

**MEDIDAS DE MANEJO PARA LAS ZONAS DE RECARGA DEL
SISTEMA ACUÍFERO Y LA SOSTENIBILIDAD DEL AGUA
SUBTERRÁNEA DEL VALLE DE ABURRÁ**



**El ambiente
es de todos**

Minambiente

**COMISIÓN CONJUNTA PARA LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ
PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL ACUÍFERO -PMAA DEL VALLE DE
ABURRÁ**

Medellín, 2019



**El ambiente
es de todos**

Minambiente

*Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua
subterránea del Valle de Aburrá*



El ambiente es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

MEDIDAS DE MANEJO PARA LAS ZONAS DE RECARGA DEL SISTEMA ACUÍFERO Y LA SOSTENIBILIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA DEL VALLE DE ABURRÁ.

Un proyecto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Director: Eugenio Prieto Soto

Subdirección Ambiental

Subdirector Ambiental (e): Gustavo Londoño Gaviria *GLG*

- Gestión Ambiental:

Líder de Gestión Ambiental: Diana Fernanda Castro Henao. *DFCH*

Profesionales universitarios: Héctor Jairo Velez Jiménez, Olga Amparo Velásquez. *HJV* *OAV*

Contratistas: Vanessa García Leoz, Alexander Cardona Pareja, Yessica Yuliana Bedoya Valencia. *VGL* *AC* *YB*

- Gestión del Riesgo:

Líder de Gestión del Riesgo: Luz Jeannette Mejía Chavarriaga *LJMC*

Profesional Universitario: María Yaneth Rúa García. *MJR*

- Jurídica Ambiental:

Líder de Jurídica Ambiental: Francisco Alejandro Correa Gil. *FACG*

Profesional universitario: Sandra Milena Valencia Cardona. *SMVC*

Subdirección de Planeación

Subdirector de Planeación: Víctor Hugo Piedrahita Robledo. *VHP*

- Planeación Metropolitana:

Líder de Planeación Metropolitana: William Alberto Álvarez Pérez. *WAP*

Profesionales universitarios: Alberto Florentino Peña Castro, Alba Victoria Siguencia Sánchez, María Mercedes Quiceno Valencia.

Contratista: Carolina Díaz Cardona.



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

El presente documento fue elaborado tomando como referencia del insumo presentado por la Universidad de Antioquia en el año 2018; y constituye un documento soporte del Plan de Manejo Ambiental del Acuífero -PMAA del Valle de Aburrá, cuya formulación estuvo enmarcada dentro de los Convenios 368 de 2014 y 1050 de 2016. El mismo retomó y actualizó lo presentado en el año 2013 por la Universidad de Antioquia para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá; en el estudio denominado: "Delimitación y Protección de las Zonas de Recarga del Centro y Sur Valle de Aburrá", el cual a su vez recoge lo planteado para la zona norte en el año 2012.

El contenido aquí dispuesto incorpora una serie de medidas para el manejo de las zonas de recarga del Valle de Aburrá que, entre normativa y planeamientos conceptuales y técnicos, apuntan hacia la anhelada y necesaria protección del recurso hídrico subterráneo de la región metropolitana. Este producto contó con los aportes fundamentales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS; de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia –Corantioquia y la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare –Cornare; quienes, a través de los técnicos y abogados designados como representantes de la Comisión Técnica de la Comisión Conjunta de la cuenca del Valle de Aburrá, compartieron sus valiosos conocimientos y permitieron llevar a feliz término el instrumento de planificación que representa el PMAA. A todos los que se mencionan a continuación y los demás que hicieron parte de las diferentes etapas del proceso, expresamos nuestro más sincero agradecimiento.

Equipo técnico del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS: Oscar Darío Tosse Luna, Coordinador de Planificación de Cuencas; Doris Liliana Otálvaro Hoyos y Nelson Mauricio Anillo Rincón, Profesionales especializados.

Equipo Técnico de Corantioquia: Diana Patricia Jaramillo Ramírez, Subdirectora de Gestión Ambiental; Oscar Iván Giraldo Duque, Jorge Ignacio Gaviria Saldarriaga, Alexandra Orieta Uribe Álzate, Liliana Gutiérrez Andrea Carolina Báez Ardila, Margot Cristina Gil Sánchez, Adán Vásquez Tamayo; Profesionales especializados; Gloria Cecilia Araque Giraldo, Catalina Ramírez Mieles, Carolina Bahamón Urrea, Claudia Andrea Díaz Villada, Yisel Cristina Ospina Aguilar; Profesionales Universitarios.

Equipo Técnico de Cornare: Juan Fernando López Ocampo, Subdirector General de Planeación; José Fernando Marín Ceballos, Jefe Oficina Jurídica; John Fredy Quintero Villada, Luz Stella Vélez Mesa, Jorge Ignacio González Rendón, Diana Marcela Uribe Quintero; Profesionales especializados.

Medellín, 2019.



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 OBJETO DE LOS PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFEROS EN EL MARCO DE LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE.....	10
1.2 LAS ZONAS DE RECARGA EN EL MARCO NORMATIVO	12
2. CONTEXTO SOBRE EL ACUIFERO Y LAS ZONAS DE RECARGA DEL VALLE DE ABURRÁ.....	13
3. MEDIDAS DE MANEJO PARA LAS ZONAS DE RECARGA.....	20
3.1 PROCEDIMIENTO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MANEJO A APLICAR.....	22
3.2 ESTUDIOS TÉCNICOS DE DETALLE PARA PRECISAR LA DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA	22
3.2.1 Desarrollo del Modelo Hidrogeológico conceptual.....	23
3.2.2 Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca.....	26
3.2.3 Modelación Numérica del flujo subterráneo.....	27
3.2.4 Aplicación a escala de la metodología de caracterización de zonas de recarga	27
3.3 MEDIDAS DE MANEJO PARA LAS ZONAS DE RECARGA, SEGÚN LA CLASE DE SUELO Y LAS CATEGORÍAS DEFINIDAS EN LOS POT Y PBOT DEL VALLE DE ABURRÁ.....	27
3.3.1 Medidas de manejo para las zonas de recarga, según las clases de suelo definidas en los POT y PBOT del Valle de Aburrá, concertados al momento de adopción del PMAA.....	28
3.3.2 Medidas de manejo para las zonas de recarga, según las clases de suelo definidas en los POT y PBOT del Valle de Aburrá, sujetos al proceso de revisión, ajuste y/o concertación.....	36
3.3.3 Consideraciones normativas generales de obligatorio cumplimiento, relacionadas con el manejo de las zonas de recarga del acuífero.....	48
3.3.4 Consideraciones para la toma de decisiones en los procesos de evaluación de trámites, según sea la condición de Vulnerabilidad Intrínseca del Sistema Acuífero	49
3.4 ACCIONES QUE SOPORTAN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MANEJO DE LAS ZONAS DE RECARGA DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE ABURRÁ53	
3.4.1 Programa de producción más limpia	53



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

3.4.2	Diseño y ejecución de un programa de incentivos	54
3.4.3	Restauración ecológica y protección de los recursos naturales	54
3.4.4	Valoración económica del agua subterránea	54
3.4.5	Técnicas MAR para la recarga de acuíferos	54
3.4.6	Operación de la red de monitoreo (Autoridad Ambiental)	55
3.4.7	Utilización de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en los desarrollos urbanísticos e infraestructura vial	55
4.	CONSIDERACIONES FINALES	58
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	59
5.1	FUENTES DE CONSULTA BIBLIOGRÁFICA SOBRE METODOLOGÍAS PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONAS DE RECARGA Y CUANTIFICACIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS.....	61



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Medidas de manejo para las zonas de recarga en la clase de suelo urbano en los POT y PBOT concertados. 30

Tabla 2. Medidas de manejo para las zonas de recarga en la clase de suelo de expansión urbana en los POT y PBOT concertados. 32

Tabla 3. Medidas de manejo para las zonas de recarga en la clase de suelo rural en los POT y PBOT concertados. 34

Tabla 4. Medidas de manejo para las zonas de recarga presentes en los suelos urbanos propuestos en los procesos de ajuste y concertación de los POT y PBOT con la Autoridad Ambiental competente. 37

Tabla 5. Medidas de manejo para las zonas de recarga presentes en la clase de suelo rural, en la categoría de Conservación y Protección ambiental, a considerar en los procesos de ajuste y/o concertación de los POT o PBOT. 43

Tabla 6. Medidas de manejo para las zonas de recarga presentes en la clase de suelo rural a concertar, para la categoría de Desarrollo restringido de los respectivos POT y PBOT. 44

Tabla 7. Medidas de manejo para las zonas de recarga presentes en la clase de suelo rural de los POT o PBOT vigentes, que el Ente Territorial pretenda proponer como futuros suelos de expansión urbana dentro de los procesos de revisión y/o modificación de su Plan de Ordenamiento Territorial, a concertar con la Autoridad Ambiental competente... 46

Tabla 8. Tipos de contaminantes generados en el desarrollo de actividades y usos del suelo, que podrían orientar la evaluación de los trámites ambientales por parte de la Autoridad Ambiental competente, en relación a la condición de Vulnerabilidad intrínseca del sistema acuífero del Valle de Aburrá. 52



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Zonas de recarga del sistema acuifero y área en posibles condiciones de impermeabilización del Valle de Aburrá. Fuente: adaptado del estudio “*Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el Centro y Sur del Valle de Aburrá*” (Universidad de Antioquia & AMVA, 2013). 15

Figura 2. Relaciones entre las diferentes zonas de estudio y el mapa para el departamento de Antioquia, donde se muestran las potenciales zonas de recarga. 18

Figura 3. Altura de la recarga para el acuifero del Valle de Aburrá. Fuente: IAEA & Universidad de Antioquia, 2018. 19

Figura 4. Esquema metodológico para la obtención de un modelo hidrogeológico conceptual. Tomado de: Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuifero del Bajo Cauca, Antioqueño (Universidad de Antioquia & Corantioquia, 2014)..... 24

Figura 5. Proceso de contaminación de las aguas subterráneas, asociado a las actividades y usos del suelo (Fuente: “*Guía Técnica para la Protección de la Calidad del Agua Subterránea*” (Foster & Hirata et al., 2002)..... 50

Figura 6. Vulnerabilidad Intrínseca del Sistema Acuifero del Valle de Aburrá (Diagnóstico del PMAA, 2015). 51

Figura 7. Alternativas para la implementación de las medidas de manejo de las zonas de recarga. 53



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas en el ámbito mundial se hacen relevantes en la medida que, a pesar de ser una fuente invisible, representan una opción de abastecimiento para muchas comunidades; a veces la única alternativa posible. Actualmente, las aguas subterráneas se incluyen como un elemento fundamental en la gestión integral del recurso hídrico y del ciclo hidrológico, sustento conceptual de este enfoque de gestión.

La importancia de las aguas subterráneas en el Valle de Aburrá, además del aporte de caudal base que brinda a las fuentes superficiales y que provee como soporte para los ecosistemas acuáticos relacionados al acuífero, radica en su condición de reserva natural y como fuente potencial para abastecer las necesidades hídricas futuras; representando una alternativa para que el territorio sea menos dependiente de cuencas externas. Además, se destaca su condición de fuente complementaria para abastecer la demanda hídrica de actividades económicas y domésticas, que no requieren de agua potable.

La sostenibilidad del acuífero depende estrictamente de la protección de todo el sistema hidrogeológico, comprendiendo así las zonas de recarga como áreas estratégicas y que requieren de especial manejo. Por tal razón, y ante el inminente proceso de crecimiento urbanístico que se viene, y se continuará dando en la cuenca, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá –AMVA, identificó la necesidad de delimitar y establecer medidas para la protección de las áreas de recarga del sistema acuífero del Valle de Aburrá. Por ello, entre 2011 y 2012, se realizó el estudio: *"Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el norte del Valle de Aburrá"*, el cual fue complementado en el año 2013, mediante la realización de la segunda fase: *"Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el centro y sur del Valle de Aburrá"*.

El Plan de Manejo Ambiental del Acuífero –PMAA del Valle de Aburrá, constituye uno de los instrumentos de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recursos Hídrico que, de acuerdo con las condiciones establecidas en el Artículo 2.2.3.1.11.1 del Decreto 1076 de 2015, tienen como objeto establecer la *"Planificación y administración del agua subterránea mediante la ejecución de proyectos y actividades de conservación, protección y uso sostenible del recurso"*. A su vez, dicho Plan tiene, dentro de los requisitos de la fase de *Formulación*; la definición de las medidas de manejo a implementar, y los proyectos y actividades a ejecutar, con el fin de solucionar la problemática identificada en la respectiva fase de *Diagnóstico*.

Por consiguiente, el presente documento, denominado *"Medidas de Manejo para las Zonas de Recarga del Sistema Acuifero y la Sostenibilidad del Agua Subterránea del Valle de Aburrá"*, se construye en el marco de la formulación del Plan de Manejo Ambiental del Acuífero -PMAA del Valle de Aburrá, siguiendo lo dispuesto en el Decreto 1076 de 2015 y la correspondiente Guía Técnica publicada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS en el



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

año 2014. Así, se retomó del estudio efectuado por el AMVA en el año 2013 lo correspondiente a la delimitación de las zonas de recarga del Valle de Aburrá, reconocidas como aquellas áreas que revisten una especial importancia hidrogeológica y que, por tanto, son objeto de establecimiento de medidas de manejo específicas o de estrategias de protección diferenciales para lograr la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo en la cuenca.

Finalmente, se reitera que el presente documento hace parte integral del PMAA y regirá al interior de la divisoria de agua de la Cuenca del Río Aburrá (NSS – 2701-01) para las jurisdicciones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá -AMVA, la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare -Cornare y la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia –Corantioquia; a partir del momento de su adopción, mediante el acto administrativo correspondiente.

1.1 OBJETO DE LOS PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE ACUÍFEROS EN EL MARCO DE LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS, como órgano rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, está encargado de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la nación; con el fin de asegurar el desarrollo sostenible (Ley 99 de 1993, Artículo 2). Dichas políticas y regulaciones, serán a su vez ejecutadas por las Autoridades Ambientales competentes en sus respectivas áreas de jurisdicción.

En cumplimiento de sus funciones, el MADS reglamentó los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, dentro de los cuales se encuentran los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos –PMAA; los cuales deben ser formulados por las Autoridades Ambientales competentes y que tienen por objeto, de acuerdo con lo establecido en el Artículo 2.2.3.1.11.1 del Decreto 1076 de 2015, la planificación y administración del agua subterránea, mediante la ejecución de proyectos y actividades de conservación, protección y uso sostenible del recurso.

A su vez, la respectiva financiación estará a cargo de las Autoridades Ambientales competentes, las Entidades Territoriales y demás Entidades del orden nacional, departamental o municipal; asentadas y con responsabilidades en el área del acuífero. Las cuales podrán, en el marco de sus competencias, invertir en la ejecución de los proyectos y actividades de preservación, restauración y uso sostenible del acuífero (Decreto 1076 de 2015, Artículo 2.2.3.1.11.5). Por lo anterior, Corantioquia y Cornare, en la formulación de sus respectivos Planes de Gestión Ambiental Regional, el AMVA, en la formulación de su Plan de Gestión; y cada Ente Territorial durante la formulación de su respectivo Plan de Desarrollo y



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Planes de Ordenamiento Territorial (POT o PBOT), deben considerar los proyectos establecidos en el PMAA.

Por otro lado, de conformidad con lo establecido en los literales a) y b) del Numeral 1 del Artículo 10 de la Ley 388 de 1997, una vez sea adoptado por las Autoridades Ambientales en el marco de la Comisión Conjunta, el Plan de Manejo Ambiental del Acuífero, y de manera específica las Medidas de Manejo aquí dispuestas, se constituirá en una determinante relacionada con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales, que debe ser tomada en cuenta en la elaboración y adopción de los planes de ordenamiento territorial municipal (POT o PBOT), ya que constituyen normas de superior jerarquía. Para tal fin, se resalta:

- Artículo 10º (Ley 388 de 1997). Determinantes de los Planes de Ordenamiento Territorial. En la elaboración y adopción de sus Planes de Ordenamiento Territorial, los municipios y distritos deberán tener en cuenta las siguientes determinantes, que constituyen normas de superior jerarquía, en sus propios ámbitos de competencia, de acuerdo con la Constitución y las leyes:
 1. Las relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales, la prevención de amenazas y riesgos naturales, así:
 - a) Las directrices, normas y reglamentos expedidos en ejercicio de sus respectivas facultades legales, por las entidades del Sistema Nacional Ambiental, en los aspectos relacionados con el ordenamiento espacial del territorio, de acuerdo con la Ley 99 de 1993 y el Código de Recursos Naturales, tales como las limitaciones derivadas de estatuto de zonificación de uso adecuado del territorio y las regulaciones nacionales sobre uso del suelo en lo concerniente exclusivamente a sus aspectos ambientales;
 - b) Las regulaciones sobre conservación, preservación, uso y manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, en las zonas marinas y costeras; las disposiciones producidas por la Corporación Autónoma Regional o la Autoridad Ambiental de la respectiva jurisdicción, en cuanto a la reserva, alindamiento, administración o sustracción de los distritos de manejo integrado, los distritos de conservación de suelos, las reservas forestales y parques naturales de carácter regional; las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas expedidas por la Corporación Autónoma Regional o la Autoridad Ambiental de la respectiva jurisdicción; y las directrices y normas expedidas por las autoridades ambientales para la conservación de las áreas de especial importancia ecosistémica.

En este sentido, y según se encuentra establecido en la Guía Técnica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos, publicada por el MADS en el año 2014, la delimitación de las zonas de recarga deberá *“ser considerada en los Planes de Ordenamiento Territorial, con objeto de priorizar las zonas de conservación para la regulación hídrica y de fuentes abastecedoras de la población”*.



El ambiente
es de todos

Mimambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Por lo anterior, en los procesos de revisión, modificación y/o ajuste de los POT o PBOT; los Entes Territoriales en su jurisdicción y en el ámbito de sus competencias, deben considerar lo indicado en el PMAA respecto al acuífero y el agua subterránea en las propuestas de clasificación del suelo; y deberá tener en cuenta las medidas de manejo aquí dispuestas para las zonas de recarga, en las normas urbanísticas que le afecten, como en la reglamentación de las clases y los usos del suelo.

En este mismo sentido, los Entes Territoriales, en el ámbito de sus competencias y en los procesos de revisión, modificación y/o ajuste de sus respectivos Planes de Ordenamiento Territorial (sea POT o PBOT), deberán incluir, dentro del programa de ejecución, los proyectos que hayan sido formulados en la fase de formulación del PMAA y apliquen a la escala municipal; sin perjuicio de otras estrategias, acciones, proyectos, entre otros; que apunten a la conservación del recurso hídrico subterráneo.

1.2 LAS ZONAS DE RECARGA EN EL MARCO NORMATIVO

El código de los recursos naturales, Decreto Ley 2811 de 1974, trata sobre la zonificación en general; mencionando, en su Artículo 30, que para la adecuada protección del ambiente y de los recursos naturales, el Gobierno Nacional establecerá políticas y normas sobre dicha zonificación; reglamentada a través de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas – POMCA. Los departamentos y municipios tendrán sus propias normas de zonificación dentro de sus Planes de Ordenamiento, pero estarán sujetas a las de orden Nacional.

