

TRABAJO DE GRADO
Opción Seminario-Diplomado.

Lineamientos para la incorporación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el desarrollo urbano del municipio de El Santuario (Antioquia), mediante el Plan Básico de Ordenamiento Territorial y el licenciamiento urbanístico.

Corporación Universitaria Remington

Facultad de Ingenierías

Programa de Ingeniería Civil.

Alexandra Quintero Gallego, Felipe de Barros Cortes, Nelson Alejandro Gil Florez.

Tutor del seminario de grado: Diego Alejandro Loaiza Ramírez.

Seminario de grado: Planeación, Ordenamiento Territorial y Licenciamiento Urbanístico
Medellín, Antioquia, Colombia, 2026.

Nombre del Tutor del trabajo de grado: Diego Alejandro Loaiza Ramírez.

Año 2026

Tabla de Contenidos

Resumen.....	4
1. Introducción.....	5
1.1. Problema y pregunta de investigación.....	6
2. Objetivos.....	6
2.1. 2.1 Objetivo general.....	6
2.2. Objetivos específicos.....	7
3. Marco conceptual y contextual.....	7
3.1. Ordenamiento territorial y clasificación del suelo en Colombia.....	8
3.2. Licenciamiento urbanístico y su relación con la ingeniería civil en Antioquia...	9
3.3. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): concepto y tipologías.....	10
3.4. Contexto de estudio: el municipio de El Santuario, Antioquia.....	11
4. Desarrollo e implementación del aprendizaje.....	12
4.1. Diagnóstico del PBOT de El Santuario frente a la gestión de aguas lluvias.....	12
4.2. Marco normativo aplicable a la incorporación de SUDS.....	14
4.3. Clasificación del suelo y su relación con el control de la escorrentía.....	15
4.4. Tipologías de SUDS y criterios de selección según pendiente y tipo de suelo.	18
4.5. Importancia del control de agua lluvia en zonas de alta pendiente.....	19
4.6. Integración de los SUDS en el proceso de licenciamiento urbanístico.....	21
4.7. Propuesta de lineamientos técnicos e indicadores de seguimiento.....	23
5. Relación de los SUDS con la práctica y el ejercicio del seminario en planeación, ordenamiento territorial, licenciamiento urbanístico y su relación con la ingeniería civil en Antioquia.....	25
6. Conclusiones.....	26
7. Referencias.....	28

Listado de tablas y figuras

Tabla 1 <i>Comparación del tratamiento de las aguas lluvias entre los instrumentos de ordenamiento territorial de El Santuario</i>	13
Tabla 2. <i>Marco normativo nacional aplicable a la incorporación de SUDS en el ordenamiento territorial y el licenciamiento urbanístico</i>	14
Tabla 3 <i>Clasificación del suelo (Ley 388 de 1997) e implicaciones para el manejo de aguas lluvias y la incorporación de SUDS</i>	15
Tabla 4 <i>Matriz de referencia de tipologías SUDS según pendiente, tipo de suelo y función principal</i>	18
Tabla 5 <i>Lista de verificación técnica propuesta para la revisión de proyectos urbanísticos frente a criterios SUDS, previa al otorgamiento de la licencia</i>	23
Tabla 6 <i>Indicadores de seguimiento propuestos para la evaluación del desempeño de los SUDS en El Santuario</i>	24
Figura 1 <i>Distribución aproximada del balance hídrico superficial según el grado de intervención urbanística</i>	17
Figura 2 <i>Esquema comparativo de una ladera urbanizada sin control de aguas lluvias (A) y con SUDS adaptados a la pendiente (B)</i>	20
Figura 3 <i>Esquema propuesto de integración de criterios SUDS en el proceso de licenciamiento urbanístico municipal</i>	22

Resumen

El municipio de El Santuario ubicado en el Altiplano del Oriente antioqueño y jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (Cornare), presenta un crecimiento urbano sostenido, alta disponibilidad hídrica y régimen de lluvias frecuente, condiciones que exigen incorporar de manera preventiva criterios de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en su Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) y en el licenciamiento urbanístico; el presente informe, elaborado en el marco del seminario de grado de la Facultad de Ingenierías, analiza el problema de investigación planteado en la propuesta de seminario: ¿cómo pueden incorporarse criterios SUDS en el PBOT y en el proceso de licenciamiento urbanístico de El Santuario para fortalecer la gestión sostenible de las aguas lluvias? Para responder a esta pregunta se revisó el marco normativo colombiano vigente en materia de ordenamiento territorial (Ley 388 de 1997, Decreto 1077 de 2015), de saneamiento básico (Resolución 0330 de 2017 y su modificación mediante la Resolución 799 de 2021) y de gestión del riesgo (Ley 1523 de 2012), así como guías técnicas nacionales e internacionales de referencia para el diseño de SUDS. Se analizó comparativamente el Acuerdo 02 de 2000 y el Acuerdo 01 de 2022 (revisión del PBOT de El Santuario) frente al tratamiento de la escorrentía pluvial, se caracterizó la clasificación del suelo urbano, de expansión y rural frente al control sostenible del agua, y se propusieron lineamientos técnicos, una lista de verificación y un conjunto de indicadores de seguimiento orientados a una futura Guía Técnica Municipal para la Incorporación de SUDS. Los resultados evidencian que si bien el municipio cuenta con determinantes ambientales de Cornare y con suelos de protección delimitados, el instrumento de ordenamiento no incorpora aún criterios explícitos y exigibles de SUDS asociados al índice de ocupación, a la pendiente del terreno y al tipo de suelo, lo que representa una oportunidad de mejora sustancial, particularmente en las zonas de expansión urbana de alta pendiente, el informe concluye con una reflexión sobre la aplicación práctica de estos conceptos en el ejercicio profesional de la ingeniería civil vinculada a la planeación y al licenciamiento urbanístico en Antioquia.

Palabras clave: *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), ordenamiento territorial, licenciamiento urbanístico, gestión del riesgo, alcantarillado pluvial.*

1. Introducción

El crecimiento urbano de los municipios colombianos ha estado tradicionalmente marcado por un desarrollo predio a predio, con escasa articulación entre los instrumentos de planeación y las condiciones hidrológicas y geotécnicas propias de cada territorio (IGAC, 2003), esta forma de urbanización, sumada al enfoque convencional del alcantarillado pluvial orientado a evacuar rápidamente la escorrentía hacia las corrientes receptoras, ha incrementado en las últimas décadas los riesgos asociados a inundaciones, erosión y movimientos en masa, particularmente en municipios de relieve quebrado como los del Oriente antioqueño.

En este contexto, los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) se han consolidado como una alternativa técnica y normativa para reproducir, en la mayor medida posible, el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización, mediante estructuras de retención, infiltración y laminación de caudales (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021b; Woods-Ballard et al., 2015); su incorporación efectiva, sin embargo, no depende únicamente del conocimiento técnico disponible, sino de su articulación con los instrumentos de ordenamiento territorial y con el proceso de licenciamiento urbanístico, escenario donde confluyen la planeación municipal, la autoridad ambiental regional y el ejercicio profesional de la ingeniería civil.

