarias para obtener un ambiente urbano sustentable, en forma integrada con el resto de los componentes. En este componente se deben analizar las condiciones de seguridad y de riesgo natural por inundaciones y sus efectos en los diferentes componentes de los recursos naturales.

El objetivo general de esta evaluación es proveer una guía para una gestión ambiental de los proyectos de drenaje urbano a lo largo de las distintas etapas de desarrollo de los mismos, particularmente en lo que se refiere a los aspectos relacionados al impacto ambiental y su mitigación buscando la planificación integral y su sustentabilidad.

A modo descriptivo incluye: geología y geomorfología, análisis de los ecosistemas, usos del suelo y planes de reforestación.

En especial se tratará de concentrar la atención en aspectos claves para el sector drenaje tales como:

Geología y geomorfología

Realizar un análisis de la información existente sobre geología y geomorfología del valle de Aburrá, obteniendo mapas con las caracterizaciones más recientes, con el fin de identificar las estructuras geológicas y geomorfológicas y su impacto sobre las líneas de flujo del drenaje de aguas lluvias.

Identificación geomorfológica de los cauces de agua natural que impactan en las líneas de flujo, con el fin de identificar los patrones de drenaje para cada una de las zonas identificadas y que condicionan las medidas estructurales proyectadas.

Ejecución de un análisis de la manera en que aumenta el transporte de sedimentos asociados al cambio de usos del suelo y a la disminución de los tiempos de concentración, con el fin de estudiar el impacto que tiene la sedimentación de residuos sólidos en el drenaje de aguas lluvias.

Dentro de las actividades a ejecutar dentro de este aspecto están:

- Elaboración de un mapa con la información geológica más actualizada, que incluya los sitios críticos de generación de sedimentos y su impacto en el drenaje de las aguas lluvias.
- Documentar las características geomorfológicas de cada una de las zonas en que se dividió el área de estudio.
- Identificación y documentación de las limitaciones existentes en la geomorfología y la geología, para la implementación de las medidas estructurales para cada una de las zonas.
- Documentar alternativas de solución para el control de los sedimentos en el área de estudio.

Aguas subterráneas

Analizar y documentar el impacto en las aguas subterráneas de las soluciones estructurales identificadas y su relación con el flujo de aguas lluvias.

Suelos

Deberá realizarse un análisis para recomendar la periodicidad y separación de los estudios de suelos a realizar, de igual manera definir el tipo de pruebas necesarias para la clasificación del suelo, resultados que serán usados para establecer el tipo de solución a implementar.

Tipo de cobertura y uso del suelo

Estudiar y documentar el impacto de cada uno de los usos del suelo definidos en los Planes de Ordenamiento Territorial para las condiciones de drenaje y cuantificar por unidad de área que caudal de agua lluvia podría aportarse según el tipo de uso de suelo.

Calidad del agua

En este sub-componente se requiere evaluar y documentar la calidad de las aguas lluvias que cae en los diferentes sitios del valle de Aburrá, los efectos de esta calidad de agua en las corrientes, la alteración de la calidad del agua en coberturas y corrientes por descargas de los sistemas de drenaje, afectación de la calidad del agua por concentración de sólidos y posibles soluciones a éste problema, afectación de la salud humana asociada a las inundaciones. Se deberá analizar dentro de las soluciones estructurales las consecuencias ambientales que se tendrán en la población cuando sea necesario el almacenamiento de las aguas lluvias.

En este aspecto se deberá elaborar una guía ambiental para la disposición y tratamiento del agua recolectada en las estructuras de manejo de drenaje urbano (Incluir tanto las estructuras superficiales como los tanques enterrados y las estructuras de alivio).

Reforestación

Dentro de este aspecto se documentarán los planes de reforestación existentes dentro del área de estudio y se propondrán las áreas factibles, teniendo en cuenta los nacimientos de las corrientes naturales existentes. Se elaborará un mapa para consolidarlo con los datos de usos del suelo actual y futuro.

Interrelación con los residuos sólidos urbanos

Con respecto a este aspecto, el Plan deberá entregar las medidas estructurales y no estructurales relacionadas con la generación, transporte y disposición final de los residuos sólidos urbanos necesarias para mitigar o controlar la cantidad y calidad del residuo sólido que es captado por la red de drenaje y en forma integrada con el resto de los componentes,

Estas acciones deberán estar enmarcadas en:

- Una revisión del sistema vigente del manejo de los residuos sólidos urbanos y su relación con el drenaje urbano.
- Una guía ambiental para el manejo de desechos sólidos asociados al manejo del drenaje urbano.
- Una identificación de las áreas críticas y de los conflictos dominantes a encarar: causas, problemas y efectos.

Aspectos sociales

Comprende la caracterización social de la población, la determinación de las tendencias de crecimiento urbano, la identificación de poblaciones vulnerables, la caracterización, concepto y prácticas frente al desastre, formas de organización de la sociedad civil y percepción social del riesgo y la identificación del grado de riesgo aceptado por la población, así como la definición de medidas no estructurales compatibles con su temática a incluir en el Plan Maestro del Drenaje Urbano. Para la formulación de las medidas estructurales y no estructurales el Plan deberá tener en cuenta los aspectos sociales que garanticen su viabilidad y aceptabilidad por la comunidad.

Para cumplir con la evaluación social, se deberá realizar las siguientes actividades:

- Caracterización de la población del valle de Aburrá, estudiar su estratificación, crecimiento y su impacto en el drenaje urbano, porcentaje de cobertura rural y urbana, cobertura de servicios públicos, evolución anual de habitantes y su relación con el aumento del drenaje urbano. El resultado de esta actividad será la realización de un modelo de urbanización (reurbanización / desurbanización). Esta información deberá entregarse, en lo que aplique, en archivos shape.
- Evaluar el impacto actual en la comunidad del valle de Aburrá por la problemáticas de las inundaciones ocasionadas por aguas lluvias.
- Recopilar los eventos de inundación y problemas de drenaje urbano identificados a través de los medios de comunicación.

- Elaboración de mapas con las zonas inundables y el riesgo asociado a ellas.
- Diseñar y documentar campañas para la difusión a través de medios de comunicación en época pre-invernal con recomendaciones prácticas frente a temporales de gran intensidad.
- Diseñar y documentar campañas para la difusión de prácticas a nivel del hogar que se refieran básicamente a la minimización de áreas directamente conectadas a la red.
- Investigar y documentar los diferentes usos actuales y potenciales que dan al agua lluvia dentro del valle de Aburrá.
- Diseñar y documentar programas de concientización para que la comunidad entienda la importancia y de la necesidad de la implementación de un Plan Maestro de Drenaje Urbano.
- Evaluar las implicaciones sociales a las cuales puede conllevar la construcción de las medidas estructurales identificadas.
- Presentar una propuesta de señalización en áreas inundables y para el control de tránsito en sitios críticos de inundación.

Medidas no estructurales

En tanto se contemple intervenir en la estructura competencial, definidas las medidas no estructurales a implementar, habrán de darse las pautas y eventual propuesta de implementación, teniendo en cuenta que la definición e implementación de medidas no estructurales no se encuentra divorciada de las particularidades locales ni de la voluntad política para su implementación, máxime cuando se trate de ámbitos interjurisdiccionales.

Este tipo de medidas requiere de consensos previos y asignación de recursos que suponen plazos mayores de implementación, no obstante, podrán hacerse propuestas mitigadoras que desde lo sectorial resulten de factible implementación en un horizonte cercano.

Se puede plantear, frente a situaciones que supongan un aumento de las superficies impermeables, instrumentos que regulen el manejo de las aguas de origen pluvial, de manera de que se generen condiciones de impacto cero en la capacidad y funcionamiento del sistema de drenaje existente, ponderando que la disminución del caudal pico tiene una incidencia directa en el costo de las obras necesarias para evacuarlo.

Asimismo, puede plantarse incentivos para el incremento de superficies no impermeables y/o la implantación de retardadores de escurrimiento en lotes ya edificados, estableciendo una reducción en las tasas de servicio, con fundamento en el menor uso de la red de drenaje.

Dentro de este aspecto el consultor deberá entregar las alternativas para realizar un programa de mantenimiento preventivo de la red de drenaje en la cual se incluyen las corrientes naturales.

Dentro de las medidas no estructurales se deben analizar la posible implementación de un sistema de predicción de crecidas adicional al Sistema de Alerta Temprana –SIATA-, compuesto por estaciones meteorológicas, pluviométricas y fluviométricas, que advierta a la población del peligro de inundaciones, así como el establecimiento de un sistema de monitoreo que permita adelantarse a la ocurrencia de los problemas. Además se deberá diseñar un plan de medidas de evacuación de sectores inundados y un plan de medidas de emergencia, frente a situaciones inesperadas o que afecten sensiblemente a la población.

Los aspectos institucionales

El consultor deberá hacer un diagnóstico de la situación actual y de la identificación de los problemas y debilidades más significativas del aspecto institucional del Municipio. El diagnóstico debe ser abordado desde el análisis de la situación institucional, organizativa y funcional de los municipios, en relación con la planificación, ejecución y control de la actividad. Este análisis está orientado a describir la situación de los servicios públicos y la infraestructura local, haciendo hincapié en forma especial (no excluyente) en la capacidad operativa de los recursos existentes afectados al drenaje.

El diagnóstico deberá contemplar:

- Análisis de la actual situación institucional, organizativa, funcional y operativa de cómo son atendidas las actividades relacionadas con el drenaje urbano,
- Evaluación de la capacidad operativa de las áreas que se encargan específicamente de los drenajes pluviales: marco Institucional, planificación, control, participación comunitaria, prestación de servicios, recursos humanos, recursos informáticos y equipamiento. Evaluar el grado de coordinación entre las autoridades relacionadas con el manejo de las aguas lluvias.
- Determinación del grado de integración entre las diferentes instituciones para el planeamiento y gestión de los drenajes urbanos.
- Identificar los impactos o problemas y sus causas para posteriormente plantear soluciones actuando sobre la causa y no sobre la consecuencia.
- Diagnosticar las inconsistencias entre la legislación actual y los objetivos del Plan Maestro de Drenaje Urbano.
- Evaluar los instrumentos de control disponibles en el tema del drenaje urbano y la efectividad de su aplicación.

Dentro de este aspecto se debe definir la mejor forma de administrar el manejo de las aguas lluvias y se deberá sugerir un modelo de actuación.

Además, comprenderá el análisis de:

- La interrelación entre las competencias de las distintas instituciones involucradas en área de influencia y sus responsabilidades.
- La capacidad de gestión del Municipio, analizando su estructura institucional y la capacidad para operar y mantener las medidas estructurales propuestas.
- Los mecanismos institucionales para la toma de decisiones.
- La capacidad de gestión para la implementación de programas a mediano y largo plazo.

Aspectos hidrológicos e hidráulicos:

El componente hidráulico e hidrológico deberá ser planificado mediante las medidas estructurales y no estructurales, en forma integrada con el resto de los componentes, necesarias para mitigar los impactos de las aguas lluvias en los sectores con riesgo de inundación, controlando el caudal pico de un evento de lluvia.

Dentro de este componente se debe analizar la información hidrometeorológica histórica disponible; evaluar y diagnosticar las infraestructuras disponibles para el drenaje urbano, tales como, el sistema de alcantarillado de aguas lluvias, las vías, las quebradas y coberturas y por consiguiente el río Medellín. Además, deberán estudiarse todas las cuencas hidrográficas y, consecuentemente, llegar a soluciones de mayor alcance en el espacio y en el tiempo. También incluye elaborar mapas o planos de zonificación de áreas inundables y de áreas a ser preservadas o adquiridas por el poder público antes que sean Invasadas.