Por su parte, la Ley 99 de 1993, dentro de los principios que rigen la política ambiental colombiana, en el numeral 4 de su Artículo 1, consagra que las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial. Asimismo, el Artículo 2.2.2.2.1.3 del Decreto 1077 de 2015 (Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio), que compiló el Decreto 3600 de 2007; establece las Categorías de protección en el suelo rural y clasificó las zonas de recarga de acuíferos como parte de la categoría de Áreas de conservación y protección ambiental. Estas categorías constituyen el suelo de protección en los términos del Artículo 35 de la Ley 388 de 1997 y son normas urbanísticas de carácter estructural de conformidad con lo establecido en el Artículo 15 de la misma ley.

Por su parte, el Decreto 1076 de 2015, que compiló el Decreto 2372 de 2010, indica que son Ecosistemas estratégicos: *“...las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos como áreas de especial importancia ecológica; gozan de protección especial, por lo que las autoridades ambientales deberán adelantar las acciones tendientes a su conservación y manejo, las que podrán incluir su designación como áreas protegidas bajo alguna de las categorías de manejo previstas en el presente decreto”*.

Finalmente, el Artículo 2.2.9.8.1.4 del Decreto 1076 de 2015, modificado por el Artículo 01 del Decreto Nacional 1007 de 2018 indica que, *“...en concordancia con lo establecido en el*



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Decreto-Ley Número 870 de 2017, el pago por servicios ambientales constituye el incentivo económico en dinero o en especie que reconocen los interesados de los servicios ambientales a los propietarios, poseedores u ocupantes de buena fe exenta de culpa por las acciones de preservación y restauración en áreas y ecosistemas estratégicos, mediante la celebración de acuerdos voluntarios entre los interesados de los servicios ambientales y beneficiarios del incentivo".

2. CONTEXTO SOBRE EL ACUIFERO Y LAS ZONAS DE RECARGA DEL VALLE DE ABURRÁ

El nivel de conocimiento alcanzado desde el año 2002, a partir de la realización de los distintos estudios y el monitoreo continuo desde el año 2010, de las captaciones pertenecientes al proyecto RedRío del Área Metropolitana del Valle de Aburrá –AMVA, ha permitido conocer las características del sistema acuífero del Valle de Aburrá y establecer la distribución de las unidades hidrogeológicas que lo conforman, así como el estado actual del recurso hídrico que almacenan, en términos de oferta y calidad, y la delimitación de las zonas por donde se estaría presentando la recarga de estas unidades; conforme su potencialidad para permitir el ingreso y flujo de agua hacia el acuífero, incluyendo los provenientes de zonas más distantes que constituirían los denominados flujos regionales.

El sistema acuífero para el Valle de Aburrá comprende la identificación de tres unidades hidrogeológicas, denominadas: Acuífero libre, Acuífero semiconfinado y el asociado a la Dunita de Medellín; este último difiere de los dos primeros en el sentido en que no corresponde a una unidad constituida por depósitos de suelos poco consolidados que albergan agua en función de su porosidad, como los asociados a la llanura de inundación del río Aburrá; sino a un medio rocoso con condición de *pseudokarst*, que podría albergar agua entre sus grietas (AMVA & Universidad de Antioquia, 2013).

En este sentido, y dadas las condiciones físicas de la cuenca, las zonas con mayor potencial para propiciar la recarga se disponen sobre las cotas bajas, cercanas al eje fluvial del río Aburrá-Medellín, donde están localizados los depósitos aluviales y los depósitos de vertiente; los cuales, por su características hidráulicas, hacen propicio el flujo del agua a través de ellos, correspondiendo así a la unidad acuífera más cercana a la superficie (Acuífero libre). Estas mismas características de planicie, han hecho que estas zonas sean las más apetecidas para el establecimiento de los núcleos de desarrollo urbano e industrial; intervención que se asocia con la pérdida de las funciones naturales de la zona no saturada y del acuífero, por impermeabilización o remoción del material y la consecuente afectación del recurso hídrico subterráneo como producto de las actividades antrópicas asociadas.

En el mapa de la Figura 1 se observa la configuración de las zonas de recarga del acuífero del Valle de Aburrá, definido por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad de



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Antioquia en 2013; donde se aprecia igualmente la capa de suelo actualmente impermeabilizado, que ha modificado las características de infiltración y capacidad de recarga de estas zonas. Un ejercicio simple de cálculo, realizado a partir de la superposición de la malla urbana del año 2015 sobre las zonas de recarga directa, considerando la evaluación de la magnitud de la recarga potencial obtenida mediante balance hídrico; permitió estimar un volumen aproximado de 20,1 millones de metros cúbicos de agua que anualmente se estaría dejando de recargar al Acuífero Libre por efecto de la impermeabilización de las zonas de recarga directa en la zona urbanizada. Cabe recordar que, según los cálculos de actualización de oferta, se estimó que el volumen de recarga potencial directa en las zonas, que aún no han sido intervenidas, impermeabilizadas o removidas; sería del orden de 36,1 millones de metros cúbicos al año.

Las cifras presentadas serán calculadas nuevamente, una vez se cuente con los resultados del estudio de conectividad del Valle de Aburrá, por medio del cual se obtendrá la actualización del espacio verde urbano. Sin embargo, es sabido que la presión a la que se encuentran sometidas las cuencas hidrográficas debido al crecimiento poblacional y la consecuente ocupación del suelo y afectación de los recursos naturales, va en aumento. Al respecto, las Naciones Unidas (United Nations. Population Division, 2015) establece que el 54,9% de la población mundial vive en áreas urbanas y llegará al 63,4% en el año 2050. Para el caso del Valle de Aburrá, la Misión para el Sistema de Ciudades estimó que, en el año 2010, los 10 municipios que lo integran concentraron el 95% de la población en las zonas urbanas, proyectándose que para el 2050 este valor subirá al 97%; lo cual significa un aumento del 24% de la población urbana, es decir, unos 890.026 nuevos habitantes (Departamento Nacional de Planeación, 2014). En este sentido, el territorio que comprende el Valle de Aburrá debe ser comprendido como un ecosistema urbano, actualmente intervenido y sujeto dinámicas intensas y cambiantes, que mantiene la tendencia al crecimiento y el desarrollo.



El ambiente es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

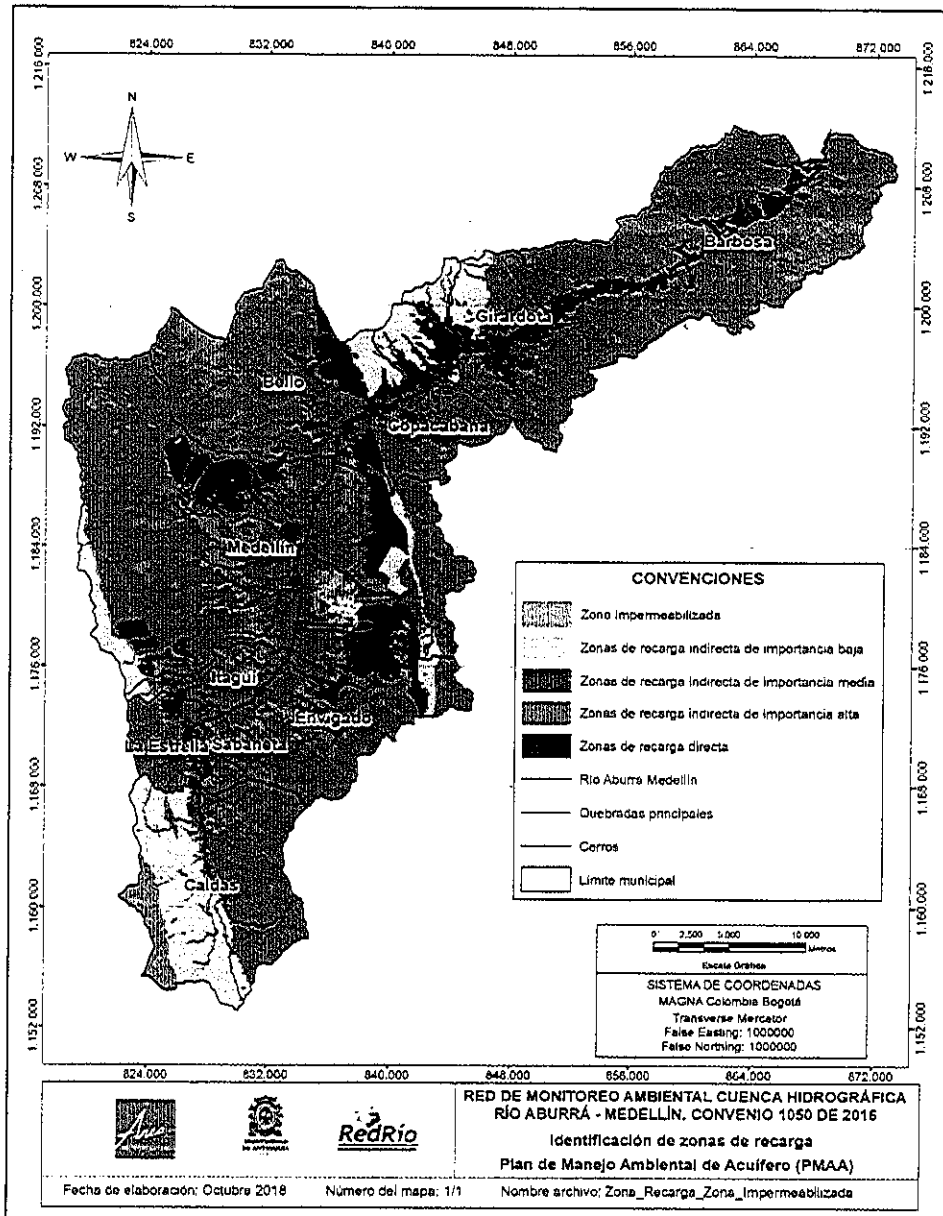


Figura 1. Zonas de recarga del sistema acuifero y área en posibles condiciones de impermeabilización del Valle de Aburrá. Fuente: adaptado del estudio "Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el Centro y Sur del Valle de Aburrá" (Universidad de Antioquia & AMVA, 2013).

En la construcción de la fase de Diagnóstico del Plan de Manejo Ambiental del Acuífero – PMAA del Valle de Aburrá, se estableció que las acciones antrópicas afectan la función de la recarga y pueden constituir amenazas potenciales para el acuífero; que incluso podrían llevarlo al agotamiento. Esto no solo debido al uso que la población hace del agua subterránea que este almacena, sino también la afectación a los ecosistemas que



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

hidráulicamente están conectados con el mismo y que permiten su recarga. Previendo esta situación, en la construcción del escenario apuesta del PMAA, mediante el ejercicio de prospectiva, se diseñó la Línea Estratégica 1: Ocupación y uso sostenible del territorio; la cual plantea como objetivo: “Desarrollar medidas de manejo para la protección de las zonas de recarga directas e indirectas del Valle Aburrá”. Para lograr su cumplimiento, se formularon tres proyectos; dos para ejecutar en el corto y uno en el mediano plazo; cuyo planteamiento se encuentra en el documento correspondiente a la fase de Formulación de dicho Plan.

En una reciente investigación adelantada por la Universidad de Antioquia, en el marco de un convenio de cooperación con la Agencia Internacional de Energía Atómica –IAEA, se identificaron, mediante isocapes de composición isotópica en precipitación y aguas subterráneas, las potenciales zonas de recarga para varios acuíferos del departamento de Antioquia (IAEA & Universidad de Antioquia, 2018). La Figura 2 muestra esta misma para los distintos sistemas acuíferos del departamento de Antioquia, entre ellos se incluye el sistema hidrogeológico del Valle de Aburrá.

La relación P/GW (Precipitación sobre Agua subterránea) aplicada a modelos digitales de composición de Oxígeno 18 (uno de los isótopos ambientales de la molécula de agua), señala la ocurrencia de recargas a mayor altura cuando el valor de la relación es menor que 1,0. En otras palabras, mediante esta validación fue posible conocer que gran parte de la recarga que actualmente ingresa a la sección central del acuífero proviene de cotas altas, dada la situación de impermeabilización de las zonas de recarga directa. Así, el aporte de agua se ha visto limitado por la intervención del territorio y actualmente depende de las zonas sin intervenir, siendo estas principalmente las de recarga indirecta (IAEA & Universidad de Antioquia, 2018).

En la Figura 3 se observa la posible altura en la que se produce la recarga. Los tonos tendientes al rojo indican que el agua que ingresa al sistema hidrogeológico no proviene de la recarga directa sino de flujos que son recargados en zonas más distantes, por lluvias generadas a más de 1.700 m.s.n.m. Esta situación supone una posible reducción en la cantidad de agua que alimenta el acuífero libre, dadas las condiciones actuales de impermeabilización de los suelos que propician la recarga directa en el Valle de Aburrá; lo que podría afectar su sostenibilidad en el tiempo.

Este panorama se articula igualmente con otros procesos del cambio climático, ya que la impermeabilización del suelo suele estar relacionada con el establecimiento de suelos urbanos donde las coberturas que predominan son en cemento, concreto y asfalto; las cuales generan estrés térmico por el aumento de la temperatura en zonas urbanas, denominadas islas de calor. Las islas de calor son un ejemplo de modificación climática no intencional cuando la urbanización le cambia las características a la superficie y a la atmósfera local. Esto fue identificado en el Plan de Acción ante el Cambio y la Variabilidad Climática del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA, 2019); adoptado mediante Acuerdo Metropolitano



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

No. 04 del 2019, que tiene como meta al 2030 la mitigación de los Gases de Efecto Invernadero –GEI para el Valle de Aburrá; permitiendo conocer que las temperaturas máximas tienden a estar asociadas a barrios de vocación industrial y en barrios residenciales que presentan construcciones de baja altura y poca arborización, generalmente ubicados en el eje del río o en las partes bajas y planas del valle, donde coinciden con las zonas de recarga directa.

Adicionalmente, otro aspecto que igualmente guarda concordancia con la intervención que han sufrido las zonas de recarga en el Valle de Aburrá, por efecto de la impermeabilización del suelo debida a la expansión urbana, son los humedales. Según la definición otorgada por la Ramsar (Irán, 1971), estos pueden ser considerados como áreas que “...*incluyen una amplia variedad de hábitat, tales como: pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos;...*” En este sentido, las zonas de recarga directa, las cuales se asocian a la llanura de inundación del río Aburrá, disponían de condiciones que le permitían ser consideradas como zonas con potencial para la presencia de este tipo de ecosistemas. Estas áreas, antes de generarse la ocupación y desarrollo de la región, presentaban condiciones distintas a las que hoy se identifican en estas zonas. Es preciso recordar que la configuración actual del río no responde a la forma que presentaba en sus orígenes, la cual era de tipo meándrico. Luego, debido al proceso de desarrollo del centro urbano que sufrió el valle desde mediados del siglo XVIII, y que con el tiempo fue significando una intervención cada vez más extensiva que requirió de nuevas áreas para el asentamiento urbano y el desarrollo industrial de finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX; por lo cual se decidió rectificar el curso del río mediante la canalización de su cauce, dejando disponibles sus llanuras para la consolidación del centro urbano.

Con lo anterior, la mayoría de las zonas propicias para la presencia de humedales, dadas sus condiciones de pendiente, suelo y acumulación de flujos hídricos (escorrentía y superficialidad del nivel freático); fueron siendo impermeabilizadas, perdiendo su capacidad de infiltración y recarga y desapareciendo los ecosistemas de humedal allí presentes. Estos procesos de intervención y modificación del suelo, siguen actualmente activos; acorde a las condiciones de cuenca urbana que presenta el Valle de Aburrá; la cual dispone de las zonas planas como los suelos propicios para establecer su modelo de ocupación.

Así las cosas, la formulación de planes e instrumentos de gestión y manejo que permitan el establecimiento de medidas que eviten la pérdida total de los ecosistemas y permitan la sostenibilidad de los recursos naturales en cuencas de este tipo, dejan de ser acciones necesarias y adquieren un sentido obligado y urgente para el territorio y sus habitantes.



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

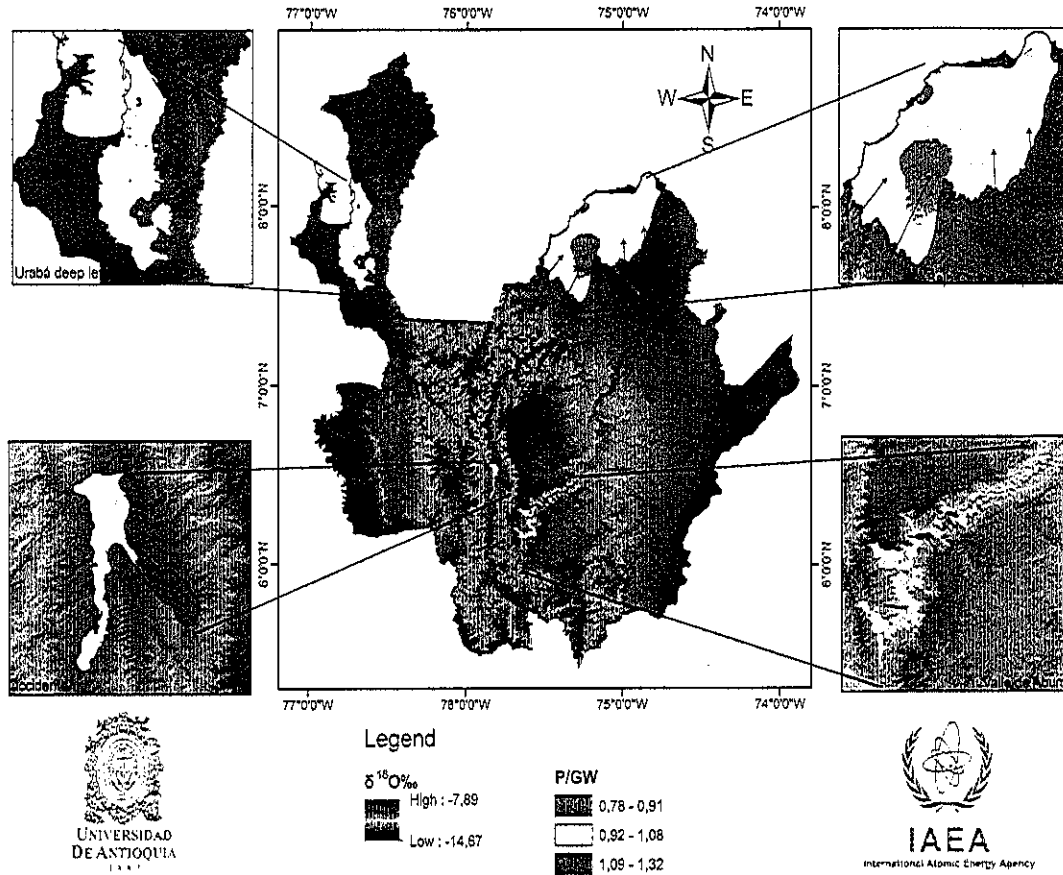


Figura 2. Relaciones entre las diferentes zonas de estudio y el mapa para el departamento de Antioquia, donde se muestran las potenciales zonas de recarga.