El presente informe se desarrolla en el marco del seminario de grado de la Facultad de Ingenierías con énfasis en planeación, ordenamiento territorial y licenciamiento urbanístico con la toma como caso de estudio del municipio de El Santuario, Antioquia, sede de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (Cornare) y municipio en expansión urbana activa, a partir de la revisión del Plan Básico de Ordenamiento Territorial vigente (Acuerdo 01 de 2022) y de su antecedente (Acuerdo 02 de 2000) del marco normativo nacional aplicable y de la literatura técnica sobre SUDS, se propone un conjunto de lineamientos, criterios de diseño y herramientas de verificación orientados a fortalecer la gestión sostenible de las aguas lluvias en el municipio, con especial atención a las zonas de expansión urbana localizadas en terrenos de pendiente moderada a alta.

1.1. Problema y pregunta de investigación

Actualmente, el crecimiento urbano de El Santuario plantea retos importantes para el manejo de las aguas lluvias, aunque el PBOT y el proceso de licenciamiento urbanístico regulan el desarrollo del territorio, no incorporan de manera explícita criterios técnicos para la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible, lo que puede traducirse en un incremento progresivo de la impermeabilización del suelo, de la escorrentía superficial y del riesgo de afectación sobre la infraestructura vial, las viviendas y los cuerpos de agua receptores.

De esta situación se deriva la pregunta de investigación que orienta este trabajo: ¿Cómo pueden incorporarse criterios de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el PBOT y en el proceso de licenciamiento urbanístico del municipio de El Santuario para fortalecer la gestión sostenible de las aguas lluvias?

El objetivo general que se desprende de esta pregunta consiste en diseñar una propuesta de lineamientos técnicos para incorporar SUDS en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial y en el proceso de licenciamiento urbanístico del municipio.

El resultado esperado de este ejercicio y que se desarrolla de manera preliminar en los siguientes apartados es la propuesta de una Guía Técnica Municipal para la Incorporación de SUDS que contemple algunos criterios para proyectos de vivienda, además de requisitos mínimos para licencias urbanísticas, también tipologías de SUDS según el tipo de desarrollo, así como criterios de diseño según pendiente, tipo de suelo y régimen de lluvias, una lista de verificación para la revisión de proyectos previa al otorgamiento de licencias, e indicadores de seguimiento para evaluar el desempeño de las medidas implementadas.

2. Objetivos

2.1. 2.1 Objetivo general

Diseñar una propuesta de lineamientos técnicos para incorporar Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial y en el proceso de licenciamiento urbanístico del municipio de El Santuario, Antioquia, como aporte a la gestión sostenible de las aguas lluvias.

2.2. Objetivos específicos

a) Analizar el marco normativo y el instrumento de ordenamiento territorial vigente en materia de SUDS, comparando el tratamiento otorgado a la gestión de las aguas lluvias entre el Acuerdo 02 de 2000 y el Acuerdo 01 de 2022 (PBOT de El Santuario), a la luz de la Ley 388 de 1997, el Decreto 1077 de 2015, la Resolución 0330 de 2017 (mod. Res. 799 de 2021) y la Ley 1523 de 2012.

b) Caracterizar la clasificación del suelo municipal y establecer criterios técnicos de selección de tipologías de SUDS según la pendiente del terreno, el tipo de suelo y el uso urbanístico, con énfasis en las condiciones topográficas del Oriente antioqueño.

c) Explicar la importancia del control de agua lluvia en zonas de alta pendiente — erosión, estabilidad geotécnica, protección de acuíferos y cobertura vegetal— y proponer un esquema de integración de los criterios SUDS en el proceso de licenciamiento urbanístico, articulando la planeación municipal, la norma técnica sectorial (RAS) y la autoridad ambiental regional (Cornare).

d) Formular una lista de verificación técnica e indicadores de seguimiento que sirvan de base para una futura Guía Técnica Municipal para la Incorporación de SUDS en El Santuario.

3. Marco conceptual y contextual

Este seminario de grado se desarrolla en el campo de la planeación y el ordenamiento territorial, con énfasis en el licenciamiento urbanístico y su relación directa con la ingeniería civil, particularmente en lo referente al diseño de sistemas de drenaje urbano para la retención y el manejo sostenible de las aguas lluvias, el presente marco conceptual retoma los planteamientos técnicos del documento Gestión del Suelo Urbano en el Marco del Ordenamiento Territorial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2003), la normatividad colombiana de ordenamiento territorial, saneamiento básico y gestión del riesgo, y la literatura técnica nacional e internacional sobre Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), con el propósito de sustentar la propuesta de lineamientos técnicos aplicada al municipio de El Santuario, Antioquia.

3.1. Ordenamiento territorial y clasificación del suelo en Colombia

La Ley 388 de 1997, conocida como Ley de Desarrollo Territorial, constituye el cuerpo normativo que rige el ordenamiento territorial en Colombia y dota a los municipios de instrumentos de planificación como el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) para municipios entre 30.000 y 100.000 habitantes, y el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) para municipios con menos de 30.000 habitantes y de gestión del suelo (Congreso de Colombia, 1997).

Dicha ley, junto con la Ley 9 de 1989 de Reforma Urbana define la clasificación del suelo en suelo urbano, suelo de expansión urbana, suelo rural, suelo suburbano y suelo de protección, categorías que determinan el tipo de uso, el nivel de aprovechamiento urbanístico y el tipo de gestión exigible a cada predio (IGAC, 2003).

Con relaciona el suelo urbano corresponde a las áreas del territorio municipal que cuentan con infraestructura vial y redes de servicios públicos domiciliarios y aptitud para la urbanización; el suelo de expansión urbana es aquel que, siendo rural, será habilitado para uso urbano durante la vigencia del plan mediante la dotación de infraestructura, y es precisamente en esta categoría donde resulta más viable y económicamente eficiente incorporar criterios de drenaje sostenible desde la etapa de planeamiento, antes de que se consolide la impermeabilización del suelo (IGAC, 2003).

Por su parte, el suelo de protección, por su parte, agrupa las áreas restringidas por sus condiciones geográficas, paisajísticas, ambientales o de amenaza y riesgo, categoría en la que se enmarcan las microcuencas abastecedoras y las rondas hídricas que deben preservarse frente al avance de la urbanización.

De igual forma el Decreto 1077 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, compila y reglamenta las disposiciones relativas a planes parciales, unidades de actuación urbanística, licencias urbanísticas y determinantes ambientales que deben incorporar los POT/PBOT municipales es la referencia técnica y jurídica principal para la actuación de los curadores urbanos y de las oficinas de planeación municipal en el trámite de licencias de urbanización y construcción, y en él se fundamenta la exigencia de incorporar las

determinantes ambientales expedidas por las corporaciones autónomas regionales como Cornare, en el caso del Oriente antioqueño dentro del contenido de los instrumentos de ordenamiento (Presidencia de la República de Colombia, 2015).

3.2. Licenciamiento urbanístico y su relación con la ingeniería civil en Antioquia

El licenciamiento urbanístico es el acto administrativo mediante el cual la autoridad competente en la curaduría urbana o, en su ausencia, la oficina de planeación municipal autoriza a un particular a urbanizar o construir un predio de acuerdo con las normas establecidas en el POT o PBOT, en este proceso, la ingeniería civil interviene de manera directa en al menos tres frentes técnicos que se relacionan con el diseño hidráulico de las redes de acueducto y alcantarillado sanitario o pluvial, el diseño geotécnico de cimentaciones y estabilidad de taludes, así como el diseño de la infraestructura vial y de espacio público (Presidencia de la República de Colombia, 2015).