Para el componente hidráulico se debe realizar las siguientes actividades entre otras:

- Diagnóstico de la infraestructura actual de aguas lluvias. donde además se analizará para cada zona identificada, los caudales generados para diferentes periodos de retorno comparados con la capacidad de los sistemas existentes.
- Identificar y evaluar la infraestructura existente que pueda ser utilizada para la conducción de las aguas lluvias.
- Examinar toda la información relacionada con los aspectos del drenaje, con una visión integral y regional de las cuencas hidrográficas involucradas, donde se incluyan además, los planos de caracterización planimétrica, geológica y geomorfológica que se tenga.

- Revisar y recopilar todos los estudios hidrológicos e hidráulicos que se han desarrollado para el valle de Aburrá, como el POMCA, los PIOMs, etc.
- Recopilar, verificar y analizar la información cartográfica y catastral del sistema incluyendo planos de toda la infraestructura existente (redes de alcantarillados, quebradas y las vías), de la clasificación de las zonas según el tipo de suelos, de la clasificación hidrológica, de la cobertura vegetal.
- Recopilar y analizar toda la información hidrológica e hidrometeorológica, geotécnica, sismológica, entre otros.
- Analizar los estudios de la red hídrica elaborados por el Instituto Mi Rio y la Secretaria del Medio Ambiente, teniendo en cuenta su variación en el tiempo, incluyendo aquellos cauces sin caudal permanente.
- Recopilar y revisar y disponer en una misma base, las redes, las vías y las quebradas del municipio de Medellín y las obras proyectadas a corto, mediano y largo plazo.
- Planificar frente al riesgo (existencia, factibilidad o viabilidad, implementación, evaluación o monitoreo): planes de contingencia, programas de prevención o mitigación, mapas de riesgo sismológico, geológico e hidrológico.
- Analizar la información hidrometeorológica disponible en la actualidad y análisis de los registros históricos, registros de lluvias, caudales, sedimentos y calidad de agua que se encuentre disponible
- Determinar entre otros la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones máximas en 24 horas, distribución de la precipitación espacial, estimación de los diferentes coeficientes de escorrentía, tiempo de concentración y los periodos de retorno.
- Estimar las intensidades de la lluvia, de caudales máximos con coeficientes de reducción y de los hidrogramas sintéticos,
- Definir los niveles de inundación que se presentan en la ciudad, ocasionados por las lluvias con el propósito de definir los efectos que puedan causar en las personas y sus bienes.
- Proponer una zonificación con el fin de implementar el Plan por etapas según prioridades definidas por el consultor.
- Realizar un modelo hidrológico de cada una de las zonas en el que se incluya toda la información anteriormente recopilada y analizada. La modelación hidráulica se debe realizar en SewerGems
- Identificación del patrón de drenaje de cada una de las zonas para determinar el origen de la escorrentía de aguas lluvias, sus vías de escurrimiento, sus áreas de detención o acumulación y su descarga a un determinado cauce receptor.
- Realizar un diagnóstico técnico, cualitativo y cuantitativo de los puntos críticos en los que se presentan inundaciones recurrentes.
- Plantear conceptualmente las propuestas de solución para la infraestructura primaria, que incluye la determinación de las áreas tributarias, su localización, los horizontes de diseño grados de protección, los estudios hidrológicos e hidráulicas y la operación y su mantenimiento.

Medidas estructurales

Luego de evaluado el impacto de las medidas no estructurales, se estará en condiciones de proponer las conducciones y estructuras de protección y/o control. Las alternativas que se propongan, tendrán como objetivo resolver los problemas detectados en los estudios hidrológicos, y su diseño debe prever su integración al ambiente urbano y el control de la contaminación en caso de ser necesario.

El trazado de los colectores, canales o conductos cerrados, debería coincidir, de ser posible, con la red de drenaje natural, siguiendo el criterio de que un buen proyecto de drenaje, debe tender a ser lo menos intervencionista posible en el medio natural, como un modo de asegurar su eficacia.

Se utilizarán las estructuras de drenaje con características naturales, existentes o construidas en la medida de lo posible y no concentrar las descargas pluviales. En el caso de que los cauces naturales existentes, una vez hechos los análisis hidráulicos para los escenarios planteados para medidas de cuenca, no tengan la capacidad hidráulica suficiente podrán intervenir para aumentar su capacidad de transporte siguiendo criterios de restauración ecológica y con diseños que mantengan una geoforma y materiales naturales.

Se deberán realizar modelaciones hidráulicas con periodos de retorno de 5, 10, 25 y 100 años que incluyan los efectos de la restauración ecológica de quebradas, para las crecientes. A partir del análisis de escenarios basado en modelaciones hidráulicas, se deberán determinar las áreas, volúmenes y localización de las estructuras amortiguación, los cauces naturales a crear y los lineamientos para los urbanizadores.

Para establecer la localización de las medidas estructurales dentro, existirán distintas variantes para el trazado de la red de drenaje, para lo que será útil tener en cuenta los siguientes criterios siguientes:

- Utilizar al máximo los derechos de paso existentes, como calles, viejos lechos de quebradas, y, en general, todos aquellos componentes del espacio público que reduzcan la negociación de servidumbres.
- Hacer coincidir la ruta de los colectores de mayor tamaño con las calles de menor cota y de mayores especificaciones en el ancho de sus calzadas.
- Una red de drenaje que sirva a áreas que estén protegidas contra riesgos diferenciados, debe continuarse hacia aguas abajo, desde la confluencia de los tramos, proyectados para diferentes recurrencias, manteniendo los requerimientos de diseño que corresponden a la mayor de aquellas recurrencias.
- Los problemas de tránsito que se pudieran presentar durante la construcción por desvíos de vehículos en arteria viales de importancia, o las características geotécnicas de los suelos, pueden condicionar severamente la traza de algunos colectores troncales.

En el planteamiento de alternativas podrá surgir la necesidad de contar con estaciones de bombeo, en cuyo caso habrá que calcular en forma preliminar las potencias necesarias y los requerimientos de suministro eléctrico. En estos casos será prioritario asegurar la protección adecuada a las instalaciones de energía eléctrica, que pasan a convertirse en el eslabón más débil de la cadena de protección contra inundaciones cuando se producen lluvias intensas.

La formulación de alternativas para brindar solución a los problemas identificados es uno de los procesos más importante del Plan Maestro de Drenaje Urbano. Las alternativas deberán ser planteadas con creatividad, optimizando las potencialidades de las especialidades, integrando a la comunidad y respetando la política de concepción del Plan Maestro de Drenaje Urbano. Estas alternativas deben satisfacer los requerimientos técnicos, económicos, ambientales, sociales, financieros, legales, institucionales y políticos, y todo otro aspecto que en cada alternativa requiera ser estudiado.

Cada una de las alternativas que se propongan deberá comprender un conjunto de medidas estructurales y medidas no estructurales y su evaluación económica y financiera.

Además, para el estudio de cada alternativa se deben plantear los escenarios que permitan evaluar los beneficios a mediano y largo plazo de la solución propuesta. Generalmente los escenarios de análisis son:

- Situación actual.

- Situación futura considerando la tendencia de crecimiento del desarrollo urbano en base a la política de planificación urbana actual.
- Situación futura considerando en vigencia la alternativa del Plan Maestro de Drenaje Urbano en análisis, denominado escenario de proyecto.
- Situación futura con máxima ocupación territorial.

Todos los aspectos enunciados deben ser desarrollados cumpliendo con el sistema de gestión de la información gráfica y alfanumérica adoptado.

Evaluación Económica y Financiera

El objetivo de las tareas es analizar la factibilidad económica y financiera de las alternativas de solución estructurales y no estructurales, orientadas al manejo y control de inundaciones en centros urbanos del país, como uno de los pasos previos a la eventual asignación de financiamiento para la ejecución de obras de drenaje urbano.

Evaluación económica

El Plan deberá contener la evaluación económica de las alternativas asociadas a las medidas estructurales y la identificación de mecanismos de financiación de las obras y de las tareas de mantenimiento, ampliación de las redes y la limpieza y dragado de fuentes naturales.

La determinación de los costos del control del drenaje urbano debe ser realizada según el tipo de inundación:

- En áreas ribereñas: la principal causa de los impactos se debe a la ocupación indebida de las áreas con riesgo. En este caso los beneficiarios por las obras y los agentes que los causan son los mismos.
- Para inundaciones en el drenaje urbano: los beneficiarios son los que sufren la inundación y están localizados en los tramos de aguas abajo. Sin embargo, los agentes causadores se ubican en la parte alta y media de las cuencas.

Análisis de los beneficios en términos de daños evitados

El daño evitado, como resultado de la materialización del Proyecto será un elemento principal para la cuantificación de los beneficios y, por ende, para la evaluación del proyecto. Lo expuesto exige conocer el origen del problema, el ámbito espacial – la cuenca o subcuenca, y la magnitud de los fenómenos a mitigar asociados a una determinada recurrencia.

La posibilidad de cuantificar los daños en forma objetiva determina si es tangible el daño. Es por ello, que una primera categorización diferencia los daños en tangibles e intangibles.

A su vez los tangibles, serán clasificados en directos e indirectos. Su cuantificación está vinculada a un definido horizonte de análisis del proyecto.

Una referencia general al cálculo de los beneficios por control de daños, se expresa de la siguiente manera. El Modelo Hidrológico producirá información respecto de la magnitud del evento que corresponde a determinadas recurrencias, en cada cuenca y, dentro de ellas, distinguiendo “unidades de análisis”. El cálculo de daños para cada recurrencia - magnitud del evento, será calculado de conformidad con la metodología que se expone en el presente numeral, conjugando información histórica con la generada primariamente en el presente estudio, fruto del reconocimiento de campo, encuestas y trabajos de oficina, y definiendo la magnitud del daño para el conjunto de la cuenca por integración de las unidades de análisis. Como el análisis del conjunto de daños estará referido a eventos de determinada recurrencia, será posible integrar los valores de daños correspondientes a determinados eventos mediante una función de daños, en términos de DMA - Daño Medio Anual y de DAME - Daño Medio Anual Esperable.

Daños tangibles directos

Una visión general de la problemática, permite categorizar los daños de la siguiente forma:

- Por evacuaciones, atención de la emergencia y actividad económica
- Evacuación de personas
- Atención de la emergencia
- Construcción y reparaciones durante la emergencia
- A pérdidas en las actividades industriales, comerciales y de servicios, incluyendo mercaderías para comercialización o insumos para transformación.
- Interferencias y desvíos de tránsito de pasajeros y mercaderías
- Daños a la infraestructura urbana y pertenencias públicas y privadas
- Viviendas y fracciones componentes más expuestos, como frentes, garajes, cercos, etc.
- Equipos e instalaciones propias de edificios plurifamiliares elevados
- Equipos, instalaciones y enseres propios de viviendas de 1 / 2 plantas.
- Edificios públicos y fracciones componentes más expuestos, equipos, instalaciones y enseres.
- Pavimentos urbanos, instalaciones accesorias para la conducción del tránsito (pasos ferroviarios, semáforos, carteles, señales, etc.)
- Vehículos de transporte público y privados; particulares y de carga; motocicletas y otros.
- Instalaciones de captación, redes y planta / s de agua potable
- Planta / s de tratamiento y redes cloacales
- Redes de desagüe pluvial, instalaciones y accesorios
- Red vial principal en tramos urbanos e instalaciones accesorias
- Red ferroviaria en tramos urbanos
- Obras e instalaciones costeras y portuarias
- Instalaciones y redes eléctricas
- Instalaciones y redes telefónicas
- Instalaciones y redes de gas
- Terraplenes de defensa y estaciones de bombeo (cuando su reparación o reconstrucción no se incluya en a)

Daños tangibles indirectos

De acuerdo con la definición clásica, usualmente aceptada, los daños indirectos representan los efectos negativos de segundo orden, que resultan en el sistema económico y social como producto de los excesos y acumulaciones de agua. En general tienen una magnitud inferior a la de los que se considera como daños directos.