Fuente: IAEA & Universidad de Antioquia, 2018.



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

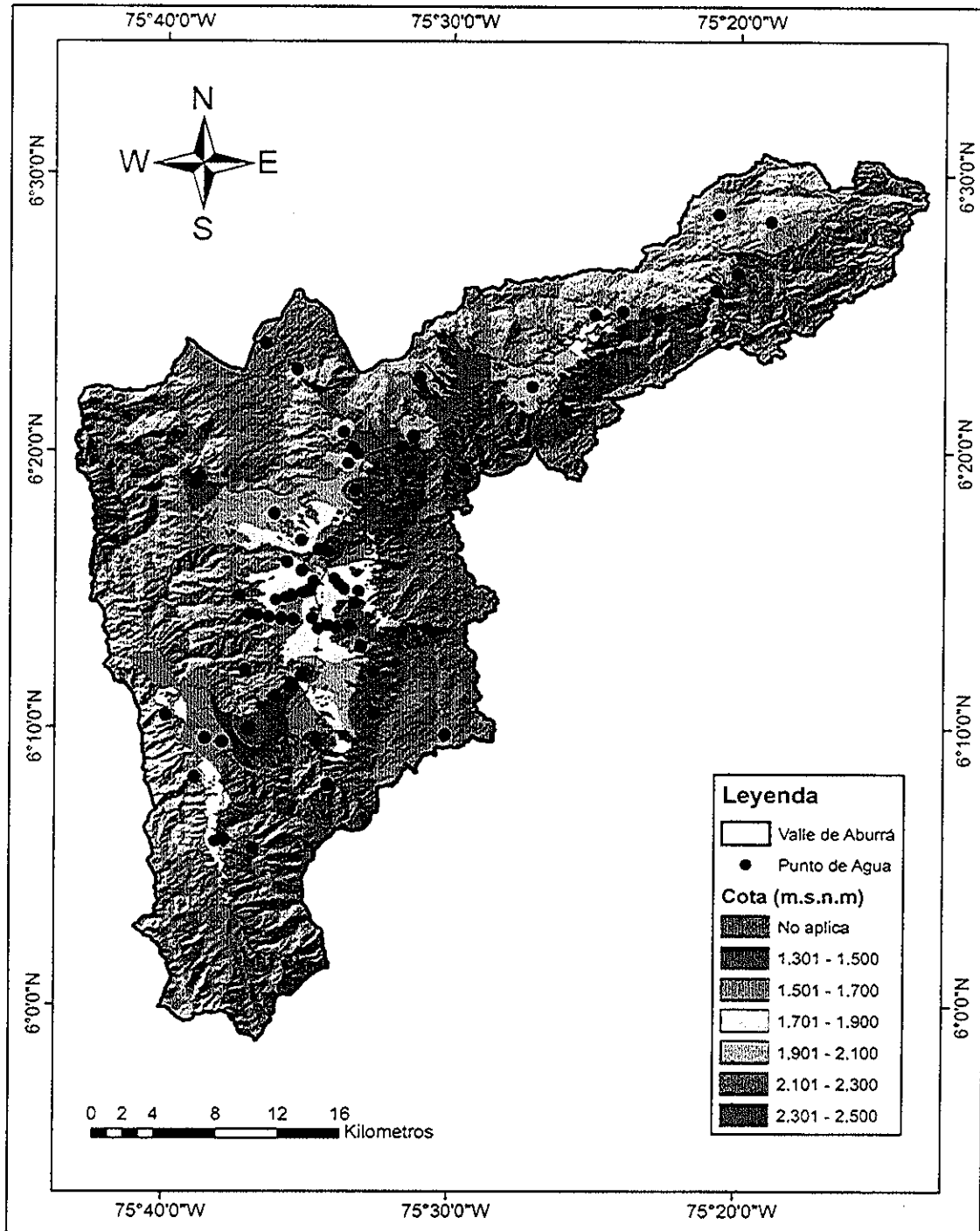


Figura 3. Altura de la recarga para el acuífero del Valle de Aburrá. Fuente: IAEA & Universidad de Antioquia, 2018.



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

3. MEDIDAS DE MANEJO PARA LAS ZONAS DE RECARGA

Para el caso específico del Valle de Aburrá, las medidas de manejo de las zonas de recarga tienen el propósito de definir los criterios que deben ser tenidos en cuenta para lograr la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo, mediante el cumplimiento de acciones que permitan conservar la función de recarga de los suelos.

Según la normatividad colombiana, las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial (Ley 99 de 1993), pues constituyen áreas de especial importancia ecológica; por lo que las Autoridades Ambientales deberán adelantar acciones tendientes a su conservación y manejo, para lo cual podrán designarlas como áreas protegidas bajo alguna categoría de manejo correspondiente a los ecosistemas estratégicos Decreto 1076 de 2015 (que compiló el Decreto 2372 de 2010). Además, deben ser clasificadas como parte de las categorías de suelo de protección del suelo rural en los POT (o PBOT), según el Artículo 2.2.2.2.1.3 del Decreto 1077 de 2015; dentro de la categoría de áreas de conservación y protección ambiental, haciendo parte de la Estructura Ecológica Principal –EEP; en los términos del suelo de protección definido en el Artículo 35 de la Ley 388 de 1997.

De esta manera, las zonas de recarga del suelo clasificado como suelo rural, deben ser incorporadas como suelo de protección. Sin embargo, en el numeral 3.3 se proponen unas medidas de manejo diferenciales para que los municipios dentro del proceso de concertación de la revisión, modificación y/o ajuste de los Planes de Ordenamiento Territorial tengan en cuenta, con el fin de precisar la clasificación y categorías del suelo, entre otras normas

Por su parte, las zonas de recarga directa, tal y como se expuso en el numeral 2 de este documento, presentan actualmente una condición de intervención por procesos urbanísticos que implican la impermeabilización de la superficie del suelo, lo cual deriva en la pérdida de su capacidad natural para propiciar la infiltración del agua hacia la zona saturada (y los consecuentes flujos hídricos de percolación y recarga). En este sentido, y previendo la continuidad en esta tendencia de desarrollo urbano en la región metropolitana del Valle de Aburrá, se considera primordial aplicar las medidas de manejo aquí dispuestas, las cuales se encuentran enfocadas en lograr la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo mediante la protección de estas zonas en suelo rural y la aplicación de técnicas que permitan la continuidad de la función de recarga en los suelos urbanos y de expansión del territorio.

Es preciso recordar que el estudio mediante el cual se delimitaron las zonas de recarga (Determinación y protección de las potenciales zonas de recarga en el centro y sur del Valle de Aburrá; (Universidad de Antioquia & AMVA, 2013), consideró, para el desarrollo del método jerárquico empleado, el análisis de criterios y aspectos temáticos como: geología, perfiles de meteorización, localización de manantiales, características fisiográficas, patrones estructurales, condiciones de infiltración, el relieve; para la obtención del modelo hidrogeológico conceptual; el cual se logró a escala 1:10.000; y análisis hidrogeológico e



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

isotópico para la validación de las líneas de flujo del agua subterránea. Esto implica que, al realizar la superposición cartográfica entre capas cuya escala sea diferente, se puedan generar desfases espaciales.

Considerando lo anterior, se estima que el potencial de recarga identificado debe ser complementado mediante estimaciones de las tasas de infiltración y recarga que realmente ingresan al sistema acuífero, basados en parámetros hidráulicos y a escalas acordes a los procesos de ocupación y desarrollo de los territorios. En coherencia con lo establecido en la Guía para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos (p. 59), las zonas de recarga adoptadas en la zonificación del POMCA deben articularse con las medidas de manejo que se propongan y adopten en el PMAA.

En ese sentido, la actualización del POMCA del Río Aburrá, adoptado en el 2018, en el documento de Orientaciones para la precisión de las determinantes ambientales derivadas de los POMCA, para su incorporación en el POT, estableció que: "Para el caso específico del acuífero, su manejo se realizará acorde con lo que establezca el plan de manejo en proceso de formulación, lo anterior acorde con el parágrafo del Artículo 2.2.3.1.6.12, del decreto 1076 de 2015, que establece: En caso de que en la cuenca existan acuíferos, las medidas de manejo ambiental para la preservación y restauración, entre otros, harán parte integral del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca y deberán sujetarse a lo establecido en la Guía Metodológica para la Formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos", de que trata el del presente decreto"

Durante la formulación del PMAA, específicamente al momento de establecer las medidas de manejo para las zonas de recarga, se encontró que es necesario continuar profundizando en el conocimiento de las características y condiciones del sistema acuífero y el recurso hídrico subterráneo del Valle de Aburrá.

Teniendo en cuenta que el Área Metropolitana del Valle de Aburrá también tiene funciones de Entidad planificadora del desarrollo y que cuenta con unos instrumentos que direccionan la ocupación físico-espacial del territorio, mediante la aplicación de un modelo de ocupación metropolitano, identifica que debe armonizar los resultados del PMAA con dichos instrumentos. Por lo anterior, el Área Metropolitana desarrollará unos estudios detallados con el objetivo de propender por la conservación del recurso hídrico subterráneo.

Entre tanto se logra un estudio de mayor detalle o nuevos conocimientos respecto al sistema acuífero del Valle de Aburrá, la delimitación de zonas de recarga, efectuada por la Universidad de Antioquia para el AMVA en el año 2013, continúa estando vigente y por tanto, aplicará para ellas lo dispuesto en este documento; considerando las categorías de zona de recarga definidas para la cuenca. En caso de que algún interesado considere que los resultados no correspondan a las condiciones de algún área, sector o polígono; podrá él mismo efectuar un estudio que demuestre que, mediante la aplicación de metodologías validadas técnicamente



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

por la Autoridad Ambiental, es posible obtener resultados diferentes a los que sugiere el estudio del AMVA respecto a la delimitación de las zonas de recarga; lo cual debe ser presentado y sustentado por parte de los Entes Territoriales ante la respectiva Autoridad Ambiental en un proceso de concertación, para la revisión, modificación y/o ajuste correspondiente del POT o PBOT. En cualquier caso, las medidas de manejo a aplicar serán las dispuestas en este documento, según se indica en el numeral 3.3.

El proceso a seguir por parte de los Entes Territoriales o demás interesados, para conocer las medidas que aplicarían según la zona de recarga y la clase de suelo de los POT o PBOT del municipio, se detalla a continuación. Cabe destacar, que el Ente Territorial deberá considerarlo en los procesos de revisión, ajuste y/o modificación de su POT o PBOT de cada municipio, así como parte de las determinantes ambientales para la formulación de los Planes Parciales en los términos del Artículo 2.2.4.1.1.6 del Decreto 1077 de 2015.

3.1 PROCEDIMIENTO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MANEJO A SER APLICADAS

Para conocer las medidas de manejo que aplican a cada caso se sugiere constatar previamente la correspondencia entre la clasificación del suelo definida por los Entes Territoriales en sus respectivos Planes de Ordenamiento Territorial, con las zonas de recarga delimitadas por el AMVA en el año 2013; así:

- I. Efectuar la superposición cartográfica de la capa de clasificación del suelo, definida en los planes de ordenamiento territorial de cada municipio del Valle de Aburrá, con la capa de la clasificación de las zonas de recarga del Valle de Aburrá obtenida por el AMVA en el año 2013. Conforme al resultado, las medidas a aplicar serán las dadas en el numeral 3.3 del presente documento, según sea el caso.
- II. En el caso en que el interesado estime que el resultado obtenido por el AMVA en su estudio de 2013 (escala 1:10.000), respecto al potencial de recarga de los suelos que permitió la delimitación de las zonas de recarga para la cuenca, podría ser distinto al obtenido en dicho estudio, el interesado podrá demostrarlo mediante la realización de un estudio técnico de mayor detalle en escala, que involucre el desarrollo de las actividades que se listan a continuación (ver numeral 3.2); lo cual, se reitera, debe ser presentado y sustentado por parte de los Entes Territoriales ante la respectiva Autoridad Ambiental en un proceso de concertación, para la revisión, modificación y/o ajuste correspondiente del POT o PBOT.

3.2 ESTUDIOS TÉCNICOS DE DETALLE PARA PRECISAR LA DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA

El estudio técnico para precisar la delimitación de los polígonos correspondientes a las zonas de recarga, en función de su potencial para permitir este flujo hídrico, debe considerar los



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

siguientes aspectos: 1) Determinación del modelo hidrogeológico conceptual, 2) Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca, 3) Validación por modelación numérica de flujo y 4) Representación de los resultados obtenidos mediante la aplicación a escala del Indicador de la Función de Recarga –IFR (Universidad de Antioquia & AMVA, 2013), que permita su clasificación según el potencial asociado a la recarga del sistema acuifero.

Además de los análisis anteriormente mencionados, a partir de los cuales se logra la precisión en la delimitación de las zonas de recarga, el interesado deberá presentar cálculos de estimación de la recarga que se estaría dando en el polígono donde se proyecta realizar la intervención, de manera tal que se logre cuantificar este flujo y, con base en el resultado obtenido, se presenten alternativas de manejo que permitan la continuidad y permanencia de este flujo una vez se realice el proyecto, adecuación u obra en superficie. En el numeral correspondiente a la bibliografía (título 5 del presente documento), se dispone de un apartado especial (numeral 5.1) donde se plantean algunas referencias que bien podría servir de orientación para conocer otras metodologías aplicadas en casos de estudio que responden al objetivo de lo aquí solicitado.

Ambos planteamientos, con sus respectivos resultados y análisis, deben ser presentados ante la Autoridad Ambiental competente en un proceso de concertación, para la revisión, modificación y/o ajuste correspondiente del POT o PBOT. Las medidas a aplicar en cada caso serán las aquí dispuestas, conforme al resultado del estudio para el tipo de recarga obtenido y las clases de suelo dispuestas en el respectivo Plan de Ordenamiento Territorial del municipio en que se encuentre.

3.2.1 Desarrollo del Modelo Hidrogeológico conceptual

Por definición, los modelos hidrogeológicos conceptuales son representaciones en dos o tres dimensiones de las condiciones estáticas y dinámicas de sistemas hidrogeológicos. Esta representación incluye la geometría de los acuíferos, delimitación de unidades hidrogeológicas de acuerdo con sus posibilidades de almacenar y transmitir agua, características hidráulicas de los acuíferos, posición de los niveles piezométricos, condiciones del flujo de las aguas subterráneas y su relación con los componentes del ciclo hidrológico; características hidroquímicas, y eventualmente isotópicas, y la delimitación de zonas de recarga, tránsito y descarga. En términos generales, sintetiza las condiciones básicas del estado y dinámica de las aguas subterránea en el subsuelo y sus relaciones con la superficie.

En este sentido, un modelo hidrogeológico conceptual se obtiene a partir de la exploración hidrogeológica (ver Figura 4), la cual debe iniciar con un inventario de puntos de agua, dentro y en las inmediaciones del área de interés. Los ejercicios de correlación permiten definir la geometría del sistema hidrogeológico en cada sitio y la modelación piezométrica la respectiva red de flujo. Cualquier intervención que se efectúe en la superficie interfiere en la magnitud y sentido del flujo de recarga que ingresa a la unidad acuifera, por lo que cada tarea de



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

exploración debe derivar en una operación de análisis espacial con la que sea posible obtener una representación del modelo mediante mapas y cortes, y definir la geometría o configuración del acuífero en una determinada zona.

A continuación, se describe cada una de las actividades que comprende el desarrollo de un Modelo Hidrogeológico Conceptual. Los términos de referencia y protocolos necesarios para realizar dicho modelo, es decir, los requerimientos técnicos específicos para desarrollar estas o las acciones necesarias para obtener un modelo hidrogeológico más detallado, respecto al que se dispone actualmente para la cuenca, podrán ser definidos posteriormente por el AMVA y adoptados mediante Resolución.

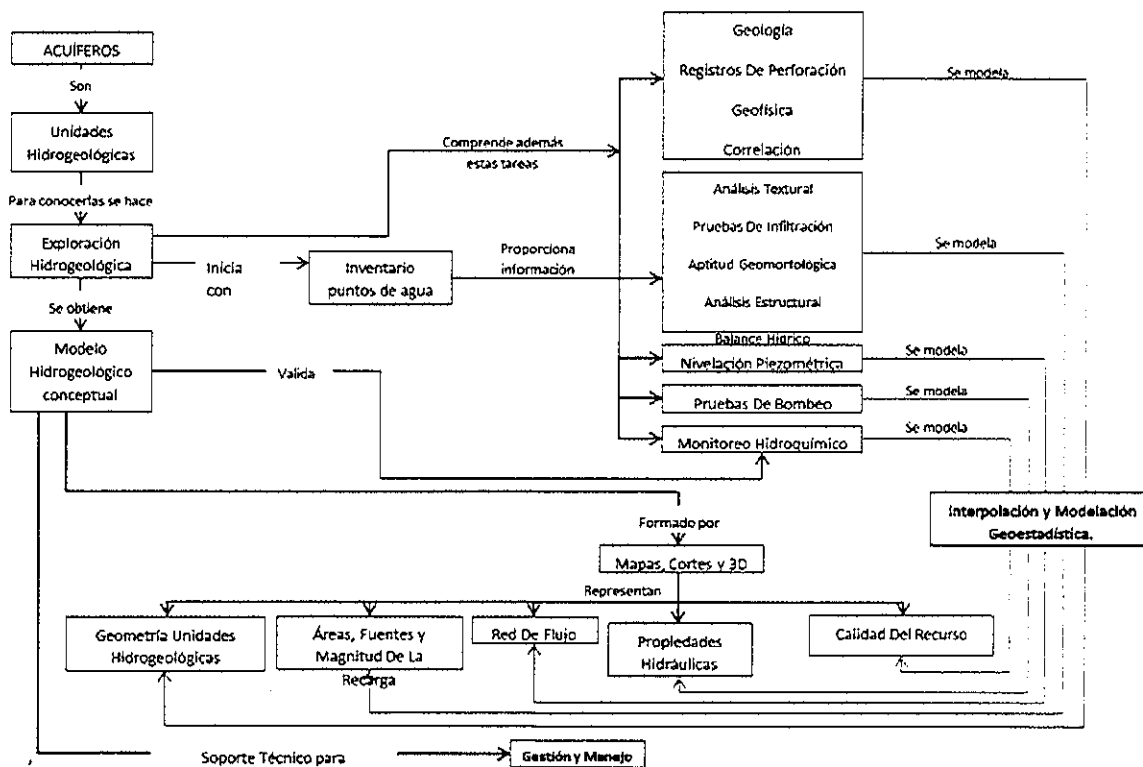


Figura 4. Esquema metodológico para la obtención de un modelo hidrogeológico conceptual. Tomado de: Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Bajo Cauca Antioqueño (Universidad de Antioquia & Corantioquia, 2014).

- a. Inventario de captaciones: La obtención del modelo hidrogeológico debe iniciar con un inventario de puntos de agua. Este inventario implicaría conocer las captaciones de agua subterránea de las que dispone el área o polígono de interés, y aquellas que se encuentren en los alrededores, dentro del radio de influencia o cono de abatimiento, que podrían verse afectadas por el desarrollo de esa área. Esto deberá ser definido, de manera previa a la realización del estudio.