En Antioquia, y particularmente en municipios del Oriente antioqueño como El Santuario, Rionegro, La Ceja, El Retiro o Marinilla, el crecimiento de nuevas urbanizaciones ha estado acompañado históricamente de un enfoque de alcantarillado convencional orientado a evacuar rápidamente la escorrentía pluvial hacia las corrientes receptoras sin incorporar de manera sistemática criterios de retención, infiltración o laminación de caudales previos al vertimiento.

La incorporación de SUDS transforma este paradigma en que el ingeniero civil, en su rol de diseñador, interventor o revisor técnico dentro del trámite de licenciamiento, pasa de calcular únicamente la capacidad hidráulica de conducción de los colectores pluviales a evaluar también la capacidad de retención, infiltración y reúso del predio, integrando variables como la pendiente del terreno, el tipo de suelo, la permeabilidad, la profundidad del nivel freático y la existencia de acuíferos o microcuencas abastecedoras. Esta integración exige, además, coordinación permanente entre la oficina de planeación municipal, la autoridad ambiental regional (Cornare) y el profesional responsable del diseño, de forma que los criterios SUDS queden explícitamente exigidos como requisito

previo al otorgamiento de la licencia y no como una alternativa voluntaria del urbanizador.

3.3. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): concepto y tipologías

Los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) son un conjunto de técnicas y estructuras superficiales o subsuperficiales orientadas a gestionar la escorrentía pluvial en el origen, reproduciendo en la mayor medida posible el ciclo hidrológico natural previo a la urbanización, mediante la retención, infiltración, laminación, filtración y evapotranspiración del agua de lluvia, en contraposición al enfoque convencional de evacuación rápida por tubería (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021b; Woods-Ballard et al., 2015); a lo anterior, Fletcher et al. (2015) señalan que estos sistemas conocidos también como Low Impact Development (LID), Best Management Practices (BMP) o Water Sensitive Urban Design (WSUD), según la tradición técnica de cada país comparten el propósito común de mitigar los impactos hidrológicos, hidráulicos y de calidad del agua generados por la impermeabilización del suelo urbano.

De acuerdo con la Guía metodológica para la formulación e implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021b) y con la Guía técnica de diseño y construcción de SUDS de la Universidad de los Andes (2017), las principales tipologías incluyen techos verdes, pavimentos permeables, zanjas y cunetas verdes (bioswales), jardines de lluvia (rain gardens), franjas de infiltración, alcorques inundables, estanques de detención y retención, humedales artificiales y sistemas de infiltración en trinchera o pozo.

Cada tipología presenta requerimientos particulares de pendiente, tipo de suelo, nivel freático y espacio disponible, aspecto que se desarrolla con mayor detalle en la sección de desarrollo de este informe, el CIRIA SuDS Manual (Woods-Ballard et al., 2015), referente internacional ampliamente citado en la literatura técnica, propone además un enfoque de "tren de gestión" (management train), según el cual los SUDS deben combinarse en serie con relación al control en el origen, control local y control regional para lograr una gestión integral del volumen y la calidad del agua antes de su vertimiento a los cuerpos receptores.

En Colombia, el marco de referencia técnica se ha consolidado a partir de la Resolución 0330 de 2017, que adoptó el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y en cuyo Título B se establecen los criterios de diseño de sistemas de acueducto y alcantarillado, incluyendo el manejo de aguas lluvias (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), la cual fue posteriormente modificada por la Resolución 799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021a). A nivel local, experiencias como la Norma Técnica NS-166 de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB, 2018) y la Guía técnica de la Universidad de los Andes (2017) han servido de referencia metodológica para municipios que, como El Santuario, aún no cuentan con una guía propia de SUDS.

3.4. Contexto de estudio: el municipio de El Santuario, Antioquia

El Santuario es un municipio del Altiplano del Oriente antioqueño, subregión que agrupa, entre otros, a Rionegro, La Ceja, Marinilla, Guarne, El Carmen de Viboral, La Unión y El Retiro. El municipio alberga la sede principal de Cornare, corporación creada mediante la Ley 60 de 1983 con jurisdicción sobre 26 municipios del Oriente antioqueño y encargada de administrar el medio ambiente y los recursos naturales renovables de la región, incluyendo el otorgamiento de permisos de vertimiento y concesión de aguas (Cornare, 2024).

Esta condición ubica a El Santuario en una posición particular que es simultáneamente sede de la autoridad ambiental regional y un municipio en expansión urbana activa, lo que constituye una oportunidad estratégica para articular de manera ejemplar la planeación municipal con la gestión ambiental regional.

De acuerdo con la propuesta de seminario que sustenta este informe, El Santuario presenta al menos cinco condiciones que justifican el estudio: (a) un crecimiento urbano sostenido con nuevas urbanizaciones; (b) alta disponibilidad de recursos hídricos y presencia de microcuencas que requieren protección; (c) un régimen de lluvias frecuente, propio del Oriente antioqueño; (d) el incremento de superficies impermeables asociado a la urbanización, que modifica el comportamiento natural de la escorrentía; y (e) la oportunidad de incorporar infraestructura verde antes de alcanzar niveles de

consolidación urbana similares a los del Valle de Aburrá, lo que permite abordar la planeación desde una perspectiva preventiva, el instrumento de ordenamiento vigente — analizado en la sección de desarrollo— es el Acuerdo 01 de 2022, mediante el cual el Concejo Municipal adoptó la revisión y ajustes al PBOT adoptado originalmente mediante el Acuerdo 02 de 2000 (Concejo Municipal de El Santuario, 2000, 2022).

4. Desarrollo e implementación del aprendizaje

En esta sección se presentan los resultados del análisis técnico y normativo desarrollado durante el seminario de grado, aplicando los conceptos de planeación, ordenamiento territorial, licenciamiento urbanístico y diseño de sistemas de drenaje urbano sostenible al caso del municipio de El Santuario, Antioquia.

El desarrollo sigue la estructura planteada en la propuesta de seminario: problema y pregunta de investigación, diagnóstico normativo, marco normativo aplicable, clasificación del suelo, tipologías de SUDS, importancia del control de agua lluvia en zonas de alta pendiente, integración de los SUDS en el proceso de licenciamiento y, finalmente, la propuesta de lineamientos técnicos e indicadores de seguimiento que darían lugar a una Guía Técnica Municipal para la Incorporación de SUDS.

4.1. Diagnóstico del PBOT de El Santuario frente a la gestión de aguas lluvias

El municipio de El Santuario adoptó su primer instrumento de ordenamiento territorial mediante el Acuerdo 02 de 2000, formulado en el marco del Convenio Masora (Municipios Asociados del Altiplano del Oriente Antioqueño) bajo un enfoque de simultaneidad subregional (Concejo Municipal de El Santuario, 2000). Veintidós años después, y luego de un prolongado proceso de concertación con Cornare, el municipio adoptó mediante el Acuerdo 01 de 2022 la revisión y ajustes de dicho instrumento (Concejo Municipal de El Santuario, 2022), atendiendo la exigencia de la Ley 388 de 1997 de actualizar el PBOT cada dos períodos constitucionales de la administración municipal.

La Tabla 1 sintetiza, a partir de la revisión documental disponible, el tratamiento que cada instrumento otorga a la gestión de las aguas lluvias y a la posibilidad de incorporar SUDS.