En otros casos, además del motivo anterior, porque su cuantificación debe realizarse mediante inferencias indirectas. Las tareas de identificación de este tipo de daños, a partir de la revisión de la información básica existente y de la consulta ante informantes calificados pertenecientes a entidades representativas, permitirán calificar a cada uno de los daños como daños directos o indirectos, y aunque a alguno de los daños aquí considerados se haya hecho referencia entre daños directos, la metodología a ser aplicada garantizará que en ningún caso una categoría de daños pueda ser duplicada debido a una doble consideración de daño directo o indirecto.

Para la determinación de los daños indirectos se estimarán las pérdidas económicas causadas por la interrupción de la actividad económica y social, como consecuencia de las pérdidas directas. Esto se vincula con la disminución de ingresos en los sectores productivos, comercial y de servicios motivada por los perjuicios a la población derivados de las inundaciones pluviales en sus viviendas y su repercusión en sus actividades laborales, escolares. Las interrupciones de tránsito en áreas o en nudos conflictivos, las demoras en el tránsito y la imposibilidad de acceso a actividades temporalmente programadas.

Para el sector productivo se consideran los daños a equipos, infraestructura, y salarios caídos de producción, seguros, indemnizaciones. En forma similar, en el sector comercial, se consideran las pérdidas por caídas transitorias de ventas y las eventuales inundaciones de locales y/o depósitos, en el caso de comercios y servicios, los mayores costos de transporte, etc.

Atento a las dificultades que se presentan para la obtención de información suficiente para estimar estos daños, en muchos casos se ha asumido que la magnitud de los daños indirectos resulta del orden de 20% de los daños directos.

Daños intangibles

También en este caso hemos de recurrir a la definición usual de daños intangibles, que son daños difíciles de calcular pero que se asocian a las pérdidas económicas motivadas por la pérdida de vidas y los daños a la salud de la población, las secuelas del estrés y la preocupación permanente de los sectores de la población frecuentemente afectados por las inundaciones pluviales en sus viviendas.

En caso de algunos conceptos con serias dificultades de ser valorizados, se realizarán las fundamentaciones necesarias que permitan llegar a una determinación cuantitativa, en forma absoluta o proporcional. Cuando esto no fuera posible se efectuarán descripciones conceptuales.

Daños ambientales

El desarrollo que se realiza en el numeral de Medio Ambiente contiene un extenso tratamiento de la problemática ambiental causado por las inundaciones y los daños resultantes o esperables, en relación con las magnitudes variables de los fenómenos, que deben expresarse a través de su recurrencia o de su probabilidad de ocurrencia.

La consideración integral de los beneficios del proyecto, exige incorporar una valuación de los daños esperables y, como contrapartida, la magnitud de los beneficios alcanzables a partir de paquetes de medidas estructurales y no estructurales.

Si bien existen procedimientos para la valorización de tales beneficios, como por ejemplo a través del cómputo del costo de las acciones para la restitución del estado antecedente, del mantenimiento de medidas de prevención, que compensen la ausencia de paquetes de medidas estructurales y no estructurales del Proyecto, etc. Pero en la mayor cantidad de los casos, los beneficios por reducción o eliminación de daños ambientales, podrán ser estimados a través de procedimientos semicuantitativos, que definan órdenes de magnitud u órdenes de magnitud relativos.

Resumen de daños

Se preparará el resumen de Daños correspondientes a una determinada Unidad de Análisis, que comprenderá los considerados como tangibles - directos e indirectos – y los intangibles, con la debida descripción de las características y magnitud del evento al que está asociado, de conformidad con los resultados de las simulaciones emitidas por el Modelo Hidrológico que se describe en el numeral correspondiente.

En la línea de las descripciones anteriores, análisis específicos permitirán determinar el Daño Total para eventos de recurrencia determinada, que sea aconsejable y, como anteriormente se adelantó, tentativamente para 2, 5, 10, 20 y 50 años, sin que se descarte otras recurrencias si fuera necesario o como instrumentos de control Todos los escenarios deberán evaluarse con la implementación de las medidas estructurales y no estructurales, como también sin la implementación de ellas.

Costos de los proyectos

Todas las medidas estructurales y no estructurales serán costeadas para la evaluación del proyecto. Para ello, se tendrán en cuenta todas las inversiones requeridas, además de los gastos de

administración, operación y mantenimiento, que incluirán en su caso la utilización de todos los insumos requeridos.

Los costos indirectos referidos a facilidades para la construcción, como oficinas, campamentos, gastos de estructura, etc. serán cuantificados teniendo en cuenta las necesidades de efectuar previsiones extraordinarias, en función de porcentajes adoptados en obras similares y de la duración prevista de las obras. Las utilidades serán consideradas en función de lo usual para proyectos similares, y el cálculo de impuestos se realizará sobre la base de reglamentaciones vigentes, en función de las normas de las diversas jurisdicciones.

Resulta de especial significación la consideración de adicionales de costos, requeridos para evitar o mitigar perjuicios de carácter ambiental, cuya necesidad, características y magnitud surgirán del análisis de impacto ambiental, cuya metodología se describe en el apartado correspondiente.

Evaluación financiera

Para la evaluación financiera será necesario realizar dos tipos de análisis. El primero de ellos corresponde a la evaluación financiera del proyecto como tal. Un segundo análisis financiero corresponderá a la entidad o institución, que será responsable de su ejecución y operación. Ambos análisis nos dan herramientas importantes para evaluar la viabilidad financiera del proyecto.

Como se ha comentado anteriormente, los costos y beneficios que se comparan en la evaluación económica serán aquellos que corresponden a la sociedad como un todo, valuados en términos económicos. Por su parte, la evaluación financiera sólo incluye los conceptos que afectan directamente las finanzas del proyecto (para la evaluación financiera del proyecto), y del ente ejecutor-operador (para la evaluación financiera del operador una vez que entre el proyecto).

A continuación se presenta un breve resumen de la forma como se debe trabajar en cada una de estas evaluaciones, lo cual será debidamente ampliado en el Anexo.

Evaluación financiera del proyecto

La evaluación financiera del proyecto se formula sobre la base de los beneficios netos incrementales, que resultan de la diferencia entre los beneficios incrementales y los costos incrementales de dos escenarios: situación sin proyecto y situación con proyecto. Se trabaja a precios de mercado, en valores constantes del año base. Se incluyen los costos de inversión de las obras del proyecto, las inversiones complementarias, lo mismo que los costos de operación y mantenimiento. Por el lado de los beneficios, se consideran los valores monetarios que se esperan recibir de los beneficiarios del proyecto.

En este análisis no incluye la financiación, por cuanto se trata de analizar el proyecto por sí solo, independientemente de cómo se financia. Con este análisis es posible determinar la posibilidad de autofinanciamiento del proyecto, con lo cual, dadas las características de los proyectos, se habrá de determinar los requerimientos financieros necesarios para hacerlo sostenible financieramente. Un análisis de interés que complementa este ejercicio consiste en la asignación de fuentes de financiamiento de nacionales, departamentales o municipales, que en función de criterios de aplicación habitual, constituyan la contraparte del financiamiento del Programa.

Evaluación financiera del ente responsable

La evaluación financiera del Ente Responsable se realiza considerando su situación financiera una vez que se ejecute el proyecto. En el análisis se trabaja con los costos totales con proyecto, valorados en precios corrientes de cada año. Se consideran los costos operativos y beneficios totales de la situación con proyecto. No se trabaja con los costos operacionales incrementales, sino totales. Se trata de visualizar la situación financiera, en que estará el municipio durante la ejecución y la operación del proyecto.

De esta manera, deberá quedar demostrado, que diversas fuentes de financiamiento proveerán los recursos necesarios para la construcción y el mantenimiento de las obras a lo largo de la vida útil. Las fuentes comprenderán los aportes de diversas jurisdicciones conforme a la competencia del problema y la habitualidad de su resolución según las normas jurisdiccionales. De la misma manera, deberá fundamentarse la posibilidad que los beneficiarios directos e indirectos participen parcialmente la ejecución de las obras, el mantenimiento y/o devolución, a través de fondos específicos, contribución por mejoras o tasas por prestación de servicios.

Será de especial utilidad la información provista por el Área Institucional y que califica la situación financiera de la jurisdicción ejecutora, la existencia de fondos específicos proveniente del análisis de las normas tributarias - en general Ordenanzas - para el caso de municipalidades, el presupuesto destinado a la obra pública que distinga los principales conceptos (personal, obra por administración, servicios públicos habituales, ejecución de obra por contratación).

El análisis de prioridades y continuidad

Cuando la magnitud de las inversiones determine el fraccionamiento de una obra o conjunto de ellas, atendiendo a razones financieras y en función de las determinaciones del Área Institucional, deberán realizarse análisis de prioridades. La condición técnica determinará en primer lugar, las situaciones que imponen condiciones de inflexibilidad en el ordenamiento de la ejecución de obras. En los casos en que no existan condicionalidades de orden técnico, la prioridad en la ejecución de obras será analizada mediante un análisis multicriterio que tendrá en cuenta diversos factores a los que se asignará una adecuada ponderación.

Los factores a considerar serán, en forma no taxativa, los siguientes:

- Los indicadores de la evaluación económica
- Los indicadores de la evaluación financiera
- Los indicadores de vulnerabilidad social de la población beneficiaria
- Las consecuencias ambientales de la implementación de subproyectos
- La participación de los beneficiarios expresando conformidad para la ejecución de las obras mediante un procedimiento de estímulo de la participación y expresión libre de su voluntad.

Sistema actual de drenaje del valle de Aburrá

Aspectos generales

Geomorfología del valle de Aburrá

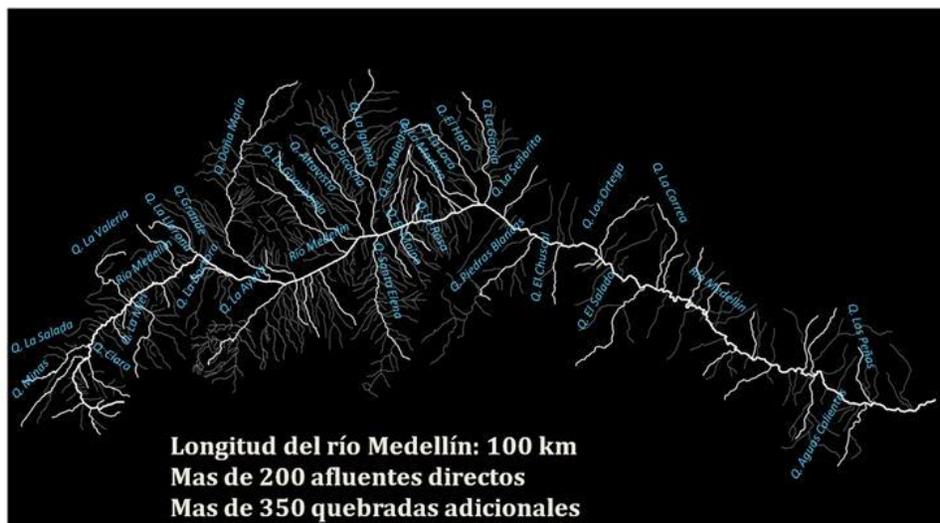
La cuenca del río Medellín está localizada entre la cordillera Central en el centro del Departamento de Antioquia en la región Occidental de Colombia. La cuenca tiene una topografía irregular y pendiente con altitudes que oscilan entre los 1,300 y los 2,800 m.s.n.m. y está definida por el río Medellín, el cual nace en el alto de San Miguel en el municipio de Caldas, atraviesa diez municipios: Caldas, La Estrella, Sabaneta, Envigado, Itagüí, Medellín, Bello, Copacabana, Giradota y Barbosa y finalmente se une al río Grande en el sitio de Puente Gabino, donde cambia su nombre a río Porce. El valle de Aburrá presenta una forma alargada en dirección Noreste rodeada de montañas que comprende las partes altas, medias y bajas de los municipios ubicados a lo largo del río Medellín. La parte baja o plana es el valle de Aburrá, que tiene un ancho máximo de 10 km en sentido este - oeste y un largo de 70 km. en orientación norte sur.