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

- b. Prospección geofísica y correlación hidroestratigráfica: Esta actividad comprende la realización de, como mínimo, tres Sondeos Geofísicos, con el fin de conocer la disposición de las unidades hidrogeológicas en el polígono a intervenir, denominado sitio de interés para la licencia. Así como la realización de una o más perforaciones exploratorias con el fin de establecer correlaciones hidroestratigráficas entre las unidades presentes, que permitan conocer la distribución y configuración del medio acuífero en ese punto. La cantidad de pruebas a realizar podrá ser definida en función del área del predio; lo cual será establecido en los términos de referencia que sobrevengan a la aprobación y adopción del presente documento.
- c. Estimación de la recarga: Esto se logra mediante la aplicación de un método de balance hídrico por unidad de suelo para el sitio de interés (polígono a intervenir), que considere las variables hidroclimáticas que son representativas de las condiciones hidrológicas de la zona en que se encuentra, así como también la caracterización del tipo hidrológico del suelo mediante un análisis textural y estructural que permita definir los parámetros de capacidad de campo y punto de marchitez. Con esto se obtendrá la magnitud potencial del flujo de recarga para el área definida (categorizada en alta, media, baja y muy baja), considerando especialmente una condición hídrica limitante (sequía) y una normal o de disponibilidad hídrica suficiente. Deberá refinarse mediante la aplicación de técnicas más precisas, como las sugeridas en las referencias que se disponen para consulta en el numeral 5.1.
- d. Superficie piezométrica: El modelo hidrogeológico debe considerar un modelo (red) de flujo, el cual se obtiene a partir de nivelación piezométrica en varios puntos, tanto dentro como fuera del polígono de interés. La superficie piezométrica es fundamental para poder evaluar las condiciones de flujo hidrogeológico, es decir, las entradas, salidas y almacenamiento en el dominio de interés. Para esto se debe tener en cuenta que la perforación debe estar debida y previamente nivelada topográficamente, con el fin de que la determinación del nivel piezométrico sea confiable.
- e. Propiedades hidráulicas: La determinación de las propiedades hidráulicas del medio acuífero subyacente al predio o polígono en evaluación, se logra a partir de la realización de una prueba de bombeo en la (o las) perforación (piezómetro) construida para el análisis geofísico del predio. Con esta prueba se obtiene, entre otras variables, la conductividad y transmisividad del medio acuífero allí presente y su capacidad hidráulica.
- f. Análisis de calidad: el estudio de detalle a presentar ante la autoridad competente para la obtención del permiso o licencia, debe comprender la toma de muestras de agua subterránea para su análisis en laboratorio (certificado). Los parámetros a analizar serán aquellos que permitan determinar cuáles son las condiciones de calidad del agua, de manera previa a la intervención del sitio en caso de otorgarse la licencia, las cuales deben mantenerse una vez se efectúe la obra o actividad sobre el suelo que encierre dicho polígono.



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

3.2.2 Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca

- g. Vulnerabilidad Intrínseca: La evaluación de la vulnerabilidad del medio acuífero debe efectuarse empleando un modelo (tipo GOD) que permita conocer que tan propenso se encuentra este a sufrir efectos adversos con la intervención a realizar sobre el suelo del sitio de interés. Este análisis orientará igualmente a la autoridad competente en cuanto a la toma de decisiones respecto al licenciamiento y la aplicación de las medidas de manejo que tengan lugar de acuerdo al resultado obtenido del estudio aplicado.
- h. Análisis textural: El análisis textural de los suelos deberá realizarse por unidad de suelo y la toma de muestras (cantidad y sitios de muestreo) deberá definirse mediante una grilla espacial que sustente la representatividad de toda el área de interés para la licencia. Para la adecuada toma de las muestras de suelo que serán analizadas, debe considerarse lo que establece la Guía de Muestreo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC, disponible en: www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guiademuestreo.pdf

En cuanto a los diferentes análisis químicos, físicos y mineralógicos de las muestras que sean recolectadas, deben seguirse las metodologías descritas y utilizadas por el Laboratorio Nacional de Suelos del IGAC, compiladas en "*Métodos analíticos de laboratorio de Suelos*" (IGAC, 2006).

- i. Pruebas de infiltración: con estas se busca conocer cuál es el comportamiento de las primeras capas de suelos en relación a la capacidad para permitir el paso del agua proveniente de la precipitación hacia las capas más profundas del suelo, entendiendo que el suelo superficial suele encontrarse sujeto a procesos erosivos y de compactación que condicionan la velocidad de infiltración del agua y la producción de los flujos de recarga y escorrentía. Al respecto la guía para el adecuado desarrollo de esta actividad, la Organización Panamericana de la Salud, oficina regional de la Organización Mundial de la Salud -OMS, dispone de la guía: Especificaciones Técnicas para la Realización de Pruebas de Infiltración (UNATSABAR, 2003), que puede ser consultada en el siguiente enlace: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cosude/xii.pdf>
- j. Levantamiento topográfico: el levantamiento topográfico de detalle para el polígono a evaluar, representa un insumo fundamental para conocer las características superficiales del área en que se encuentra, como por ejemplo la pendiente y algunas características propias que influyen igualmente en el comportamiento de los flujos hídricos a evaluar.
- k. Evaluación estructural por unidad de roca: esta evaluación sería especialmente para los polígonos dispuestos sobre zonas de recarga indirecta en las que sea necesario conocer las características del medio geológico que podrían condicionar o influenciar en el proceso de la recarga o transferencia de flujo subterráneo hacia el acuífero.



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

3.2.3 Modelación Numérica del flujo subterráneo

El análisis de las condiciones del medio acuífero, evaluadas a partir del desarrollo de las actividades anteriormente descritas, se logra mediante la aplicación de un modelo numérico (tipo MODFLOW) que integre los resultados obtenidos y permita establecer adecuadamente las condiciones de flujo del agua subterránea en cada caso. Este modelo numérico deberá ser desarrollado bajo la misma escala considerada para el modelo hidrogeológico de detalle y con sus fronteras de dominio claramente definidas.

3.2.4 Aplicación a escala de la metodología de caracterización de zonas de recarga

Con la información obtenida para la construcción del modelo hidrogeológico conceptual, es posible establecer un Indicador de la Función de Recarga -IFR del suelo para el polígono de interés. El índice a aplicar será el que se detalla en el estudio de Delimitación y Protección de las Zonas de Recarga para el Centro y Sur del Valle de Aburrá (Universidad de Antioquia & AMVA, 2013); por medio del cual se obtuvo la clasificación general de los suelos de la cuenca como zonas de recarga. Así, lo que se obtiene para el predio de interés, será su clasificación interna en función de su potencial para la recarga; de manera tal que el estudio permita tomar decisiones y establecer las medidas de manejo que aplican a cada caso. Sin embargo, la modelación numérica también podría otorgar el valor de caudal correspondiente a la recarga para determinada área.

3.3 MEDIDAS DE MANEJO PARA LAS ZONAS DE RECARGA, SEGÚN LA CLASE DE SUELO Y LAS CATEGORÍAS DEFINIDAS EN LOS POT Y PBOT DEL VALLE DE ABURRÁ

Las medidas de manejo que aplicarán a cada clase de suelo, definida en los Planes de Ordenamiento Territorial, y el tipo de recarga que se obtenga del estudio técnico realizado, se describen a continuación. Estas corresponden a los criterios que deben ser tenidos en cuenta para mantener la continuidad del flujo de recarga en los suelos del Valle de Aburrá, evitando la afectación del acuífero y favoreciendo la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo; tal y como establece la normatividad ambiental nacional.

Las medidas de manejo aquí dispuestas, consideran tanto la clasificación obtenida para los suelos en función de su aptitud para la recarga (zonas de recarga de acuífero) como la clasificación del suelo establecida por el Ente Territorial (Decreto 1077 de 2015, Decreto Único del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, que compila el Ley 388 de 1997 y el Decreto 3600 de 2007); lo cual hace parte de las normas urbanísticas estructurales de los POT y PBOT, según el Artículo 15 de la Ley 388 de 1997, modificado por el Artículo 1° de la Ley 902 de 2004. Es importante destacar el deber correspondiente a cada Ente Territorial, de



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

garantizar la inclusión de las Determinantes Ambientales expedidas por parte de la Autoridad Ambiental competente, en la formulación de los respectivos Planes Parciales de su municipio.

En este sentido, las medidas de manejo contemplan las siguientes condiciones, para cada una de las cuales aplican directrices de manejo diferenciales:

- i. Zonas de recarga en suelo urbano; con sus respectivos tratamientos de Desarrollo, Renovación Urbana, Redesarrollo o Reactivación, Área de Preservación de Infraestructura – API y Consolidación.
- ii. Zonas de recarga en suelo de expansión.
- iii. Zonas de recarga en suelo rural; para sus categorías de Protección y Desarrollo restringido.
- iv. Zonas de recarga en suelo rural que se proyecten como suelos de expansión, o las categorías de desarrollo restringido del suelo rural, en los procesos de ajuste, revisión o modificación de los POT y PBOT.

De conformidad con las decisiones adoptadas en el proceso de ajuste del POMCA del Valle de Aburrá (2018), las categorías de desarrollo restringido, así como los suelos de expansión, que hayan sido incorporados en los POT y PBOT, previamente concertados con la Autoridad Ambiental, continuarán con dicha categoría. Dichos suelos también podrán definir una categoría o clasificación de menor intensidad en el uso de los recursos y/o en el uso del territorio. Se debe buscar que, en su desarrollo, se incorporen medidas de manejo que aporten al mejoramiento ambiental de dichas áreas y que estas se desarrollen acorde con la normatividad vigente.

3.3.1 Medidas de manejo para las zonas de recarga, según las clases de suelo definidas en los POT y PBOT del Valle de Aburrá, concertados al momento de adopción del PMAA

3.3.1.1 Medidas de manejo para las zonas de recarga en suelo urbano concertado

En la cuenca del Valle de Aburrá, se establecen los tratamientos urbanísticos que dispone la normatividad nacional respecto a la clase de suelo urbana, asignados en los respectivos Planes de Ordenamiento Territorial vigentes. En la parte central del valle, se presenta una tendencia hacia el tratamiento de Renovación Urbana, dado las posibilidades de desarrollo de la zona y la posibilidad de sustituir las estructuras urbanas existentes. Adicionalmente, se disponen los demás tratamientos urbanísticos, como: Nuevos Desarrollos, Redesarrollos o Reactivación (según sea el caso), Área de Preservación de Infraestructura – API y Consolidación. Sobre el eje del río, por fuera de los ancones, se establecen mayoritariamente los tratamientos urbanísticos de Consolidación y Desarrollo, y, en menor proporción, el de Renovación urbana.



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Los tratamientos urbanísticos definen un manejo diferenciado del territorio y las posibilidades específicas para los diferentes sectores del suelo urbano y de expansión, considerando las características físicas de este. Por lo anterior, la norma urbanística municipal debe tener en cuenta el modelo de ocupación metropolitana, establecido en las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial -DMOT de 2006; así como en el Plan Director BIO 2030 de 2011 y en la propuesta del Plan Estratégico Metropolitano de Ordenamiento Territorial -PEMOT. Estas son consideradas una norma obligatoriamente general, que propone la consolidación de una ciudad compacta entre ancones. Además, concreta, por una parte, fijar unas franjas de densidades habitacionales diferenciales, estableciendo la mayor densidad en las zonas planas sobre el eje del río, por ser las zonas con mejores infraestructuras y servicios; y la disminución de la densidad a medida que se incrementa la pendiente hacia la ladera del valle, con el fin de hacer una transición entre los sectores de borde urbano, los suelos de protección y el suelo rural, regidas por la Resolución No. 9328 de 2007 de Corantioquia.

Cabe considerar que, según se mencionó con anterioridad, sobre el eje del río y su llanura aluvial están ubicadas las zonas con mayores oportunidades para ser urbanizadas; en concordancia con lo dispuesto por el modelo de ocupación propuesto para el territorio; que considera que, además de las condiciones topográficas favorables y la baja presencia de amenazas naturales, es donde se presenta la situación más propicia para la movilidad metropolitana y regional, la disponibilidad en la prestación de servicios públicos, el sistema de centralidades y el desarrollo de los proyectos estratégicos. Sin embargo, al coincidir estas dinámicas con la llanura de inundación del río Aburrá, las cuales se caracterizan por presentar depósitos no consolidados, se configura una situación de especial importancia desde el punto de vista ecosistémico y de sostenibilidad del recurso hídrico, pues es allí donde se dan las condiciones que favorecen el flujo de infiltración y recarga del acuífero libre del Valle de Aburrá, como unidad hidrogeológica que almacena el agua subterránea e identificada, dentro de la formulación del PMAA, como recurso estratégico para el territorio.

De acuerdo a lo anterior, para las zonas de recarga sobre las que se encuentran establecidos los suelos urbanos de los Planes de Ordenamiento Territorial vigentes y previamente concertados, con sus respectivos tratamientos urbanísticos (conforme lo establecido en el Decreto 1077 de 2015); se dispone de las siguientes medidas de manejo (ver Tabla 1).



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Tabla 1. Medidas de manejo para las zonas de recarga en la clase de suelo urbano en los POT y PBOT concertados.

Clase de Suelo	M	Medidas de Manejo para las zonas de recarga
Suelo urbano concertado.	A	<p>Recuperar la capacidad de infiltración de los suelos impermeabilizados mediante la regeneración de espacios verdes y el reemplazo de superficies duras por permeables (ver las alternativas sugeridas en el numeral 3.4.7 y en la Política Pública de Construcción Sostenible del AMVA, 2015). Aplica para todo el suelo urbano y para todos los tratamientos urbanísticos.</p>
	B	<p>Mantener la función de recarga por medio de adecuaciones e intervenciones que permitan la continuidad del flujo de infiltración del agua hacia la zona saturada del suelo. Para lograr esto se deben considerar alternativas de drenaje sostenible, como los SUDS, y otras aplicables a áreas por desarrollar, propuestas en el numeral 3.4 del presente documento. Aplica para los tratamientos de Desarrollo y Renovación urbana en las modalidades de Redesarrollo y Reactivación o en los diferentes tratamientos asignados en los POT y PBOT, que tengan los mismos objetivos planteados en el Decreto 1077 de 2015. Además:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aplicar medidas de recuperación o regeneración de espacios verdes en aquellos sitios donde sea posible el reemplazo de superficies duras para implementar superficies que permitan la infiltración del agua hacia el subsuelo; tales como: recuperación de zonas verdes en el espacio público, adquisición de predios para la adecuación de parques, zonas verdes, ecoparques, parques recreativos, senderos ecológicos; jardines verticales y azoteas verdes; o demás alternativas disponibles (ver las alternativas sugeridas en el numeral 3.4.7 y en la Política Pública de Construcción Sostenible del AMVA, 2015).
	C	<p>La propuesta de restitución de pisos duros por blandos en el suelo urbano, deberá estar articulada con los sectores del suelo urbano que presenten un alto valor del fenómeno de islas de calor, teniendo en cuenta los datos presentados en el Plan de Cambio y Variabilidad Climática para el Valle de Aburrá (AMVA, 2019), con el fin de focalizar, especialmente en estos sectores, las acciones para la reducción de pisos duros por blandos, recuperación de zonas verdes, aumento del arbolado, incrementar la recarga del acuífero y disminuir la isla de calor.</p>
	D	<p>Los municipios deberán promover el reemplazo y adecuación de los pisos duros (impermeables) por materiales permeables en las zonas de estacionamientos, parqueaderos, antejardines, patios, zonas verdes, vías y retiros a cuerpos de agua; y demás espacios donde se estime conveniente aplicar esta medida.</p>
	E	<p>Para las áreas industriales o industriales en transición u otras actividades productivas o de servicios, se</p>



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Clase de Suelo	MM	Medida de Manejo para las zonas de recarga
		<p>requiere de la implementación de técnicas que permitan la continuidad de los procesos de infiltración del agua lluvia, mitigando los efectos consecuentes de la impermeabilización de la superficie; sin que el agua a transferir al suelo se vea afectada, alterada o contaminada por el contacto con las sustancias asociadas a dicha actividad.</p>
F		<p>No estarán permitidos los llenos antrópicos con material que pueda aportar contaminantes al agua subterránea por el lavado de lixiviados o infiltración de sustancias que alteren la calidad del agua, tales como residuos sólidos (orgánicos o no) y/o escombros; principalmente en zonas donde la vulnerabilidad intrínseca del sistema acuífero adquiere las categorías de extrema o alta (ver numeral 3.3.4).</p>
G		<p>Las actividades consideradas de alto impacto para la calidad del agua subterránea, como PTAR, rellenos sanitarios y otras actividades, tales como: Industrias, Estaciones de Servicio, cementerios (Plan de Manejo Ambiental del Cementerio (PMAC) de conformidad Resolución No. 5194 de 2010 del Ministerio de la Protección Social) y escombreras (Resolución No. 0472 de 2017 del Ministerio del Medio Ambiente); deberán cumplir con los criterios técnicos necesarios que el Ente Territorial establezca al momento de otorgar el certificado de usos del suelo, para impedir la afectación del acuífero por contaminación cruzada proveniente de infiltraciones o derrames de agua residual, lodos, lixiviados o residuos potencialmente contaminantes; y considerando, para su localización, la categoría de vulnerabilidad intrínseca del acuífero (ver numeral 3.3.4).</p>
H		<p>Optimizar o reemplazar las redes de alcantarillado para evitar la contaminación cruzada por fugas del sistema. Esta medida estaría vinculada a la ejecución del PSMV correspondiente y a los Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado.</p>



El ambiente es de todos

Mirambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

3.3.1.2 Medidas de manejo para las zonas de recarga en suelos de expansión urbana de los POT y PBOT concertados

Los suelos que hayan sido clasificados como de expansión en los POT y PBOT vigentes, y previamente concertados con la Autoridad Ambiental competente, deben considerar las siguientes medidas de manejo para las zonas de recarga presentes en ellos (ver Tabla 2).

Tabla 2. Medidas de manejo para las zonas de recarga en la clase de suelo de expansión urbana en los POT y PBOT concertados.