Tabla 1 Comparación del tratamiento de las aguas lluvias entre los instrumentos de ordenamiento territorial de El Santuario

Aspecto	Acuerdo 02 de 2000	Acuerdo 01 de 2022
Enfoque general del componente hídrico	Simultaneidad subregional (Convenio Masora); identificación general de microcuencas y zonas de amenaza y riesgo	Actualización concertada con Cornare; incorpora estudio básico de amenaza y riesgo y delimitación de microcuencas abastecedoras
Tratamiento del alcantarillado pluvial	Remisión general a proyectos de red de acueducto y alcantarillado, sin diferenciar aguas lluvias de aguas residuales	Mantiene remisión a normas técnicas sectoriales (RAS), sin un capítulo específico de SUDS
Suelos de protección hídrica	Identificación preliminar de microcuencas hidrográficas y pendientes del terreno	Delimitación de áreas de protección y conservación, corredores ecológicos y microcuencas abastecedoras
Gestión del riesgo	Zonificación general de amenazas y riesgos	Estudio básico de amenaza y riesgo (2021) conforme al Decreto 1077 de 2015, con mayor detalle técnico
Mención explícita a SUDS	No se identifican criterios de SUDS	No se identifican criterios exigibles de SUDS asociados a licenciamiento; persiste como vacío normativo

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de los acuerdos municipales de El Santuario (Concejo Municipal de El Santuario, 2000, 2022) y de los criterios generales de la Ley 388 de 1997.

El análisis comparativo permite identificar que, si bien la actualización de 2022 fortalece de manera significativa el componente de gestión del riesgo y la delimitación de suelos de protección con el avance relevante frente al instrumento del año 2000, ninguno de los dos acuerdos incorpora de manera explícita y exigible criterios técnicos de SUDS asociados a variables como el índice de ocupación, la pendiente del terreno o el coeficiente de escorrentía admisible por predio.

Este vacío normativo constituye precisamente el problema de investigación que sustenta la propuesta de lineamientos técnicos desarrollada en este informe, y representa una ventana de oportunidad para que, en el marco de futuras revisiones o de la

reglamentación de planes parciales y unidades de actuación urbanística, el municipio incorpore dichos criterios de manera sistemática.

4.2. Marco normativo aplicable a la incorporación de SUDS

La incorporación de criterios SUDS en el PBOT y en el licenciamiento urbanístico de El Santuario debe fundamentarse en un conjunto articulado de normas nacionales que regulan, de manera complementaria, el ordenamiento territorial, el saneamiento básico y la gestión del riesgo de desastres.

La Tabla 2 sintetiza las principales normas identificadas y su alcance específico frente al objeto de este informe.

Tabla 2. *Marco normativo nacional aplicable a la incorporación de SUDS en el ordenamiento territorial y el licenciamiento urbanístico*

Norma	Entidad que la expide	Alcance frente a SUDS y drenaje urbano
Ley 9 de 1989	Congreso de Colombia	Reforma urbana; define espacio público, cesiones obligatorias y bases del control urbanístico municipal
Ley 99 de 1993	Congreso de Colombia	Crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y las Corporaciones Autónomas Regionales, como Cornare, autoridad de licencias y permisos ambientales
Ley 388 de 1997	Congreso de Colombia	Define el POT/PBOT/EOT, la clasificación del suelo, el aprovechamiento urbanístico y el reparto de cargas y beneficios
Ley 1523 de 2012	Congreso de Colombia	Política Nacional de Gestión del Riesgo; exige incorporar el conocimiento y la reducción del riesgo en los instrumentos de ordenamiento
Decreto 1077 de 2015	Presidencia de la República	Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda; reglamenta licencias urbanísticas, planes parciales y determinantes ambientales
Resolución 0330 de 2017 (mod. Res. 799 de 2021)	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS); Título B, criterios de diseño de alcantarillado pluvial

Guía metodológica SUDS (2021)	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Orientaciones metodológicas para formular e implementar SUDS en instrumentos de planeación municipal
--	--	--

Fuente. Elaboración propia con base en Congreso de Colombia (1989, 1993, 1997, 2012), Presidencia de la República de Colombia (2015) y Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2017, 2021a, 2021b).

De este marco normativo se desprenden dos implicaciones prácticas para el ejercicio del licenciamiento urbanístico en El Santuario. En primer lugar, la Ley 388 de 1997 faculta al municipio para exigir, mediante normas urbanísticas generales y complementarias, requisitos técnicos específicos —como los criterios SUDS— sin necesidad de esperar una reforma legal nacional, siempre que dichos requisitos se incorporen formalmente en el PBOT o en los instrumentos que lo desarrollen (planes parciales, unidades de actuación urbanística).

En segundo lugar, la articulación entre el Decreto 1077 de 2015 y la Resolución 0330 de 2017 implica que cualquier proyecto de urbanización debe cumplir simultáneamente con las normas urbanísticas municipales y con el RAS, de modo que la incorporación de SUDS en el PBOT no sustituye, sino que complementa y antecede, el diseño hidráulico convencional exigido por la norma técnica sectorial.

4.3. Clasificación del suelo y su relación con el control de la escorrentía

Como se expuso en el marco conceptual, la Ley 388 de 1997 clasifica el suelo municipal en urbano, de expansión urbana, rural, suburbano y de protección (IGAC, 2003). Cada una de estas categorías presenta implicaciones diferenciadas para el manejo de las aguas lluvias y para la viabilidad técnica de incorporar SUDS, tal como se resume en la Tabla 3.

Tabla 3 *Clasificación del suelo (Ley 388 de 1997) e implicaciones para el manejo de aguas lluvias y la incorporación de SUDS*

Clase de suelo	Definición general	Implicación para SUDS en El Santuario
Suelo urbano	Áreas con infraestructura vial y redes de servicios públicos consolidadas y aptitud urbanística	Suelo ya impermeabilizado; la incorporación de SUDS requiere intervenciones de renovación

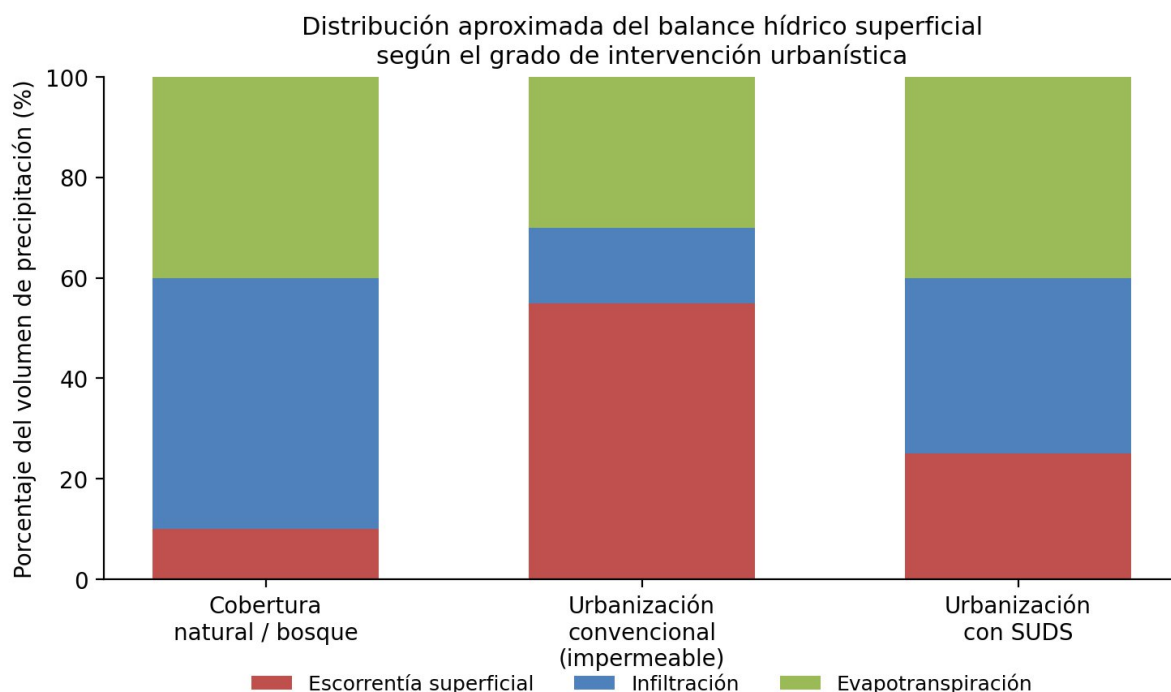
		(pavimentos permeables, alcorques inundables, techos verdes en redesarrollo)
Suelo de expansión urbana	Suelo rural que será habilitado para uso urbano durante la vigencia del PBOT	Mayor viabilidad técnica y económica para incorporar SUDS desde el diseño urbanístico original, antes de la impermeabilización
Suelo suburbano	Suelo rural con mezcla de usos y formas de vida de campo y ciudad	Requiere criterios de baja densidad e infiltración natural; SUDS de infiltración distribuida
Suelo rural	Destinado a usos agrícolas, ganaderos, forestales o mineros	Función reguladora natural del ciclo hidrológico; debe protegerse su capacidad de infiltración e interceptación vegetal
Suelo de protección	Áreas restringidas por condiciones ambientales, paisajísticas o de amenaza y riesgo	Incluye microcuencas abastecedoras y rondas hídricas; corresponde a la infraestructura verde de soporte del sistema SUDS municipal