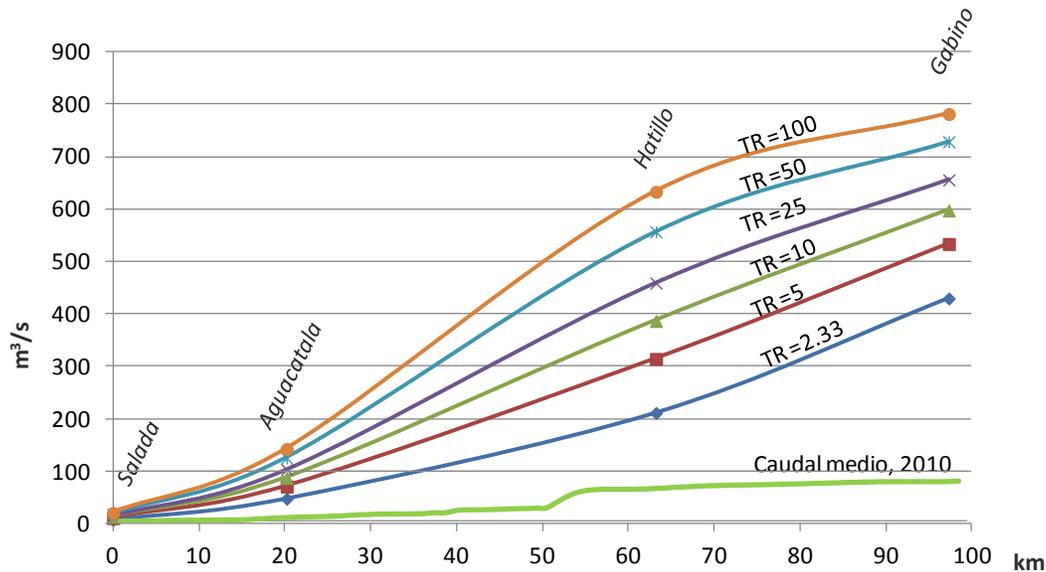
La cuenca del río Medellín es en su mayor parte una cuenca urbana, pues desde sus primeros kilómetros es intervenida y aprovechada por los habitantes de su ribera. El valle de Aburrá está conformado por 170 km² de área urbana, 200 km² de área semi-urbana y 880 km² de área rural. Existe una gran variedad de usos del suelo en la cuenca del río Medellín, a causa de la extensión misma de la cuenca, la geomorfología, la temperatura, la pluviosidad y los ecosistemas, siendo el factor más importante la población que alberga, la cual corresponde a los 3.4 millones de habitantes con una proyección al 2030 de 4.5 millones.

Sistema hídrico del valle de Aburrá

El cauce principal tiene una longitud de 100 km y el área de la cuenca es de 1,251 km². Dadas las características geomorfológicas y su nivel de pluviosidad, que está entre 1,500 y 3,000 mm/año, en la cuenca son comunes las fuentes de agua superficial. El río Medellín **recibe las aguas de cerca de 200 afluentes directos y por intermedio de ellos a más de 352 quebradas.**



El caudal medio del río alcanza los 40 m³/s con caudales mínimos de 13.2 m³/s y máximos de 600 m³/s para un período de retorno de 10 años y medidos en la estación Puente Gabino, como se muestra en la siguiente gráfica:



La cuenca hidrográfica del valle de Aburrá tienen dos connotaciones diferentes: **la cuenca rural**, más relacionada con la naturaleza y con poca intervención humana, localizada en el nacimiento del río a los **2.700 metros sobre el nivel del mar en el Alto de San Miguel, municipio de Caldas y donde el agua emerge helada y cristalina** y la **cuenca urbana**, la cual está drásticamente intervenida y alterada por manos humanas.

Debe tenerse en cuenta que no existe un plan programático de dragado y limpieza de las corrientes naturales y que no se ha realizado en los últimos años acciones de este tipo.

Para la gestión del recurso hídrico del valle de Aburrá, las Secretarías de Medio Ambiente de los municipios, con los recursos económicos de la sobretasas ambiental lideran actualmente la formulación de los Planes Integrales de Ordenación y Manejo de las Microcuencas – PIOM – de los principales afluentes del río, que contribuyen finalmente a la ordenación y manejo de la cuenca del río Medellín. Los PIOM se encuentran incluidos en las políticas de acción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, dentro del eje estratégico de la gestión ambiental.

La problemática de las microcuencas, detectada en la fase de diagnóstico, fue abordada a través del desarrollo de la metodología propuesta por la Universidad Nacional de Colombia, Corantioquia y el Instituto Mi Río en el año 2002, haciendo un esfuerzo en el análisis de revisión secundaria existente y recolectando la mayor cantidad de información primaria que diera cuenta del estado de los recursos agua, suelo y aire en las microcuencas y su interacción o afectación dada por el hombre. Este conocimiento de las problemáticas de las microcuencas y sus potencialidades permitieron definir unas directrices de acción a través de la fase de prospectiva y llevarlas finalmente a la definición de unos proyectos que permitieran cumplir con el objetivo de desarrollo de este plan.

El contenido de un PIOM consta de los siguientes aspectos:

- Diagnóstico de la cuenca hidrográfica.
- Escenarios de ordenación de la cuenca hidrográfica.
- Objetivos para el manejo y administración de la cuenca hidrográfica con criterios de sostenibilidad.
- Priorización y compatibilidad del uso de los recursos naturales renovables de la cuenca especialmente del recurso hídrico.
- Programas y proyectos que permitan la implementación del Plan.

- Estrategias (institucionales, administrativas, financieras y económicas, entre otras) para el desarrollo del Plan.
- Mecanismos e instrumentos de seguimiento y evaluación del Plan, e indicadores ambientales y de gestión.

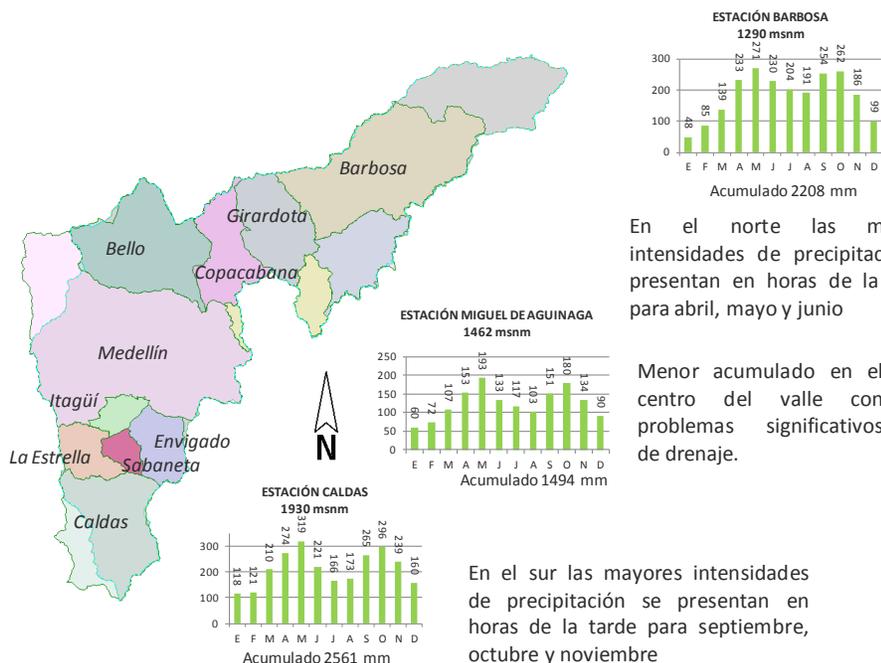
Dentro de los planes de ordenación ejecutados hasta hoy se encuentran los de las cuencas hidrográficas de las quebradas La Valeria, El Salado, La Grande, La Doctora, El Hato, La Picacha y La Matea, La López, La Altavista, La García, La Guayabala, La Iguaña, La Rosa, La Bermejala, La Herrera, La India, La Cangreja, La Pastora, La Presidenta, La Quintana, La Malpaso, La Hueso y La Ana Díaz, La Volcana, Piedras Blancas, Santa Elena y Doña María, al igual que aquellos zanjones como el Guayaquil, San Juan, Bogotá y La América, los cuales se pueden consultar en las Secretarías de Medio Ambiente de los diferentes municipios.

Aspectos climáticos y de precipitación

En la cuenca del río Medellín, predomina el clima tropical templado con temperaturas medias que varían entre 20°C a 24°C, presentándose una disminución en las cercanías de su nacimiento y en lo alto de sus laderas donde se observan valores alrededor de 17°C.

El clima del valle de Aburrá presenta un carácter bimodal, registrándose dos periodos de temporadas lluviosas (septiembre-octubre y abril-mayo) y dos periodos de temporadas secas (diciembre-febrero y julio-agosto).

Los mayores valores de precipitación anual acumulada se presentan en las estaciones localizadas en el sur, occidente y norte del valle: Caldas 2,561mm, Astillero 2,287mm y Barbosa 2,208mm; los menores valores de precipitación anual acumulada se presentan en las estaciones del centro: Pedregal 1,375 mm, El Convento 1,475 mm, Miguel de Aguinaga 1,494mm.



En el norte las mayores intensidades de precipitación se presentan en horas de la noche para abril, mayo y junio

Menor acumulado en el centro del valle con problemas significativos de drenaje.

En el sur las mayores intensidades de precipitación se presentan en horas de la tarde para septiembre, octubre y noviembre

Actualmente dentro del municipio de Medellín y más específicamente el Sistema de Alerta Temprana –SIATA- está trabajando en la implementación de un modelo de pronóstico atmosférico y un modelo de respuesta hidrológica de la cuenca del Valle de Aburrá, con el fin de garantizar un modelo de predicción acorde a las condiciones propias de nuestra topografía.

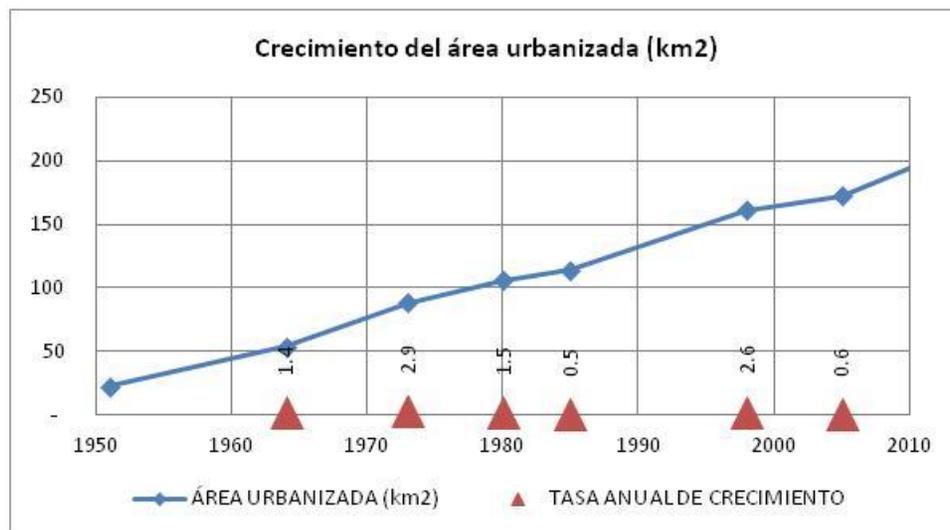
El Sistema de Alerta Temprana Ambiental del Municipio de Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá es un proyecto que busca alertar de manera oportuna a la comunidad sobre la posibilidad de ocurrencia de eventos que puedan generar situaciones de emergencia y así reducir los impactos de los fenómenos mediante la implementación de medidas de respuesta ante un desastre inminente. Esto se logra a partir del Monitoreo constante y confiable de las variables atmosféricas, las cuencas y las laderas de la ciudad a través de la Red Pluviométrica, Red Meteorológica, Red de Sensores de Nivel, Red de Humedad del suelo y Red Acelerográfica, se emiten alertas certeras a la comunidad, basadas siempre en datos e información fidedigna.