Clase de Suelo	MM	Medida de Manejo para las zonas de recarga
Suelo de expansión urbana <u>concertado</u>	A	<p>Mantener la función de recarga por medio de adecuaciones e intervenciones que permitan la continuidad del flujo de infiltración del agua hacia la zona saturada del suelo. Para lograr esto se deben considerar alternativas de drenaje sostenible, como los SUDS, y otras aplicables a proyectos constructivos y obras nuevas, propuestas en el numeral 3.4.7 del presente documento. Además:</p> <p>*Considerar formas de intervención que garanticen el mínimo impacto sobre el acuífero y en las cuales se presente la conformación de zonas comunes con un predominio de suelo permeable, de manera tal que se permita la continuidad en las transferencia del flujo de infiltración y recarga hacia el acuífero, en la cantidad que técnicamente se demuestre con el estudio de cuantificación de la recarga planteado en el numeral 3.2 y que se estime posible retornar al acuífero mediante la implementación de las técnicas disponibles de recarga artificial (ver algunas en el numeral 3.4.7); evitando afectaciones sobre su calidad y pérdidas del recurso.</p> <p>*Aplicar medidas de recuperación o regeneración de espacios verdes en aquellos sitios donde sea posible el reemplazo de superficies duras, para implementar superficies que permitan la infiltración del agua hacia el subsuelo; tales como los corredores verdes.</p> <p>*Recuperación de zonas de espacio público o adquisición de predios para la adecuación de parques y senderos ecológicos; jardines verticales y azoteas verdes o demás alternativas disponibles (ver las alternativas sugeridas en el numeral 3.4.7 y en la Política Pública de Construcción Sostenible del AMVA, 2015).</p>
	B	<p>En las adecuaciones y nuevos desarrollos o intervenciones de espacios públicos municipales, implementar alternativas de drenaje sostenible, como los SUDS y otras aplicables a proyectos de este tipo, propuestas en el numeral 3.4.7 del presente documento; que favorezcan la infiltración de las aguas lluvias y lo establecido en la Política Pública de Construcción Sostenible, adoptada por el AMVA en 2015 (www.metropol.gov.co/construccionsostenible).</p>



El ambiente es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Clase de Suelo	MM	Medida de Manejo para las zonas de recarga
	C	No estarán permitidos los llenos antrópicos con material que pueda aportar contaminantes al agua subterránea por el lavado de lixiviados o infiltración de sustancias que alteren la calidad del agua, tales como residuos sólidos (orgánicos o no) y/o escombros; principalmente en zonas donde la vulnerabilidad intrínseca del sistema acuifero adquiera las categorías de extrema o alta (ver numeral 3.3.4).
	D	Las actividades consideradas de alto impacto para la calidad del agua subterránea, como PTAR, rellenos sanitarios y otras actividades, tales como: Industrias, Estaciones de Servicio, cementerios (Plan de Manejo Ambiental del Cementerio (PMAC) de conformidad Resolución No. 5194 de 2010 del Ministerio de la Protección Social) y escombreras (Resolución No. 0472 de 2017 del Ministerio del Medio Ambiente); deberán cumplir con los criterios técnicos necesarios que el Ente Territorial establezca al momento de otorgar el certificado de usos del suelo, para impedir la afectación del acuifero por contaminación cruzada proveniente de infiltraciones o derrames de agua residual, lodos, lixiviados o residuos potencialmente contaminantes, y considerando, para su localización, la categoría de vulnerabilidad intrínseca del acuifero (ver numeral 3.3.4).
	E	Optimizar o reemplazar las redes de alcantarillado para evitar la contaminación cruzada por fugas del sistema. Esta medida estaría vinculada a la ejecución del PSMV correspondiente y a los Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado.

3.3.1.3 Medidas de manejo para las zonas de recarga en suelo rural, concertado

El suelo rural es considerado como aquella clase de suelo dentro del ordenamiento territorial, destinado al desarrollo de actividades agropecuarias, forestales y mineras. Respecto a sus categorías, el Decreto 1077 de 2015, que compiló el Decreto 3600 de 2007, establece que:

- Categoría de Protección: Conservación y protección del medio ambiente y los recursos naturales; Producción agrícola, ganadera y explotación de recursos naturales (clases agrológicas I, II y III); Patrimonio cultural; Sistemas de Servicios Públicos domiciliarios; Amenazas y riesgos.
- Desarrollo restringido: Suburbano (mezcla de actividades urbanas y rurales como vivienda, comercio, servicios e industria); áreas de vivienda campestre (parcelaciones); Centros poblados rurales; Equipamientos (salud, educación, bienestar social, cultural y deporte).



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Es importante tener en cuenta, como elemento relevante en el ordenamiento territorial, a las zonas de recarga; ya que el mantenimiento de sus funciones contribuye a la conservación del sistema acuífero del Valle de Aburrá y a la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo; y con ello, a la protección de otros ecosistemas dependientes del mismo. En este sentido, es necesario que los Entes Territoriales consideren, tanto en la categoría de Desarrollo restringido de su POT o PBOT vigentes, la categoría de suelo de protección que adquieren las zonas de recarga de acuíferos situadas en suelo rural (Artículo 2.2.2.2.1.3 del Decreto 1077 de 2015).

En este sentido, para el caso de las zonas de recarga localizadas en suelo rural y sus respectivas categorías, que hagan parte de los POT o PBOT ya concertados (vigentes), se establecen las siguientes medidas de manejo (Tabla 3).

Tabla 3. Medidas de manejo para las zonas de recarga en la clase de suelo rural en los POT y PBOT concertados.

Clase de Suelo	No.	Medida de Manejo para las zonas de recarga
Suelo rural de conservación y protección ambiental, concertado.	A	No está permitida la ejecución de acciones en la zona de recarga del acuífero, que perjudiquen la continuidad natural del flujo y afecte sus condiciones biológicas, ecosistémicas, hidrológicas e hidrogeológicas.
	B	Mantener, favorecer y/o potenciar la función de recarga, por medio de acciones de conservación, restauración y/o bioingeniería que permitan la continuidad natural del flujo y estén enfocadas a la protección y conservación de las condiciones biológicas, ecosistémicas, hidrológicas e hidrogeológicas de la zona de recarga.
	C	En el caso en que se encuentre algún tipo de intervención o afectación en esta categoría de suelo, para el momento de adopción del PMAA, se deben realizar acciones enfocadas a rehabilitar la función de infiltración y recarga de estos y garantizar que cumpla con la categoría de protección concertada en el POT y PBOT.
Suelo rural que no corresponda a Conservación y protección ambiental, concertado.	A	Mantener, favorecer y/o potenciar la función de recarga, por medio de acciones de conservación, restauración y/o bioingeniería que permitan la continuidad natural del flujo y estén enfocadas a la protección y conservación de las condiciones biológicas, ecosistémicas, hidrológicas e hidrogeológicas de la zona de recarga.
	B	No estarán permitidos los llenos antrópicos con material que pueda aportar contaminantes al agua subterránea por el lavado de lixiviados o infiltración de sustancias que alteren la calidad del agua, tales como residuos sólidos (orgánicos o no) y/o escombros; principalmente en zonas donde la vulnerabilidad intrínseca del sistema acuífero adquiera las categorías de extrema o alta (ver numeral 3.3.4).



El ambiente es de todos

Mirambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Clase de Suelo	No.	Medida de Manejo para las zonas de recarga
	C	<p>Recuperar la capacidad de infiltración de los suelos impermeabilizados mediante las alternativas sugeridas en el numeral 3.4.7 y en la Política Pública de Construcción Sostenible del AMVA, 2015. Para lo cual se podrá, entre otras, realizar las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> *Aplicar medidas de recuperación o regeneración de espacios verdes en aquellos sitios donde sea posible el reemplazo de superficies duras, para implementar superficies que permitan la infiltración del agua hacia el subsuelo; tales como los corredores verdes. *Recuperación de zonas de espacio público o adquisición de predios para la adecuación de parques y senderos ecológicos; jardines verticales y azoteas verdes, o demás alternativas disponibles (ver numeral 3.4.7).
	D	<p>Las actividades consideradas de alto impacto para la calidad del agua subterránea, como PTAR, rellenos sanitarios y otras actividades, tales como: Industrias, Estaciones de Servicio, cementerios (Plan de Manejo Ambiental del Cementerio (PMAC) de conformidad Resolución No. 5194 de 2010 del Ministerio de la Protección Social) y escombreras (Resolución No. 0472 de 2017 del Ministerio del Medio Ambiente); deberán cumplir con los criterios técnicos necesarios que el Ente Territorial establezca al momento de otorgar el certificado de usos del suelo, para impedir la afectación del acuifero por contaminación cruzada proveniente de infiltraciones o derrames de agua residual, lodos, lixiviados o residuos potencialmente contaminantes, y considerando, para su localización, la categoría de vulnerabilidad intrínseca del acuifero (ver numeral 3.3.4).</p>

*Las zonas de recarga serán objeto de protección especial o áreas de especial importancia ecológica. Art. 1 de la Ley 99 de 1993. Art. 10 y 35 de la Ley 388 de 1997. Art. 29 del Decreto 2372 de 2010. Compilado en el Decreto 1076 de 2015.



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

3.3.2 Medidas de manejo para las zonas de recarga, según las clases de suelo definidas en los POT y PBOT del Valle de Aburrá, sujetos al proceso de revisión, ajuste y/o concertación

3.3.2.1 Medidas de manejo para las zonas de recarga en suelo urbano y sus respectivos tratamientos, de los POT y PBOT a concertar

Para el caso de los nuevos suelos a clasificar por parte del Ente Territorial, como urbano en los procesos de revisión, ajuste y/o modificación de los POT y PBOT, las medidas a aplicar serán las que se indican en la siguiente Tabla 4, condicionado al resultado obtenido del estudio técnico que se realice para precisar el potencial de recarga y la cuantificación de su caudal de recarga correspondiente, en estos. Asimismo, el Ente Territorial debe garantizar la inclusión de las Determinantes Ambientales expedidas por parte de la Autoridad Ambiental competente, en la formulación de los respectivos Planes Parciales.

Además de lo anterior, y una vez se ejecute del proyecto 2 del PMAA: "*Diseño de estrategias que promuevan el uso de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible –SUDS– en los desarrollos urbanísticos e infraestructura en el Valle de Aburrá*", que tiene como fin establecer estrategias concretas para la protección y el uso del agua subterránea impactada por efectos urbanísticos, sus resultados deberán ser tenidos en cuenta dentro de los procesos de revisión, ajuste y modificación de los POT o PBOT, para su respectiva incorporación.

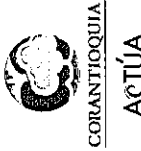
Igualmente, los POT o PBOT deberán incluir en el acuerdo (vía acto administrativo), la propuesta de adopción de normas específicas para el desarrollo e incorporación de las medidas de manejo del acuífero que sean adoptadas por las Autoridades Ambientales mediante el Plan de Manejo Ambiental del Acuífero; al igual que los resultados de los estudios detallados, realizados por la Autoridad Ambiental, el Ente Territorial o los interesados. En todo caso, estas reglamentaciones se regirán por las normas vigentes en la materia y, en caso de que las normas específicas modifiquen y/o ajusten normas urbanísticas, deberá seguir el procedimiento establecido en la Ley 388 de 1997 y sus decretos reglamentarios.



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Tabla 4. Medidas de manejo para las zonas de recarga presentes en los suelos urbanos propuestos en los procesos de ajuste y concertación de los POT y PBOT con la Autoridad Ambiental competente.

Clase de Suelo	MIM	Zonas de recarga Directa e Indirecta Alfa	Zonas de recarga Indirecta Media y Baja
<p>Nuevas propuestas de Suelo urbano</p>	A	<p>Este suelo será considerado de protección (Decreto 1077 de 2015). No está permitida la intervención ni afectación de las zonas de recarga del acuífero. Mantener, favorecer y/o potenciar la función de recarga, por medio de acciones de conservación, restauración y/o bioingeniería que permitan la continuidad natural del flujo y estén enfocadas a la protección y conservación de las condiciones biológicas, ecosistémicas, hidrológicas e hidrogeológicas de la zona de recarga.</p>	<p>Se podrán proponer nuevas propuestas de suelo urbano, condicionada a la realización de estudios detallados (ver numeral 3.2). Además, se deben considerar las medidas dispuestas para el suelo urbano concertado.</p> <p>La estrategia para la protección de las zonas de recarga, propuesta mediante la aplicación de estas medidas de manejo, tiene como fin lograr la sostenibilidad del flujo de infiltración hacia el subsuelo de las aguas provenientes de la precipitación; aún y cuando se realicen intervenciones en superficie que implique la impermeabilización parcial de éste.</p>
	B	<p>Mantener, favorecer y/o potenciar la función de recarga, por medio de acciones de conservación, restauración y/o bioingeniería que permitan la continuidad natural del flujo y estén enfocadas a la protección y conservación de las condiciones biológicas, ecosistémicas, hidrológicas e hidrogeológicas de la zona de recarga. Para lograr esto se podrá, entre otras, considerar las alternativas de SUDS y otras aplicables a proyectos constructivos y obras nuevas, propuestas en el numeral 3.4 del presente documento.</p>	<p>Mantener, favorecer y/o potenciar la función de recarga, por medio de acciones de conservación, restauración y/o bioingeniería que permitan la continuidad natural del flujo y estén enfocadas a la protección y conservación de las condiciones biológicas, ecosistémicas, hidrológicas e hidrogeológicas de la zona de recarga. Para lograr esto se podrá, entre otras, considerar las alternativas de SUDS y otras aplicables a proyectos constructivos y obras nuevas, propuestas en el numeral 3.4 del presente documento.</p>
	C	<p>Se debe considerar la conformación de zonas comunes con un predominio de suelo permeable, de manera tal que se logre la transferencia del flujo de infiltración y recarga, en la cantidad que técnicamente se demuestre con el estudio de cuantificación de la recarga planteado en el numeral 3.2 y que se estime posible retornar al acuífero mediante la implementación de las técnicas disponibles de recarga artificial (ver algunas en el numeral 3.4.7); evitando afectaciones sobre su calidad y pérdidas del recurso.</p>	<p>Se debe considerar la conformación de zonas comunes con un predominio de suelo permeable, de manera tal que se logre la transferencia del flujo de infiltración y recarga, en la cantidad que técnicamente se demuestre con el estudio de cuantificación de la recarga planteado en el numeral 3.2 y que se estime posible retornar al acuífero mediante la implementación de las técnicas disponibles de recarga artificial (ver algunas en el numeral 3.4.7); evitando afectaciones sobre su calidad y pérdidas del recurso.</p>



El ambiente es de todos

Mirambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Clase de Suelo	I MM	Zonas de recarga Directa e Indirecta Alta	Zonas de recarga Indirecta Media y Baja
D			<p>Los municipios deberán incluir normas urbanísticas tendientes al aumento de cesiones públicas obligatorias para parques y zonas verdes y menores Indices de ocupación, en compensación de mayores aprovechamientos y alturas, respetando en todo caso, las normas vigentes en la materia, la capacidad de soporte del territorio y las densidades habitacionales metropolitanas. Aplica para tratamiento de renovación, en cualquiera de sus modalidades, desarrollo y consolidación.</p>
E			<p>Los municipios deberán proponer normas urbanísticas generales, relacionadas con el aprovechamiento del suelo enfocado a la disminución de los indices de ocupación y aumento de las áreas verdes. Aplica para todos los tratamientos en general.</p> <p>Todo desarrollo deberá tender hacia una ocupación mínima de los predios con las edificaciones y/o construcciones a proponer con el fin de garantizar un alto porcentaje en suelo permeable.</p>
F			<p>Los municipios deberán proponer en sus POT o PBOT, normas urbanísticas que faciliten la integración inmobiliaria para la conformación de nuevos espacios públicos y zonas verdes que permitan la baja ocupación del suelo y la permeabilidad del mismo.</p>
G			<p>Los municipios deberán proponer en sus POT o PBOT, normas específicas de construcción; relacionadas con el establecimiento de medidas para evitar la impermeabilización de suelos en antejardines, patios y zonas verdes asociadas a vías retiros de quebrada.</p>
H			<p>Los municipios deberán promover la utilización de materiales de construcción permeables en las superficies duras de los espacios libres, parques, plazas y plazoletas, andenes, vías internas de bajo tránsito, entre otros; así como el uso de materiales permeables en el desarrollo de los procesos constructivos.</p>



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Clave de Suelo	MM	Zonas de recarga Directa e Indirecta Alta	Zonas de recarga Indirecta Media y Baja
	I		<p>Los municipios deberán reglamentar en las normas urbanísticas de los POT o PBOT, medidas para racionalizar, disminuir y prohibir en algunos casos, las excavaciones para todo tipo de construcciones subterráneas, especialmente los parqueaderos subterráneos en los proyectos de vivienda y los demás usos, con el fin de evitar los abatimientos hídricos que pueden causar colapsos en construcciones vecinas y la pérdida de aguas subterráneas. Aplica tanto para tratamientos de Desarrollo, Renovación, Redesarrollos y Reactivación o los tratamientos asignados en los POT o PBOT que estén orientados al cumplimiento de los objetivos de la renovación, como también aplica a la franja paralela al río Medellín Aburrá (escenario geográfico El Río, del Plan Director BIO 2030) y a las franjas de las quebradas transversales que cada municipio determinó como prioritarias en sus Planes de Ordenamiento Territorial.</p>
	J		<p>Los municipios deberán proponer en sus POT o PBOT, normas específicas que promuevan para los estacionamientos (parqueaderos) ya construidos, el reemplazo y cambio de pisos duros por materiales permeables en estas zonas. Así como normas urbanísticas que eviten la construcción en superficie de estacionamientos (parqueaderos) de conjuntos residenciales, centros comerciales y servicios, universidades y los distintos usos que requieran un gran volumen de celdas de parqueo, ocupando e impermeabilizando el suelo.</p>
	K		<p>La propuesta de restitución de pisos duros por blandos en el suelo urbano, deberá estar articuladas con los sectores del suelo urbano que presenten un alto valor del fenómeno de islas de calor, teniendo en cuenta los datos presentados en el Plan de Cambio y Variabilidad Climática para el Valle de Aburrá, con el fin de focalizar, especialmente en estos sectores, las acciones para la reducción de pisos duros por blandos,</p>



El ambiente es de todos

Mirambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Clase de Suelo	MM	Zonas de recarga Directa e Indirecta Alta	Zonas de recarga Indirecta Media y Baja
			<p>recuperación de zonas verdes, aumento del arbolado, incrementar la recarga del acuífero y disminuir la isla de calor.</p>
	L		<p>Para la incorporación de suelo rural, suburbano y expansión urbana al perímetro urbano (conforme al Artículo 91 de la Ley 1753 de 2015, que modificó el Artículo 47 de la Ley 1537 de 2012, o la normativa que la adicione, derogue o modifique), el Ente Territorial deberá cumplir todas las medidas anteriormente establecidas. Los Concejos municipales, en los Acuerdos que adopten dichas incorporaciones, deberán revisar las medidas aquí planteadas, previo a su incorporación. Esto debido al cambio en la clasificación del suelo y/o cambio en las categorías del suelo que implican una mayor intensidad y aprovechamiento del uso del suelo.</p>
<p>Para los proyectos de VIS y VIP (en cualquier tipo de tratamiento urbanístico), aplican las medidas anteriormente mencionadas; especialmente en tratamientos de desarrollo en suelos de expansión, urbano y renovación.</p>			
<p>Para los proyectos de VIS y VIP en tratamiento de Mejoramiento Integral, se aplicaran medidas diferenciales que se deberán especificar en los POT o PBOT, con el fin de procurar que los proyectos mantengan la función de recarga del acuífero, pero que a la vez sean viables técnica y económicamente. En todo caso deberán:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar materiales de construcción permeables en las superficies duras de los espacios libres, parques, plazas y plazoletas; andenes, vías internas de bajo tránsito, entre otros. Así como el uso de materiales permeables en el desarrollo de los procesos constructivos. • Normas específicas de construcción, relacionadas con el establecimiento de medidas para evitar la impermeabilización de suelos en antejardines, patios y zonas verdes asociadas a vías y retiros de quebrada. • Todo desarrollo deberá tender hacia una ocupación mínima de los predios con las edificaciones y/o construcciones a proponer, con el fin de garantizar un alto porcentaje en suelo permeable. 			



