

RV: ENVIO INFORME FINAL PROCESO 2019-00065

Correspondencia Sede Judicial CAN - Bogotá - Bogotá D.C.

<correscanbta@cendoj.ramajudicial.gov.co>

Mar 6/04/2021 9:59 AM

Para: Juzgado 04 Administrativo Seccion Primera - Bogotá - Bogotá D.C. <jadmin04bta@notificacionesrj.gov.co> 2 archivos adjuntos (10 MB)

CONCEPTO TECNICO REVISIÓN 30 DE MARZO DE 2021_REVFcancedo.pdf; MEMORANDO INFORME FINAL PROCESO 201900065.docx;

Cordial saludo,

De manera atenta informamos que ha sido radicado el presente correo como memorial para el proceso relacionado en el mismo, dentro del registro en el aplicativo siglo XXI podrá confirmar los datos del mensaje como Asunto, fecha y hora de recibo.

Atentamente,

Grupo de Correspondencia
Oficina de Apoyo de los Juzgados Administrativos
Sede Judicial CAN
GTF

De: Luz Stella Camacho Gomez <lscamacho@minambiente.gov.co>**Enviado:** lunes, 5 de abril de 2021 4:57 p. m.**Para:** Correspondencia Sede Judicial CAN - Bogotá - Bogotá D.C. <correscanbta@cendoj.ramajudicial.gov.co>**Cc:** Juzgado 04 Administrativo Seccion Primera - Bogota - Bogota D.C.

<admin04bt@cendoj.ramajudicial.gov.co>

Asunto: ENVIO INFORME FINAL PROCESO 2019-00065

Honorable Señor Juez

Atn : Dr. LALO ENRIQUE OLARTE RINCÓN

JUZGADO CUARTO (4TO) ADMINISTRATIVO DE BOGOTÁ

Carrera 57 No. 43-91 Sede Judicial CAN

Teléfono: +57(1)5553939 extensión 1004

Correo Electrónico: admin04bt@cendoj.ramajudicial.gov.co

La Ciudad.

MEDIO DE CONTROL : ACCION DE NULIDAD SIMPLE**RADICACIÓN :** 11001-33-34-004-2019-00065-00**DEMANDANTE :** MARIA FERNANDA ROJAS MANTILLA.**DEMANDADO :** BOGOTA DISTRITO CAPITAL Y OTROS

ASUNTO :
CAUTELAR

ENTREGA DEL INFORME TÉCNICO ORDENADO EN LA DECISION DE LA MEDIDA

Remito el informe en cumplimiento a las ordenes dadas a esta entidad

--

Luz Stella Camacho Gomez

Profesional Universitario

Oficina Asesora Jurídica

Conmutador (571) 3323400

Calle 37 No. 8 - 40

www.minambiente.gov.co



AVISO LEGAL: Este correo electrónico contiene información confidencial del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS. Si Usted no es el destinatario, le informamos que no podrá usar, retener, imprimir, copiar, distribuir o hacer público su contenido, de hacerlo podría tener consecuencias legales como las contenidas en la Ley 1273 del 5 de Enero de 2009 y todas las que le apliquen. Si ha recibido este correo por error, por favor informe al remitente y luego bórralo. Si usted es el destinatario, le solicitamos mantener reserva sobre el contenido, los datos o información de contacto del remitente y en general sobre la información de este documento y/o archivos adjuntos, a no ser que exista una autorización explícita.

LEGAL NOTICE: This e-mail transmission contains confidential information of Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS. If you are not the intended recipient, you should not use, hold, print, copy, distribute or make public its content, on the contrary it could have legal repercussions as contained in Law 1273 of 5 January 2009 and all that apply. If you have received this e-mail transmission in error, Please inform the sender and then delete it. If you are the intended recipient, we ask you not to make public the content, the data or contact information of the sender and in general the information of this document or attached file, unless a written authorization exists.



Fecha: 5 de Abril de 2021

8140-2020-2- 10392

Bogotá D.C.,

Honorable Señor Juez
Atn : Dr. LALO ENRIQUE OLARTE RINCÓN
JUZGADO CUARTO (4TO) ADMINISTRATIVO DE BOGOTA
Carrera 57 No. 43-91 Sede Judicial CAN
Teléfono: +57(1)5553939 extensión 1004
Correo Electrónico: admin04bt@cendoj.ramajudicial.gov.co
La Ciudad.

MEDIO DE CONTROL : ACCION DE NULIDAD SIMPLE
RADICACIÓN : 11001-33-34-004-2019-00065-00
DEMANDANTE : MARIA FERNANDA ROJAS MANTILLA.
DEMANDADO : BOGOTA DISTRITO CAPITAL Y OTROS
ASUNTO : ENTREGA DEL INFORME TÉCNICO ORDENADO EN LA
DECISION DE LA MEDIDA CAUTELAR

Respetado H. Señor Juez,:

LUZ STELLA CAMACHO GÓMEZ, abogada en ejercicio, identificada como aparece al pie de mi firma, actuando en calidad de apoderada de la NACIÓN- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, conforme al poder legalmente conferido por la Jefe de la Oficina Asesora Jurídica el cual reposa en el expediente, en cumplimiento a las ordenes del auto proferido el 9 de julio del año 2020, por el Tribunal Administrativo de Cundinamarca Sección Primera Subsección B, el cual decidió el recurso de Apelación interpuestos por la parte demandada Secretaría Distrital de Planeación y los terceros con interés directo en el resultado del proceso Sociedad de Activos Especiales (SAE), Fideicomiso Lagos de Torca y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En cumplimiento a las ordenes dadas en auto del 9 de julio de 2020, se envía al despacho el informe del "Concepto Técnico sobre el análisis de conectividad ecológica e hídrica superficial, sub superficial y subterránea, entre la Zona de Reserva Forestal Thomas Van der Hammen y la Reserva Forestal Protectora Nacional Bosque Oriental de Bogotá, en la unidad espacial de análisis del corredor de la Autopista Norte coincidente con el AP-2", elaborado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAVH) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), como producto del contrato interadministrativo N°642 de 2020

Coordialmente,

LUZ STELLA CAMACHO GÓMEZ
C.C.51.937.669 de Bogotá
T.P. 70.379 del Consejo Superior de la Judicatura



El ambiente
es de todos

Minambiente

Fecha: 5 de Abril de 2021

8140-2020-2- 10392

Anexó: Lo enunciado.



CONCEPTO TÉCNICO

Análisis de la conectividad ecológica e hídrica superficial, subsuperficial y subterránea entre la Zona de Reserva Forestal Thomas van Der Hammen y la Reserva Forestal Protectora Nacional Bosque Oriental de Bogotá, en la unidad espacial de análisis del corredor de la Autopista Norte coincidente con el AP-2.

Febrero de 2021



CONTROL DOCUMENTAL

TÍTULO DEL DOCUMENTO: Concepto Técnico sobre el análisis de conectividad ecológica e hídrica superficial, subsuperficial y subterránea, entre la Zona de Reserva Forestal Thomas van Der Hammen y la Reserva Forestal Protectora Nacional Bosque Oriental de Bogotá, en la unidad espacial de análisis del corredor de la Autopista Norte coincidente con el AP-2.

TIPO DE DOCUMENTO: INFORME

VERSIÓN: 2.1

PROCESAMIENTO Y DESARROLLO:

PROCEDIMIENTO	RESPONSABLE	FECHA
ELABORACIÓN	Daniel Bermúdez	14/12/2020
	Adriana Ruiz	
	Sandra Cuevas	
	Sandra Medina	
	Nelsy Verdugo	
	José Ochoa	
	Marcelo Villa	
	Gabriel Perilla	
	Camilo Correa	24/12/2020
Wilson Ramirez		
REVISIÓN	Fabio Bernal	18/12/2020
	Nelsy Verdugo	
	Liliana Otálvaro	22/01/2021



	Luis Hernández Fabián Caicedo	
	Nelsy Verdugo Fabio Bernal José Ochoa Marcelo Villa Gabriel Perilla Camilo Correa	29/01/2021
APROBACIÓN	Nelson Omar Vargas Wilson Ramirez Nelsy Verdugo	4/02/2021
	Nelsy Verdugo Fabio Bernal José Ochoa	18/02/2021

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	9
1. CONCEPTOS CLAVE DEL ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD	10
2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ANÁLISIS.....	11
3. MARCO LEGAL Y NORMATIVO	15
3.1 JURISDICCIÓN CAR.....	15
3.2 JURISDICCIÓN DISTRITAL	16
4. INFORMACIÓN REVISADA	21
5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	24
5.1 Análisis de conectividad ecológica	24
5.1.1 Definición de nodos.....	24
5.1.2 Generación de la matriz de resistencia.....	25
5.1.3 Modelos basados en corredores de mínimo costo.....	26
5.1.4 Modelos basados en teoría de circuitos.....	29
5.1.5 Evaluación del aporte a la conectividad.....	32
5.2 RÉGIMEN DE LLUVIAS	36
5.3 RÉGIMEN DE ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ	40
5.4 DINÁMICA DE INUNDACIONES.....	42
5.4.1 Inundaciones en la cuenca del río Bogotá	44
5.4.2 Inundaciones en el Distrito Capital	46
5.5 CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLOGÍCO DE LA ZONA NORTE DE LA SABANA DE BOGOTÁ.....	50
5.5.1 Aspectos Geológicos de la Zona Norte de la Sabana de Bogotá.....	50
5.5.2 Unidades Hidrogeológicas en la zona norte de la sabana de Bogotá	54
5.5.3 Tendencias del Flujo de Agua Subterránea.....	56
6. DETERMINANTES DE CONECTIVIDAD ECOLÓGICA E HÍDRICA SUPERFICIAL, SUBSUPERFICIAL Y SUBTERRANEA.....	59
6.1 CONECTIVIDAD ECOLÓGICA DE LA ZONA NORTE CON ÉNFASIS EN EL ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA DE CONEXIÓN AP-2	59
6.2 CONECTIVIDAD HÍDRICA SUPERFICIAL DE LA ZONA NORTE ENFASIS ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA DE CONEXIÓN AP-2	60



6.3 CONECTIVIDAD HÍDRICA SUBSUPERFICIAL DE LA ZONA NORTE CON ENFASIS EN EL ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA DE CONEXIÓN AP-2	69
6.4 CONECTIVIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA DE LA ZONA NORTE CON ENFASIS EN EL ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA DE CONEXIÓN AP-2.....	71
6.5 MECANISMOS DE RECARGA DEL SISTEMA DE AGUAS SUBTERRÁNEA ENFOCADO AL ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA DE CONEXIÓN AP-2	72
7. ANÁLISIS DE POTENCIALES IMPACTOS DE DESARROLLOS URBANÍSTICOS.....	75
7.1. PLANES PARCIALES UBICADOS EN EL ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA de Conexión AP-2.....	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área empleada por el MADS (que corresponde a las microcuencas en las que se ubican las zonas de interés para el análisis) y el polígono de la zona Norte de Bogotá (que fue utilizada por el IAvH para la generación de los modelos de conectividad ecológica).	12
Figura 2. Ubicación del Área del POZN (plan de ordenamiento zonal del norte) y la franja de la autopista norte coincidente con la AP-2.	13
Figura 3. Localización general zona de análisis. Corredor de la Autopista Norte coincidente con el AP-2	14
Figura 4. Extracto Plano N°1 Clasificación del suelo, Anexo Técnico decreto 088 POZ, el área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2 se encuentra dentro del Círculo rojo	16
Figura 5. Extracto Plano N°4 Suelo de protección, Anexo Técnico decreto 088 POZ, Franja AP-2 (Círculo rojo)	17
Figura 6. Extracto Plano N°11 Tratamiento urbanístico, Anexo Técnico decreto 088 POZ, Franja AP-2	18
Figura 7. Extracto Plano N°13 Delimitación planes Parciales, Anexo Técnico decreto 088 POZ, Franja AP-2	18
Figura 8. Extracto Plano N° 15 Delimitación planes Parciales, Anexo Técnico decreto 088 POZ, Franja AP-2	19
Figura 9. Extracto Plano N° 21 Plano indicativo conectividad ecológica, Anexo Técnico decreto 088 POZ, Franja AP-2	20
Figura 10. Distintos modelos de corredores (1) El color verde corresponde a los nodos usados para cada modelo (2) amarillo corresponde a los corredores potenciales para conectividad (Nota: La escala de color denota el grado de conectividad y varía de amarillo a negro. El color amarillo significa menor distancia costo acumulada entre los nodos (mayor conectividad). Tonos rojos pasando por púrpuras a azules corresponden a conectividad intermedia a baja y color negro corresponde a la mayor distancia costo acumulada entre los nodos (menos conectividad)	28
Figura 11. Histogramas de distancia-costo correspondientes al área del POZN (franja que rodea el área de la franja paralela de la autopista norte coincidente con la AP-2), en azul se muestran los valores correspondientes al modelo 4 de conectividad y en rosado del modelo 2.	29
Figura 12. Modelos de dispersión según teoría de circuitos (asumiendo movilidad aleatoria y una matriz de resistencia).	31
Figura 13. Diferentes escenarios de paisaje y corredores resultantes de los modelos. En verde se identifican los nodos, y en negro los potenciales corredores	33
Figura 14. Porcentaje de hábitat/no hábitat de cada escenario.	34
Figura 15. Localización estaciones meteorológicas en zona de análisis	37
Figura 16. Precipitación total y número de días con lluvia	38
Figura 17. Cuencas Hidrográficas en zona de análisis	39



Figura 18. Precipitaciones durante 2020.....	40
Figura 19. Variación de caudales mensuales en un tramo de la cuenca media del río Bogotá	41
Figura 20. Variación de caudales mensuales en el río Bogotá – Estación La Balsa.....	42
Figura 21. Amenaza de Inundaciones en la cuenca del río Bogotá Fuente POMCA Río Bogotá	45
Figura 22. Amenaza por inundación para Bogotá, Fuente: Resolución 1972 de 2017	46
Figura 23. Detalle de Amenaza por Inundación en zona de interés Fuente: Resolución 1972 de 2017-SDP. Amenaza por inundación para Bogotá	47
Figura 24. Eventos por localidad primera temporada de lluvias 2019 Fuente IDIGER	48
Figura 25. Detalle Amenaza de Inundaciones en la franja paralela a la autopista norte coincidente con la AP-2	49
Figura 26. Geología y corte geológico en área del corredor de la autopista norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2	52
Figura 27. Unidades hidrogeológicas en planta y perfil junto con las direcciones generales de flujo.....	58
Figura 28. Modelos 3 y 4 detallados	60
Figura 29. Identificación puntos de verificación red de drenaje superficial en la zona de análisis	63
Figura 30. Esquema básico de conectividad superficial en la zona de análisis	64
Figura 31. Delimitación de la cuenca de la quebrada las Pilas. Fuente: WPS 2020	65
Figura 32. Perfil Longitudinal Quebrada Las Pilas. Fuente WPS (2020)	66
Figura 33. Transecto hidrogeológico entre cerros orientales y el río Bogotá, sector Guaymaral	70
Figura 34. Modelo hidrogeológico conceptual, sector Guaymaral	71
Figura 35. Corte esquemático este oeste en la cuenca de la sabana de Bogotá.	73
Figura 36 . Plan Parcial N°24 “Santa María”. Cargas.....	75
Figura 37. Plan Parcial N°25 “Sorrento”. Cargas.....	76
Figura 38. Corredores de conexión ecológica y ambiental determinados por MADS	77
Figura 39. Superposición de información planes parciales Vs corredor ecológico determinado por IAvH(2020).....	78
Figura 40. Reconformación hidráulica quebrada Las Pilas. Producto 7. Alternativas WSP 2020.	79
Figura 41. Perfil Quebrada la Pilas. Punto de inicio reconformación.	80
Figura 42 . Perfil Quebrada la Pilas. Punto final reconformación.....	80
Figura 43 . Potenciales corredores ecológicos para la franja AP-2. Nótese que para Quebrada la Pilas (en la mitad de la franja AP-2, al norte de la calle 224) la conectividad ecológica es mínima	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de estudios y aspectos analizados	21
Tabla 2. Variables utilizadas para la construcción de la matriz de resistencia y las bases cartográficas de las cuales se obtuvo la información correspondiente, su respectiva fuente (quien produjo la capa) y la resolución espacial de la misma	25
Tabla 3. Generalidades de cada uno de los modelos elaborados para corredores de mínimo costo	26
Tabla 4. Generalidades de cada uno de los modelos generados con base a teoría de circuitos	30
Tabla 5. Comparación de los diferentes escenarios.....	35
Tabla 6. Unidades hidrogeológicas y sus características	55

Anexos

- Anexo 1. Registro salido de reconocimiento en campo
- Anexo 2. Reportes de aforos líquidos realizados
- Anexo 3. Base de Datos Geográfica Estructurada
- Anexo 4. Listado documentos consultados



INTRODUCCIÓN

El presente documento pretende ser el insumo del cumplimiento por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la medida cautelar ordenada mediante Auto de 13 de diciembre de 2019, proferido por el Juzgado Cuarto Administrativo de Bogotá en el marco del medio de control Nulidad Simple en contra del Decreto Distrital 088 de 2017 (Rad. 2019-00065 de María Fernanda Rojas contra la Secretaría Distrital de Planeación) la cual fue modificada mediante Auto de 9 de julio 2020, del Tribunal Administrativo de Cundinamarca, Sección Primera, Subsección “B” como consecuencia del recurso de apelación interpuesto contra la primera decisión, y posteriormente aclarada por el mismo despacho judicial con Auto de 31 de julio de 2020, en el entendido que el Ministerio en cita deberá dar cumplimiento a la medida cautelar en sujeción a la modificación efectuada.