Fuente: Elaboración propia a partir de IGAC (2003) y Congreso de Colombia (1997).

La clasificación del suelo, junto con el nivel de aprovechamiento urbanístico definido por el índice de ocupación y el índice de construcción, según lo describe el documento de gestión del suelo urbano del IGAC (2003) que determina de manera directa el coeficiente de escorrentía superficial que se genera tras la urbanización.

La Figura 1 ilustra, de forma esquemática y a partir de rangos de referencia recogidos en la literatura técnica sobre hidrología urbana y SUDS (Chow et al., 1994; Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021b), la manera en que el balance hídrico superficial se modifica según el grado de intervención urbanística.

Figura 1 Distribución aproximada del balance hídrico superficial según el grado de intervención urbanística.



Fuente: Elaboración propia con base en rangos de referencia de Chow et al. (1994) y Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021b).

Como se observa en la Figura 1, la cobertura natural favorece la infiltración y la evapotranspiración, con una escurrimiento superficial reducida (del orden del 10 % del volumen precipitado). La urbanización convencional, al incrementar las superficies impermeables mediante vías, cubiertas y andenes, invierte esta relación y puede elevar la escurrimiento hasta valores cercanos al 50-60 %, incrementando los caudales pico y reduciendo el tiempo de concentración de las cuencas urbanas. La incorporación de SUDS no revierte completamente la condición natural, pero permite recuperar una proporción significativa de la infiltración y la evapotranspiración, atenuando los caudales pico que llegan al sistema de alcantarillado pluvial convencional y a las corrientes receptoras. Para un municipio como El Santuario, que se encuentra en una fase temprana de expansión urbana, esta relación resulta especialmente relevante: incorporar SUDS ahora, en el suelo de expansión, es sustancialmente más eficiente en términos de costo y

de espacio disponible que hacerlo posteriormente mediante intervenciones de renovación urbana en el suelo ya consolidado.

4.4. Tipologías de SUDS y criterios de selección según pendiente y tipo de suelo

La selección de la tipología de SUDS más adecuada para un proyecto urbanístico en El Santuario debe considerar, como mínimo, tres variables técnicas: la pendiente del terreno, el tipo de suelo (capacidad de infiltración y profundidad del nivel freático) y el tipo de desarrollo urbanístico (vivienda unifamiliar, multifamiliar, uso comercial o institucional, vías y espacio público). La Tabla 4 propone una matriz de referencia, construida a partir de las tipologías descritas en la Guía metodológica del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021b), la Guía técnica de la Universidad de los Andes (2017) y el CIRIA SuDS Manual (Woods-Ballard et al., 2015), adaptada a las condiciones topográficas del Oriente antioqueño, donde predominan pendientes moderadas a altas.

Tabla 4 *Matriz de referencia de tipologías SUDS según pendiente, tipo de suelo y función principal*

Tipología SUDS	Pendiente recomendada	Tipo de suelo / uso más adecuado	Función principal
Techos verdes	No aplica (cubiertas)	Vivienda unifamiliar y multifamiliar, edificaciones institucionales	Retención e interceptación de lluvia; reducción del volumen de escorrentía
Pavimentos permeables	0 % - 5 %	Andenes, parqueaderos, vías locales de bajo tránsito	Infiltración directa; reducción de escorrentía en zonas planas
Zanjas y cunetas verdes (bioswales)	1 % - 6 %	Vías, separadores, bordes de urbanización	Transporte, filtración e infiltración lineal de la escorrentía
Jardines de lluvia (rain gardens)	0 % - 5 %	Zonas residenciales, cesiones para zonas verdes	Retención, infiltración y tratamiento de agua de techos y andenes
Estanques de detención y retención	0 % - 4 %	Zonas de cesión pública, parques inundables	Laminación de caudales pico; almacenamiento

			temporal previo al vertimiento
Terrazas y trinchos de infiltración	6 % - 25 % o más (ladera)	Suelo de expansión y suburbano en pendiente moderada a alta	Fraccionamiento de la pendiente; reducción de la velocidad de escorrentía y control de erosión
Franjas de infiltración y coberturas vegetales	5 % - 25 %	Suelos de protección, retiros a corrientes hídricas	Interceptación vegetal, protección de taludes y microcuencas abastecedoras
Pozos y trincheras de infiltración	0 % - 3 %	Suelos con buena permeabilidad y nivel freático profundo	Infiltración concentrada y recarga controlada de acuíferos

Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021b), Universidad de los Andes (2017) y Woods-Ballard et al. (2015), adaptada a condiciones topográficas del Oriente antioqueño.

4.5. Importancia del control de agua lluvia en zonas de alta pendiente

El Oriente antioqueño, y en particular el territorio de El Santuario, se caracteriza por un relieve ondulado a quebrado propio del Altiplano, con sectores de ladera de pendiente moderada a alta hacia los bordes del casco urbano y las zonas de expansión. En este tipo de terreno, el control del agua lluvia adquiere una importancia que trasciende el simple manejo hidráulico, pues se relaciona de manera directa con la estabilidad geotécnica de las laderas, la conservación de la cobertura vegetal, la recarga de acuíferos y la gestión del riesgo por movimientos en masa.