Dentro de los procesos que se tienen en el SIATA, se encuentra la instalación de un radar en la ladera oriental del valle, en la cuenca Santa Elena y será clave para los procesos de modelación y predicción que se desarrollarán para servicio de la comunidad. El radar será el primero en su clase en instalarse en el país, gracias a un gigantesco esfuerzo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, realizará barridos generales del valle, con el fin de obtener información concerniente a las nubes y su composición. De ésta forma el modelo de predicción será alimentado con los datos que arroje el radar. Medellín es ciudad pionera en Colombia y en Latinoamérica al consolidar un Sistema de Alerta Temprana con las condiciones técnicas que posibilitan un trabajo de alta calidad.

Desarrollo de la urbanización

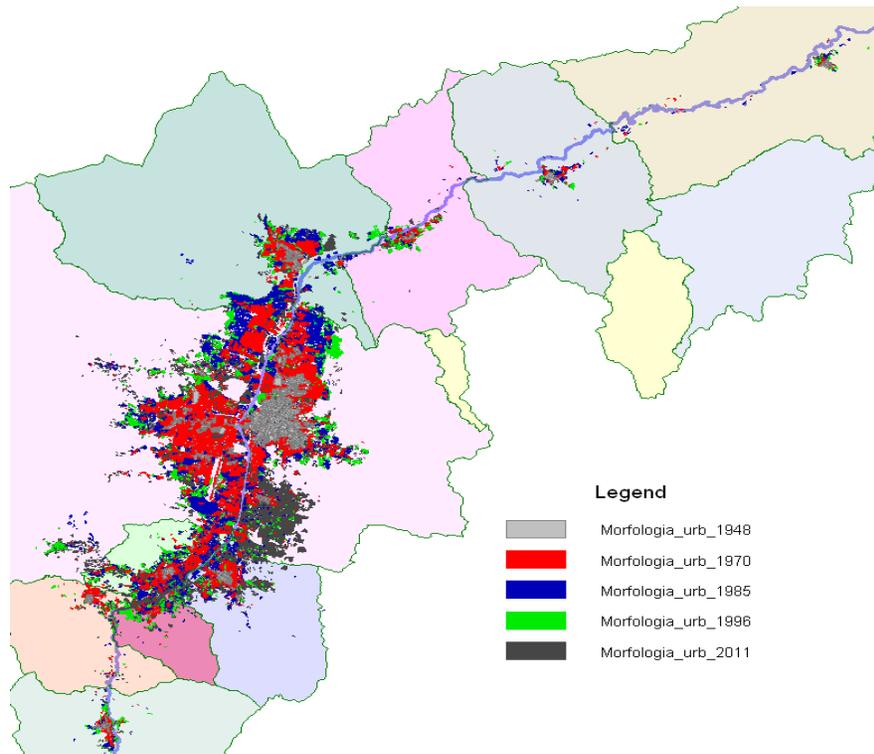
En los últimos años el valle de Aburrá ha experimentado un crecimiento acelerado de la población y un incremento en la destinación de los usos del suelo con ocupación de áreas exclusivamente residenciales abarcando cerca del 70% de la ocupación del territorio urbano, hecho que denota una distribución desequilibrada con predominio en algunos usos y déficit en otros. La ciudad de Medellín ha generado la mayor expansión urbana del valle, inmersa en un proceso de crecimiento de conurbación metropolitana. Hacia el extremo norte y sur del valle, a lo largo del río, tienen asiento los otros núcleos urbanos de menor magnitud. Para 1985, estos municipios se distribuían con una población equilibrada al norte Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello y al sur Caldas, La Estrella, Itagüí, Sabaneta, Envigado. En el 2006 este relativo equilibrio entre el norte y el sur se sostiene.

La forma de ocupación territorial desarrollada en el valle históricamente ha respondido de manera inadecuada a sus condiciones geográficas, destacándose, por un lado, la creciente presión hacia la urbanización de las laderas, las cuales presentan limitaciones desde el punto de vista geotécnico y ambiental, y por otro, la generalizada canalización de corrientes localizadas en suelo urbano, con la consecuente contaminación de la cuenca.

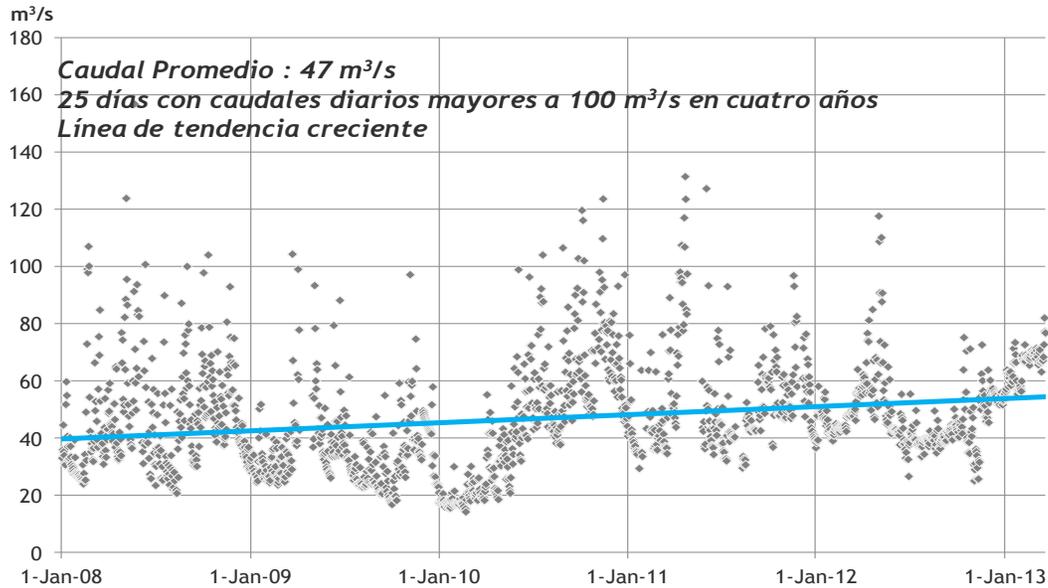


Los procesos de urbanización en la cuenca están ligados a fenómenos como la expansión, la configuración de nuevos modelos de vivienda urbana, la revalorización de la tierra y la renta del suelo, e involucran no sólo las áreas urbanas sino también las rurales.

En el siguiente esquema se presenta el comportamiento histórico de la urbanización del valle de Aburrá, donde los mayores incrementos se dieron en la décadas de los 70 y 90.



Estas dificultades, junto con la impermeabilización del territorio, han impactado directamente en el río Medellín, tal como se puede apreciar en la siguiente gráfica, donde se muestra el comportamiento de los caudales medios diarios en l/s en el período 2008 – 2013 en la estación Girardota, que ha presentado una tendencia de crecimiento positivo durante el tiempo:



Características del drenaje urbano

Los componentes del drenaje urbano son las obras de infraestructura destinadas a evacuar las aguas pluviales de las áreas públicas: vías, quebradas, ríos y redes de alcantarillado y cualquier otro tipo de estructura que ayude a conducir, las aguas de lluvia a las fuentes de agua.

La red de drenaje pluvial urbano puede ser dividida en dos grandes grupos:

Red de macrodrenaje: Está constituida por conductos artificiales de gran sección, las corrientes naturales y las obras de retención o detención. Esta red se puede subdividir en:

Corrientes naturales permanentes y obras anexas: obras para el control de inundaciones, rectificaciones, canalizaciones, coberturas, embalses, lagunas, estructuras especiales, obras de control de sedimentos, pondajes, etc.

- Colectores principales de aguas pluviales y obras anexas: son cauces construidos por el hombre que transportan las aguas pluviales y que, en general, están conformados por conductos cerrados o abiertos, grandes obras de almacenamiento, estructuras especiales, etc.

Red de microdrenaje: es el conjunto de obras constituidas por conductos y obras conexas construidas por el hombre, con el fin de garantizar que no se produzcan obstáculos al normal desarrollo de las actividades de una ciudad para la recurrencia de diseño. Esta red se puede subdividir en:

- Drenaje subterráneo: conformadas redes de alcantarillado de aguas lluvias, sumideros, obras de almacenamiento, etc.
- Drenaje superficial: conformadas por canaletas, cunetas, vías

Para el caso del valle de Aburrá, dentro de la red de macrodrenaje se encuentran las coberturas, quebradas, zanjones y el río. Actualmente no existen sitios de almacenamiento temporal, ni grandes colectores abiertos o cerrados de aguas lluvias. Por otra parte la red de micro drenaje se encuentra conformada por las vías, los andenes peatonales, cunetas, sumideros y redes de alcantarillado de aguas lluvias y combinadas.

En la siguiente figura se esquematizan estos componentes:

Red de macrodrenaje: conductos artificiales de gran sección (coberturas y zanjones), corrientes naturales y obras de retención o detención.

Red de microdrenaje: redes de aguas lluvias, sumideros, cunetas, cárcamos.



El drenaje urbano del valle de Aburrá se caracteriza por un alto grado de obsolescencia e de incapacidad hidráulica de la mayoría de coberturas del valle de Aburrá, un gran aporte de sedimentos a ellas y al río Medellín y estrechamientos de su cauce por obras de movilidad.

La sedimentación del río Medellín ha causado que las obras de descarga de las coberturas, quebradas, zanjones y redes de alcantarillado de aguas lluvias queden sumergidas en eventos de lluvias, causando represamientos importantes en los sitios de desembocaduras en las corrientes de agua.

Dentro de las problemáticas identificadas en el recurso agua, realizado dentro del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá – POMCA – se identificaron las siguientes, las cuales tienen una relación con los componentes del drenaje urbano:

- Desarticulación de las obras hidráulicas (obras diseñadas para soluciones puntuales, no integrales tanto en la zona rural como urbana)
- Inadecuadas obras hidráulicas (sitios recurrentes de inundación)
- Inexistencia de programas de mantenimiento y rehabilitación de cauces naturales y obras hidráulicas.
- Insuficiencia en la capacidad hidráulica de las coberturas.

Todo lo anterior ha generado una alta distorsión del drenaje urbano, lo que repercute en constantes inundaciones en la planicie aluvial, en las zonas de transición de ésta con las laderas medias y empinadas y en los sitios de desembocadura de los principales afluentes al río Medellín.

Análisis institucional

El manejo de las aguas lluvias es prestado implícitamente por varias instituciones: la empresa prestadora de los servicios de acueducto y alcantarillado, Empresas Públicas de Medellín E.S.P., presta el servicio domiciliario de alcantarillado combinado y de lluvias en los diez municipios que conforma el valle de Aburrá. Los municipios por intermedio de las Secretarías de Medio Ambiente tiene competencia en la operación y el mantenimiento de las coberturas, las quebradas, y del río Medellín y las Secretarías de Obras Públicas tienen bajo su responsabilidad el manejo de la escorrentía que se intercepta por las vías vehiculares y peatonales y en los espacios públicos como parques, plazas, zonas verdes, parques lineales, etc. El control del recurso hídrico es ejercido por las autoridades ambientales que para este caso son el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Corporación Regional de Antioquia, Corantioquia y en menor medida la Corporación Autónoma Regional Rionegro – Nare, Cornare.

Dentro de la problemática, existe otro factor de alta incidencia dentro del drenaje urbano, como es el manejo de los residuos sólidos, el cual es prestado dentro del valle de Aburrá por varios operadores: Empresas Varias, Enviaseo, Embaseo e Interaseo.