Así las cosas, luego de su modificación y aclaración, la orden dirigida al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible consiste en que el estudio técnico en el que se determine si los desarrollos urbanísticos en el área corredor de la Autopista Norte coincidente con la franja de conexión ambiental (AP -2) autorizados en los actos acusados cumplen o no con los lineamientos ambientales de que tratan las Resoluciones Nos.475 Y 621 de 2000 en lo relacionado con los usos permitidos en áreas protegidas, sea realizado por otra entidad estatal o una institución de educación superior (preferiblemente la Universidad Nacional de Colombia, Universidad de los Andes o la Universidad Libre).

Como consecuencia de lo anterior, y precedido de una orden judicial, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible suscribió el contrato interadministrativo N°642 de 2020 con el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAVH) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), cuyo objeto da lugar a las siguientes actividades que deben ser realizadas para elaborar el presente concepto:

1. Revisar y complementar en los aspectos que se identifiquen necesarios de conformidad con lo señalado por la supervisión referente a la información técnica del estudio realizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, incluyendo un recorrido en campo a cargo del IDEAM, con el fin de verificar la información documental y espacial recopilada y analizada, con respecto a la conectividad hídrica superficial.
2. Revisar e implementar las metodologías o técnicas adicionales que se identifiquen para complementar los análisis realizados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
3. Con base en la información y los análisis efectuados, complementar las conclusiones y estudio técnico realizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en lo referente a la conectividad hídrica superficial, subsuperficial, subterránea y ecológica entre la zona de Reserva Forestal Thomas Van Der Hammen y la Reserva Forestal Protectora Nacional Bosque Oriental de Bogotá, en la unidad espacial de análisis del corredor de la Autopista Norte coincidente con el



AP-2. Esto en atención a lo ordenado por el Juzgado Cuarto Administrativo del Circuito de Bogotá y modificado en su numeral segundo por el Tribunal Administrativo de Cundinamarca, Sección Primera – Subsección B en Auto de fecha 9 de julio de 2020.

1. CONCEPTOS CLAVE DEL ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD

El concepto de conectividad se viene usando con una mayor relevancia desde los años ochenta con el fin de enfatizar la interacción entre los atributos de las especies y la estructura del paisaje; y propuesto como una de las respuestas a la pérdida de biodiversidad evidenciado por varios análisis en los últimos años. Aunque existen varias definiciones sobre conectividad algunos investigadores la definen como el grado en el que el paisaje impide o facilita el movimiento entre áreas de recursos asociado con la capacidad de contagio del hábitat y los movimientos de respuesta de los organismos a la estructura del paisaje (Taylor et al. 1993 & With 1997).

En años recientes la conectividad se entiende como una propiedad dinámica del paisaje que se define a partir de las características de los organismos asociada a la agregación de los elementos del paisaje. Sin embargo, es importante tener en cuenta el tipo de conectividad estructural o funcional que se evalúan en el paisaje. La diferencia entre estos dos componentes de la conectividad se puede explicar mejor como la diferenciación entre patrones y procesos. La conectividad estructural está asociada a la composición y a la configuración de los remanentes de vegetación que caracterizan el hábitat de una especie, mientras que la conectividad funcional está relacionada con los procesos ecológicos del paisaje como el movimiento de los organismos.

El análisis de conectividad ecológica en este documento, desarrollado principalmente desde un enfoque estructural, busca identificar aquellas áreas (con conectividad funcional) que pueden funcionar como corredores potenciales para lograr una mayor conectividad en los remanentes de vegetación en el norte de Bogotá. Adicionalmente, tiene como objetivo determinar el rol de la Franja de conexión, restauración y protección ambiental AP-2 dentro de un contexto de conectividad ecológica.

Para el caso de los sistemas hídricos la conectividad se analiza en la red hídrica superficial, tomando en consideración la existencia de drenajes y la presencia de almacenamientos. En un sistema urbano se consideran los canales de flujo y la infraestructura que permite el transporte de agua pluvial principalmente, pero en el cual pueden presentarse conexiones de aguas residuales. El análisis de las condiciones de conectividad hídrica subsuperficial y subterráneo involucra la evaluación de la presencia de sistemas acuíferos y las condiciones de flujo de agua en las unidades hidrogeológicas, así como las características predominantes en las unidades de suelo presentes en el área de interés.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ANÁLISIS

Para llevar a cabo el análisis de la conectividad ecológica en el área de estudio y teniendo en cuenta que la definición de conectividad depende en gran medida del contexto, usamos dos unidades espaciales de análisis. La primera está asociada con el polígono utilizado en el estudio de conectividad realizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y una extensión de este que cubre todo el borde norte de Bogotá (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Esto debido a que, para evaluar efectivamente la conectividad ambiental del área definida por el MADS, se necesita un contexto más amplio y grande, que incluya otros nodos adicionales a los definidos por el MADS que pueden afectar la conectividad.

La segunda tiene en cuenta el corredor de la Autopista Norte conocido como la Franja coincidente con la AP-2, la cual se encuentra dentro de los límites del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte (POZN) (Figura 2), teniendo los componentes del paisaje que definen tanto el hábitat potencial que podrían tener las especies, como las obras de infraestructura que definen la permeabilidad de las áreas.

Vale aclarar que el Ministerio de Medio Ambiente resolvió en la Resolución. 475/2000 que la Franja de Conexión, Restauración y Protección AP-2, corresponde a un área que busca garantizar el carácter conectante entre La reserva Foresta Protectora Norte (RFPN) y el río Bogotá (lo que prácticamente se convertirá eventualmente en la reserva Thomas van der Hammen ver figura 3). Sin embargo posteriormente, el MADS aclaró en el estudio del MADS/2020, la Franja AP-2 es: el área del corredor de la autopista norte coincidente con la Franja de Conexión, Restauración y Protección AP-2 (Figura 3). Para este documento, de aquí en adelante, todo lo referenciado que tenga relación con el nombre AP-2, corresponderá a la definición de la Franja AP-2 anteriormente expuesta como se muestra en la Figura 2 y Figura 3.

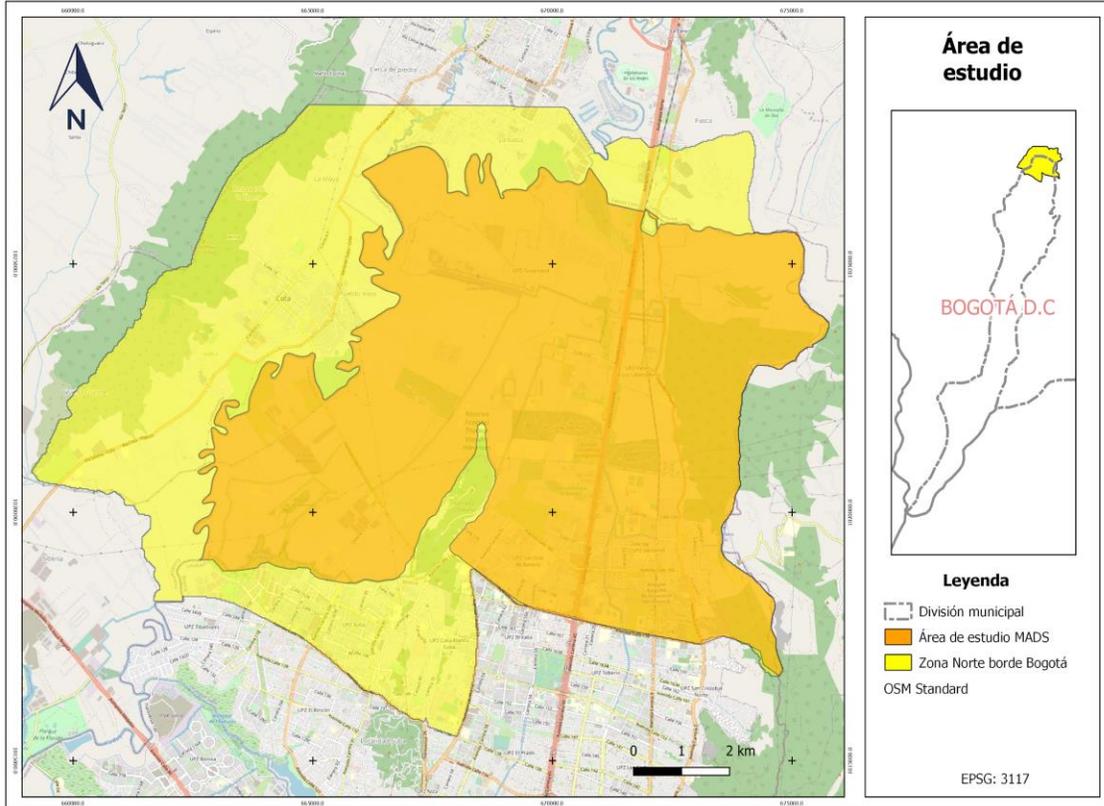


Figura 1. Ubicación del área empleada por el MADS (que corresponde a las microcuencas en las que se ubican las zonas de interés para el análisis) y el polígono de la zona Norte de Bogotá (que fue utilizada por el IAvH para la generación de los modelos de conectividad ecológica).

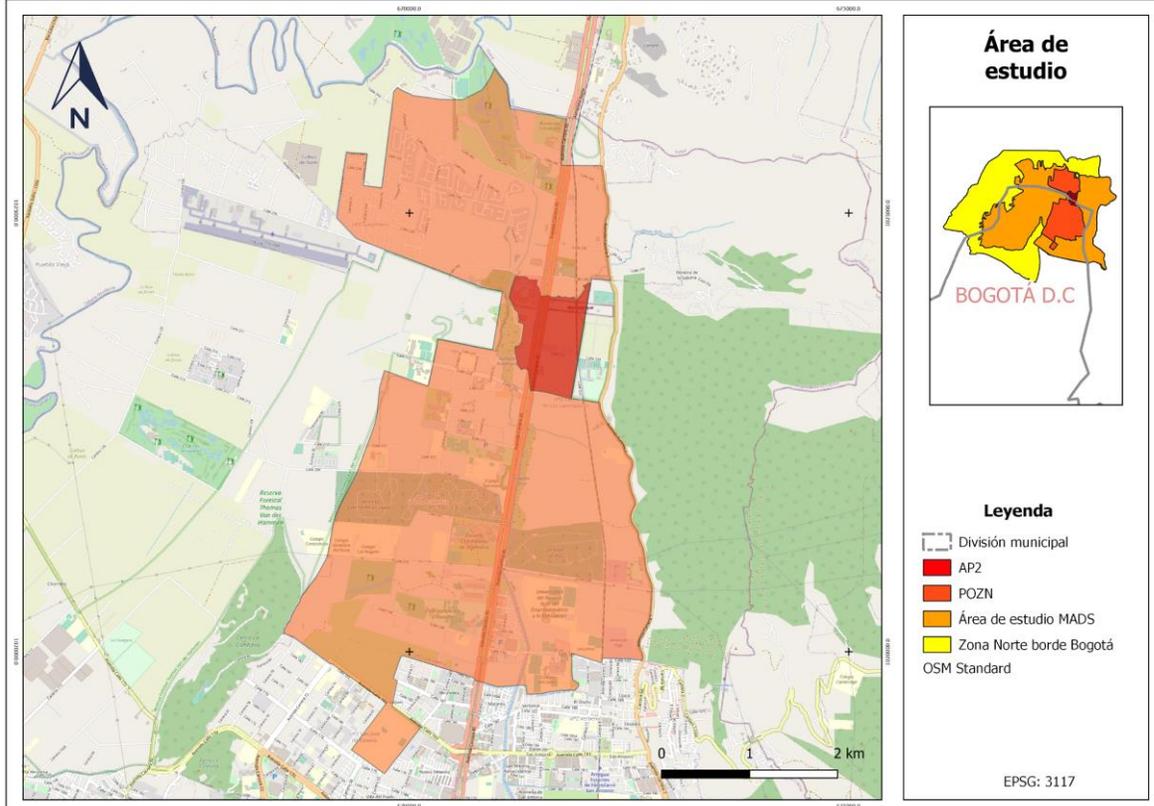


Figura 2. Ubicación del Área del POZN (plan de ordenamiento zonal del norte) y la franja de la autopista norte coincidente con la AP-2.