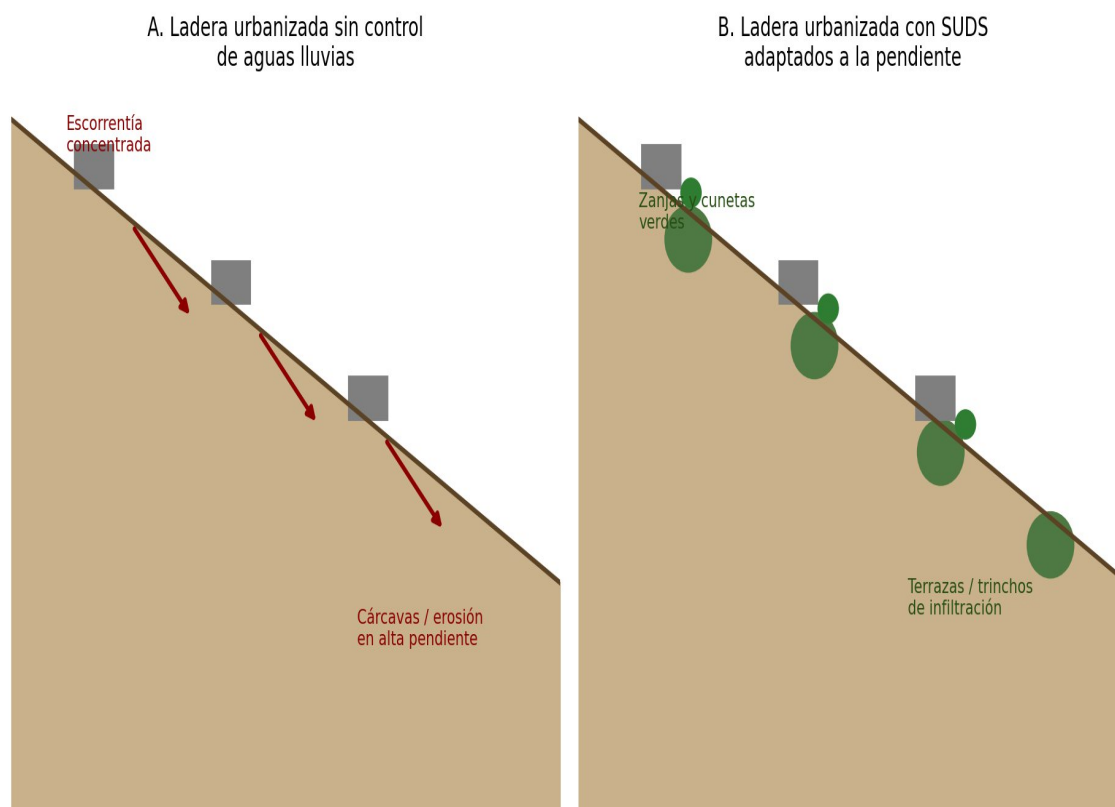
Cuando la escorrentía superficial no se controla en el origen, el agua se concentra en surcos y cárcavas que incrementan la velocidad de flujo y la capacidad erosiva sobre suelos residuales derivados de rocas ígneas y metamórficas —como el Batolito Antioqueño, unidad geológica presente en el Oriente antioqueño—, lo que puede detonar procesos de erosión superficial, socavación de taludes y, en los casos más severos, movimientos en masa.

La Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano (Ávila Álvarez et al., 2015), elaborada en el marco de la Ley 1523 de 2012 y del Decreto 1077 de 2015, identifica el

agua —tanto de infiltración como de escorrentía concentrada— como uno de los principales factores detonantes de este tipo de fenómenos en laderas urbanizadas, junto con la pérdida de cobertura vegetal y la modificación antrópica de la geometría del talud.

La Figura 2 (más adelante) y el esquema comparativo de la Figura 3 ilustran la diferencia conceptual entre una ladera urbanizada sin control de aguas lluvias, en la que la escorrentía se concentra y genera procesos erosivos, y una ladera intervenida con SUDS adaptados a la pendiente —zanjas y cunetas verdes, terrazas y trinchos de infiltración—, en la que el flujo se fracciona, se reduce su velocidad y se favorece la infiltración distribuida.

Figura 2 Esquema comparativo de una ladera urbanizada sin control de aguas lluvias (A) y con SUDS adaptados a la pendiente (B).



Fuente: Elaboración propia con base en los criterios de diseño para zonas de alta pendiente descritos en Woods-Ballard et al. (2015) y en los factores detonantes de movimientos en masa identificados por Ávila Álvarez et al. (2015).

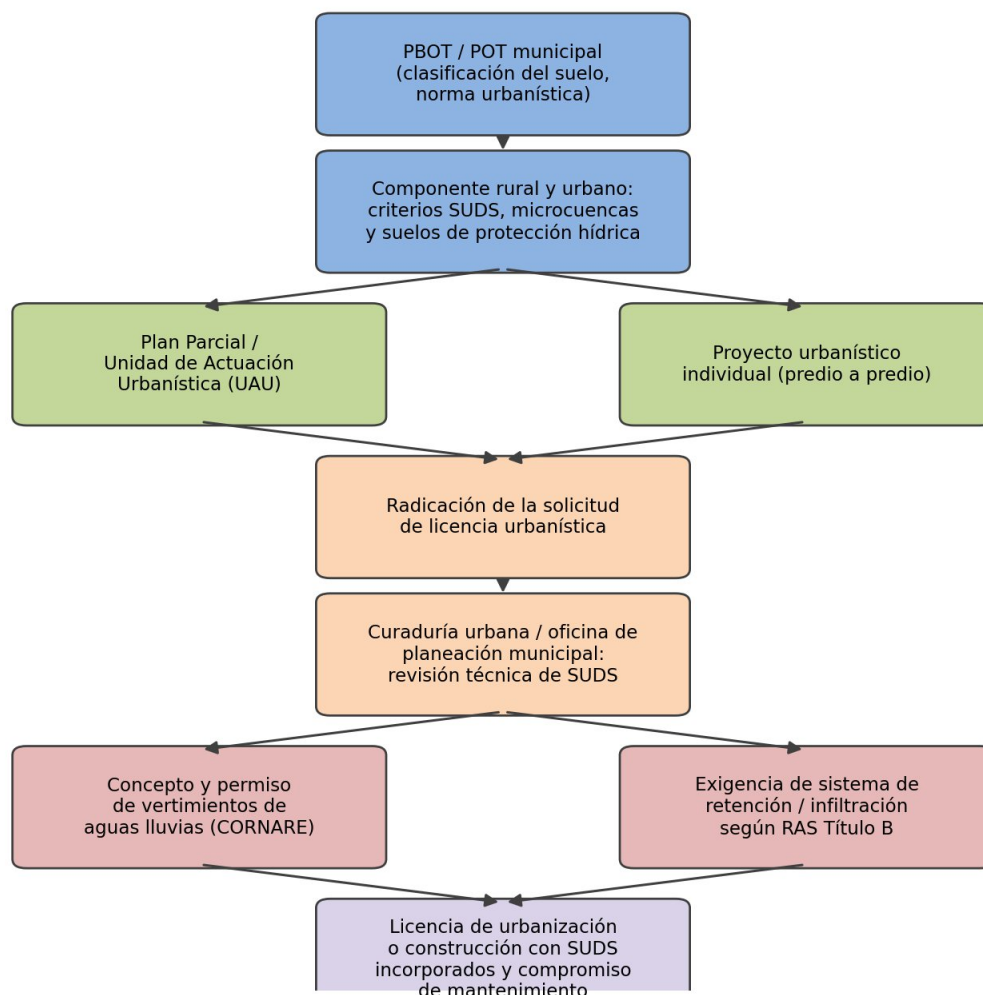
De este análisis se derivan al menos cuatro consideraciones técnicas relevantes para el licenciamiento urbanístico en zonas de alta pendiente en El Santuario: (a) la exigencia de fraccionar la pendiente mediante terrazas, trinchos o gradas de infiltración en desarrollos sobre suelo de expansión con pendientes superiores al 12-15 %; (b) la obligatoriedad de mantener o restituir la cobertura vegetal en retiros y zonas de protección, dado su papel en la interceptación de la lluvia y en el reforzamiento mecánico del suelo mediante el sistema radicular; (c) la protección de las áreas de recarga de acuíferos, evitando su impermeabilización total y priorizando SUDS de infiltración en zonas identificadas con potencial hidrogeológico; y (d) la incorporación de un componente explícito de mantenimiento, dado que los SUDS a diferencia del alcantarillado convencional enterrado requieren mantenimiento periódico de vegetación, remoción de sedimentos y limpieza de estructuras de entrada y salida para conservar su capacidad de infiltración y evitar la colmatación, aspecto que debe quedar establecido como obligación del urbanizador o de la administración municipal en el acto de licenciamiento.