Como se puede apreciar existe un fraccionamiento para el manejo del drenaje urbano, sin tener en cuenta otras instituciones públicas como son las Secretarías de Planeación con sus planes de ordenamiento territorial, las Secretarías Generales y de Gobierno municipales que se encargan de ejercer el control y del cumplimiento de la legislación y las Secretarías de Tránsito, quienes regulan los aspectos de la movilidad en los diferentes municipios.

La mayor dificultad para la implementación de un planeamiento integrado para el manejo del drenaje urbano proviene de una limitada capacidad institucional de los municipios para afrontar problemas complejos e interdisciplinarios y la forma sectorial como la gestión municipal se encuentra organizada

En el siguiente esquema se resume la forma desde el punto de vista institucional como se gestiona el drenaje urbano en el valle de Aburrá:



Sitios críticos de inundación en el valle de Aburrá

Inundaciones y avenidas torrenciales

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas.

Las zonas inundables pueden permanecer varios años sin sufrir este fenómeno ya que dependen de los periodos de recurrencia de las crecientes máximas. El resultado de las inundaciones implica en muchos casos pérdidas de vidas humanas y daños en infraestructura según la magnitud e intensidad del evento.

La velocidad del flujo determina tanto su impacto directo como el poder erosivo de la corriente, lo cual genera que a mayores velocidades mayor posibilidad de daño. De ahí que las zonas de inundación se dividan en lentas y rápidas, según la posible velocidad del flujo en caso de una creciente.

Para definir la amenaza por inundación en una cuenca determinada, es necesario considerar varios factores dentro de los que se destacan la pendiente, la geología, la geomorfología, intervenciones antrópicas, uso del suelo y la zona de ocurrencia del evento, la cual puede ser zona de montaña o de cabeceras, zona de transición (que incluye el cono o abanico aluvial) y la planicie o llanura aluvial. Además de los anteriores factores, también se pueden tomar en cuenta factores propios del posible evento como la magnitud, la velocidad y la profundidad del flujo.

La zona de montaña en el valle de Aburrá se distingue por presentar altas pendientes del orden de 5 al 80% y corrientes usualmente muy encajonadas lo cual ocasiona que las condiciones socio-naturales de amenaza por inundación lenta no sea alta, pero que en el caso de una avenida torrencial, las corrientes pueden alcanzar grandes velocidades de flujo y afectar zonas estrechas alrededor del cauce y generar algunas pequeñas áreas inundables.

Las zonas de transición ubicadas cerca de la desembocadura en el río Medellín de las quebradas que drenan las laderas del valle de Aburrá, donde se presentan topografías más planas y hay una transición gradual entre la ladera y la llanura aluvial sea esta del río o de la quebrada donde se presentan los abanicos o conos recientes, son las zonas con mayor probabilidad de resultar afectadas por inundaciones tras un evento de lluvias de gran intensidad.

En la llanura aluvial con pendientes menores a 1%, donde el valle del Aburrá presenta su mayor extensión transversal al eje del río, los abanicos aluviales cubren amplias áreas casi planas y algunas veces bajo el nivel del canal activo del río con una tendencia natural a presentar inundaciones ya que en un pasado constituían zonas cenagosas y pantanosas de constante intercambio con la corriente principal durante temporadas lluviosas donde el río y afluentes de orden superior, presentaban frecuentes desbordamientos y rupturas de su canal principal.

Las quebradas del valle de Aburrá presentan, además de lo anterior, puntos críticos inundables generados por condiciones geológicas (zonas de baja permeabilidad) y/o geomorfológicas (cambios en la forma de la pendiente, topografías heredadas de antiguos canales), acumulación de sedimentos, pero principalmente por la incidencia antrópica como bloqueo del cauce por basuras y escombros, insuficiencia en las obras hidráulicas, diferentes grados de incisión y cambios en la geometría de un mismo canal en tramos muy cortos, técnicas de construcción no adecuadas, explotación y remoción de material de playa, invasión de cauces, deforestación de las márgenes (lo cual disminuye el agarre del suelo facilitando su transporte e incorporación al flujo), presencia de vías e infraestructura con obras hidráulicas insuficientes, etc.

Las avenidas o flujos torrenciales muchas veces denominadas crecientes, avalanchas, crecidas, borrasca o torrentes, son una amenaza muy común en cuencas de alta montaña y debido a sus características pueden causar grandes daños en infraestructura y pérdida de vidas humanas. Estos fenómenos se originan comúnmente en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas presentan fuertes vertientes por efecto de fenómenos hidrometeorológicos intensos cuando en un evento de lluvias se superan valores de precipitación pico en pocas horas.

Así no haya suficiente información técnica para definir con exactitud las corrientes torrenciales del valle de Aburrá, por lo cual se parte de la base que por las características geomorfológicas y climáticas del valle, todas las quebradas son susceptibles a presentar avenidas torrenciales.

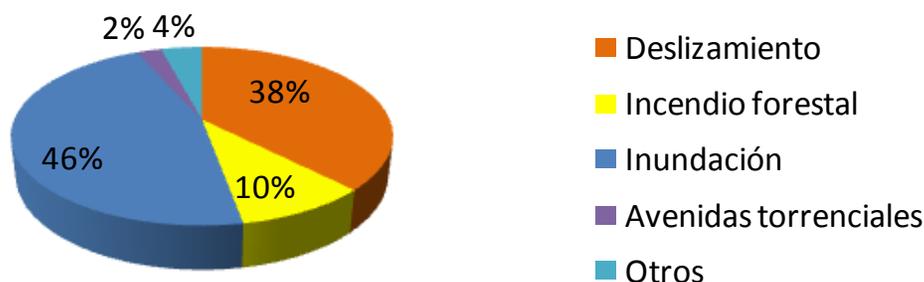
El agotamiento del suelo apto para la ampliación de la zona urbana en la llanura aluvial ha conllevado a la consolidación de asentamientos informales en valles y cañones estrechos de las quebradas afluentes del río Medellín.

Las viviendas no solo están construidas paralelamente al cauce, algunas veces se encuentran sobre él, a modo de boxcolvert sin ninguna planeación o diseño con base a parámetros hidráulicos. A esto

se le suma el problema de contaminación principalmente por residuos sólidos importantes detonantes de un desastre debido a que obstruyen el cauce de las quebradas.

Según la base de datos DesInventar – Sistema de Inventario de Desastres - del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2016), en el siguiente diagrama se presentan los eventos principales ocurridos entre 1880 y 2013 en el valle de Aburrá:

Número de eventos 1880 - 2012



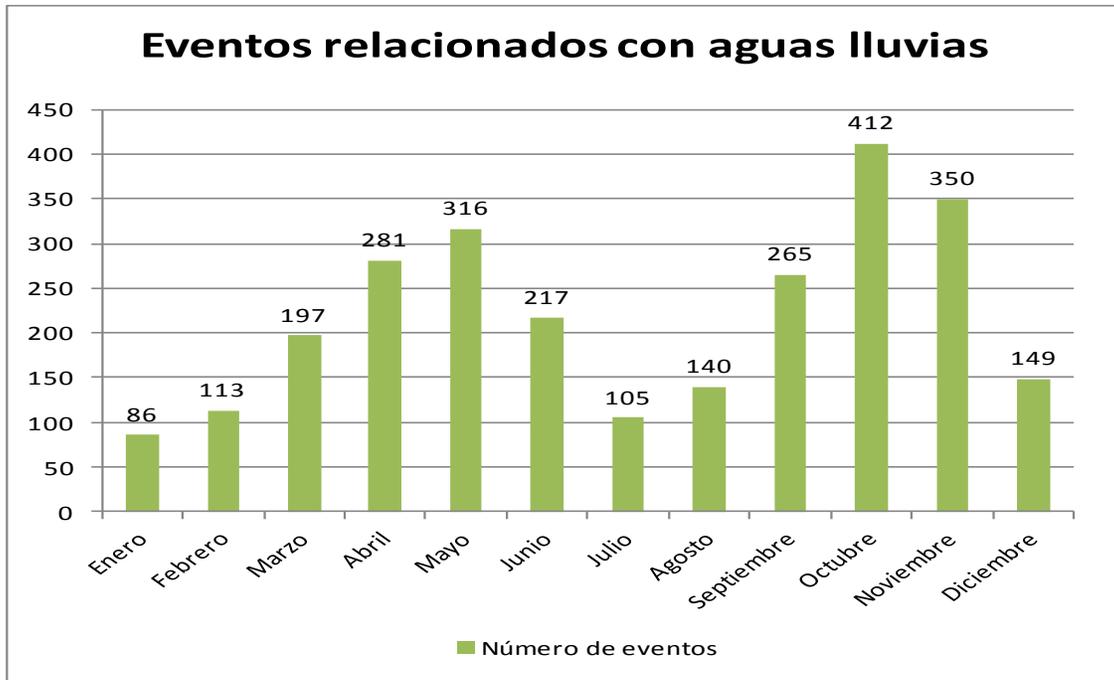
En el valle de Aburrá, las llamadas inundaciones lentas solo pueden durar hasta horas, dadas las condiciones morfológicas particulares. Este tipo de inundación es típico para la zona urbana del Área Metropolitana del Valle de Aburrá sobre el fondo del valle, con algunas excepciones de aquellas áreas urbanas localizadas sobre los abanicos o conos de deyección.

Según la Base de datos DesInventar (AMVA, 2008), desde abril de 1880 hasta Noviembre de 2007, en el valle de Aburrá se han presentado un total de 2904 inundaciones y 124 avenidas torrenciales según la siguiente tabla:

Municipio	Avenidas torrenciales	Inundaciones
Medellín	94	1,852
Barbosa	2	8
Bello	18	142
Caldas	5	41
Copacabana	0	32
Envigado	4	92
Girardota	3	23
Itagüí	7	207
La Estrella	3	42
Sabaneta	0	56
TOTAL	136	2,495

Los eventos generados por inundaciones se han concentrado en el municipio de Medellín (74%), seguido por Itagüí (8%), Bello (6%) y Envigado (4%) y como eventos críticos de avenidas torrenciales se destacan las de La Iguaña en 1880, La López en 1954, La Honda en 1996 y El Barro en el 2005. Con respecto a este tipo de fenómenos se evidencia un considerable incremento en las personas muertas por avenidas torrenciales, que no registraron porcentajes considerables en décadas anteriores. El ascenso de las afectaciones generadas por avenidas torrenciales refleja la creciente ocupación, en los últimos años, de un gran número de viviendas ubicadas en áreas altamente susceptibles a este tipo de fenómenos.

Los eventos ocurridos en el valle de Aburrá tienen una estrecha relación con la precipitación, siendo los meses de mayo y octubre los que presentan mayor número de eventos y precipitación. En la siguiente figura se presenta de distribución en el período 1880 – 2007.