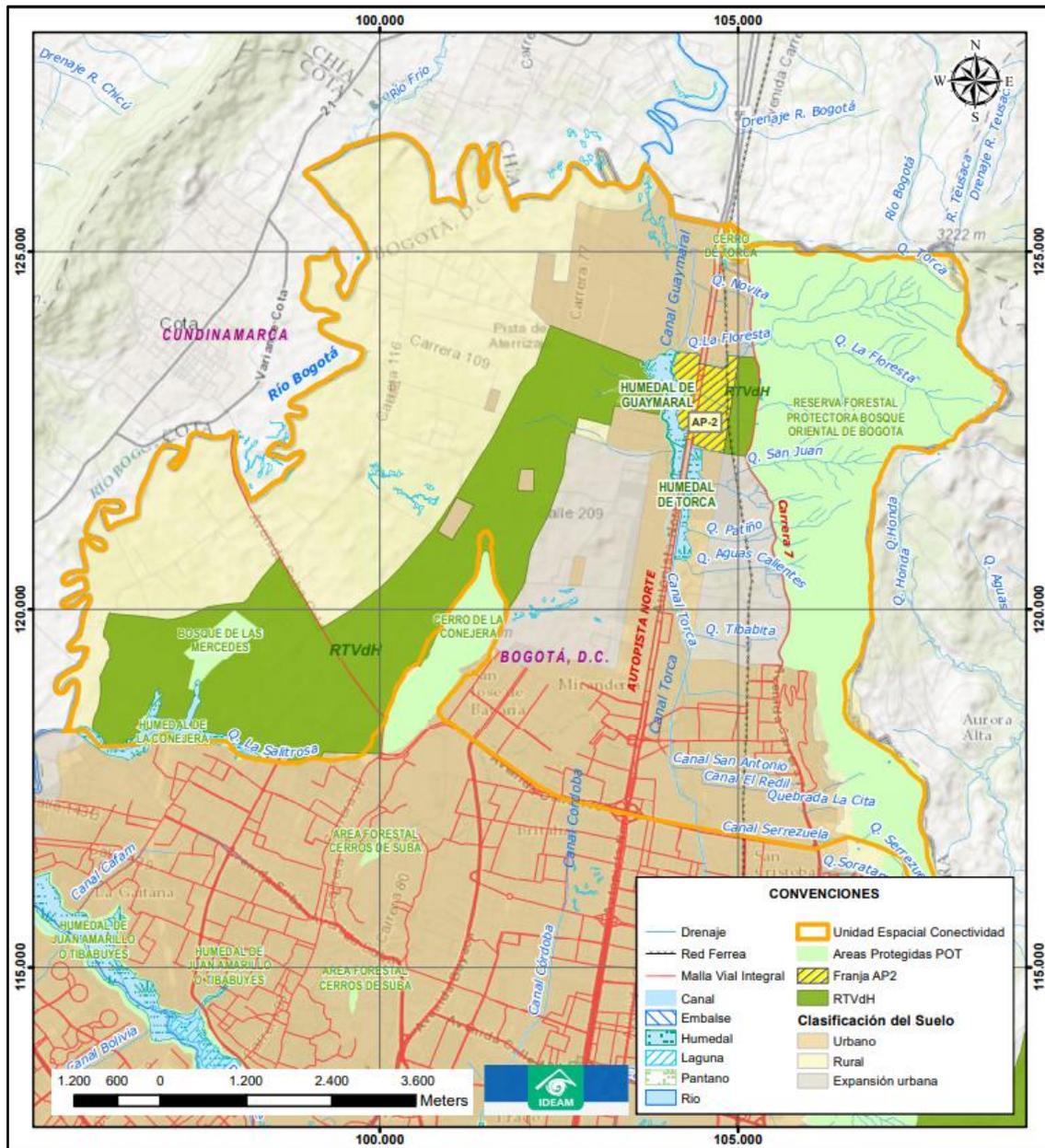


Figura 3. Localización general zona de análisis. Corredor de la Autopista Norte coincidente con el AP-2

Fuente: Minambiente, 2020

La AP-2, presenta los siguientes límites fisiográficos y físicos: el río Bogotá al occidente, la Reserva Forestal Protectora Nacional Bosque Oriental de Bogotá al oriente (cerros orientales) en adelante (RFPNBO, la calle 170 y el límite de la Reserva Forestal Thomas Van der Hammen al sur denominada en adelante (RTVdH).

Así mismo, hacen parte de la zona objeto del presente concepto, las siguientes áreas de interés: los cerros de Suba; los humedales La Conejera, Torca y Guaymaral; el río Torca; las quebradas Aguas Calientes, La Floresta, Las Pilas, Patiño y San Juan; drenajes en sentido este – oeste y los canales recolectores de agua pluvial Guaymaral y Torca.

3. MARCO LEGAL Y NORMATIVO

3.1 JURISDICCIÓN CAR

De la resolución 475 del 2000 se resalta el artículo 5 (modificado por la resolución 621 de 2000) en donde se puntualiza que la franja AP-2 hace parte del componente rural y en consecuencia corresponde a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR- declararla como Área de Reserva Forestal Regional del Norte; con lo anterior, en el Acuerdo 21 de 2014 de la CAR, se adopta el Plan de Manejo Ambiental de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá y la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá "Thomas Van Der Hammen". En el literal f del artículo 23 dispuso:

“Artículo 23. Función amortiguadora y perspectiva regional. La superficie circunvecina a la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá, D. C. “Thomas Van der Hammen”, deberá cumplir una función amortiguadora, que permita mitigar los impactos negativos de las acciones humanas sobre esta área.

La alcaldía de Bogotá en los considerandos del decreto 088 de 2017 hace referencia a lo siguiente “Conforme a lo dispuesto en el artículo 7º de la Resolución número 475 de 2000, expedida por el entonces Ministerio del Medio Ambiente, se deberá propiciar la conformación de áreas verdes y la preservación de la conectividad de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá, D. C. “Thomas Van der Hammen”, y de los Cerros Orientales, en el área del Corredor de la Autopista Norte, coincidente con la Franja de Conexión Ambiental (AP-2). Para tales efectos, los nuevos desarrollos urbanos en las zonas limítrofes al área de reserva forestal, además de las zonas de amortiguación, deberán propender por ubicar las áreas de cesión para zonas verdes en este sector.”

Es claro entonces que, aunque la franja de la autopista norte coincidente con la AP2 no está declarada como área protegida, al ser considerada como una zona colindante a la Reserva Forestal Productora del Norte de Bogotá “Thomas Van Der Hammen” debe propender por cumplir la función amortiguadora de impactos a dichas áreas y armonizar con sus objetivos de conservación.

Con lo anterior se concluye que se puede realizar un desarrollo de la franja paralela de la autopista norte coincidente con la AP-2, siempre y cuando los proyectos a desarrollar cumplan con el objeto de las áreas circundantes a áreas protegidas y se garantice la conexión ecológica, ambiental e hídrica de las Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá y la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá "Thomas Van Der Hammen".

3.2 JURISDICCIÓN DISTRITAL

El decreto 088 de 2017 estableció el Plan de ordenamiento Zonal Norte, en donde se planificó a nivel ciudad la zona norte conocida como Lagos de Torca y se dan los alcances normativos para los futuros desarrollos en la misma, es necesario analizar las proyecciones que se presentan en este decreto en cuanto al uso de suelo y en especial los espacios de cesión para cumplir con lo establecido en la normatividad ambiental vigente. Se presentan en el Anexo Técnico del decreto 088, entre otros esquemas, los siguientes planos:

- Plano N°1 Ámbito y clasificación del suelo
- Plano N°4 Suelo de Protección/ estructura Ecológica principal
- Plano N°11 Tratamientos urbanísticos
- Plano N° 13 Delimitación Planes Parciales
- Plano N° 15 Asignación de suelo de cargas locales prioritarias
- Plano N° 21 Plano indicativo de conectividad ecológica.

Del plano N°1 se destaca que, a pesar de la existencia del área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2 y la importancia que su desarrollo contemple medidas que garanticen la conexión entre la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá y la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá "Thomas Van Der Hammen", se evidencia igualmente que el área que corresponde a dicha franja está establecida como suelo urbano, como se muestra en la *Figura 4*.



Figura 4. Extracto Plano N°1 Clasificación del suelo, Anexo Técnico decreto 088 POZ, el área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2 se encuentra dentro del Círculo rojo

El decreto 088 de 2000 hace referencia al área de estudio y también puntualmente al área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2, en el artículo 22 como: “Franja corredor de la autopista norte coincidente con la Franja AP-, 2”

En el Plano N° 4 Suelo de Protección/ Estructura Ecológica Principal, se establecen la ronda de las quebradas y los suelos de protección, que pertenecen al área delimitada como corredor. En donde nuevamente no está delimitada el área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2, como se muestra en la *Figura 5*.



Figura 5. Extracto Plano N°4 Suelo de protección, Anexo Técnico decreto 088 POZ, Franja AP-2 (Círculo rojo)

En el Plano N°11 Tratamientos urbanísticos, se presenta el área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2, con tratamiento como suelo de desarrollo, como se muestra en la *Figura 6*.

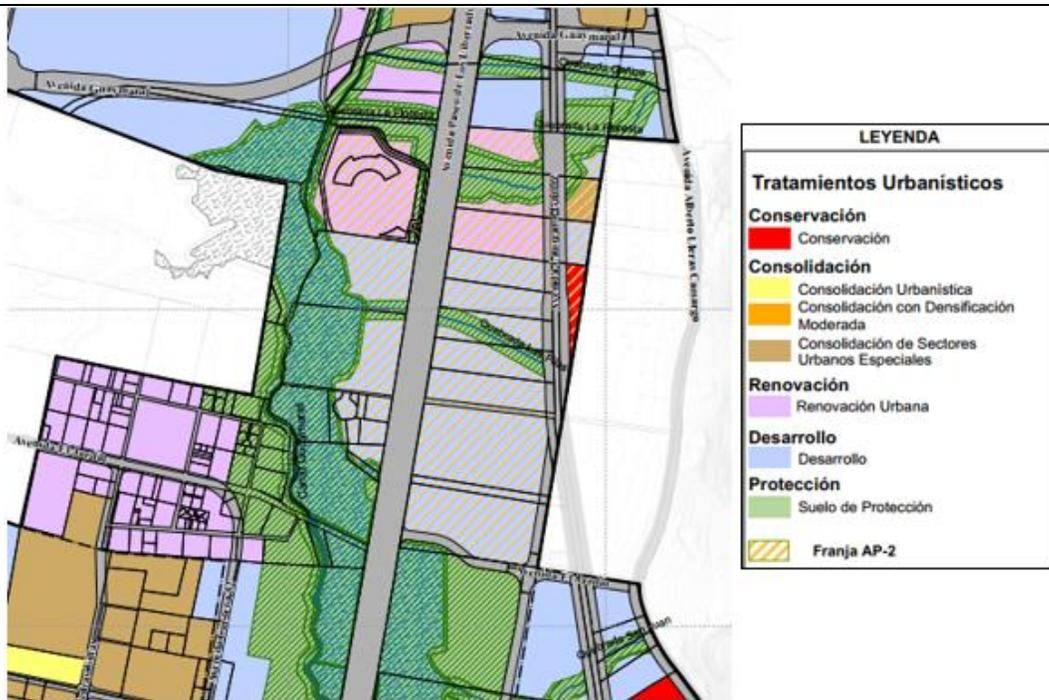


Figura 6. Extracto Plano N°11 Tratamiento urbanístico, Anexo Técnico decreto 088 POZ, Franja AP-2

En el plano N° 13 extractado en la *Figura 7* se realiza la delimitación de los planes parciales, ubicados en el área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2. Se observa que dentro del área en mención se encuentran los planes parciales N° 23 (parcialmente) en la parte occidental de la Autopista, y en la parte oriental de la Autopista Norte los planes parciales 24 Santa María y 25 “Sorrento”.

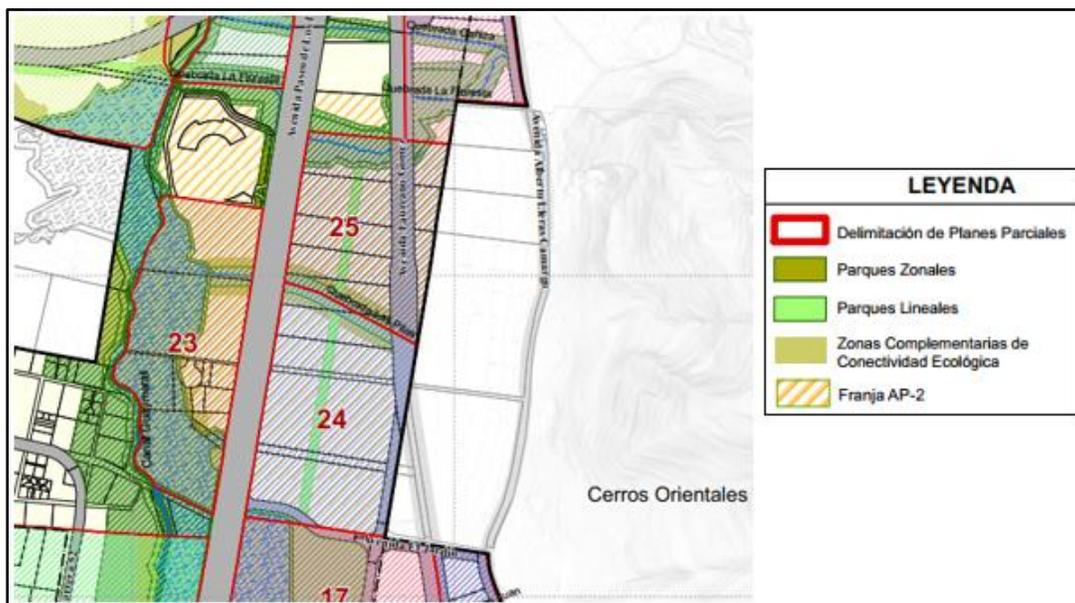


Figura 7. Extracto Plano N°13 Delimitación planes Parciales, Anexo Técnico decreto 088 POZ, Franja AP-2

En el plano N°15 presentado en la *Figura 8* se asigna un área adicional de zonas complementarias de conectividad ecológica. Dentro del área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2, estas áreas adicionales se ubican paralelamente a la ronda hídrica de la quebrada Las Pilas. Con lo anterior, el distrito realiza una cesión de 30 metros a cada lado de la ronda de la quebrada, adicionales a la ronda (60 m) para un total de 120 m de área de conservación y protección de la quebrada.



Figura 8. Extracto Plano N° 15 Delimitación planes Parciales, Anexo Técnico decreto 088 POZ, Franja AP-2

Finalmente el plano N°21, se presenta la conectividad ecológica mediante una línea que coincide con las quebradas y cuerpos de agua existentes en la zona alrededor del área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2 como se indica en la *Figura 9*

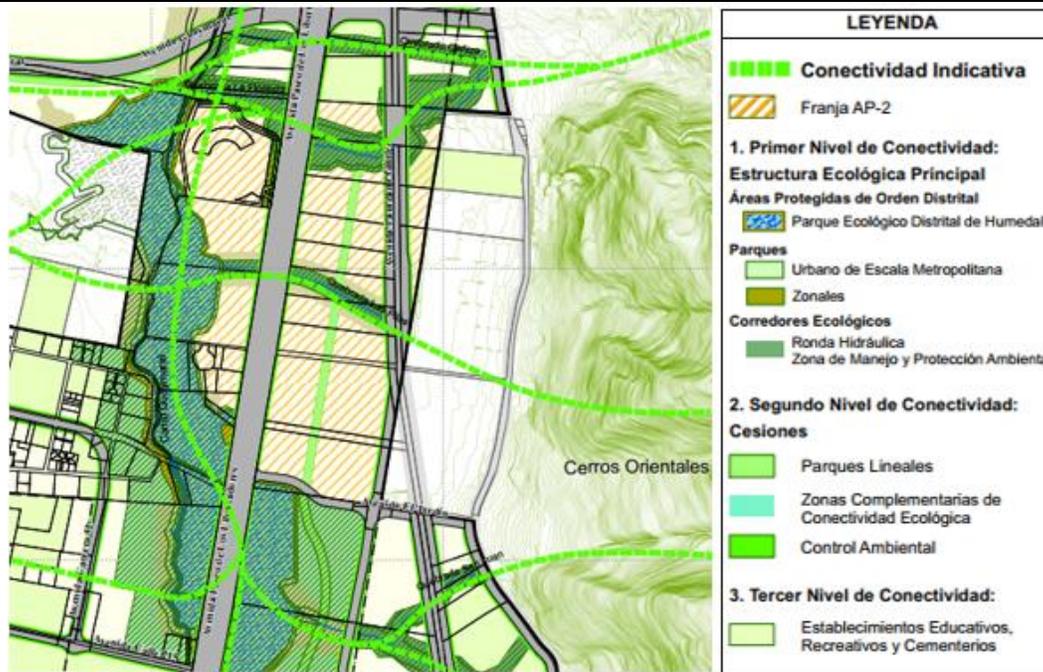


Figura 9. Extracto Plano N° 21 Plano indicativo conectividad ecológica, Anexo Técnico decreto 088 POZ, Franja AP-2

De lo anterior se concluye que, la Franja paralela de la autopista norte coincidente con la AP-2 debe propender por la conexión entre dos importantes reservas forestales de Bogotá, el tratamiento dado en el decreto 088 debe tener en cuenta que dicha franja es colindante con estos dos sistemas y como se menciona en el artículo 31 del decreto 2372 de 2010 con los pocos espacios de cesión establecidos para protección y preservación su desarrollo debe cumplir con la conectividad (como se puede ver posteriormente en este documento) de tal manera, que permita mitigar los posibles impactos asociados con el desarrollo de los planes de urbanización proyectados.