4.6. Integración de los SUDS en el proceso de licenciamiento urbanístico

Para que los criterios técnicos de SUDS descritos en los apartados anteriores tengan efecto vinculante, deben integrarse formalmente en el flujo del proceso de licenciamiento urbanístico municipal, desde la formulación del PBOT hasta el otorgamiento de la licencia de urbanización o construcción.

La Figura 3 propone un esquema de integración, elaborado a partir de la estructura general del licenciamiento urbanístico definida en el Decreto 1077 de 2015 (Presidencia de la República de Colombia, 2015), incorporando los puntos de control donde debería exigirse la verificación de criterios SUDS

Figura 3 Esquema propuesto de integración de criterios SUDS en el proceso de licenciamiento urbanístico municipal.



Fuente: Elaboración propia con base en la estructura general del licenciamiento definida en el Decreto 1077 de 2015 (Presidencia de la República de Colombia, 2015).

Como se observa en la Figura 3, la incorporación de SUDS no debe limitarse a un único punto de control, sino distribuirse en al menos tres momentos del proceso: primero, en la formulación o revisión del PBOT, donde deben quedar establecidos los criterios generales de SUDS asociados a la clasificación del suelo y a la pendiente; segundo, en la radicación y revisión técnica de la solicitud de licencia, momento en el cual la oficina de planeación municipal o la curaduría urbana, cuando exista debe verificar el cumplimiento

de la lista de verificación técnica que se propone en el siguiente apartado; y tercero, en la articulación con Cornare para el otorgamiento del permiso de vertimiento de aguas lluvias, de manera que la autoridad ambiental regional pueda condicionar dicho permiso a la existencia de estructuras de retención o infiltración previas al vertimiento, en concordancia con lo dispuesto por la Ley 99 de 1993 sobre las competencias de las corporaciones autónomas regionales.

4.7. Propuesta de lineamientos técnicos e indicadores de seguimiento

Con base en el diagnóstico normativo, la revisión de la clasificación del suelo y el análisis de tipologías SUDS presentados en los apartados anteriores, se propone a continuación una lista de verificación técnica que la oficina de planeación municipal de El Santuario podría adoptar como requisito previo al otorgamiento de licencias urbanísticas en proyectos que impliquen incremento de superficies impermeables. Esta lista constituye un insumo preliminar para la futura Guía Técnica Municipal para la Incorporación de SUDS planteada como resultado esperado en la propuesta de seminario.

Tabla 5 *Lista de verificación técnica propuesta para la revisión de proyectos urbanísticos frente a criterios SUDS, previa al otorgamiento de la licencia*

Ítem	Criterio de verificación
1. Clasificación del suelo	El proyecto identifica la clase de suelo (urbano, expansión, suburbano) y su norma urbanística asociada según el PBOT vigente
2. Pendiente del terreno	Se presenta el levantamiento topográfico con curvas de nivel y se identifican los sectores con pendiente superior al 12 %
3. Coeficiente de escorrentía	Se calcula el coeficiente de escorrentía antes y después del proyecto, conforme al Título B del RAS (Res. 0330 de 2017, mod. Res. 799 de 2021)
4. Tipología SUDS seleccionada	Se justifica la tipología o combinación de tipologías SUDS de acuerdo con la pendiente, el tipo de suelo y el uso propuesto (ver Tabla 4)
5. Capacidad de infiltración y nivel freático	Se presenta ensayo de infiltración o soporte geotécnico que sustente la viabilidad de los SUDS de infiltración propuestos
6. Protección de microcuencas y retiros	El diseño respeta los retiros a corrientes hídricas y las áreas de protección delimitadas en el PBOT (Acuerdo 01 de 2022)

7. Gestión del riesgo	Se incorpora el resultado del estudio básico de amenaza y riesgo cuando el predio se localice en zona de amenaza por movimientos en masa
8. Permiso de vertimiento	Se cuenta con el concepto o permiso de vertimiento de aguas lluvias de Cornare, cuando aplique
9. Plan de mantenimiento	El proyecto incluye un plan de mantenimiento de las estructuras SUDS y define el responsable de su ejecución en el tiempo
10. Indicadores de seguimiento	El proyecto define los indicadores mínimos de seguimiento post-construcción establecidos por la administración municipal (ver Tabla 6)

Fuente Elaboración propia a partir del análisis normativo desarrollado en este informe y de los criterios generales de Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2021b) y Woods-Ballard et al. (2015).

Finalmente, y con el propósito de evaluar en el tiempo el desempeño de las medidas SUDS implementadas, se propone un conjunto preliminar de indicadores de seguimiento, presentado en la Tabla 6, que la Secretaría de Planeación de El Santuario podría incorporar en el expediente municipal y reportar periódicamente en articulación con Cornare.

Tabla 6 *Indicadores de seguimiento propuestos para la evaluación del desempeño de los SUDS en El Santuario*

Indicador	Unidad de medida	Referencia o meta orientativa
Área impermeabilizada neta por proyecto	m ² / m ² de terreno	Reducir frente al máximo permitido por la norma urbanística vigente
Volumen de escorrentía retenido o infiltrado	m ³ por evento de diseño	Según periodo de retorno definido en el RAS, Título B
Proporción de suelo con cobertura vegetal o permeable	% del área neta urbanizable	No inferior al estándar de cesión de zonas verdes vigente
Número de licencias con criterios SUDS incorporados	Número / total de licencias otorgadas	Incremento anual sostenido
Reportes de erosión o procesos de remoción en masa asociados a escorrentía	Número de eventos por año	Tendencia decreciente en zonas de expansión con SUDS implementados
Ejecución del plan de	% de estructuras con	100 % de las

mantenimiento de SUDS	mantenimiento vigente	estructuras registradas en el expediente municipal
------------------------------	--------------------------	--

Fuente: Elaboración propia.¹

5. Relación de los SUDS con la práctica y el ejercicio del seminario en planeación, ordenamiento territorial, licenciamiento urbanístico y su relación con la ingeniería civil en Antioquia

El desarrollo de este informe permite establecer una relación directa entre los contenidos abordados en el seminario de grado y el ejercicio profesional concreto de la ingeniería civil en Antioquia. En primer lugar, el análisis del PBOT de El Santuario evidencia que la formulación de instrumentos de ordenamiento territorial no es un ejercicio exclusivamente jurídico o cartográfico, sino que requiere de manera creciente la participación técnica de ingenieros civiles capaces de traducir criterios hidrológicos, geotécnicos y de gestión del riesgo en normas urbanísticas exigibles, tal como se propuso en la matriz de tipologías SUDS y en la lista de verificación técnica desarrolladas en este trabajo. Esta es, precisamente, la competencia que el seminario buscó desarrollar: la capacidad de interpretar y aplicar la Ley 388 de 1997 y su reglamentación no como un marco ajeno a la ingeniería, sino como el escenario normativo dentro del cual se ejerce el diseño técnico.