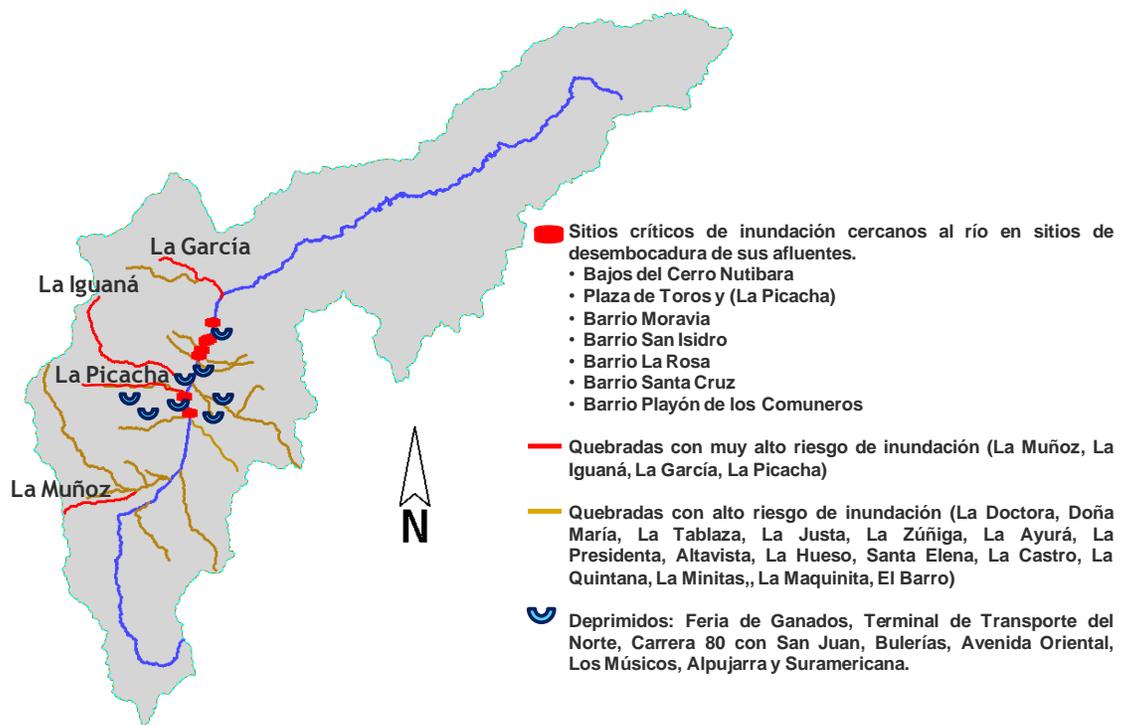


Por su parte el POMCA - Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá usando la base de datos de DesInventar determinó parcialmente el riesgo de inundación de las principales quebradas del valle de Aburrá:

Quebrada	Nivel de riesgo	Quebrada	Nivel de riesgo
Q. La García	Muy Alto	Q. La Cangreja	Medio
Q. La Iguaná	Muy Alto	Q. Mandalay	Medio
Q. La Muñoz	Muy Alto	Q. La Chuscala	Medio
Q. La Quintana	Alto	Q. El Zancudo	Medio
Q. La Hueso	Alto	Q. EL Ahorcado	Medio
Q. La Minita	Alto	Q. El Salado (Gir)	Medio
Q. La Tablaza	Alto	Q. La Carevieja	Medio
Q. La Arenala	Alto	Q. Aguas Frías	Medio
Q. La Justa	Alto	Q. La Madera	Bajo
Q. La Doctora	Alto	Q. La Gómez	Bajo
Q. La Maquinita	Alto	Q. La Malpaso	Bajo
Q. La Chorrera	Alto	Q. El Salado	Bajo
Q. La Castro	Alto	Q. La Jabalcona	Bajo
Q. Santa Elena	Alto	Q. La Pedregala	Bajo
Q. Altavista	Alto	Q. San Martín	Bajo
Q. EL Barro	Alto	Q. La Presidenta	Bajo
Q. La Ayurá	Alto	Q. La Sucia	Bajo

Quebrada	Nivel de riesgo	Quebrada	Nivel de riesgo
Q. Doña María	Alto	Q. la Bermejala	Bajo
Q. La Palencia	Alto	Q. La Clara	Bajo
Q. El Hato	Medio	Q. La Rodas	Bajo
Q. La Loca (Bel)	Medio	Q. La Seca	Bajo
Q. Ana Díaz	Medio	Q. La Herrera	Bajo
Q. La Bermejala (Est)	Medio	Q. Santa Cruz	Bajo
Q. La Guayabala	Medio	Q. La Aguacatala	Bajo
Q. La Manguala	Medio	Q. Tierradentro	Bajo
Q. Olivares	Medio	Q. La Chiquita	Bajo
Q. La Mina	Medio	Q. La Cantera	Bajo
Q. La Grande	Medio	Q. La Moreno	Bajo
Q. La Chocha	Medio	Q. La Honda (Sab)	Bajo
Q. Cien Pesos	Medio	Q. La López	Bajo
Q. La Sabanetica	Medio	Q. La Lorencita	Bajo
Q. La Tablacita	Medio	Q. Betania	Bajo
Q. La Corrala	Medio	Q. Santa Rita	Bajo
Q. La Valeria Norte	Medio	Q. La Pelahueso	Bajo
Q. La Rosa	Medio	Q. Juan Bobo	Bajo
Q. La Mansión	Medio	Q. La Picacha	Muy Alto
Q. Chorro Hondo	Medio	Q. La Corcovada	Bajo
Q. La Gallinaza	Medio	Q. Cañada Negra	Bajo
Q. La Pastora	Medio	Q. El Chupadero	Bajo

En el siguiente esquema se presenta la localización de los sitios críticos de inundación:



Inundaciones en vías, en intercambios viales de varios niveles (deprimidos)

Dentro de los sitios críticos de inundación existen varios puntos en las vías del valle de Aburrá que presentan problemas de funcionamiento en sus sistemas de drenaje, los cuales en el momento de ocurrir una precipitación de alta intensidad ocasionan inundaciones que provocan congestión en las vías aledañas pérdidas económicas por sumergimiento de los vehículos o en el peor de los casos hasta pérdida de vidas.

En general, las inundaciones se generan por las aguas de escorrentía que proviene de las lluvias que caen en sectores aguas arriba de estos sitios y que tienen altos índices de impermeabilidad. Las aguas llegan a estos sitios debido a que sus rasantes forman deprimidos que están por debajo de las superficies normales de las vías aledañas al sector. Una vez el agua llega a estos sitios no tiene forma de evacuarse por dos situaciones: la primera, porque los conductos de descarga en algunos casos presentan insuficiencia hidráulica y la segunda, que ocurre en la mayoría de los casos, porque las estructuras de descargas en los sitios de empalme a las coberturas, quebradas o río se encuentran sumergidas, debido a que sus cotas de bateas son superadas por los niveles de inundación o de crecida de las corrientes.

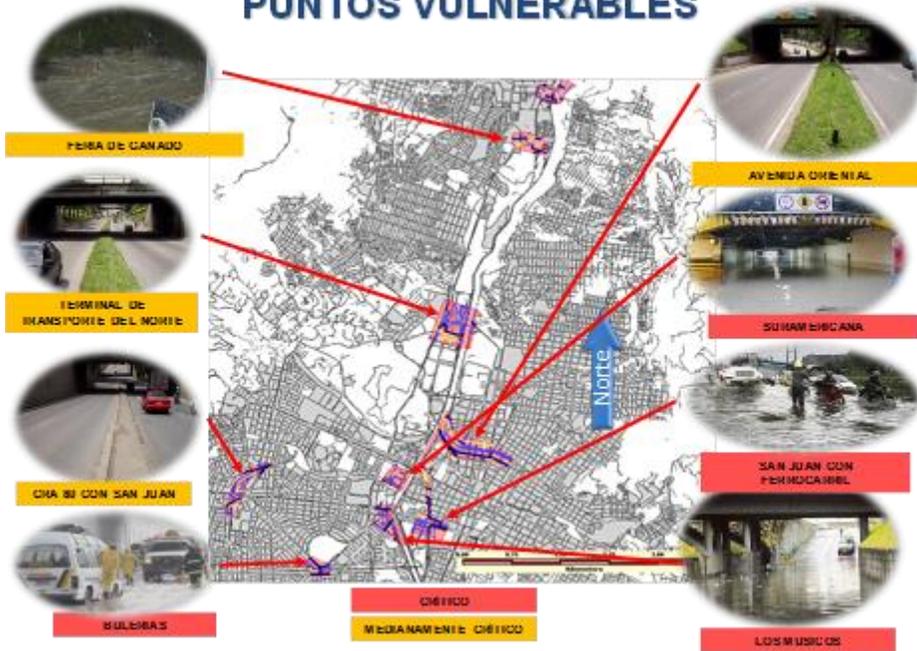
Actualmente, la forma de evacuar las aguas que inundan estos sitios, es que una vez la precipitación disminuya su intensidad, se da un compás de espera para que los niveles hidráulicos de las corrientes desciendan y las estructuras de descarga de los conductos de evacuación dejen de estar sumergidos.

EPM en el año 2010, dentro de las actividades de la Mesa de Drenaje Urbano, realizó un inventario de los sitios que a la fecha se encuentran más vulnerables a las inundaciones y que afectan a una porción importante de la población los cuales se encuentran lo deprimidos viales, que afectan además los sectores aledaños. Estos sitios se clasificaron como críticos y medianamente críticos y se muestran a continuación:

Dirección Punto Crítico	Descripción	Zona	Clasificación
Calle 44 con Carrera 57	Deprimido de la calle San Juan con Ferrocarril	Centro oriental	Crítico
Calle 33 con Carrera 66B	Deprimido de Bulerías	Centro occidental	Crítico
Sector de Carrera 64 entre calles San Juan y Carrera 63	Deprimido Los Músicos y su sector aledaño	Centro occidental	Crítico
Calle 49 con Autopista Sur (carrera 63) y carrera 63 entre calles 47 y 49	Deprimido de Suramericana y sector de la Torre Protección	Centro occidental	Crítico
Carrera 80 Calle 44	Deprimido de la 80 con la calle San Juan	Centro occidental	Medianamente crítico
Calle 58 entre carreras 50 y 60	Deprimido de la avenida Oriental	Centro oriental	Medianamente crítico
Autopista norte (carrera 64) con Calle 78	Deprimido de la Terminal de Transportes del Norte	Norte	Medianamente crítico
Calle 111A con carrera 64C	Deprimido de la Feria de ganado	Norte	Medianamente crítico

Para mitigar el caos vehicular causado por estos eventos, la Secretaría de Transportes y Tránsito de la ciudad de Medellín tiene un procedimiento de contingencia mediante rutas de desvíos, con el fin de llevar a los usuarios de estas vías a los sitios de destino de una manera cómoda y segura. En el siguiente esquema se presenta los sitios anteriormente mencionados:

PUNTOS VULNERABLES



Aspectos para la formulación del Plan Maestro de Drenaje Urbano

La estructura del Plan Maestro de Drenaje Urbano tendrá por lo menos el contenido propuesto en el anexo 1 de este documento.

El Plan Maestro de Drenaje Urbano debe ser planeado y diseñado con objetivos claros y precisos y su estructura debe ser flexible a las características de cada localidad. La estructura básica propuesta para la presentación del Plan Maestro de Drenaje Urbano es de 5 grandes capítulos:

- Escenario actual.
- Política local de concepción.
- Desarrollo de propuestas.
- Productos.
- Plan de acción.

En el siguiente esquema se sintetiza la estructura del Plan Maestro de Drenaje Urbano, con sus capítulos y subcapítulos, los cuales se describen en términos generales a continuación.



La presentación del Plan Maestro de Drenaje Urbano debe reflejar la tarea realizada durante todo el estudio desde su inicio, los criterios de diseño, las alternativas estudiadas y toda aquella

documentación complementaria que pueda ser útil para la posterior actualización del Plan Maestro de Drenaje Urbano, o para la elaboración de los proyectos definitivos de las obras que lo componen. Para la formulación del Plan se deberán utilizar herramientas de información geográfica y alfanumérica que integren toda la información disponible, con el fin de lograr una fuente de datos centralizada y/ unificada en aplicaciones que permitan mantenimiento, análisis y consultas distribuidas.

Escenario actual

El espacio geofísico e institucional

Al inicio del trabajo es importante delimitar el espacio geofísico que para este caso será el valle de Aburrá y dentro de este espacio deberán delimitarse las sub cuencas más importantes.

El Plan Maestro de Drenaje Urbano deberá considerar, como parte de la problemática a resolver, aquellas áreas de drenaje colectoras rurales que inciden o condicionan las medidas estructurales y no estructurales que puedan ser adoptadas para reducir el impacto de las inundaciones sobre los habitantes de los distintos municipios. Tal es el caso de aquellas sub cuencas periurbanas rurales, cuyos aportes deberán ser adecuadamente modelados y cuantificados para poder establecer medidas de control efectivas de sus aportes líquidos como así también de los aportes sólidos.