Adicionalmente, si bien el distrito realizó la cesión de áreas para protección y conservación de la ronda hídrica, la delimitación de dicha ronda se limitó a usar lo señalado en el artículo 83 del Decreto Ley 2811 de 1974 (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente) en donde se establece que

“Salvo derechos adquiridos por particulares, son bienes inalienables e imprescriptibles del Estado:

...b) El lecho de los depósitos naturales de agua;

d) Una faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de treinta metros de ancho;...”

La definición del ancho de la zona de ronda que se muestra indicativamente en los planos, deberá estar basado en las consideraciones respecto al nivel de aguas máximo y los 30 metros a ambos lados del mismo, si bien no se especifica que el esquema y los planos

anexos que corresponda al ancho de nivel de aguas máximo, en últimas quedará condicionado a la sección adecuada de la quebrada las Pilas y por tanto a su dimensionamiento en la fase de diseño. Para etapas posteriores, los criterios pertinentes respecto a la normatividad que definiran el ancho de la zona de ronda que deberá establecerse, quedará a disposición de las especificaciones que se expidan para las fases de estudios detallados (de llegarse a esa instancia) y deberán considerar si se mantiene ese criterio o se adopta normatividad más reciente que corresponde a el decreto 2245 de 2017 del MADS, que reglamenta aspectos relacionados con la rona hídrica y en particular La Guía técnica para el acotamiento de rondas de cuerpos priorizados por las autoridades Ambientales, que se expidió en mayo de 2018, bajo resolución 957 de Minambiente. Esta guía incluye criterios desde lo geomorfológico, hidrológico y ecosistémico asociados a los sistemas lóticos y lénticos para determinar esta ronda hídrica.

4. INFORMACIÓN REVISADA

En la *Tabla 1* se presenta una breve reseña de los aspectos considerados en los diferentes estudios que se revisaron como parte del análisis de la conectividad hídrica superficial, subsuperficial y subterránea en el área de análisis.

Tabla 1. Identificación de estudios y aspectos analizados

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN CONTENIDO
ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS CONCEPTUALES DEL CONTRATO EAB-ESP 1-02-25500-0626-2009, INCLUYENDO LA TOPOGRAFÍA DETALLE NECESARIA PARA EL AJUSTE AL PLAN VIAL ARTERIAL VIGENTE, QUE SIRVAN DE BASE PARA DEFINIR LAS ALTERNATIVAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS PARA EL DESARROLLO DE LA CIUDAD LAGOS DE TORCA.	<p>Actualización Estudio Hidrológico del Humedal Torca Guaymaral, que hace parte de un estudio macro de 14 productos requerido por la EAB al Fidecomiso Lagos de Torca, definiendo el estudio conceptual de redes para el desarrollo de Ciudad Lagos de Torca.</p> <p>Dicho estudio macro es el resultado de la actualización de varios estudios que durante los últimos 20 años ha adelantado la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en la zona norte de la ciudad, especialmente, para definir las condiciones de servicio de Acueducto y Alcantarillado del actual Plan Zonal del Norte - Lagos de Torca.</p> <p>En este documento se revisaron las componentes hidrológicas e hidráulicas del sistema Torca- Guaymaral</p>
DECRETO 2245 DE 2017 "POR EL CUAL SE REGLAMENTA EL ARTÍCULO 206 DE LA LEY 1450 DE 2011 Y SE ADICIONA UNA SECCIÓN AL DECRETO 1076 DE 2015, DECRETO ÚNICO REGLAMENTARIO DEL SECTOR AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, EN LO RELACIONADO CON EL ACOTAMIENTO DE RONDAS HÍDRICAS"	Análisis del alinderamiento de las quebradas del área objeto de estudio, con respecto a la normatividad vigente para la delimitación de rondas hídricas en el marco del Decreto 2245 de 2017.
DETERMINACIÓN DE COMPATIBILIDAD CON FINES DE CONECTIVIDAD ECOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DE LOS	Concepto emitido por el MADS, con respecto a la notificación por estado del 16 de diciembre de 2019, del Juzgado Cuarto Administrativo del Circuito de Bogotá, en la cual se ordena al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible principalmente:

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN CONTENIDO
DESARROLLOS URBANÍSTICOS EN EL ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA DE CONEXIÓN AMBIENTAL AP-2.	<p>“SEGUNDO: ORDENAR al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en su calidad de ente rector del sistema Nacional de áreas protegidas, se encargue de efectuar y/o contratar la realización de un estudio técnico que se deberá desarrollar en el término de 6 meses y en el que se deberá determinar si los desarrollos urbanísticos en el área del corredor de la Autopista norte coincidente con la franja de conexión ambiental (AP -2) autorizados en los Decretos 088 de 2017 y 049 de 2018 mediante los cuales se establecieron las normas para la aplicación del Plan de Ordenamiento Zonal del Norte Ciudad Lagos de Torca, son compatibles con fines de conectividad ecológica e hidrogeológica acatando las Resoluciones 475 y 621 de 2000 proferidas por el MADS. ...” (Negrita fuera de texto).</p>
ESTUDIOS DE SOPORTE REQUERIDOS PARA LA SOLICITUD DE SUSTRACCIÓN PARA LA RESERVA FORESTAL PRODUCTORA REGIONAL THOMAS VAN DER HAMMEN EN CONTEXTO CON LA UPR NORTE Y CON LA RED DE PAISAJE CIRCUNDANTE AMENAZAS Y SUSCEPTIBILIDAD AMBIENTAL.	<p>Este estudio, dirigido a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), proporciona los insumos técnicos de soporte para una eventual realideración, sustracción y recategorización de la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá D.C., “Thomas Van der Hammen” (en adelante RESERVA).</p> <p>La información base del estudio, incluyó, el análisis de las coberturas actuales de la tierra, a escala 1:5.000, realizado por este equipo consultor, el análisis multitemporal (años 1969, 1991, 2014) realizado por la Unión Temporal (UT) Ciudad Ecosistema (2017), entrevistas y salidas de campo de verificación, y la revisión y análisis de los estudios de terceros disponibles de la zona que datan del año 2000, y las fuentes de información de entidades del Distrito Capital y de la región.</p>
FACTIBILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL, ECONÓMICA Y FINANCIERA PARA EL DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO SANITARIO Y SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DEL BORDE NORTE DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ	<p>Como parte de los compromisos adquiridos por la Empresa de Acueducto de Bogotá, a través de la Dirección de Apoyo Técnico de la Gerencia Corporativa de Servicio al Cliente, con la Secretaría de Planeación Distrital, para el desarrollo organizado del sector denominado Borde Norte de la Ciudad en todos los aspectos del desarrollo urbano, la Empresa a través de su Gerencia Jurídica y la Dirección de contratación, elaboró las condiciones y términos de la invitación pública No ICSM-0437-2009, con el fin de desarrollar los Estudios a nivel de Factibilidad Técnica, Ambiental, Económica y Financiera, para el desarrollo de la infraestructura de Acueducto y Alcantarillado Sanitario y Sistema de Drenaje Pluvial del sector indicado.</p> <p>Mediante la propuesta elaborada por el Consorcio Borde Norte, la cual presentó mejores opciones técnicas y garantías para la EAAB, se firmó el contrato No 1-02-25500-626-2009 con una duración de 12 meses, con el propósito de desarrollar los estudios correspondientes, dentro del plazo indicado y de acuerdo a las expectativas de calidad y normatividad establecidas por cada uno de los entes administrativos de la Ciudad. El acta de inicio se firmó el día 18 de diciembre de 2009.</p> <p>El presente documento conforma el Producto No.1 del contrato No 1-02-25500-626-2009, pretende cumplir los requisitos exigidos en las condiciones y términos del contrato en relación a la RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE Y</p>



ESTUDIO	DESCRIPCIÓN CONTENIDO
	<p>PLAN DE TRABAJO PARA EL DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS de la Consultoría.</p> <p>Se hará una delimitación preliminar del área de estudio, con base en lo establecido en los términos de referencia y al decreto 043 del 29 de enero del 2010. De otra parte, se describe la información cartográfica obtenida, relacionada con aspectos tales como: conformación topográfica, desarrollos urbanos existentes, sistema vial, usos del suelo y redes de acueducto y alcantarillado existentes en el área de estudio. Posteriormente se hace una relación de los estudios realizados en la zona en condiciones diferentes de urbanismo y condiciones hidrológicos-hidráulicas-ambientales que de alguna forma aportan al conocimiento de la misma, al planeamiento de los sistemas de acueducto y alcantarillado de los cuales se hace un breve resumen indicando en qué etapa de este proyecto dicha información podrá ser involucrada dentro de los análisis previstos de este informe.</p> <p>También se describen las actividades de campo realizadas para identificar y conocer el área, así como para verificar y complementar la información obtenida. Luego se describe el funcionamiento actual de los sistemas de acueducto y alcantarillado en la zona bajo estudio, se hace el análisis de la información y, finalmente, se presentan las conclusiones del caso.</p>
<p>MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DEL ACUÍFERO SUBSUPERFICIAL O SOMERO EN EL PERÍMETRO URBANO DEL DISTRITO CAPITAL.</p>	<p>La sabana de Bogotá, que comprende la cuenca alta del río Bogotá y el área del Distrito Capital, es la región más industrializada y poblada de Colombia. Muchas de sus industrias y virtualmente todos los cultivos de flores están soportados por extracciones de agua subterránea. Algunos municipios hacen uso extensivo de este recurso para suministro potable. Desde los años 80-90, paralelamente al desarrollo agro-industrial, en los principales acuíferos de esta región se han registrado importantes descensos de los niveles piezométricos, que han llevado varios expertos a concluir que se está utilizando más agua de las que se recarga y que, en algunos sectores, se deberían limitar futuros aprovechamientos de los acuíferos. Sin embargo, históricamente se han generado opiniones contrastantes sobre el tema de la recarga, cuyas estimaciones han variado por más de un orden de magnitud (desde aproximadamente 0 a 132 mm/año).</p>

ESTUDIO	DESCRIPCIÓN CONTENIDO
<p>PLAN DE MANEJO Y ORDENAMIENTO DEL RÍO BOGOTA 2019, VOLUMEN V GESTIÓN DEL RIESGO.</p>	<p>Los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo (AVR) que se realizan para la actualización del POMCA están basados en los siguientes documentos:</p> <p>a. "Guía técnica para formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas POMCAS, Anexo B. Gestión del Riesgo" (MINAMBIENTE, 2014).</p> <p>b. "Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (MINAMBIENTE, MINHACIENDA Y FONDO ADAPTACIÓN, 2014).</p> <p>c. "Consultoría para el ajuste del plan de ordenación y manejo de la Cuenca del río Bogotá (2012) localizada en el departamento de Cundinamarca en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y la Corporación Autónoma Regional del Guavio (CORPOGUAVIO) y Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia (CORPORINOQUIA). Anexo Alcances Técnicos (FONDO ADAPTACIÓN, 2014).</p> <p>d. "Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal escala 1:100.000 (IDEAM, 2011).</p> <p>Los tipos de amenaza evaluados en el presente POMCA son: amenaza por inundaciones, por avenidas torrenciales, por remoción en masa y por incendios forestales. De tal manera que no se consideran otros tipos de amenaza como son vendavales o amenaza sísmica, aunque esta última sí se tiene en cuenta en las evaluaciones de amenaza por remoción en masa.</p>
<p>RESOLUCIÓN 1972 DE 2017 POR LA CUAL SE ACTUALIZA EL PLANO NO. 4 << AMENAZA POR INUNDACIÓN >> DEL DECRETO DISTRITAL 190 DE 2004 Y SE ADOPTAN OTRAS DECISIONES</p>	<p>Análisis de la amenaza por inundación por desbordamiento para el sector objeto de análisis en el marco normativo del Distrito Capital</p>

5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

5.1 ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD ECOLÓGICA

5.1.1 Definición de nodos

Para llevar a cabo el análisis de conectividad es necesario identificar los elementos del paisaje sobre los cuales se evaluará su conectividad, y posteriormente se pretende identificar corredores. Estos elementos se les conocen como nodos. Si entendemos la configuración del paisaje como una red, los nodos corresponden a los parches, dentro de una matriz antropizada, donde intersectan diferentes corredores que aportan a la conectividad ecológica. Un parche (o nodo) con más corredores, es un elemento del paisaje con más conexiones y por lo tanto mejor conectado. Cada nodo tiene una o varias ofertas estructurales y/o funcionales que permiten a las especies objetivo moverse y permanecer

en el tiempo sobre el paisaje transformado. En este estudio, los nodos corresponden a los fragmentos de vegetación menos transformada (natural o seminatural) que tengan un área mayor a 0,2 hectáreas que se encuentran tanto en todo el borde norte de Bogotá, como el área definida en el estudio del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2020). En términos metodológicos los nodos corresponden al centroide de cada polígono que representa un parche.

Por lo tanto, los nodos identificados surgieron principalmente de la clasificación realizada por el MADS, aunque paralelamente también se evaluaron nodos definidos a partir de la clasificación particular del IAvH. Además, para uno de los modelos se tomó en cuenta como nodos, adicionalmente, otros elementos del paisaje como: corta vientos, vegetación arbórea dentro de áreas de recreación, vegetación en separadores, otros parches pequeños (<0,2 ha), y las áreas de manejo de la Reserva Thomas van der Hammen.

5.1.2 Generación de la matriz de resistencia

Una matriz de resistencia representa el costo de viajar por cada una de sus celdas. En términos prácticos, una mayor resistencia o costo implica una menor probabilidad de que una celda sea utilizada para el movimiento de algún organismo y, por lo tanto, una menor conectividad. Para la generación de esta matriz se usaron cuatro variables diferentes (*Tabla 2*): cobertura de la tierra (2018), densidad de vías, densidad de población y distancia a diferentes elementos de infraestructura (e.g. cercas, muros y construcciones). Vale la pena aclarar que la densidad de población corresponde a una aproximación calculada a partir de la cobertura de tejido urbano. Cada una de estas variables se reclasificó a una escala común para luego combinarlas mediante la suma de todas y finalmente normalizar la capa acumulada en un rango entre 1 a 100. Al momento de combinar las variables se tuvo en cuenta el mismo peso para cada una de ellas.