En segundo lugar, el ejercicio de comparar el Acuerdo 02 de 2000 y el Acuerdo 01 de 2022 del municipio permitió aplicar de manera práctica el concepto de gestión del suelo y de reparto de cargas y beneficios desarrollado en el documento del IGAC (2003), evidenciando que la incorporación de criterios técnicos como los SUDS puede formularse como una carga urbanística adicional de carácter técnico y no exclusivamente financiero exigible a los urbanizadores dentro de los planes parciales y las unidades de actuación urbanística previstas en la misma ley. Esto conecta de manera directa la teoría vista en el seminario sobre aprovechamiento urbanístico, plusvalía y unidades de actuación con un problema de ingeniería aplicada: el diseño de sistemas de drenaje sostenible no puede

¹ Los indicadores propuestos deben ajustarse y validarse con información primaria de la Secretaría de Planeación y de Cornare durante la implementación de la Guía Técnica Municipal.

desligarse de la discusión sobre quién asume su costo de construcción y, sobre todo, su mantenimiento en el tiempo, aspecto que en la práctica colombiana ha sido uno de los principales obstáculos para la sostenibilidad de los SUDS ya construidos en otras ciudades del país.

En tercer lugar, la experiencia de El Santuario sede de Cornare y, a la vez, municipio en expansión urbana, ilustra de manera concreta la relación funcional que debe existir entre la oficina de planeación municipal, la autoridad ambiental regional y el profesional de ingeniería civil responsable del diseño urbanístico. El esquema de integración de los SUDS en el proceso de licenciamiento propuesto en este informe (Figura 3) representa, en este sentido, un ejercicio directo de aplicación de los contenidos del seminario relativos al licenciamiento urbanístico, en la medida en que exige articular la norma municipal (PBOT), la norma técnica sectorial (RAS) y el permiso ambiental regional (Cornare) en un único flujo de decisión técnica y administrativa.

Finalmente, este ejercicio académico reafirma que, en el contexto antioqueño — caracterizado por un relieve de ladera, un régimen de lluvias intenso y una expansión urbana activa en municipios intermedios del Oriente, el Suroeste o el Valle de Aburrá—, la ingeniería civil vinculada a la planeación y al licenciamiento urbanístico tiene un rol preventivo insustituible: anticipar, desde el diseño y la norma, los impactos hidrológicos y geotécnicos de la urbanización, en lugar de atender sus consecuencias una vez consolidadas.

En este sentido, la propuesta de lineamientos técnicos, lista de verificación e indicadores de seguimiento desarrollada para El Santuario constituye un ejercicio replicable, con los ajustes pertinentes, para otros municipios de topografía similar en el departamento de Antioquia.

6. Conclusiones

El análisis desarrollado en este informe permite concluir, en primer lugar, que el municipio de El Santuario reúne condiciones favorables —crecimiento urbano activo, alta disponibilidad hídrica, régimen de lluvias frecuente y un grado de consolidación urbana aún moderado— para incorporar de manera preventiva criterios de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en su instrumento de ordenamiento territorial, con

ventajas técnicas y económicas superiores a las que tendría una intervención posterior sobre suelo urbano ya consolidado.

En segundo lugar, la revisión comparada del Acuerdo 02 de 2000 y del Acuerdo 01 de 2022 evidencia avances relevantes en la incorporación de estudios de amenaza y riesgo y en la delimitación de suelos de protección, pero confirma la existencia de un vacío normativo en relación con criterios exigibles de SUDS asociados a la clasificación del suelo, la pendiente del terreno y el índice de ocupación, lo que valida la pregunta de investigación planteada en la propuesta de seminario y sustenta la pertinencia de una futura Guía Técnica Municipal para la Incorporación de SUDS.

En tercer lugar, el marco normativo colombiano vigente Ley 388 de 1997, Decreto 1077 de 2015, Resolución 0330 de 2017 modificada por la Resolución 799 de 2021, y Ley 1523 de 2012— ofrece herramientas jurídicas suficientes para que el municipio incorpore dichos criterios sin necesidad de una reforma legal adicional, mediante la actualización de sus normas urbanísticas generales y complementarias y la articulación con las determinantes ambientales de Cornare.

En cuarto lugar, la matriz de tipologías SUDS propuesta según pendiente y tipo de suelo, junto con la lista de verificación técnica y los indicadores de seguimiento formulados, constituyen un insumo técnico aplicable no solo a El Santuario, sino, con los ajustes pertinentes, a otros municipios del Oriente antioqueño y de zonas de ladera del departamento que enfrentan retos similares de expansión urbana sobre terrenos de pendiente moderada a alta.

Por último, este ejercicio confirma que el control sostenible del agua lluvia en zonas de alta pendiente no es únicamente un asunto hidráulico, sino un componente central de la gestión del riesgo, de la protección de acuíferos y microcuencas, y de la conservación de la cobertura vegetal, razón por la cual su incorporación en el licenciamiento urbanístico exige una actuación coordinada entre la planeación municipal, la autoridad ambiental regional y el ejercicio profesional de la ingeniería civil, en línea con los contenidos desarrollados a lo largo del seminario de grado.

7. Referencias

- Ávila Álvarez, G. E., Cubillos Peña, C. E., Granados Becerra, A. E., Medina Bello, E., Rodríguez Castiblanco, E. A., Rodríguez Pineda, C. E., & Ruiz Peña, G. L. (2015). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Servicio Geológico Colombiano.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Hidrología aplicada. McGraw-Hill Interamericana.
- Concejo Municipal de El Santuario, Antioquia. (2000). Acuerdo 02 de 2000, por medio del cual se adopta el Plan Básico de Ordenamiento Territorial para el municipio de El Santuario.
- Concejo Municipal de El Santuario, Antioquia. (2022). Acuerdo 01 de 2022, por medio del cual se adopta la revisión y ajustes al Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de El Santuario.
- Congreso de Colombia. (1989). Ley 9 de 1989, por la cual se dictan normas sobre planes de desarrollo municipal, compraventa y expropiación de bienes y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 38.650.
- Congreso de Colombia. (1993). Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Diario Oficial No. 41.146.
- Congreso de Colombia. (1997). Ley 388 de 1997, por la cual se modifica la Ley 9 de 1989 y la Ley 3 de 1991 y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 43.091.
- Congreso de Colombia. (2012). Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Diario Oficial No. 48.411.
- Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare [Cornare]. (2024). Información general. <https://www.cornare.gov.co/informacion-general/>
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá [EAAB-ESP]. (2018). Criterios para diseño y construcción de Sistemas de Drenajes Urbanos Sostenibles (Norma Técnica NS-166).

- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542.
<https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2003). *Gestión del suelo urbano en el marco del ordenamiento territorial*. IGAC.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330 de 2017, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021a). Resolución 799 de 2021, por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021b). *Guía metodológica para la formulación e implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible – SUDS*.
https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/suds_v.0.0.pdf
- Presidencia de la República de Colombia. (2015). Decreto 1077 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. *Diario Oficial* No. 49.523.
- Universidad de los Andes. (2017). *Guía técnica de diseño y construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)*. Universidad de los Andes.
- Woods-Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SuDS manual (C753)*. Construction Industry Research and Information Association [CIRIA].