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

3.3.2.2 Medidas de manejo para las zonas de recarga en suelo rural y sus respectivos tratamientos, de los POT y PBOT a concertar.

El suelo rural es considerado como aquella clase de suelo dentro del ordenamiento territorial, destinado al desarrollo de actividades agropecuarias, forestales y mineras. Respecto a sus categorías, el Decreto 1077 de 2015, que compiló el Decreto 3600 de 2007, establece que:

- Categoría de Protección: Conservación y protección del medio ambiente y los recursos naturales; Producción agrícola, ganadera y explotación de recursos naturales (clases agrológicas I, II y III); Patrimonio cultural; Sistemas de Servicios Públicos domiciliarios; Amenazas y riesgos.
- Desarrollo restringido: Suburbano (mezcla de actividades urbanas y rurales como vivienda, comercio, servicios e industria); áreas de vivienda campestre (parcelaciones); Centros poblados rurales; Equipamientos (salud, educación, bienestar social, cultural y deporte).

Pese a esto, la normatividad nacional indica que las zonas de recarga deben ser clasificadas como parte de la categoría de suelo de protección del suelo rural en los POT o PBOT (Art. 2.2.2.2.1.3 del Decreto 1077 de 2015 que compiló el Decreto 3600 de 2007); específicamente dentro de la categoría de áreas de Conservación y protección ambiental, ya que forman parte de la Estructura Ecológica Principal –EEP de una cuenca (en los términos del suelo de protección definido en el artículo 35 de la Ley 388 de 1997). Sin embargo, y teniendo en consideración que actualmente ya en esta clase se disponen actualmente actividades y usos del suelo conformes a la vocación del suelo rural y a lo permitido por la norma nacional de ordenamiento territorial; en la Tabla 5 se presentan las medidas de manejo que los respectivos Entes Territoriales deberán tener en cuenta en sus procesos de revisión, modificación y/o ajuste de su respectivo POT o PBOT para concertación con la Autoridad Ambiental competente, con el fin de precisar la clasificación y categorías del suelo, entre otras normas.

De manera especial, para la clase de suelo rural, se establecen las medidas de manejo para las zonas de recarga presentes dentro de las áreas destinadas al desarrollo de usos y actividades distintas a la Conservación y Protección ambiental; así como la producción agropecuaria, la explotación de recursos naturales, los asociados a la prestación de servicios públicos domiciliarios, entre otras; y especialmente la permitidas dentro de la categoría de Desarrollo restringido. Estas pueden observarse en la



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Tabla 6.



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Tabla 5. Medidas de manejo para las zonas de recarga presentes en la clase de suelo rural, en la categoría de Conservación y Protección ambiental, a considerar en los procesos de ajuste y/o concertación de los POT o PBOT.

Clase de Suelo	MM	Medidas de Manejo para las zonas de recarga
<p>Nuevas propuestas de Suelo rural como Conservación y Protección ambiental</p>	A	<p>No está permitida la ejecución de acciones en la zona de recarga del acuífero, que perjudiquen la continuidad natural del flujo y afecte sus condiciones biológicas, ecosistémicas, hidrogeológicas e hidrogeológicas.</p>
	B	<p>Mantener, favorecer y/o potenciar la función de recarga, por medio de acciones de conservación, restauración y/o bioingeniería que permitan la continuidad natural del flujo y estén enfocadas a la protección y conservación de las condiciones biológicas, ecosistémicas, hidrogeológicas e hidrogeológicas de la zona de recarga.</p>
	C	<p>En el caso en que se encuentre algún tipo de intervención o afectación en esta categoría de suelo, para el momento de la concertación, se deben realizar acciones enfocadas a rehabilitar la función de infiltración y recarga de estos y garantizar que cumpla con la categoría de protección concertada en el POT o PBOT.</p>



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Tabla 6. Medidas de manejo para las zonas de recarga presentes en la clase de suelo rural a concertar, para la categoría de Desarrollo restringido de los respectivos POT y PBOT.

Clase de Suelo	MM	Zonas de recarga Directa e Indirecta/Alta	Zonas de recarga Indirecta/Mediana/Baja
<p>Nuevas propuestas de suelo rural que no corresponda a Conservación y protección ambiental (otras categorías de protección y categoría de Desarrollo restringido).</p>	A	<p>Este suelo será considerado de Conservación y protección ambiental (Decreto 1077 de 2015). No está permitida la intervención ni afectación de las zonas de recarga del acuífero. Mantener, favorecer y/o potenciar la función de recarga, por medio de acciones de conservación, restauración y/o bioingeniería que permitan enfocadas a la protección y conservación de las condiciones biológicas, ecosistémicas, hidroclimáticas e hidrogeológicas de la zona de recarga.</p>	<p>Mantener, favorecer y/o potenciar la función de recarga, por medio de acciones de conservación, restauración y/o bioingeniería que permitan la continuidad natural del flujo y estén enfocadas a la protección y conservación de las condiciones biológicas, ecosistémicas, hidroclimáticas e hidrogeológicas de la zona de recarga.</p>
	B		<p>No estarán permitidos los llenos antrópicos con material que pueda aportar contaminantes al agua subterránea por el lavado de lixiviados o infiltración de sustancias que alteren la calidad del agua, tales como residuos sólidos (orgánicos o no) y/o escombros; principalmente en zonas donde la vulnerabilidad intrínseca del sistema acuífero adquiera las categorías de extrema o alta (ver numeral 3.3.4).</p>
	C		<p>Recuperar la capacidad de infiltración de los suelos impermeabilizados mediante las alternativas sugeridas en el numeral 3.4 y en la Política Pública de Construcción Sostenible del AMVA, 2015. Para lo cual se podrá, entre otras, realizar las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> *Aplicar medidas de recuperación o regeneración de espacios verdes en aquellos sitios donde sea posible el reemplazo de superficies duras, para implementar superficies que permitan la infiltración del agua hacia el subsuelo; tales como los corredores verdes. *Recuperación de zonas de espacio público o adquisición



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Clase de Suelo	MM	Zonas de recarga Directa e Indirecta Alta	Zonas de recarga Indirecta Media y Baja
	D		<p>de predios para la adecuación de parques y senderos ecológicos; jardines verticales y azoteas verdes, o demás alternativas disponibles (ver numeral 3.4).</p> <p>Las actividades consideradas de alto impacto para la calidad del agua subterránea, como PTAR, rellenos sanitarios y otras actividades, tales como: Industrias, Estaciones de Servicio, cementerios (Plan de Manejo Ambiental del Cementerio (PMAC) de conformidad Resolución No. 5194 de 2010 del Ministerio de la Protección Social) y escombreras (Resolución No. 0472 de 2017 del Ministerio del Medio Ambiente); deberán cumplir con los criterios técnicos necesarios que el Ente Territorial establezca al momento de otorgar el certificado de usos del suelo, para impedir la afectación del acuífero por contaminación cruzada proveniente de infiltraciones o derrames de agua residual, lodos, lixiviados o residuos potencialmente contaminantes, y considerando, para su localización, la categoría de vulnerabilidad intrínseca del acuífero (ver numeral 3.3.4).</p>



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

3.3.2.3 Medidas de manejo para las zonas de recarga presentes en suelo rural que pretendan ser propuestos como futuros suelos de expansión en los procesos de revisión y/o ajuste de los POT o PBOT a concertar con la Autoridad Ambiental.

En el caso en que el Ente Territorial, como parte del proceso de revisión y/o ajuste de su respectivo POT o PBOT, estime conveniente proponer nuevos suelos para la expansión urbana de su municipio y estos hagan parte de la clase de suelo rural en su POT o PBOT vigente, deberá tener en cuenta las medidas establecidas en la Tabla 7, considerando que las zonas de recarga en el suelo rural cuentan con una condición especial según la normatividad nacional, la cual indica que estas deben ser clasificadas como parte de la categoría de suelo de protección del suelo rural en los POT y PBOT (Art. 2.2.2.2.1.3 del Decreto 1077 de 2015 que compiló el Decreto 3600 de 2007); específicamente dentro de la categoría de áreas de Conservación y protección ambiental, ya que forman parte de la Estructura Ecológica Principal –EEP de una cuenca (en los términos del suelo de protección definido en el Artículo 35 de la Ley 388 de 1997, compilado en el Decreto 1077 de 2015).

En este sentido, las medidas aquí dispuestas para este caso, responden a la necesidad de proteger las zonas de recarga evitando intervenciones que impliquen su impermeabilización, cuando se trata de zonas de recarga directa o indirecta alta, y la pérdida de su función de recarga del sistema acuifero subyacente, en todos los casos. Esto con el fin de favorecer la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo.

Tabla 7. Medidas de manejo para las zonas de recarga presentes en la clase de suelo rural de los POT o PBOT vigentes, que el Ente Territorial pretenda proponer como futuros suelos de expansión urbana dentro de los procesos de revisión y/o modificación de su POT o PBOT, a concertar.

Clase de Suelo	MM	Zonas de recarga Directa e Indirecta Alta	Zonas de recarga Indirecta Media y Baja
Nuevas propuestas de suelo de expansión en suelo rural.	A	Este suelo será considerado de protección (Decreto 1077 de 2015). No está permitida la intervención ni afectación de las zonas de recarga del acuífero. Mantener, favorecer y/o potenciar la función de recarga, por medio de acciones de conservación, restauración y/o bioingeniería que permitan la continuidad natural del flujo y estén enfocadas a la protección y conservación de las condiciones biológicas, ecosistémicas, hidrológicas e	Mantener, favorecer y/o potenciar la función de recarga, por medio de acciones de conservación, restauración y/o bioingeniería que permitan la continuidad natural del flujo y estén enfocadas a la protección y conservación de las condiciones biológicas, ecosistémicas, hidrológicas e hidrogeológicas de la zona de recarga. Para lograr esto se podrá, entre otras, considerar las alternativas de SUDS y otras aplicables a proyectos constructivos y obras nuevas, propuestas en el numeral 3.4 del presente



El ambiente es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Clase de Suelo	MM	Zonas de recarga Directa e Indirecta Alta	Zonas de recarga Indirecta Media y Baja
		hidrogeológicas de la zona de recarga.	<p>documento. Además:</p> <p>*Los nuevos proyectos urbanísticos deben considerar la conformación de zonas comunes con un predominio de suelo permeable, de manera tal que se logre la transferencia del flujo de infiltración y recarga, en la cantidad que técnicamente se demuestre con el estudio de cuantificación de la recarga planteado en el numeral 3.2 y que se estime posible retornar al acuífero mediante la implementación de las técnicas disponibles de recarga artificial (ver algunas en el numeral 3.4.7); evitando afectaciones sobre su calidad y pérdidas del recurso.</p>
	B		<p>En las adecuaciones y nuevos desarrollos o intervenciones de espacios públicos municipales, utilizar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible –SUDS, como las propuestas en el numeral 3.4 del presente documento; que favorezcan la infiltración de las aguas lluvias y considerar las alternativas propuestas en la Política Pública de Construcción Sostenible adoptada por el AMVA en 2015 (www.metropol.gov.co/construccionsostenible).</p>
	C		<p>No estarán permitidos los llenos antrópicos con material que pueda aportar contaminantes al agua subterránea por el lavado de lixiviados o infiltración de sustancias que alteren la calidad del agua, tales como residuos sólidos (orgánicos o no) y/o escombros; principalmente en zonas donde la vulnerabilidad intrínseca del sistema acuífero adquiera las categorías de extrema o alta (ver numeral 3.3.4).</p>



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

3.3.3 Consideraciones normativas generales de obligatorio cumplimiento, relacionadas con el manejo de las zonas de recarga del acuífero

A continuación se presentan aquellas consideraciones de tipo normativo, de obligatorio cumplimiento, que deben ser aplicados indistintamente de la clase de suelo y la zona de recarga que tenga lugar en el territorio. Estas guardan relación transversal y directa con el tema tratado en este documento y con el objetivo fundamental de las medidas planteadas, pues promueven el adecuado manejo de los recursos naturales del Valle de Aburrá e influyen en la sostenibilidad del recurso hídrico subterráneo.

- Respetar los suelos de protección ya establecidos en los POT o PBOT; y las Rondas Hídricas que por norma aplican (Decreto 2811 de 1974, Ley 99 de 1993, Resolución 196 de 2006, Decreto 2245 de 2017).
- Efectuar los aprovechamientos forestales (otorgados por permiso) conforme a lo dispuesto en el Decreto 1791 de 1996 y en la Resolución Metropolitana 3677 de 2018 (jurisdicción AMVA), o la normativa que la modifique, ajuste o sustituya.
- Respetar la cobertura vegetal que sea objeto de protección y las que establece la Resolución Metropolitana No. 0915 de 2017 (jurisdicción AMVA), o la normativa que la modifique, ajuste o sustituya.
- Considerar lo dispuesto en el Decreto 1090 de 2018 y la Resolución 1257 de 2018, respecto al otorgamiento de concesiones por parte de la Autoridad Ambiental y la respectiva implementación del Plan de Uso Eficiente y Ahorro del Agua -PUEAA; según los términos de referencia que apliquen para cada caso, y en función de las directrices de la Autoridad Ambiental competente.
- Considerar lo referente a los permisos de Ocupaciones de cauce y demás permisos ambientales que impliquen aprovechamientos e intervención de recursos naturales, así como lo referido en el artículo 111 de la Ley 99 de 1993 (Artículo 2.2.9.8.1.4. del Decreto 1076 de 2015), que hace referencia a la obligación de los Entes Territoriales a destinar el 1% de su presupuesto para la compra de predios que correspondan a zonas de nacimiento de fuentes abastecedoras.
- No se permitirán los vertimientos de aguas contaminadas al suelo que afecten la calidad del agua subterránea (Decreto 1076 de 2015 y Art. 6 del Decreto 050 de 2018). Además, tener en cuenta que los vertimientos (tanto a cuerpos de agua como al suelo) están sujetos a la realización de un trámite ante la Autoridad Ambiental competente, por lo cual se debe considerar lo dispuesto en el Decreto 3930 de 2010 (compilado en el Decreto 1076 de 2015) en su Artículo 30. Infiltración de residuos líquidos: Previo permiso de vertimiento se permite la infiltración de residuos líquidos al suelo asociado a un acuífero. Para el otorgamiento de este permiso se deberá tener en cuenta: (1) Lo dispuesto en el Plan de Manejo Ambiental del Acuífero o en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca respectiva, o (2) Las condiciones de vulnerabilidad del acuífero asociado a la zona de infiltración, definidas por la autoridad ambiental competente. Estos vertimientos deberán cumplir la norma de vertimiento al suelo que establezca el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

- Asimismo, el artículo 2.3.2.3.2.2.5 del Decreto 1077 de 2015, señala las zonas de recarga dentro de las prohibiciones y restricciones en la localización de áreas para disposición final de residuos sólidos.
- Tener en cuenta lo dispuesto en la normatividad ambiental vigente, específicamente lo relacionado al párrafo 1 del Artículo 2.2.4.2.2.3.1.1 del Decreto 1077 de 2015 determinó que *"...no procederá la localización de un Macroproyecto de Interés Social Nacional en áreas de conservación y protección ambiental, tales como las áreas del sistema nacional de áreas protegidas salvo lo dispuesto en el párrafo 2 del mencionado artículo, áreas de especial importancia ecosistémica como reservas de recursos naturales, páramos, subpáramos, nacimientos de agua, zonas de recarga de acuíferos, humedales de la lista de importancia internacional de la Convención Ramsar, manglares, zonas de playa y bajamar"*.

3.3.4 Consideraciones para la toma de decisiones en los procesos de evaluación de trámites, según sea la condición de Vulnerabilidad Intrínseca del Sistema Acuifero

Para los permisos requeridos para los distintos proyectos o intervenciones, el Ente Territorial, y/o la Autoridad Ambiental competente, deberá tener en cuenta lo definido en el numeral 3.3.1 y el grado de vulnerabilidad intrínseca asociada al polígono en cuestión; que se encuentra disponible para la cuenca y que fue actualizado durante la formulación de la fase de diagnóstico del PMAA (2015).

La vulnerabilidad de un acuífero debe ser entendida como el grado de susceptibilidad de este a ser afectado por sustancias contaminantes que puedan afectar la calidad del agua subterránea que almacena. Esta característica considera la contaminación como la carga contaminante que, producto de cualquier actividad humana sobre la superficie del suelo, podría generar afectaciones sobre la calidad del agua subterránea por medio del lavado e infiltración de sustancias (ver Figura 5), y que, por tal motivo, requiere de la aplicación de medidas de control por parte de la Autoridad Ambiental competente, según dispone la Guía Técnica para la formulación de PMAA (MADS, 2014). Estas medidas de control, podrían incluir la implementación de redes de monitoreo específicas, según la actividad y el potencial de contaminación asociado, con el fin de hacer seguimiento al recurso hídrico y establecer las medidas de control de contaminación de manera oportuna.

La vulnerabilidad intrínseca del sistema acuifero del Valle de Aburrá, fue evaluada en el año 2015, en el marco de la formulación de la fase de diagnóstico del PMAA, mediante la aplicación de la metodología tipo GOD. En esa ocasión, los resultados obtenidos revelaron que, para el Acuífero libre, se presentan tres categorías de vulnerabilidad:

- Vulnerabilidad extrema: se presenta en una pequeña porción de los flujos aluviotorrenciales de la quebrada Doña María.



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

- Vulnerabilidad alta: en la parte baja del valle donde el acuífero libre está compuesto principalmente por los depósitos aluviales del río Medellín.
- Vulnerabilidad media: asociada a los depósitos de vertiente.

Por su parte, para el Acuífero semiconfinado, al encontrarse dispuesto por debajo del Acuífero libre, registra un grado de vulnerabilidad bajo en toda su extensión. Finalmente, el Acuífero asociado a la Dunita de Medellín, dadas sus condiciones de fracturamiento, presenta un grado de vulnerabilidad alto. Estas condiciones pueden observarse en la Figura 6.