Tabla 2. Variables utilizadas para la construcción de la matriz de resistencia y las bases cartográficas de las cuales se obtuvo la información correspondiente, su respectiva fuente (quien produjo la capa) y la resolución espacial de la misma

Variable	Capa	Fuente	Resolución
Cobertura de la tierra (2018)		Alcaldía de Bogotá	1:5000
Densidad de vías	Vías y vías férreas	IGAC	1:10000
Densidad de población	Cobertura de la tierra: tejido urbano	Alcaldía de Bogotá	1:5000
Distancia a diferentes elementos de infraestructura	Cobertura de la tierra: infraestructura	Alcaldía de Bogotá	1:5000
	Construcción	IGAC	1:10000

Variable	Capa	Fuente	Resolución
	Construcción	IGAC	1:10000
	Central Energía	IGAC	1:10000
	Mina_P	IGAC	1:10000
	Planta_Tratamiento	IGAC	1:10000
	Terraplen	IGAC	1:10000
	Muro	IGAC	1:10000
	Cerca (Alambre, Madera)	IGAC	1:10000

5.1.3 Modelos basados en corredores de mínimo costo

Para el análisis de conectividad ecológica se construyeron cuatro modelos diferentes (*Tabla 3*) con el fin de dar la posibilidad de comparar diferentes escenarios. Estos modelos fueron construidos utilizando [Linkage Mapper](#), una herramienta para la priorización de corredores ecológicos disponible como un toolbox de ArcGIS. A continuación, se encuentra una descripción de cada uno de los cuatro modelos y sus respectivos objetivos:

Tabla 3. Generalidades de cada uno de los modelos elaborados para corredores de mínimo costo

Modelo	Descripción	Objetivo
1	Modelo de corredores potenciales utilizando la resistencia elaborada para el diagnóstico de la Reserva Thomas van der Hammen (RTVH) en 2018. El área del modelo corresponde al borde norte de Bogotá (figura 1) -esto para tener un mayor contexto del paisaje, y no solo el área delimitada por el MADS-. Los parches (nodos) utilizados corresponden a los del estudio del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).	Comparar la distribución espacial con el modelo de corredores de MADS. Evaluar si los corredores cambian dependiendo de los insumos y método aplicado.
2	Modelo de corredores potenciales utilizando la resistencia elaborada para el diagnóstico de la RTVH en 2018. El área	Comparar la distribución espacial con el modelo de corredores de MADS. Evaluar si los corredores cambian

Modelo	Descripción	Objetivo
	del modelo corresponde al polígono utilizado en el estudio del MADS. Los parches (nodos) utilizados corresponden a los del estudio del MADS.	dependiendo de los insumos y método aplicado.
3	Modelo de corredores potenciales utilizando la resistencia elaborada para el diagnóstico de la RTVH en 2018. El área del modelo corresponde al polígono utilizado en el estudio del MADS. Los parches (nodos) utilizados corresponden a los fragmentos de vegetación-natural y seminatural mayor a 0.2 ha.	Evaluar si los escenarios que incorporan otros elementos del paisaje como corta vientos, vegetación arbórea dentro de áreas de recreación, vegetación en separadores y otros parches pequeños aportan a la conectividad y a la distribución de los corredores. Evaluar ganancias y efectividad en términos de área y conectividad.
4	Modelo de corredores potenciales utilizando la resistencia elaborada para el diagnóstico de la RTVH en 2018. El área del modelo corresponde al polígono utilizado en estudio del MADS. Los parches (nodos) utilizados corresponden a los fragmentos de vegetación-natural y seminatural mayor a 0.2 ha. incluyendo las áreas de manejo de la RTVH.	Evaluar si los escenarios que incorporan otros elementos del paisaje como corta vientos, vegetación arbórea dentro de áreas de recreación, vegetación en separadores y otros parches pequeños, adicionando las áreas de manejo de la RTVH aportan a la conectividad y a la distribución de los corredores. Evaluar ganancias y efectividad en términos de área y conectividad

Las diferencias entre estos modelos consisten en dos aspectos: (i) la extensión de área utilizada para su construcción y (ii) los nodos o parches utilizados para el cálculo de corredores de mínimo costo. Estas diferencias tienen un efecto visible en la identificación de los corredores, como es posible ver en la Figura 10.

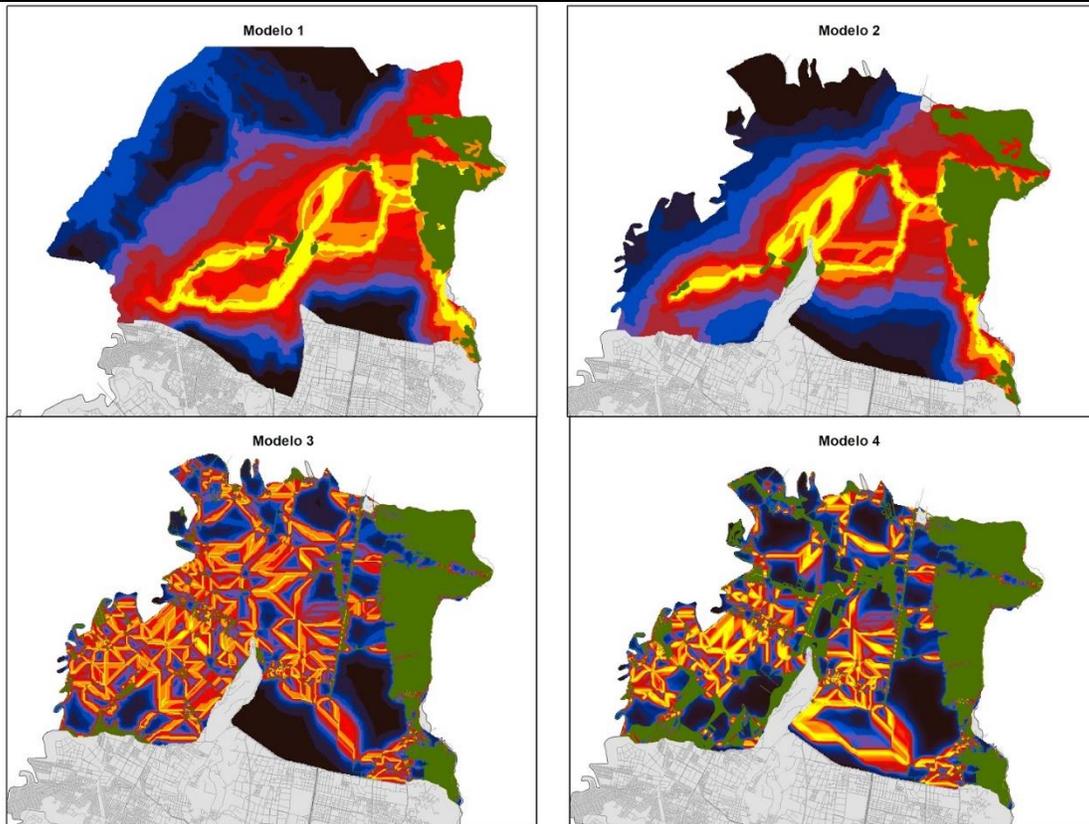


Figura 10. Distintos modelos de corredores (1) El color verde corresponde a los nodos usados para cada modelo (2) amarillo corresponde a los corredores potenciales para conectividad (Nota: La escala de color denota el grado de conectividad y varía de amarillo a negro. El color amarillo significa menor distancia costo acumulada entre los nodos (mayor conectividad). Tonos rojos pasando por púrpuras a azules corresponden a conectividad intermedia a baja y color negro corresponde a la mayor distancia costo acumulada entre los nodos (menos conectividad)

Adicionalmente, se extrajeron las métricas de distancia-costo dentro de los límites del POZN (Figura 10) para los modelos 2 y 4 con el fin de comparar la conectividad en la zona que rodea a la franja paralela a la autopista norte coincidente con la AP2. Al graficar estos valores y comparar sus distribuciones (Figura 11) es evidente la diferencia de conectividad en el paisaje entre ambos modelos. Mientras que en el caso del modelo 4 la mayor parte de los valores está distribuida dentro de un rango bajo de valores de distancia-costo, en el caso del modelo 2 esta distribución es más amplia y abarca un mayor rango de valores. Es decir, valores bajos de distancia-costo significan que la capacidad para moverse a través de cada par de nodos es poco costosa en relación a la distancia que hay entre ellos (p.e. parches relativamente cercanos entre celdas con baja resistencia), mientras que un valor de distancia-costo mayor significa que una la distancia entre un par de parches tiene un alto costo para ser recorrida.

En términos prácticos esto implica que el paisaje en el modelo 4 está considerablemente más conectado, debido a que la mayoría de sus valores de distancia-costo son bajos; mientras que el paisaje bajo el contexto del modelo 2 al tener valores de distancia-costo

mayores, significa que es más costoso recorrer esa distancia lo cual limita considerablemente la conectividad del paisaje. Esta área en particular corresponde a la quebrada Las Pilas y su franja de recuperación, de modo que es relevante resaltar la importancia de la recuperación de esta zona, tanto desde un punto de vista de conectividad funcional y estructural, ya que es la única corriente que se encuentra totalmente dentro del área coincidente, y actualmente está tan intervenida que ni siquiera aparece en los planos del POT de Bogotá.

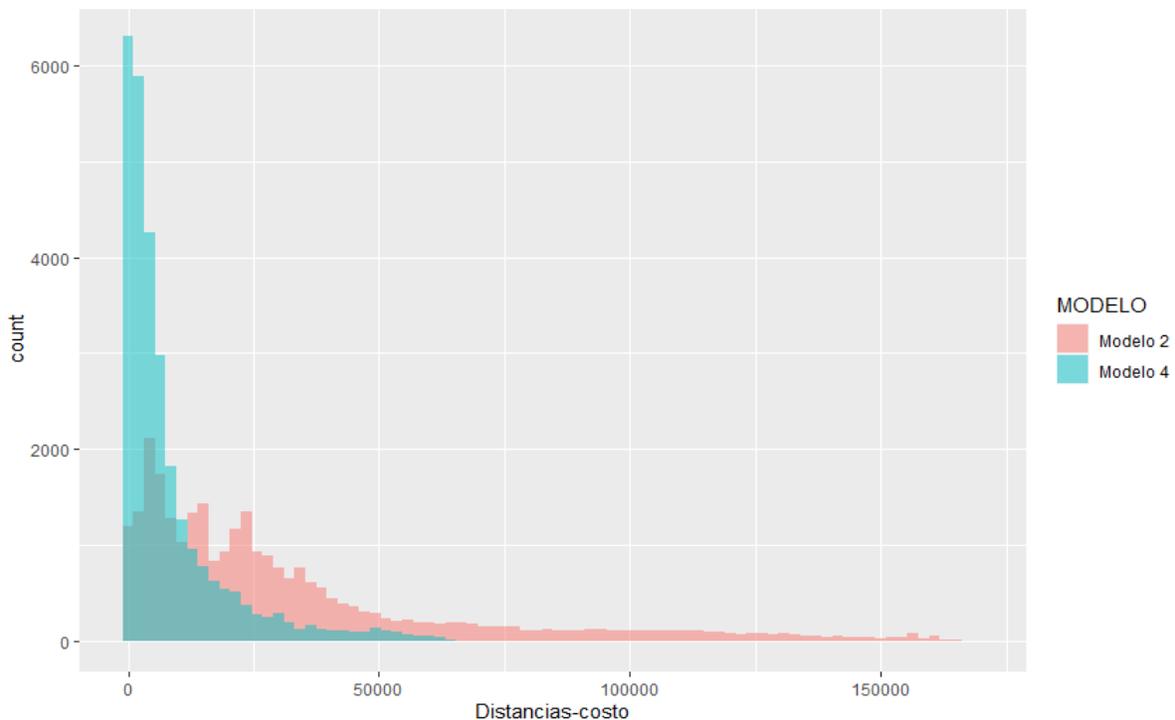


Figura 11. Histogramas de distancia-costo correspondientes al área del POZN (franja que rodea el área de la franja paralela de la autopista norte coincidente con la AP-2), en azul se muestran los valores correspondientes al modelo 4 de conectividad y en rosado del modelo 2.

5.1.4 Modelos basados en teoría de circuitos

Para el análisis de conectividad ecológica se construyeron adicionalmente cuatro modelos basados en teoría de circuitos que también utilizan una matriz de resistencia como superficie de costo a la movilidad de los organismos. Este tipo de modelos se basan en la teoría de circuitos para predecir patrones de movimiento y dispersión de organismos en paisajes heterogéneos. La teoría de circuitos complementa la aproximación de corredores de mínimo costo puesto que considera los efectos de todos los potenciales corredores en un paisaje de manera simultánea. Estos modelos fueron desarrollados utilizando la herramienta [Circuitscape](#) desarrollada por los mismos creadores de Linkage Mapper. A continuación, se presenta una descripción de cada uno de los cuatro modelos (*Tabla 4*) y sus respectivos objetivos (todos los modelos asumieron movilidad aleatoria y una matriz de resistencia):

Tabla 4. Generalidades de cada uno de los modelos generados con base a teoría de circuitos

Modelo	Descripción	Objetivo
1	Modelo de circuitos utilizando la resistencia elaborada para el diagnóstico de la RTVH en 2018, recortando el área con base en la resistencia de ellos. Los parches (nodos) utilizados corresponden a los del estudio del MADS.	Identificar los flujos de dispersión utilizando los datos de resistencia de IAVH. Comparar la distribución espacial con el modelo de circuitos de MADS. Evaluar si los flujos de dispersión cambian dependiendo de los insumos y método aplicado.
2	Modelo de circuitos utilizando la resistencia elaborada por MADS. El área del modelo corresponde al polígono utilizado en el estudio del MADS. Los parches (nodos) utilizados corresponden a los del estudio del MADS.	Comparar la distribución espacial con el modelo de circuitos de IAVH. Evaluar si los flujos de dispersión cambian dependiendo de los insumos y método aplicado.
3	Modelo de circuitos utilizando la resistencia elaborada para el diagnóstico de la RTVH en 2018. El área del modelo corresponde al estudio del MADS pero utilizando el límite completo. Los parches (nodos) utilizados corresponden a los fragmentos de vegetación-natural y seminatural mayor a 0.2 ha.	Evaluar si los escenarios que incorporan otros elementos del paisaje como corta vientos, vegetación arbórea dentro de áreas de recreación, vegetación en separadores y otros parches pequeños aportan a la conectividad y a la distribución de los corredores. Evaluar ganancias y efectividad en términos de área y conectividad basadas en flujos de dispersión.
4	Modelo de corredores potenciales utilizando la resistencia elaborada para el diagnóstico de la RTVH en 2018 (área de estudio correspondiente al estudio del MADS pero utilizando el límite completo). Los parches (nodos) utilizados corresponden a los fragmentos de vegetación-natural y seminatural mayor a 0.2 ha incluyendo las áreas de manejo de la RTVH.	Evaluar si los escenarios que incorporan otros elementos del paisaje como corta vientos, vegetación arbórea dentro de áreas de recreación, vegetación en separadores y otros parches pequeños), adicionando las áreas de manejo de la RTVH aportan a la conectividad y a la distribución de los corredores. Evaluar ganancias y efectividad en términos de área y conectividad.