En cuanto al espacio institucional, comprende la identificación de las competencias dentro de los municipios, sus relaciones dentro de la cuenca y su vinculación en el orden regional relacionadas con la problemática del drenaje. En general se abarcarán los aspectos legales y de gestión relacionados con el uso del agua, el uso del suelo y el ambiental.

Características físicas, naturales y antrópicas

Comprende el relevamiento de la situación antecedente y actual de la cuenca y de las urbanizaciones. A modo descriptivo incluye: geomorfología, topografía, hidrología, calidad de los cuerpos de agua, análisis de los ecosistemas, usos del suelo, planes de infraestructura urbana, planes de reforestación, relevamiento del sistema de drenaje actual, características sociales de la población, identificación de los servicios urbanos, etc.

Los problemas actuales, causas y consecuencias.

Esta etapa del proceso comprende la identificación de los impactos o problemas y sus causas para posteriormente plantear soluciones actuando sobre la causa y no sobre la consecuencia.

El pronóstico de desarrollo urbano.

En esta se identificará las tendencias de crecimiento de las urbanizaciones de la cuenca, principalmente el conocimiento de la tendencia de crecimiento del grado de impermeabilización y su distribución superficial. Estas tendencias deberán estimarse con la mayor certeza posible la situación futura de la urbanización. El producto de esta etapa se utilizará como base para identificar las consecuencias de posibles problemas y para plantear escenarios futuros evaluando la incidencia de las propuestas de solución.

Definición del horizonte de diseño

El Plan Maestro de Drenaje Urbano debe estimar los cambios previsibles hacia el futuro inmediato y mediano, y proponer medidas estructurales y no estructurales en materia de drenaje pluvial.

En este contexto, el horizonte de diseño debería ser establecido considerando el horizonte de las políticas regionales y generales del país.

A modo indicativo, es recomendable que las medidas estructurales del sistema de drenaje se diseñen para una vida útil no inferior a 20 años, y que el Plan Maestro de Drenaje Urbano secuencie las medidas estructurales y no estructurales con un horizonte integrador no inferior a los 10 años. Asimismo, el Plan Maestro de Drenaje Urbano debería ser lo suficientemente flexible para permitir su actualización cada 5 años, o cada vez que se detecten desvíos importantes en el plan en vigencia.

Política de concepción

Comprende la definición a nivel local de los objetivos, principios y estrategias, directrices e instrumentos definidos correspondientes basada en el análisis de la situación actual de la cuenca hidrográfica y de las urbanizaciones involucradas.

Las acciones y los mecanismos de gestión que se identifiquen en el Plan deben satisfacer los siguientes objetivos:

- Mitigar al máximo posible los daños que las aguas de lluvias (o los cauces permanentes que cruzan una localidad) puedan ocasionar a las personas y a las propiedades en el medio urbano.
- Garantizar el normal desenvolvimiento de la vida diaria en las poblaciones, permitiendo un apropiado tránsito de personas y vehículos durante la ocurrencia de eventos naturales de origen pluvial.
- Controlar la calidad de las aguas pluviales.
- Brindar soluciones ambientales sustentables.
- Mejorar las condiciones sanitarias y ambientales de una ciudad.

Principios

Se deberán enunciar los principios en los cuales se fundamenta la concepción del Plan desde los siguientes puntos de vista:

- La inserción del sistema de drenaje urbano en la planificación urbana:
- La planificación del aprovechamiento de los recursos hídricos:
- Contribución en la mejora ambiental:
- Adoptar a la cuenca hidrográfica como unidad de análisis.
- Minimizar las alteraciones del sistema físico antecedente a la urbanización.
- Limitar el estudio de las medidas estructurales a la red de macrodrenaje.

Estrategias, directrices e instrumentos

Se define como estrategias al conjunto de reglas y lineamientos a tener en consideración para abordar un problema en forma ordenada y satisfacer los objetivos, en base a los principios señalados.

Se deberá enunciar las estrategias fundamentales para alcanzar los objetivos propuestos, para establecer un proceso adecuado de planificación, que permita, desde sus propios comienzos, integrar y coordinar todos los estudios y análisis necesarios en las diversas etapas, con la mirada de los diferentes actores de los ámbitos técnico, político y comunitario.

Desarrollo de propuestas

Los escenarios a analizar y evaluar para la elaboración del Plan Maestro de Drenaje Urbano serán:

- Situación actual: considerando las condiciones de urbanización, impermeabilidad e infraestructura actuales.
- Situación futura: debe analizarse el último año del horizonte de proyecto, teniendo en cuenta la evolución que pueda sufrir la ocupación del suelo y la impermeabilidad asociada, en caso de continuarse con la tendencia de crecimiento actual y manteniendo la red de drenaje existente. Deberán considerarse, en caso de existir, regulaciones a la expansión urbana (medidas no estructurales).
- Situación futura con la incorporación de nuevas medidas no estructurales: al igual que en el caso anterior, debe analizarse el último año del horizonte de proyecto, pero considerando la incorporación de nuevas medidas no estructurales, que puedan ser incorporadas para regular el incremento de las áreas impermeables.
- Situación futura con la incorporación de obras nuevas: ídem al escenario futuro, pero incorporando al análisis diferentes obras para mejorar las consecuencias de las inundaciones pluviales urbanas.

- Situación futura mixta: que sería una combinación de los dos escenarios anteriores, o sea, el último año del horizonte de diseño, más las nuevas medidas estructurales y no estructurales que puedan incorporarse.

Las medidas no estructurales

El Plan contendrá un subcapítulo con las medidas no estructurales que mediante legislación, reglamentación y programas de acción, busca introducir los principios establecidos en el Plan Maestro de Drenaje Urbano para controlar los futuros impactos.

Las medidas estructurales

El Plan contendrá un capítulo sobre las medidas estructurales que conforman el Plan Maestro de Drenaje Urbano, diseñadas en forma conceptual que complementan las medidas no estructurales para controlar los impactos actuales y futuros en una cuenca hidrográfica, para el escenario de riesgo adoptado.

La evaluación económica y financiera.

La evaluación económica y financiera de cada alternativa deberá analizar dos componentes:

- La rentabilidad económica y financiera del Plan Maestro de Drenaje Urbano.
- La identificación de mecanismos de financiamiento del Plan Maestro de Drenaje Urbano.

Un aspecto importante a evaluar, será el de identificar mecanismos de recuperación de la inversión. Otro aspecto a realizar será el análisis pormenorizado para la apropiación de costos y beneficios de cada una de las urbanizaciones y/o instituciones que resultan beneficiadas por la implementación del Plan Maestro de Drenaje Urbano en una cuenca hidrográfica.

Productos

En general los productos del Plan de Manejo de Drenaje Urbano comprenderán:

Regulación: Conjunto de normas jurídicas que componen las medidas no estructurales.

Propuestas de gestión: Es el conjunto de programas y propuestas que componen las medidas no estructurales y que no requieren de una normativa jurídica para su implementación.

- Propuesta de gestión dentro de la estructura administrativa actual.
- Propuesta de financiamiento para viabilizar las diferentes medidas.
- Programas de monitoreo.

Cronograma de obras: Conjunto de medidas estructurales planificadas en el tiempo, compatible con recursos disponibles para su ejecución.

Plan de acción

El consultor deberá entregar el conjunto de actividades planificadas en el tiempo para la puesta en marcha e implementación del Plan Maestro de Drenaje Urbano, las cuales comprenden 4 aspectos:

- Gestión.
- Monitoreo.
- Programas.
- Proyectos y obras.

El Plan Maestro de Drenaje Urbano deberá indicar la programación de las medidas estructurales y los plazos para la implementación de medidas no estructurales,

Propuesta de intervención en un sector del municipio de Medellín

El consultor deberá entregar de acuerdo con el Plan Maestro de Drenaje Urbano, la propuesta de solución, con diseños definitivos, de un sector del municipio de Medellín, donde se desarrolle con un mayor nivel de detalle las medidas estructurales y la aplicación de alguna de las medidas no estructurales planteadas. El área a intervenir será definida por el consultor de acuerdo al programa de intervención.

Sobre la base del programa de obras del Plan Maestro de Drenaje Urbano se elaborarán los anteproyectos y proyectos definitivos a nivel de la zona seleccionada, planteando alternativas para las recurrencias de diseño definidas.

El proyecto definitivo de las obras de la cuenca o subcuenca, deberá contemplar los siguientes aspectos:

- Diagnóstico de la situación actual de evacuación de las aguas lluvias que incluya las características morfológicas, infraestructura existente, usos actuales y futuros del suelo, permeabilidad e identificación de los problemas de inundación.
- Información hidrológica: Pluviometría, precipitaciones máximas para los diferentes períodos de retornos, caudales máximos y coeficiente de escorrentía, entre otros.
- Identificar el patrón de drenaje para la zona en estudio. La identificación del patrón de drenaje de una cuenca significa determinar con precisión el origen de la escorrentía de aguas lluvias, sus vías de escurrimiento, sus áreas de detención o acumulación y su descarga a un determinado cauce receptor.
- Planteamiento del sistema para el drenaje de las aguas lluvias del sector con la descripción de las soluciones y sus alternativas, teniendo en cuenta lo definido por el Plan Maestro de Drenaje Urbano del Valle de Aburrá para el sector en estudio.
- Descripción de las medidas no estructurales, de su implementación y su justificación.
- Análisis de sedimentación y de las acciones de dragado requeridas en las principales corrientes de agua.
- Modelación y simulación del sistema seleccionado.
- Descripción, localización y dimensionamiento detallado de las medidas estructurales del sistema seleccionado y su justificación.
- Listado de interferencias.
- Predios a afectar, indicando la necesidad de realizar expropiaciones, servidumbres, etc.
- Evaluación económica del sistema propuesto.
- Beneficios y criterios utilizados en su estimación.
- Presupuesto detallado del sistema (incluye obras de urbanismo).
- Cronograma detallado de las obras y actividades para la implementación del sistema seleccionado.
- Operación y mantenimiento de las obras y sus costos.
- Memoria técnica de los diseños hidráulicos, electromecánicos y estructurales.
 - Memorias de cálculo.
 - Recomendaciones constructivas.
 - Planos generales del sector.
 - Planta, cortes y perfiles longitudinales de las medidas estructurales.
 - Planos de detalles constructivos.
 - Planos de interferencia con otras redes.
 - Especificaciones técnicas particulares.

El consultor deberá desarrollar, paralelamente a los estudios del proyecto, un conjunto de normas de mantenimiento de las obras civiles, hidráulicas y electromecánicas.

Se prestará preferente atención, al desarrollo de un manual de mantenimiento de las estructuras que constituyan un punto crítico de la operación en épocas de inundaciones.

Se realizará, asimismo, una estimación de los equipos y los recursos humanos necesarios para realizar estas tareas, con base en lo cual se podrá presupuestar los costos anuales que insumirían estas tareas de mantenimiento de las obras.

Los estudios se complementarán con los presupuestos base para el análisis económico y financiero de las alternativas en estudio. Para ello se determinarán los costos de inversión de las obras con un error menor al 20%. Los costos se evaluarán en base a precios económicos y precios de mercado. Para la determinación de costos de los ítems, se podrán utilizar datos de obras similares recientemente terminadas o en ejecución, en la ciudad o la región.

La obras se presupuestarán analizando por separado las obras civiles, las electromecánicas e hidromecánicas.

Se contemplarán las contingencias físicas por circunstancias imprevistas que pueden alterar los plazos de construcción y/o los costos de obra, así como las contingencias de precios vinculadas con la posibilidad de incremento de los mismos, sean materiales o mano de obra.