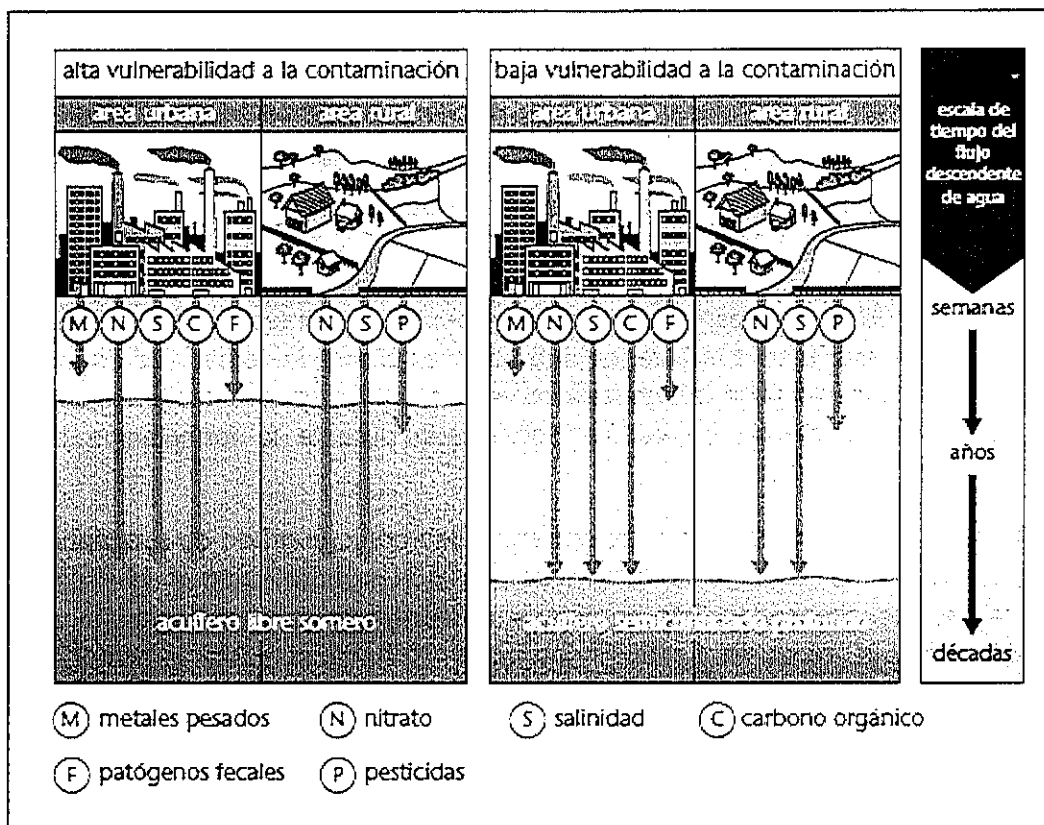


Figura 5. Proceso de contaminación de las aguas subterráneas, asociado a las actividades y usos del suelo (Fuente: "Guía Técnica para la Protección de la Calidad del Agua Subterránea" (Foster & Hirata et al., 2002).



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

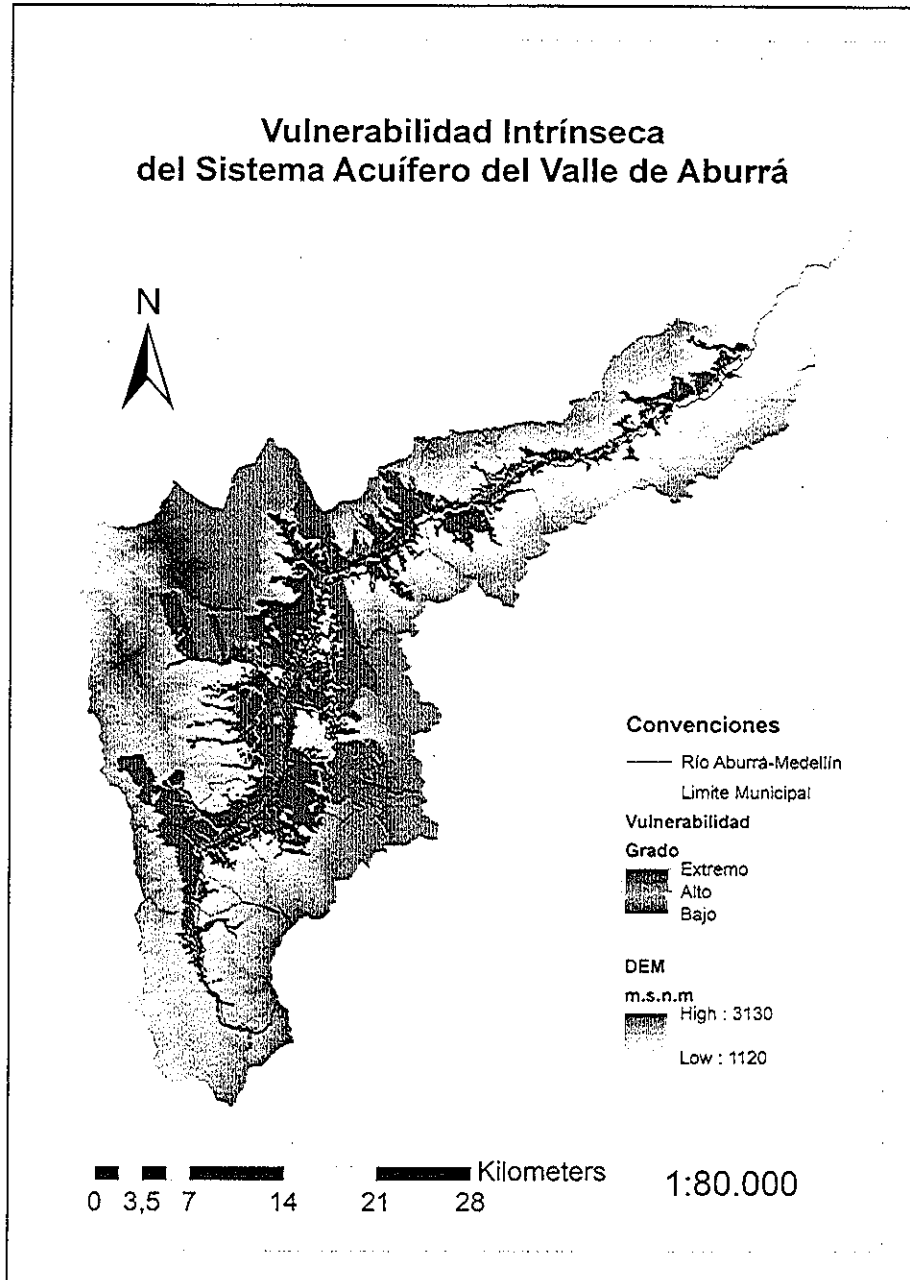


Figura 6. Vulnerabilidad Intrínseca del Sistema Acuifero del Valle de Aburrá (Diagnóstico del PMAA, 2015).

Considerando lo anterior, se propone el cuadro presentado en la Tabla 8, con el fin de que los encargados de la toma de decisiones, en los procesos de evaluación de solicitudes y trámites ambientales, relacionados con las distintas actividades que se presentan en el territorio, cuenten con un insumo en relación al tipo de contaminantes para salvaguardar las



El ambiente es de todos

MMAmbiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

condiciones de calidad del agua subterránea del Valle de Aburrá. Su construcción consideró lo dispuesto en la cartilla de principios básicos para el conocimiento y monitoreo de las aguas subterráneas en Colombia, publicada por el MADS y el IDEAM en el año 2015, donde se establecen los contaminantes asociados a cada actividad. Dichas actividades fueron comparadas y validadas con las identificadas para el Valle de Aburrá como factores de conflicto entre el uso del suelo y el agua subterránea, durante la formulación del PMAA.

Tabla 8. Tipos de contaminantes generados en el desarrollo de actividades y usos del suelo, que podrían orientar la evaluación de los trámites ambientales por parte de la Autoridad Ambiental competente, en relación a la condición de Vulnerabilidad intrínseca del sistema acuifero del Valle de Aburrá.

Possible fuente de contaminación	Tipo de contaminantes
Actividades agropecuarias y mantenimiento de zonas verdes y jardines.	Nitratos, amonios, fosfatos, fenoles, arsénico (procedentes del uso de fertilizantes, abonos y pesticidas), coliformes fecales, microorganismos patógenos (proveniente de las deposiciones animales y abonos orgánicos)
Saneamiento (redes de alcantarillado y pozos sépticos, letrinas, PTAR, lodos, disposición de residuos sólidos, sean domésticos o no); rellenos sanitarios, botaderos, escombreras, acopios y sitios de reciclaje.	Compuestos nitrogenados, amonios, coliformes fecales y organismos patógenos, metales y sales (plomo, cinc, aluminio, mercurio, etc.), trazas de hidrocarburos sintéticos y halogenados, carbono orgánico disuelto.
Cementerios.	Microorganismos patógenos, cadaverina, putrecina.
Estaciones de Servicio (Gasolineras) y talleres automotrices, lavaderos de vehículos o sitios con disposición, almacenamiento y manejo de aceites, combustibles, hidrocarburos, etc.	Hidrocarburos totales, aromáticos (fenoles, benceno, etc.), halogenados (tolueno, xileno, etc.); compuestos sintéticos tóxicos (clorobenzenos, tricloetileno o tetracloroetileno); disolventes, clorofluorocarbonados, metales (cobre, plomo, cinc, etc.); álcalis, ácidos (sulfúrico, fosfórico); cianuros.
Industrias de fabricación o manipulación de metales, galvanizado y sustancias químicas; pinturas, esmaltes, barnices, tintes, disolventes, jabones, detergentes, etc. (Lavanderías, tintorerías, curtiembres, talabarterías, telares, textileras, fábrica de pinturas, talleres de arte y fabricación de muebles y armarios, puertas, cocinas, cuadros, etc.)	Tricloroetileno, tetracloroetileno, otros hidrocarburos halogenados, aromáticos y policíclicos (benceno, clorobenceno, diclobenceno, tolueno, antraceno, naftaleno), metales y metales pesados (arsénico, cadmio, cromo, cobre, cianuro, plomo, mercurio, níquel, selenio, plata, zinc), ftalatos, fenoles, compuestos alifáticos halogenados (cloroformo, clorometileno, tricloroetano, tetracloroetileno). Alobencenos, cromo, sustancias de alta salinidad (cloruro de sodio).
Manejo de plantaciones para extracción maderera y actividades conexas (manipulación, venta fabricación maderera).	Pentaclorofenol, hidrocarburos aromáticos, barnices, esmaltes, pinturas, disolventes.
Explotación, extracción y almacenamiento de minerales, metales, materiales; transporte y conducción de combustibles y minerales.	Hidrocarburos aromáticos, metales pesados, hierro, sulfatos, compuestos que alteren el pH y salinidad del agua (ácidos, bases, cloruro de sodio).



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

3.4 ACCIONES QUE SOPORTAN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MANEJO DE LAS ZONAS DE RECARGA DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE ABURRÁ

Conforme a las medidas de manejo dispuestas en el presente documento, se plantean las siguientes alternativas para su implementación en los casos considerados. Estas agrupan todas aquellas acciones con las cuales se busca prevenir, mitigar y corregir los impactos que generan las actividades antrópicas que se realizan en las zonas de recarga de los acuíferos; las cuales se resumen en la Figura 7.

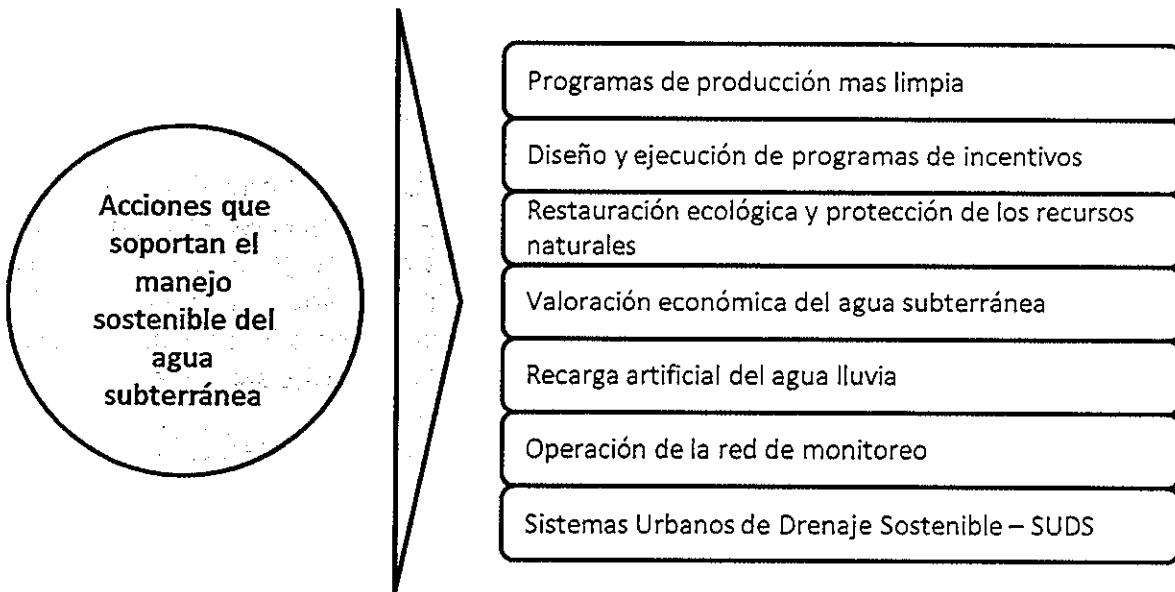


Figura 7. Alternativas para la implementación de las medidas de manejo de las zonas de recarga.

3.4.1 Programa de producción más limpia

Para lograr el aprovechamiento ambientalmente sostenible de los suelos, según su potencial de uso, condiciones edáficas, usos culturales y ventajas comparativas, entre otros criterios; se propone una serie de acciones que van dirigidas a incorporar, en los sistemas de producción establecidos en el Valle de Aburrá, el aprovechamiento de los productos secundarios del bosque, cultivos agroecológicos, sistemas agroforestales, ecoturismo, producción más limpia en la industria y minería. El desarrollo de este programa debe contemplar y respetar aspectos sociales, culturales y económicos, propios de la población local.



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

3.4.2 Diseño y ejecución de un programa de incentivos

Esta idea busca fomentar en las personas que realizan alguna actividad económica, la inclusión de prácticas ambientales o procesos de producción más limpia que contribuyan a la disminución de la contaminación de las aguas subterráneas. Este programa puede ser aplicado a los dueños de los predios de las áreas de recarga, y demás áreas de protección del recurso hídrico, que destinen parte de sus predios a la práctica de actividades económicas compatibles con la protección, o a quienes hagan reconversión de sus sistemas agropecuarios o incluyan procesos de producción más limpia. También, van orientadas a lograr incentivos que permitan desarrollar estas actividades con tecnologías más amigables con el medio ambiente. La implementación de este programa da la oportunidad de obtener incentivos como financiamiento de actividades productivas, pago por servicios ambientales, finca ecológica, certificaciones de producción orgánica y Certificados de Sostenibilidad Turística; cada una se aplica según entidad con competencia para ello.

En esta media se incluye el programa de Pago de Servicios Ambientales -PSA, en el cual se diseña una estrategia que permite generar recursos para compensar económicamente a quienes destinen sus tierras a la protección de las zonas de recarga. Esta iniciativa está ya incluida en la actualización del POMCA de la cuenca del río Aburrá (Corantioquia, 2018), como uno de los proyectos que hacen parte del programa: "*Pago por servicios Ambientales*" dentro de la Línea Estratégica: "*Compensación y/o pago por servicios ambientales*".

3.4.3 Restauración ecológica y protección de los recursos naturales

Dirigida a corregir y disminuir áreas degradadas producto de las actividades antrópicas, sobre todo aquellas áreas con sobre explotación, donde se encuentran áreas sobre pastoreadas, terrenos infértiles y erosionados, los cuales necesitan revertir el daño ocasionado. Estas áreas están identificadas dentro la zonificación ambiental del POMCA, en la categoría de zonas de recuperación para la conservación y protección ambiental.

3.4.4 Valoración económica del agua subterránea

Establecer que el "agua" sea un eje estructurante en la planificación y ordenamiento del territorio, garantiza la protección de las zonas de recarga, pero se requiere de una discusión y análisis por parte de los gobiernos locales y Autoridades Ambientales sobre los costos y los valores de la protección de las zonas de recarga y el costo de la no protección.

3.4.5 Técnicas MAR para la recarga de acuíferos

La recarga artificial de acuíferos, hoy denominada como Técnicas MAR para el Manejo de la Recarga, han sido impulsadas desde España como una estrategia para aumentar las reservas de agua subterránea ante la escasez, cada vez mayor, de este recurso. Su adecuado uso



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

ofrece ventajas como son la disminución de las inundaciones ocasionadas por la intensidad de las lluvias, un menor riesgo de contaminación de las aguas subterráneas y, en consecuencia, menor costo de potabilización de las mismas y mayor potencialidad de usos.

Las técnicas MAR (Management Aquifer Recharge) incluyen un conjunto de no menos de 25 procedimientos que permiten aumentar la disponibilidad de agua subterránea, con la calidad apropiada para los usos a la que se destina; mediante una intervención consciente, directa o indirecta, en el ciclo natural del agua. Existen diferentes métodos para ello, los cuales se dividen en dos grandes grupos: Obras de superficie y obras en profundidad. La aplicabilidad de esta idea debe ser técnicamente evaluada a la luz de las condiciones particulares del Valle de Aburrá y, después de efectuar un análisis prospectivo en relación con la utilización del agua subterránea en la región. En el sitio web del proyecto español DINA-MAR, se puede consultar un universo grande de información al respecto (<http://www.dina-mar.es/post/2013/01/02/DINA-MAR-Publicacion-final-del-proyecto-c2a1Inminente!.aspx>)

3.4.6 Operación de la red de monitoreo (Autoridad Ambiental)

Mantener y consolidar la operación de la red de monitoreo permite hacer un seguimiento a las oscilaciones del nivel piezométrico, tanto en condiciones naturales como por efecto de la utilización del agua subterránea. Igualmente, a través de la red, se controlan las variaciones en la calidad del recurso, lo cual implica la conformación de redes de monitoreo específicas para hacer seguimiento especial a las actividades consideradas de alto impacto para la calidad del agua subterránea debido al potencial de contaminación que estas representan; las cuales permitan tomar acciones para la prevención o para la atención de la contaminación. Lo anterior hace que la red se convierta en una herramienta que permite medir la efectividad de las medidas de protección implementadas para la protección de las zonas de recarga y demás planes que tienen como fin la protección del recurso hídrico.

3.4.7 Utilización de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en los desarrollos urbanísticos e infraestructura vial

Se hace necesario identificar y utilizar técnicas de urbanización que mantengan espacios a través de los cuales siga siendo posible la recarga de las aguas subterráneas, con las calidades que proporciona el agua lluvia y de escorrentía directa. En este sentido, medidas como la prohibición de la pavimentación impermeable de espacio abierto (mediante el uso de pavimentos permeables o adoquines), la obligatoriedad de conservar zonas verdes en parques, la exigencia del diseño de zonas de retroceso (distancia mínima que la fachada de un edificio deba tener con respecto a los límites del terreno) ocupadas por jardines y no por parqueaderos y el uso de técnicas de drenaje sostenible, y estudios detallados que permitan cuantificar el volumen de agua extraído por bombeo de las edificaciones diseñadas por debajo del nivel freático, entre otros.