En la Figura 12, se presentan los resultados de los cuatro modelos basados en teoría de circuitos:

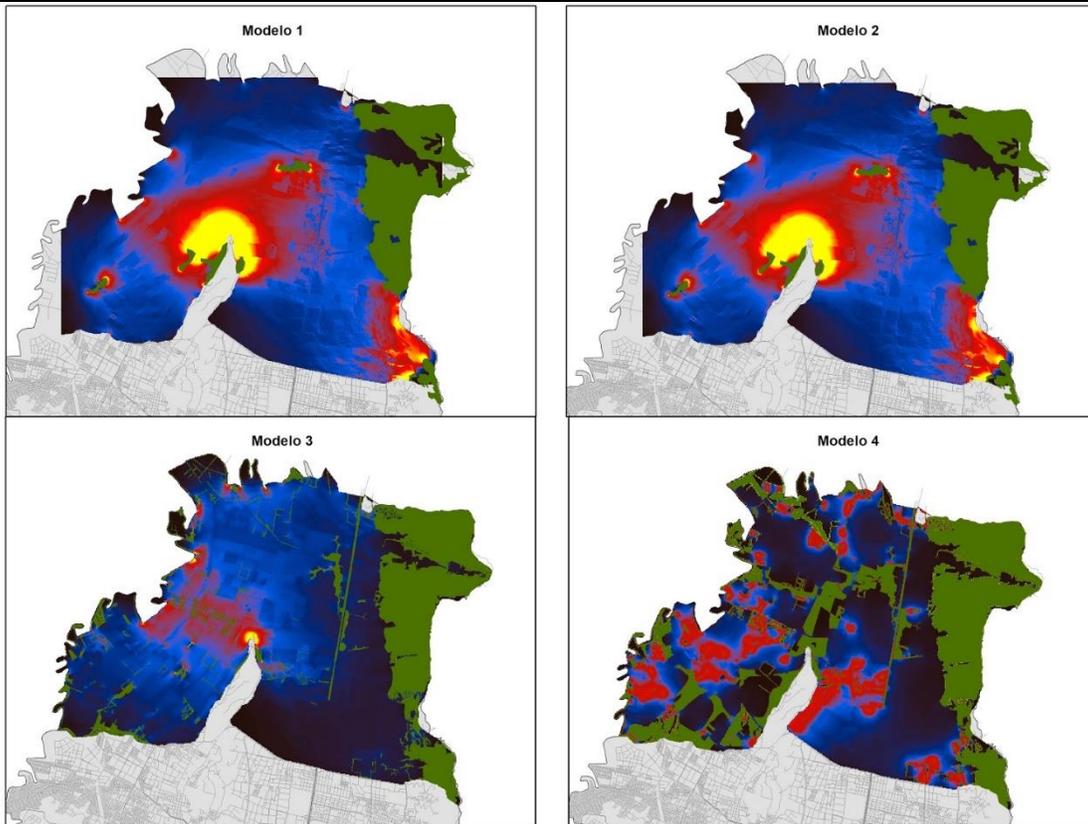


Figura 12. Modelos de dispersión según teoría de circuitos (asumiendo movilidad aleatoria y una matriz de resistencia).

En los modelos anteriores se pueden identificar en verde los nodos usados para cada modelo; el color negro y el color azul representan una baja probabilidad de dispersión, en color rojo se identifican áreas permeables amplias, con una probabilidad de dispersión alta y menos concentrada, en contraste con las áreas en color amarillo que identifican sitios con alta probabilidad de dispersión pero que se concentran en puntos específicos (*pinch points*), por ejemplo, en áreas más estrechas que se comportarían como cuellos de botella. En los sitios con color amarillo también se identifican sectores donde el flujo de dispersión es muy fuerte pero que presentan constricciones donde la conectividad es más vulnerable a ser cortada.

Es decir, en verde se representan los parches que se quieren conectar; el azul y negro significan baja probabilidad de movimiento de las especies; rojo significa una mayor probabilidad de movimiento de las especies en un área amplia; y amarillo significa la máxima probabilidad de movimiento de las especies, pero concentrada en áreas muy pequeñas lo que los convierte en puntos claves para las especies, pero al mismo tiempo en puntos donde se puede perder la conectividad muy fácilmente.

A partir de estos resultados resulta evidente que al incrementar los elementos del paisaje (modelos 3 y 4) y al incluir el plan de manejo de la RTVH (modelo 4), la densidad de flujo de dispersión se incrementa sustancialmente. En este sentido, los modelos de corredores de mínimo costo junto con el análisis de flujos de dispersión, proporciona información robusta y detallada sobre la conectividad en el borde norte de Bogotá. Con base a ello identificamos varios corredores donde los gradientes de menor costo que fomentan la conectividad conectan nodos importantes para toda la red de nodos, esto de manera reiterativa se hace posible al incluir los nodos “potenciales” que hacen parte de la RTVH y nodos pequeños que sirven como hábitats de paso entre los nodos grandes (como por ejemplo los Cerros Orientales, los humedales remanentes y el cerro de la Conejera) que ofrecen mejores recursos a las especies que habitan en ellos. Se proyecta que estas rutas podrían sostener un alto flujo de dispersión porque existen sinergias espaciales entre la distribución de los corredores y los sitios con alta probabilidad de flujo de dispersión dado por los modelos basados en circuitos en el área de análisis. En contraste, identificamos una serie de áreas donde se pronosticó que no habría conectividad y estas se hacen más amplias en los modelos 1 y 2 donde no se integran elementos importantes para mantener la continuidad dentro del paisaje como las cercas vivas, la vegetación arbórea dentro de áreas de recreación y en general nodos pequeños de vegetación natural y seminatural.

A estos sectores con baja conectividad se asocian valores altos de resistencia que corresponden a elementos antrópicos en su mayoría asociados a áreas urbanizadas. Se prevé que estos sean obstáculos para el movimiento de las especies. La gran mayoría de la red de corredores potenciales que conectarían el resto de nodos del área de análisis se distribuye sobre áreas no protegidas, lo que los harían particularmente vulnerables a su permanencia en el tiempo.

5.1.5 Evaluación del aporte a la conectividad

Para la evaluación del aporte de los diferentes modelos a la conectividad del área de estudio aplicamos el índice de área conexas equivalente (ECA) y evaluamos su porcentaje de cambio cuando se incluyen nodos (p.e. Procesos de restauración) o por el contrario cuando se pierden nodos (p.e. proceso de deforestación) (dECA). Para esto seleccionamos el 10% de los datos más bajos de distancia-costo (sitios con más conectividad y más cercano entre los nodos) para cada uno de los modelos de corredores potenciales incluyendo el modelo del MADS para evaluar su aporte, algo que complementa el documento de evaluación original. El resultado de este 10% son los corredores potenciales los cuales se vectorizan y se unen a la red de conectividad acoplándose con los nodos (Figura 13). Cada escenario se incluye en el análisis tomando como el original el análisis del MADS para evaluar los cambios con base en los demás modelos. La tabla producto del cálculo de ECA y dECA muestra las ganancias o pérdidas de conectividad y cuál escenario ganó más o menos conectividad y área de hábitat. También muestra el ECA normalizado (ECANorm) de acuerdo al tamaño del área de estudio y corresponde al valor que se grafica (Figura 14). Este análisis se llevó a cabo con la herramienta [Makurhini 2.0](#).

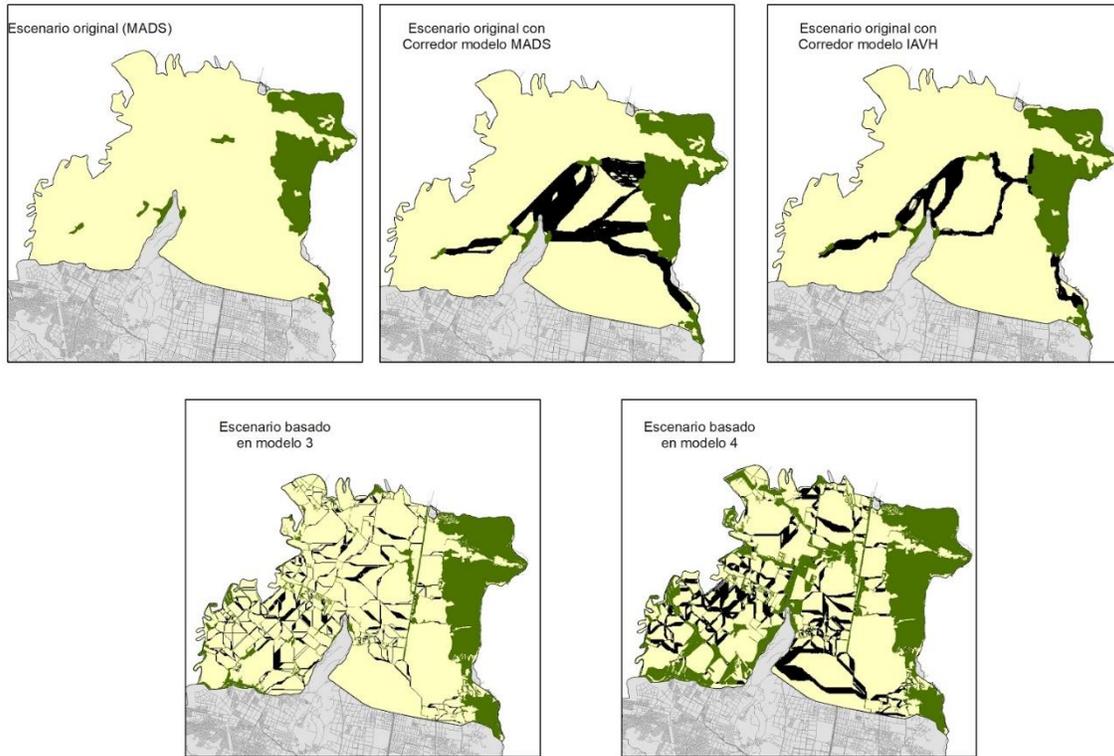


Figura 13. Diferentes escenarios de paisaje y corredores resultantes de los modelos. En verde se identifican los nodos, y en negro los potenciales corredores

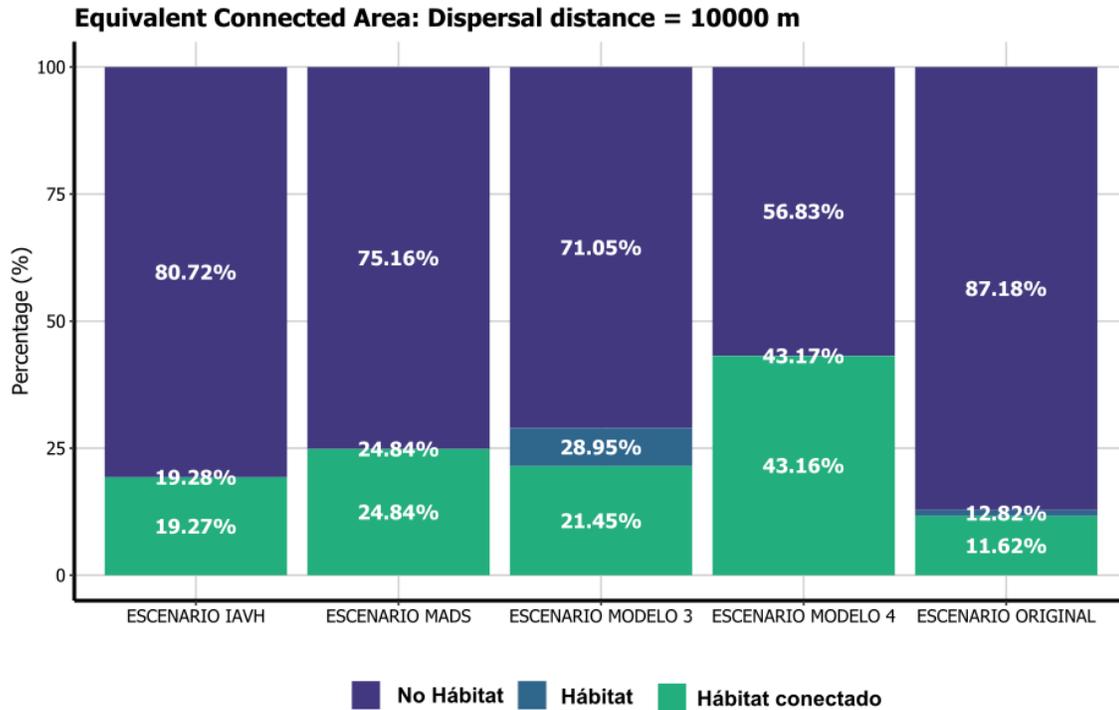


Figura 14. Porcentaje de hábitat/no hábitat de cada escenario.

Nótese que el hábitat conectado es un subgrupo de la categoría hábitat, de modo que el porcentaje de hábitat no conectado corresponde a la diferencia entre hábitat y hábitat conectado.

Partiendo de la *Figura 13*; el **Escenario original (MADS)** corresponde solamente a los parches identificados por el Ministerio para realizar su modelo de corredores. Se asume que es el escenario actual y la comparación de cada escenario se hace confrontando este escenario versus cada uno de los demás (*Tabla 5*). El **escenario con el corredor del modelo MADS**, incluye a los parches del modelo original del MADS y adiciona al corredor identificado por el modelo del Ministerio. El **escenario original con corredor modelo IAVH**, corresponde a los corredores resultantes del modelo 2 (ver tabla 3 de los modelos de corredores potenciales) o sea con el corredor identificado por el modelo de IAVH utilizando los parches de MADS. El **escenario basado en el modelo 3**, corresponde al corredor identificado con base en el modelo 3 unido a los parches naturales y seminaturales inmersos en la matriz antrópica. El modelo basado en el **escenario basado en el modelo 4**, corresponde al corredor identificado con base en el modelo 4 unido a los parches resultantes del plan de manejo de la Reserva Thomas van der Hammen.

Tabla 5. Comparación de los diferentes escenarios.

Escenario	Área (ha)	ECA (ha)	Areanorm (%)	ECANorm (%)	dA (%)	dECA (d%)	dA/dECA comparisons	Tipo de Cambio
ESCENARIO ORIGINAL	1021.929	926.423	12.82	11.62	-87.181	-88.379	dECA < dA < 0	Mayor pérdida de conectividad y de hábitat.
ESCENARIO MADS	1980.387	1980.284	24.84	24.84	93.789	113.756	dECA>dA>0	La ganancia de conectividad es mayor a la ganancia de hábitat.
ESCENARIO IAVH	1537	1536.342	19.28	19.27	50.402	65.836	dECA >dA > 0	La ganancia de conectividad es mayor a la ganancia de hábitat.
ESCENARIO MODELO 3	2308.218	1709.763	28.95	21.45	125.869	84.555	dA>dECA>0	La ganancia de hábitat es mayor a la ganancia de conectividad.
ESCENARIO MODELO 4	3441.674	3440.592	43.17	43.16	236.782	271.385	dECA >dA > 0	La ganancia de conectividad es mayor a la ganancia de hábitat.

En general, la tabla muestra que en el **escenario original** hubo una pérdida de conectividad del 88%. Si se compara con la pérdida de área hábitat (dA) fue un poco mayor la pérdida de conectividad. En el **escenario MADS**, cuando se proyecta con el corredor hay una ganancia tanto de hábitat como de conectividad, hubo una ganancia de conectividad (dECA) del 113% con respecto al **escenario original** o sea que si se implementara el corredor ganaría ese porcentaje el cual es mayor que la ganancia de área. Este resultado se ve positivo, sin embargo, el corredor se ve bastante grueso y con conexiones que con las resistencias del IAVH, más precisa, se pierden. El **escenario con base en el modelo de IAVH** también presenta una ganancia tanto de conectividad como de hábitat, sin embargo, es menor a la del **modelo con el corredor del MADS**, esto puede ser debido a que es un corredor más puntual y la resistencia permite que la distribución espacial del corredor sea más acotada y precisa, las áreas de resistencia alta no permiten que el corredor tenga tantas conexiones con los Cerros Orientales. El escenario basado en el modelo 3 presenta, en contraste con los demás, mayor ganancia en términos de área que de conectividad. El escenario basado en el modelo 4 muestra el escenario ideal, el que gana mayor conectividad y área de hábitat suponiendo que se implementa el plan de manejo y se conecta con los elementos del paisaje naturales y seminaturales inmersos en la matriz antrópica del área de estudio.

Solamente el escenario original con el corredor del MADS, muestra un corredor en la franja paralela a la autopista norte coincidente con la AP-2. Sin embargo, bajo los modelos y análisis realizados, esa área (franja paralela a la autopista norte coincidente con la AP-2) no muestra que actualmente cumpla un valor importante de conectividad ecológica (ni en la ronda de la quebrada las Pilas, que atraviesa la franja paralela a la autopista norte coincidente con la AP-2), salvo en los bordes norte y sur de la misma. Es por esto, que en caso de hacer desarrollos urbanísticos en esta área, se deberá proteger y promover la conectividad ecológica en los bordes norte y sur, bien sea ofreciendo mayor y mejor cobertura vegetal, que ayudan a aumentar la conectividad estructural, y/o haciendo esfuerzos grandes de recuperación, restauración del área para recuperar la conectividad en la ronda de la quebrada las Pilas.

Específicamente, los resultados de estos modelos pueden ser de utilidad para priorizar sitios para la gestión de áreas relativamente naturales que promueven la permeabilidad entre las zonas periurbanas hacia las zonas urbanas, donde es necesario el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, sobre todo los relacionados con la movilidad de las especies como la polinización. Así mismo, los resultados podrían usarse para cuantificar la estructura de la red de conectividad de los paisajes periurbanos del distrito, identificar nodos de enlace críticos, mapear barreras potenciales y priorizar sitios para acciones de mitigación, restauración y conservación.

5.2 RÉGIMEN DE LLUVIAS

En la zona norte de la ciudad de Bogotá, según los registros de las estaciones que se indican en la *Figura 15*, se presentan precipitaciones totales anuales para el periodo climático 1981-2010 que van desde 800 mm a 1017 mm. Se identifican dos periodos con menor aporte que son enero y febrero y julio agosto, con valores de 33.3 mm a 66.7 mm y 39 mm a 68.4 mm, respectivamente. En los periodos de abril a mayo y octubre a noviembre se presentan los mayores valores de precipitación con rangos que varían entre los 83.7 mm a 115.8 mm y 93.9 mm a 123.9 mm (*Figura 16*). Las mayores precipitaciones se presentan en la zona de los cerros orientales, a una altitud de 2800 msnm.

Se resalta que a lo largo del año para esta zona se presentan lluvias durante 130 a 238 días y se aprecia un período con menor cantidad de días lluviosos en diciembre, enero y febrero entre 7 y 14 días por mes. Los meses con más eventos de precipitación tienen hasta 25 días lluviosos en mayo y 22 días lluviosos en octubre. (IDEAM, 2020).

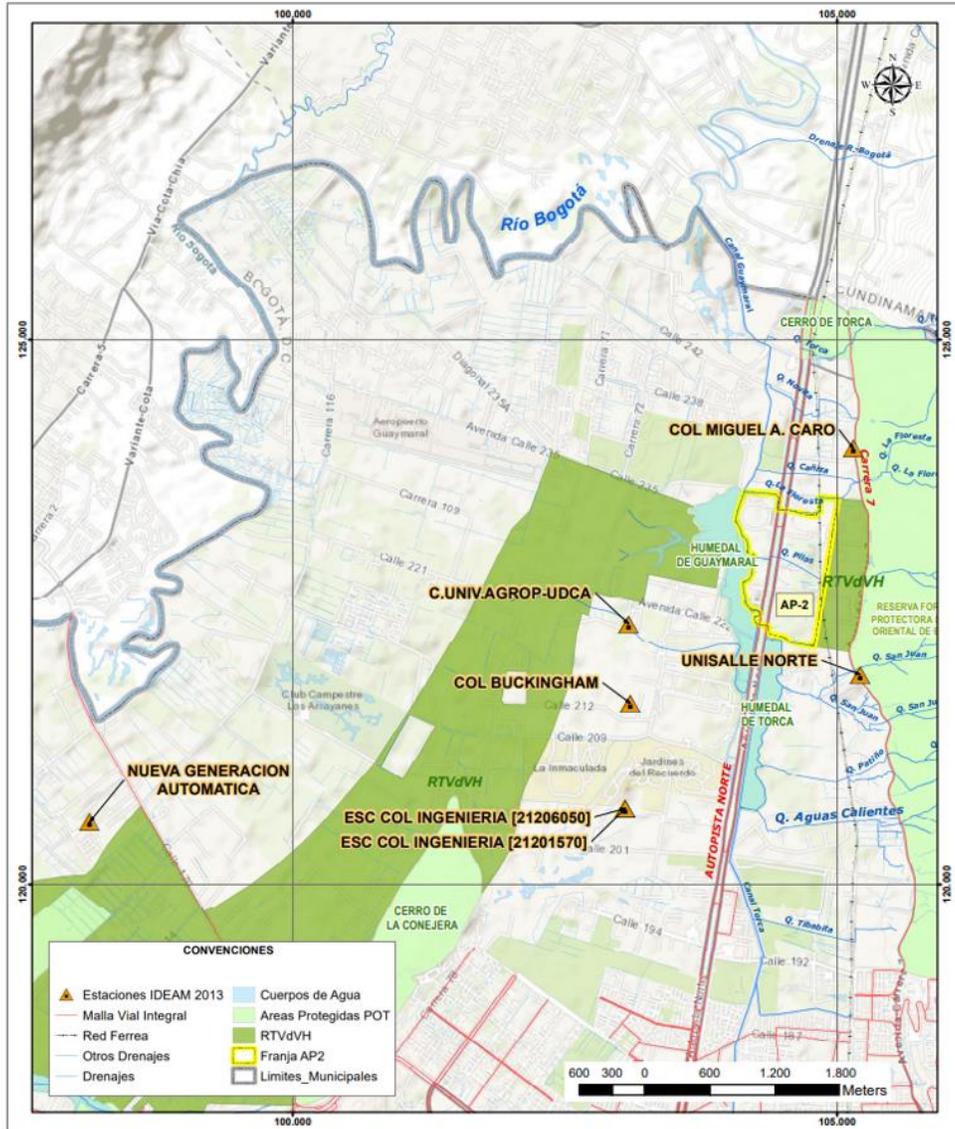


Figura 15. Localización estaciones meteorológicas en zona de análisis

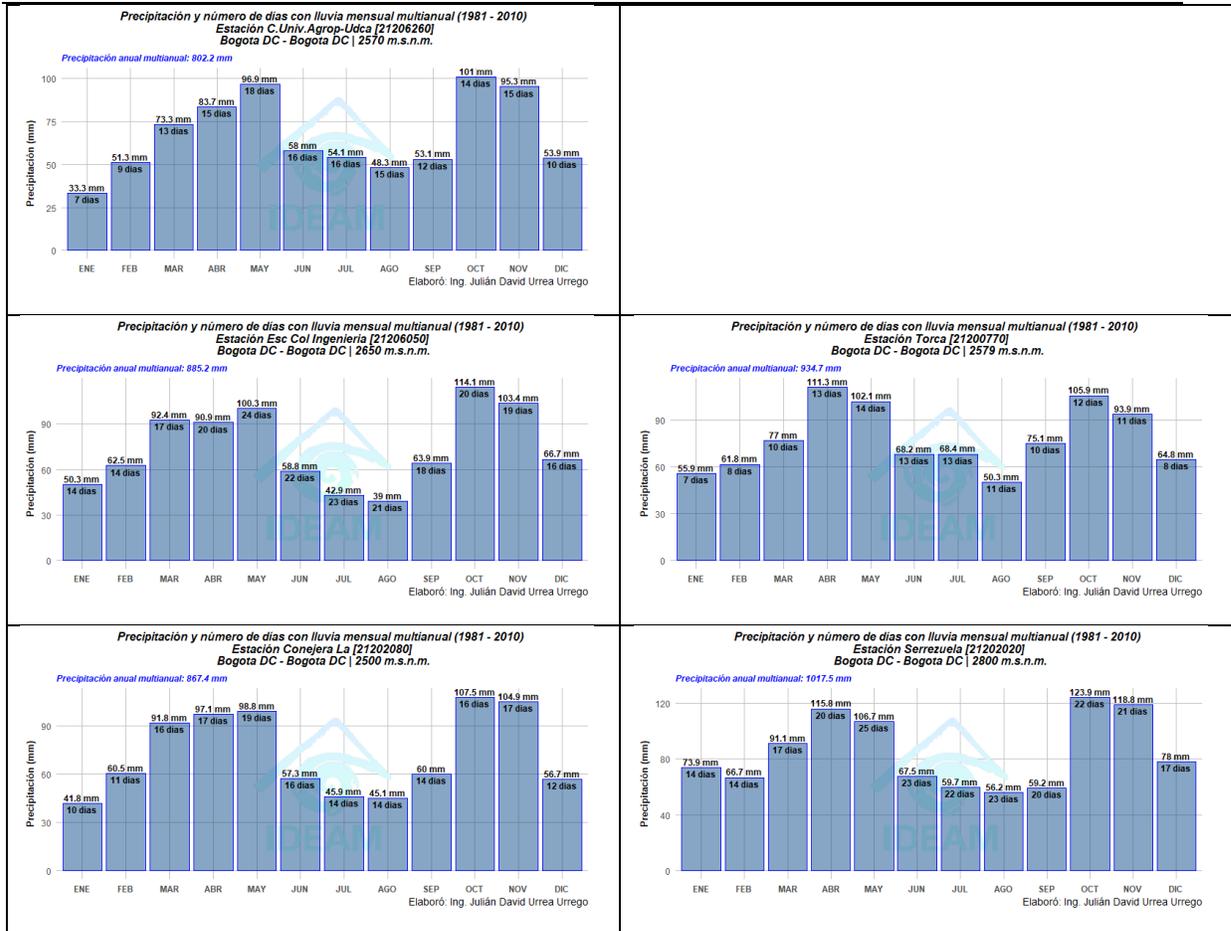


Figura 16. Precipitación total y número de días con lluvia

En este contexto, la ciudad presenta alta precipitación cuya respuesta en la escorrentía está afectada por la alta intervención de las sub cuencas principales a la altura de la cuenca media del río Bogotá, (Torca, Salitre, Fucha y Tunjuelo), la transformación de las coberturas en las cuencas y el proceso de impermeabilización que trae consigo el continuo desarrollo urbanístico de la ciudad. En este sentido, se presenta disminución de la capacidad de infiltración del agua en suelo y consecuente aumento de la precipitación neta que puede ocasionar mayores flujos superficiales por escorrentía que ingresen de una manera directa al caudal de los ríos y sistemas de drenaje de aguas lluvias y combinados. En ciudades con alto desarrollo urbano e incidencia de la variabilidad climática se destaca que la precipitación es una variable crucial de estudio y que junto con otros factores físicos de las cuencas sean el principal detonante de fenómenos de inundación.

La amenaza por desbordamiento se presenta en la ciudad de Bogotá en relación con los cauces que discurren sobre la planicie inundable del río Bogotá, en la llamada Sabana de Bogotá, e incluye por lo tanto el cauce principal del río Bogotá, y la parte baja de los afluentes principales dentro del perímetro del Distrito, los ríos Torca, Salitre – Juan Amarillo, Fucha y Tunjuelo (Figura 17).

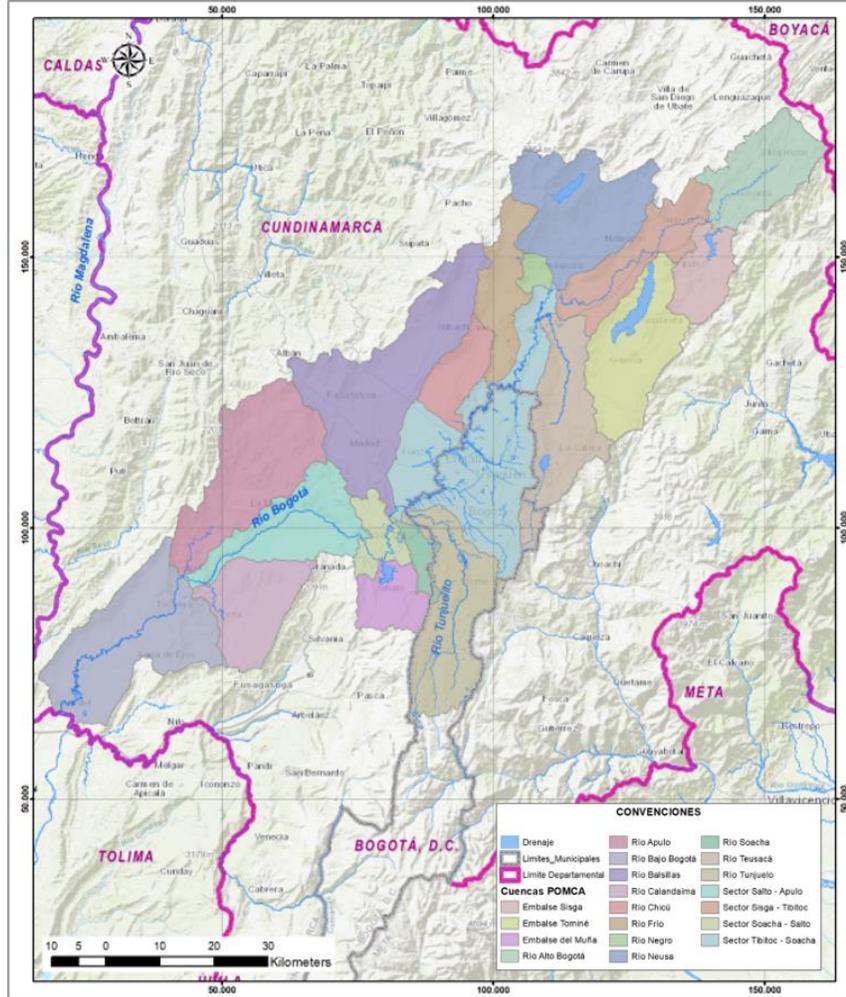


Figura 17. Cuencas Hidrográficas en zona de análisis

La cuenca del canal Torca tiene un área de drenaje 6.008,69 hectáreas y su eje principal cuenta con una longitud de 13.06 km, desde el conjunto residencial Bosque de Pinos ubicado en la Carrera 6 con Calle 153 hasta su entrega al río Bogotá. El río Torca nace en los cerros orientales y desemboca al sistema humedal Torca-Guaymaral a altura de la Autopista Norte, en cercanía a los terrenos del cementerio Jardines de Paz, y a su vez drena al norte de la cuenca media del río Bogotá. La cuenca está conformada por tres subcuencas principales: El Cedro, San Cristóbal y Serrezuela, que se inician en los cerros orientales de la ciudad, cuyos canales se encuentran revestidos (CSHB, 2008). Posteriormente, las aguas son conducidas hacia el humedal Torca, para finalmente entregarlas a la cuenca media del río Bogotá.

En particular durante el año 2020, bajo la influencia del fenómeno La Niña, se destacan los elevados aportes por precipitación que se evidenciaron en la zona norte de la ciudad de Bogotá. Específicamente durante el último trimestre del año, el mes de noviembre presentó volúmenes cercanos a los 200 mm/mes en dos estaciones de referencia consideradas (*Figura 18*).