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Son varias las técnicas que actualmente se utilizan para mitigar los impactos negativos sobre el medio natural, generados por el proceso urbanístico, los cuales, también contribuyen a mantener los procesos naturales de infiltración, evaporación y escorrentía. Entre ellos se destacan los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS):

Los SUDS se definen como elementos integrantes de la infraestructura (urbano-hidráulico-paisajística) cuya misión es captar, filtrar, retener, transportar, almacenar e infiltrar al terreno el agua, de forma que ésta no sufra ningún deterioro e incluso permita la eliminación, de forma natural, de al menos parte de la carga contaminante que haya podido adquirir por procesos de escorrentía urbana previa. Todo ello tratando de mitigar, de la manera efectiva, los efectos que sobre el ciclo hidrológico natural tienen urbanización o actuación del hombre, como es el abatimiento de los niveles piezométricos en el acuífero. Algunas de las técnicas que se pueden emplear en estos SUDS son:

- **Sumideros para infiltración:** Sumideros son excavaciones de forma cuadrada o circular, ya sea llena de materiales sobrantes o revestidos con ladrillo, hormigón prefabricado o anillos de polietileno o estructuras de almacenamiento perforadas rodeadas de relleno granular. Ellos pueden ser agrupados y unidos entre sí para drenar grandes áreas, incluyendo carreteras. Los sumideros proporcionan una atenuación a las aguas lluvias, tratamiento de aguas lluvias y recarga de las aguas subterráneas (Osorio, 2014). Asimismo, los sumideros son mejores soluciones para la infiltración de la escorrentía en áreas pequeñas, tales como techos de viviendas residenciales. Siempre que a escorrentía sea pre-tratada antes de entrar en el pozo de absorción, el dispositivo también puede manejar las aguas lluvias de las áreas impermeables en zonas residenciales y comerciales. En general, no son adecuados en zonas donde se puedan presentar procesos de contaminación y para la infiltración de aguas en acuíferos, sensibles o muy vulnerables, siempre será necesario su pre-tratamiento.
- **Jardines de lluvia:** Son aéreas deprimidas o depresiones en el terreno, con flores perennes y vegetación nativa que absorbe agua de lluvia. Están estratégicamente localizados para capturar la escorrentía de superficies impermeables como techos y carreteras. Los jardines de lluvia se llenan con unas cuantas pulgadas de agua después una tormenta y luego el agua se filtra en el suelo en lugar de correr hacia un drenaje de aguas pluviales. Los jardines de lluvia deben de estar localizados para capturar la escorrentía de áreas impermeables. Pueden ser establecidos en cualquier lugar en donde existan buenos suelos con tasas de percolación adecuadas.
- **Franjas filtrantes:** son franjas de suelo anchas y con poca pendiente, cubiertas de vegetación, emplazadas entre una superficie impermeable y el medio que recibe la escorrentía. Esta técnica favorece la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración del agua.



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

- **Cunetas verdes:** Las cunetas verdes son estructuras lineales cubiertas de hierba, con una base superior a medio metro y taludes con poca pendiente ($<1V:3H$). Están diseñadas para capturar y tratar el volumen de calidad de agua. Deben generar velocidades inferiores a 1 ó 2 m/s en el agua circulante para que las partículas en suspensión puedan sedimentarse y no aparezcan problemas de erosiones. Adicionalmente pueden permitir la infiltración a capas inferiores.
- **Pavimentos permeables:** son estructuras que permiten que el agua de lluvia se infiltre a través de la superficie y en las capas subyacentes. Los pavimentos permeables proporcionan un pavimento adecuado para peatones y/o vehículos, al tiempo que la lluvia se infiltra a través de la superficie y en las capas subyacentes (base y sub-base). El agua se almacena temporalmente antes de la infiltración en el suelo, la reutilización, o de descarga a un curso de agua o a otro sistema de drenaje. Estos pueden proporcionar además algún tratamiento a la calidad del agua.
- **Depósitos de infiltración:** El sistema actúa de manera que el agua filtrada en superficie no produce escorrentías evitando su contaminación. El posterior paso por un lecho arenoso mantiene la humedad suficiente para la vegetación. Por último, el agua depurada se percola en el terreno permitiendo la recarga de los acuíferos.
- **Sistema de Canal filtrante:** El agua se filtra a través de arena seleccionada, evitando la recolección y concentración de contaminantes. Los canales filtrantes de paredes permeables permiten la interacción del agua con la tierra, que produce el aumento de la capacidad aeróbica del canal obteniendo un agua sana y limpia que se dispersa.
- **Cunetas filtrantes:** El sistema filtra y lamina el agua que gestiona, mediante la combinación de geotextiles permeables o impermeables se permite o impide que el sistema infiltre o capte agua del terreno circundante.
- **Estanques de retención con filtración:** Se construyen en un área de pasto con un filtro de arena por el fondo, que descarga subterráneamente al sistema de drenaje o al suelo. Sirve para almacenar, retener e infiltrar el escurrimiento superficial, además la cama de arena retiene la gran mayoría de los contaminantes contenidos en las aguas lluvias que no son removidos mediante sedimentación en los estanques de retención sin filtración.
- **Drenes Filtrantes:** Los drenes son excavaciones poco profundas de 1-2 m de profundidad llenas material pétreo que crean almacenamiento subterráneo temporal, ya sea para la infiltración o filtración de aguas lluvias. La infiltración trata escorrentía mediante filtración a través del suelo, reduce las tasas de escorrentía y volúmenes, puede ayudar en la recarga del agua subterránea y preservar caudales base.

Por otra parte, mediante el Acuerdo Metropolitano Número 05 del 14 de mayo de 2014 se declara, como Hecho Metropolitano, la construcción sostenible y se definen lineamientos



Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

básicos para la formulación de la Política Pública (AMVA, 2015). Esta política apunta a mejorar la habitabilidad, a reducir el consumo de recursos naturales y de los impactos ambientales de todo tipo de edificaciones nuevas y existentes.

En el marco de esta Política Pública se generaron cinco (5) Guías Metropolitanas de Construcción Sostenible (Universidad Pontificia Bolivariana & AMVA, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d). Cada guía desarrolla una temática, que inicia con los lineamientos para la caracterización preliminar del lugar en la Guía 1, definiendo para cada medio los componentes a caracterizar, entre estos se encuentra el agua subterránea. En la Guía 2, se definen los criterios de sostenibilidad en la planificación urbana, en los cuales se incluye el manejo de la escorrentía mediante Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS). Por su parte, la Guía para el diseño de edificaciones sostenibles (Guía 4) propone el uso del agua subterránea una potencial fuente de abastecimiento complementaria en las edificaciones, en aquellas zonas donde sea posible hacerlo dada su disponibilidad. En esta Guía, se define un modelo sostenible que propone la utilización de varias fuentes según la destinación del agua dentro del edificio.

Por último, se recomienda emprender proyectos orientados al conocimiento de los volúmenes y calidades de agua que pueden estar siendo extraídos por bombeo de edificaciones construidas por debajo del nivel freático en el Valle de Aburrá, tal es el caso de sótanos para parqueaderos tanto de unidades residenciales como centros comerciales.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Es importante no perder de vista el hecho de que, más allá de la implementación de las medidas de manejo para las zonas de recarga del acuífero del Valle de Aburrá que aquí se plantean, el propósito del PMAA se materializa en la ejecución de los proyectos diseñados durante su fase de Formulación. Teniendo en cuenta el carácter de determinante que tiene esta Plan para los municipios, al momento de revisar o formular un nuevo POT o PBOT, el municipio deberá revisar el componente programático, e incorporar en el programa de ejecución del POT o PBOT los proyectos a los cuales pueda aportar para su materialización.

Estos proyectos, al igual que los documentos relacionados a las distintas fases que componen el PMAA, servirán de apoyo para esclarecer los aspectos aquí abordados y brindarán más elementos para el adecuado manejo de las zonas de recarga del acuífero del Valle de Aburrá.



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

5. BIBLIOGRAFÍA

AMVA & UDEA. (2012). Delimitación y protección de las zonas de recarga en el norte del Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad de Antioquia. Medellín.

AMVA & UdeA. (2013). Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el Centro y Sur del Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá & Universidad de Antioquia. Medellín.

AMVA & UNAL. (2011). Formulación de las Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial Rural en los municipios del Valle de Aburrá. Medellín.

AMVA. (2006). Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial para el Valle de Aburrá: Hacia una región de ciudades. . Medellín.

AMVA, CORNARE, CORANTIOQUIA & UNALMED. (2007). Plan de Ordenación y Manejo Cuenca Río Aburrá - POMCA. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia & Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ & UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. (2013). *Delimitación de las zonas de recarga en el centro y sur del Valle de Aburrá*. Medellín.

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. (2006). Directrices Metropolitanas de Ordenamiento Territorial. "Hacia una región de ciudades". Acuerdo Metropolitano 15 de 2006. Medellín.

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. (2007). Plan Integral de Desarrollo Metropolitano - Metrópoli 2008-2020. Hacia la integración regional sostenible. Medellín.

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. (2012). Plan Estratégico Metropolitano de Vivienda y Hábitat con Perspectiva Ambiental. Medellín.

AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. (2015). *Política de Construcción Sostenible*. Obtenido de <http://www.metropol.gov.co/ConstruccionSostenible/Pages/inicio.aspx>

AREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. (2016). *Plan de Gestión 2016-2019. Territorios Integrados*. Medellín.

AREMA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. (2019). *Plan de Acción ante el Cambio y la Variabilidad Climática PAC&VC 2018 – 2030*. Medellín.

BIOLÓGICOS, I. D. (2015). Colombia Anfibia. Un País de Humedales. Volumen I. Bogotá.



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

CORANTIOQUIA & UNALMED. (2017). *Actualización de la huella ecológica en la Region Central de Antioquia como aporte a la gestión y el ordenamiento ambiental*. Obtenido de <http://www.corantioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/SiteAssets/PDF/Planeaci%C3%B3n/Huella%20Ecol%C3%B3gica%20Valle%20de%20Aburr%C3%A1.pdf>

Correa, A., & Martens, U. (2000). *Caracterización Geológica de las anfibolitas de los alrededores de Medellín*. Tesis de grado, Univ. Nacional, Fac. Minas. Medellín.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2014). *MISIÓN PARA EL FORTALECIMIENTO DEL SISTEMA DE CIUDADES*. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/programas/vivienda-agua-y-desarrollo-urbano/desarrollo-urbano/Paginas/sistema-de-ciudades.aspx>

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (s.f.). *MISIÓN PARA EL FORTALECIMIENTO DEL SISTEMA DE CIUDADES*. Obtenido de 2014: <https://www.dnp.gov.co/programas/vivienda-agua-y-desarrollo-urbano/desarrollo-urbano/Paginas/sistema-de-ciudades.aspx>

Foster, S., Garduño, H., Kemper, K., Tuinhof, A., Nanni M, Nanni, M., y otros. (2011). *Protección de la Calidad del Agua Subterránea: definición de estrategias y establecimiento de prioridades*. Banco Mundial: Washington D.C., EEUU.

IAEA & Universidad de Antioquia. (2018). *Analysis of groundwater research from isoscapes of precipitation and shallow groundwater in the Northwest of Colombia*. Medellín: Research contract No.22326.

IDEAM. (2004). *Guía Técnico Científica para la Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá.

IDEAM. (2006). *Cajas de Herramientas Zonificación Ambiental*. Guía Técnico Científica para la Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá.

INSTITUTO VON HUMBOLDT. (2015). *Colombia Anfibia. Un País de Humedales. Volumen I*. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. Bogotá.

MINAMBIENTE. (2014). *Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá.

MINISTERIO DE AMBIENTE, V. Y. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá.

Osorio, A. (2014). *Diseño de Medidas de Manejo y Protección para las Zonas de Recarga del Sistema Hidrogeológico del Valle de Aburrá*. Trabajo de grado para optar por el Título



El ambiente
es de todos

Mimambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

de Magister en Gestión Ambiental. Medellín: Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería.

U de A. (2001). UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Estudio de zonas de recarga de acuíferos de Valle de Aburra. Medellín.

UNITED NATIONS. POPULATION DIVISION. (2015). *The 2014 Revision. Department of Economic and Social Affairs*. Obtenido de World Urbanization Prospects. United Nations: <https://esa.un.org/unpd/wup/>

Universidad de Antioquia & AMVA. (2013). Determinación y Protección de las Potenciales Zonas de Recarga en el centro y sur del Valle de Aburrá. Medellín, Antioquia. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

VÉLEZ OTÁLVARO, M. (2004): *Hidráulica de aguas Subterráneas. Tercera Edición*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

UNITED NATIONS. POPULATION DIVISION. (2015). *The 2014 Revision. Department of Economic and Social Affairs*. Obtenido de World Urbanization Prospects. United Nations: <https://esa.un.org/unpd/wup/>

Universidad de Antioquia & Corantioquia. (2014). Plan de Manejo Ambiental del Sistema Acuífero del Bajo Cauca Antioqueño.

IGAC (2006). Métodos analíticos de laboratorio de Suelos.

UNATSABAR. (2003). Especificaciones Técnicas para la Realización de Pruebas de Infiltración

5.1 FUENTES DE CONSULTA BIBLIOGRÁFICA SOBRE METODOLOGÍAS PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONAS DE RECARGA Y CUANTIFICACIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS.

Andres, A. S. (1991). Open file report No.34, methodology for mapping ground-water recharge areas in delaware's coastal plain. Newark, Delaware: Delaware Geological Srvey Retrieved from <http://udspace.udel.edu/bitstream/handle/19716/3221/OFR34.pdf?sequence=1>.

Antioquia, G. G. U. d. (2011). DETERMINACIÓN Y PROTECCIÓN DE LAS POTENCIALES ZONAS DE RECARGA EN EL NORTE DEL VALLE DE ABURRÁ. (pp. 295). Medellín, Colombia: Área Metropolitana Valle de Aburrá.



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Authority, L. S. R. C. (2014). Guidance for the protection and restoration of significant groundwater recharge areas (SGRAs) in the Lake Simcoe watershed. Retrieved from Toronto, Ontario, Canada.

Bueso Campos, M., Mardoqueo Rodas, A., & García Álvarez, M. G. (2010). Identificación y caracterización de las zonas con mayor potencial de recarga hídrica en las subcuencas de los ríos Tacó y Shusho, Municipio de Chiquimula. Retrieved from Guatemala:

Chachadi, A. G. New indicator based method SALDIT for delineation of natural groundwater recharge areas. INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER RESOURCES, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING (ICWRCOE'15), 4, 649-659.

G. Charles, E., Behroozi, C., Schooley, J., & Hoffman, J. L. (1993). A method for evaluating ground-water-recharge areas in New Jersey. Trenton, New Jersey: New Jersey Geological Survey.

Goody, N., Church, R., Quinn, S., & Salmon, R. (2003). Derivation of a methodology for groundwater recharge assessment in Scotland and Northern Ireland. In S. E. P. Agency (Ed.), (pp. 81). Scotland: Entec UK Limited.

Guzmán Monge, A., & Díaz Hernández, A. (2007). Identificación de las áreas de recarga acuifera y zonas de protección de los manantiales de canton central de Cartago. Paper presented at the IX Congreso Nacional de Ciencias Exploraciones fuera y dentro del aula Cartago, Costa Rica

Healy Richard, W. & Scanion Bridget, R. (2012). Estimating Groundwater recharge. Cambridge university express

Herrera Ibáñez, I. R., Brown, O. p. a. c. c. M. s. m.-t. c., margin-right:2.45pt, margin-bottom:0cm, margin-left:14.2pt, margin-bottom:.0001pt, . . . background:white">. (2011). Propuesta de una metodología para la estimación de áreas de recarga hídrica en Guatemala. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 20, 9. Retrieved from scielo.sld.cu/pdf/rcta/v20n4/rcta09411.pdf

Hsin-Fu, Y., Youg-Sin, C., Hung-I, L., & Cheng-Haw, L. (2016). Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach

in Hualian River, Taiwan. Sustainable Environment Research, 26(1), 33-43. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.serj.2015.09.005>

IAH (2002) Groundwater recharge. Hidrogeology Journal. Vol 10 number1 February 2002

Kresic Neven (2007). Hidrogeology and groundwater modeling. Crc press. Second edition



El ambiente
es de todos

Minambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuífero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

López-Geta, J. A., Andreo, B., Vías, J., Durán, J. J., Carrasco, F., & Jiménez, P. (2004). Aproximación metodológica para evaluar la recarga en acuíferos carbonáticos, 4. Retrieved from

Marchildon, M., Thompson, P. J., Cuddy, S., Wexler, E. J., Howson, K., & Kassenaar, J. D. C. (2015). A methodology for identifying ecologically significant groundwater recharge areas. *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 1-13. doi:10.1080/07011784.2015.1080125

MARKS, R. J., LAWRENCE, A. R., HUMPAGE, A. J., & HARGREAVES, R. (2004). Recharge through Till: Developing a methodology for estimating groundwater recharge with examples from two case studies in East Anglia. In B. G. S. I. Report (Ed.), (Vol. IR/04/122, pp. 42).

Matus, O., Faustino, J., & Jiménez, F. (2009). Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. Serie Técnica. Boletín técnico. Retrieved from

Mondal, N. C., Singh, V. P., & Sankaran, S. (2011). Demarcation of prospective groundwater recharge zones in hard rock area from Southern India. *Scientific Research and Essays*, 6, 3539-3552. Retrieved from www.academicjournals.org/journal/SRE/article-abstract/5FCF36531292 doi:10.5897/SRE11.659

Mondal, N. C., & Singh, V. S. A new approach to delineate the groundwater recharge zone in hard rock terrain. *CURRENT SCIENCE*; 87(5), 658-662.

Mondal, N. C., & Singh, V. S. (2004). Analysis of unconfined aquifer response to delineate potential groundwater recharge zone in hard rock terrain. Paper presented at the 2nd

Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources Conference, Suntec,

Singapore.

https://www.researchgate.net/publication/216087091_Impact_of_Pollution_due_to_Tanneries_on_Groundwater_Regime

Peñuela, L. A., & Carrillo, J. J. (2012). Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: –sur de la Mesa Central, México. *Geografía física*, 81. Retrieved from

Ramírez Granados, P. (2013). Determinación de la recarga acuífera potencial mediante un sistema de información geográfica para la cuenca del Río Frío, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2, 15–35. Retrieved from <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/5987>

16



El ambiente
es de todos

Mi ambiente

Medidas de Manejo para las zonas de recarga del sistema acuifero y la sostenibilidad del agua subterránea del Valle de Aburrá

Senanayake, I. P., Dissanayake, D. M. D. O. K., Mayadunna, B. B., & Weerasekera, W. L. An approach to delineate groundwater recharge potential sites in Ambalantota, Sri Lanka using GIS techniques. *GEOSCIENCE FRONTIERS*, 7(1), 115-124.

Tapia Morales, N. (2011). Aplicación de metodologías para la estimación espacial de recarga y conductividad hidráulica. Caso de los Andes centrales de Perú. (Máster), Universidad de Málaga.

Vélez O., M. V., & Rhenals G., R. L. (2008). Determinación de la recarga con isótopos ambientales en los acuíferos de Santa fe de Antioquia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 18. Retrieved from

Vieira Vasconcelos, V., Pereira Martins Junior, P., & Moreira Hadad, R. (2013). Methodology for rapid assessment of aquifer recharge areas. *Geología USP. Serie Científica*, 13, 6-6. Retrieved from www.revistas.usp.br/guspsc/article/download/61736/64607 doi:10.5327/Z1519-874X2013000200005

Wexler, E. J., & Kassenaar, D. (2013). Ecologically significant groundwater recharge area assessment for the Oro North, Oro South, and Hawkestone Creeks subwatersheds. Toronto, Ontario, Canada: Earthfx Retrieved from http://www.lsrca.on.ca/Shared%20Documents/reports/esgra_oro_creeks.pdf.