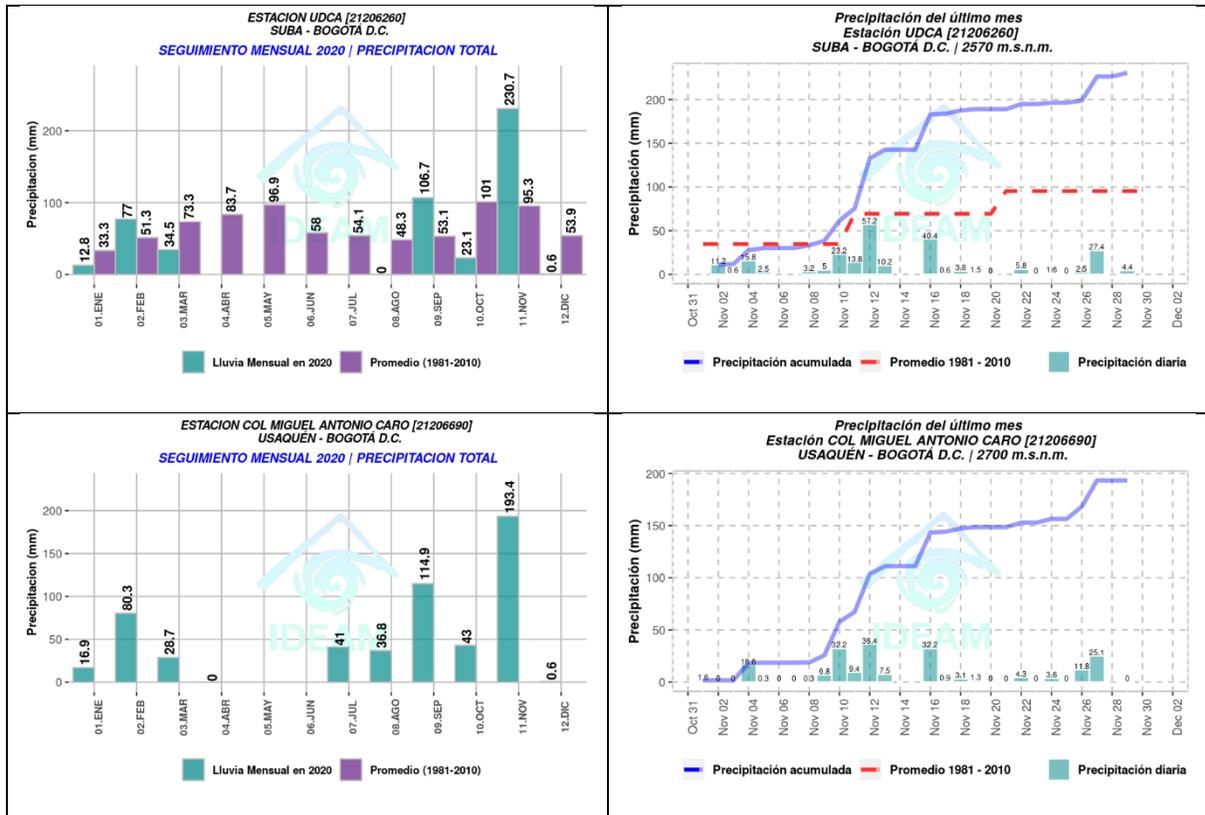


Figura 18. Precipitaciones durante 2020

5.3 RÉGIMEN DE ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ

La cuantificación de los aportes hídricos en una cuenca hidrográfica a través de la red de drenaje superficial puede ser obtenida mediante un sistema de monitoreo continuo en puntos de control establecidos. Estos registros de caudal líquido durante un periodo de tiempo representativo, que en términos generales se recomienda tomar un periodo similar a una normal climática, tres décadas, son la referencia básica para obtener una caracterización espacial de la escorrentía superficial.

A manera ilustrativa se presenta la respuesta hidrológica del río Bogotá en un tramo de la cuenca media, con especial énfasis en la estación Puente La Balsa en jurisdicción del municipio de Chía (*Figura 19*). El comportamiento del río en este tramo está asociado a la descarga del sistema hídrico que conecta el humedal Torca Guaymaral con el río Bogotá.

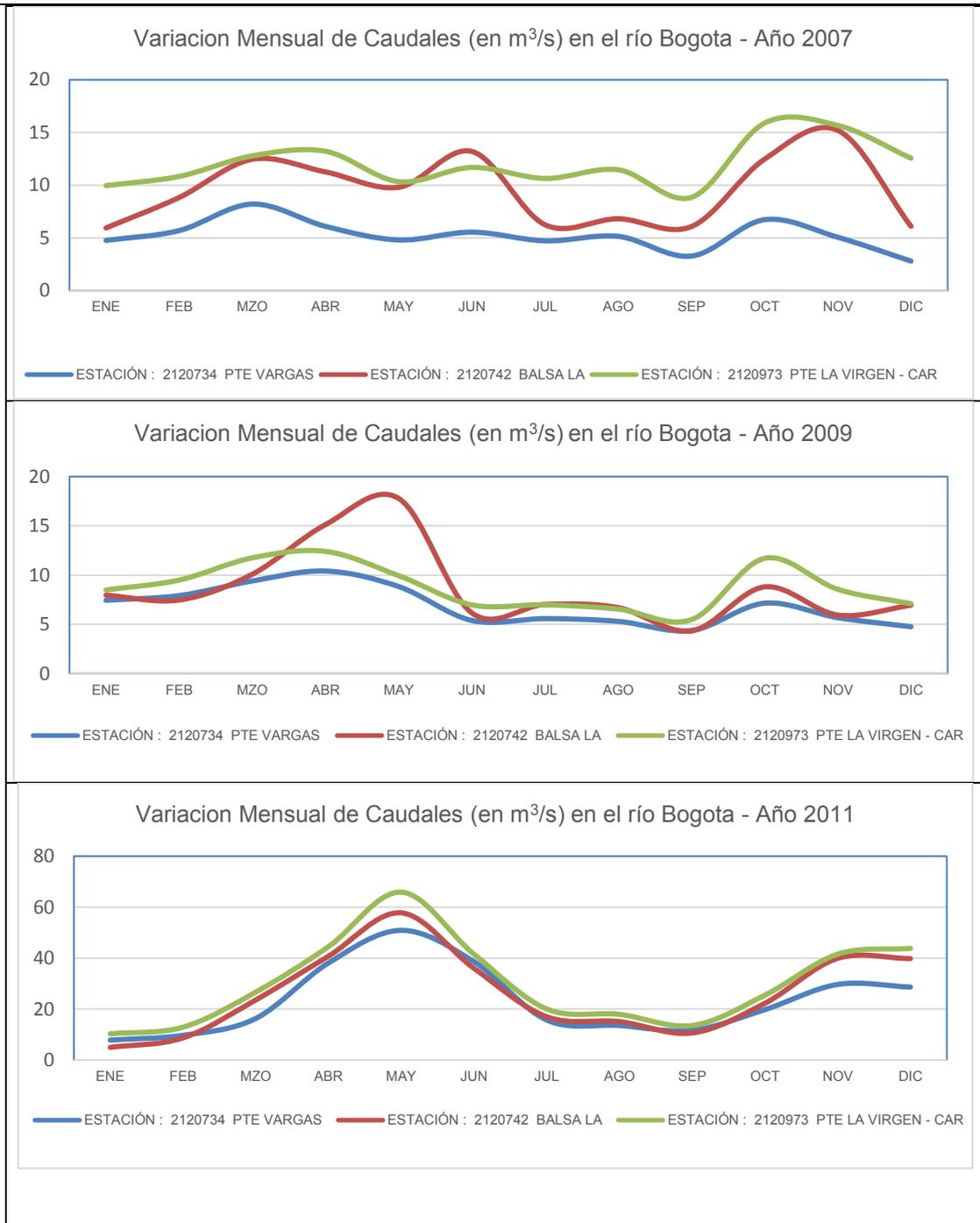


Figura 19. Variación de caudales mensuales en un tramo de la cuenca media del río Bogotá

Las variaciones de caudal medio mensual en la estación La Balsa en el río Bogotá, durante los últimos 4 años (2016 -2019), permiten identificar que los meses con mayores caudales en el año 2016, se presentaron en noviembre, durante el año 2017 se presentaron en marzo, para 2018 tuvieron ocurrencia durante mayo y julio y en el año 2019 fueron en agosto (Figura 20).

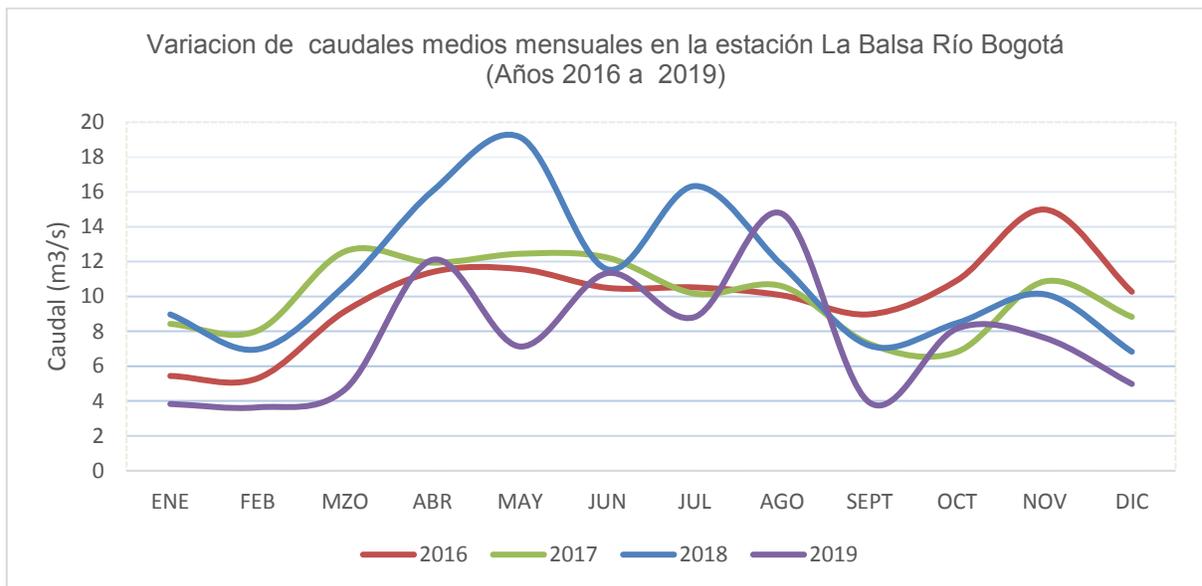


Figura 20. Variación de caudales mensuales en el río Bogotá – Estación La Balsa

Para cuencas hidrográficas con alta intervención en ambientes urbanos, en las cuales la red de drenaje superficial presenta modificaciones significativas, asociadas a los procesos de canalización, es preciso tomar en consideración todas las limitaciones y particularidades que exige la aplicación de herramientas alternativas para realizar la transformación lluvia a escorrentía. Una selección de parámetros que bien puede funcionar en ambientes de cuencas rurales para los cuales es posible identificar unidades homogéneas de suelo y cobertura vegetal a las que es posible asociar una respuesta hidrológica concreta pueden en efecto no representar las condiciones reales que se evidencian en las cuencas urbanas de las quebradas como las que conforman el sistema Torca-Guaymaral objeto de este análisis específico.

La dinámica de inundaciones que ocasionó afectaciones en extensas zonas de la planicie de desborde del río Bogotá en la zona norte de la ciudad durante los eventos recientes de 2011, 2017 y 2019, requiere ser evaluada bajo el contexto de uso y aprovechamiento de las zonas aledañas.

5.4 DINÁMICA DE INUNDACIONES

Uno de los aspectos de particular importancia en la zona de análisis es la dinámica de inundaciones que caracteriza la cuenca media del río Bogotá, específicamente el tramo donde finalmente drena el Sistema del Río (Canal) Torca.

Las inundaciones son fenómenos meteorológicos e hidrológicos asociados a características climáticas, morfológicas e hidráulicas, clasificándola como una amenaza de gran impacto debido a las magnitudes en pérdidas económicas y de vidas humanas por ser el fenómeno

más recurrente y con mayor número de registros, (Banco Mundial, 2012); (Domínguez y Lozano, 2014); (IPCC, 2007); (Coll, 2013); (Castrillón Ocampo, 2014); (Sedano, 2013); (CNE, 2011), clasificándolo como un fenómeno hidrológico potencialmente destructivo, que hace parte de la dinámica de evolución de una corriente (IDEAM, 2014).

Es importante destacar que, las inundaciones se acentúan bajo condiciones de débil planificación de las actividades antrópicas las cuales alteran los procesos naturales y pueden propiciar mayores afectaciones asociadas a la ocurrencia de este tipo de fenómenos. En particular la invasión de las rondas de los cauces (planicies de inundación), con canalizaciones y sistemas de drenaje pluvial y sanitario, entre otras estructuras para la conducción del agua, condicionan el proceso normal dentro de las dinámicas de los cauces cuyas frecuencias varían según el cuerpo de agua superficial, (CENAPRED, 2014).

Los sistemas fluviales muestran por un lado un comportamiento hidrológico normal, representado por el régimen estacional y por la irregularidad espacio - temporal, y por otros casos extremos por su magnitud, avenidas y estiajes, que son eventos excepcionales que dependerán de su frecuencia. La amenaza por inundación va a estar determinada por: 1) su magnitud, es decir a la cantidad de caudal que transita por una determinada sección hidráulica, donde se centra en la altura de lámina del flujo y su velocidad en una sección determinada, mientras que 2) la frecuencia está ligada a un concepto de probabilidad de ocurrencia, específicamente en el intervalo de tiempo medio que debe transcurrir para que se presente una avenida con una magnitud dada, (CENAPRED, 2014).

Conforme a lo establecido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), las inundaciones son un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce, superando la altura de las orillas naturales o artificiales ocasionando una anegación y un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas, producto de lluvias persistentes y generalizadas en una región determinada, pudiendo ser provocadas por situaciones de tipo artificial como rompimientos de presa naturales o artificiales, fallas de diques y/o tabiques y remansos en entrega de canales naturales o artificiales o por un bloqueo en las mismas, (IDEAM, 2014); (SEDANO, 2012).

Las inundaciones pueden ser clasificadas según su génesis y distribución espacial, y según su tiempo de generación.

Respecto a la génesis es posible identificar inundaciones: pluviales, fluviales, costeras y/o por falla de estructuras de control. Particularmente en la zona norte de la ciudad de Bogotá, se destaca la ocurrencia de inundaciones pluviales y por desborde lateral del río Bogotá. Además, se resalta que por efecto de las actividades de reconfiguración del cauce y sus afluentes, así como con las intervenciones con jarillones para proteger algunos sectores, en donde se encuentra instalada infraestructura, se ocasionan potenciales afectaciones en otras zonas aguas abajo del sitio de intervención.

Se destaca también que las entregas de los sistemas de alcantarillado de aguas servidas y lluvia, son susceptibles de producir inundaciones y encharcamientos aguas arriba (áreas urbanas) por reflujos que se generan debido al aumento de las láminas de agua de los cauces donde se hace la entrega.

Considerando el tiempo de generación es posible identificar dos tipos de procesos: las inundaciones lentas y las crecientes súbitas. Las primeras generan avenidas en un tiempo relativamente largo del orden de horas o días, mientras que las segundas la avenida se genera en un corto tiempo, del orden de minutos o un par de horas. Usualmente las inundaciones lentas ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros y se asocia con afectaciones de grandes extensiones.

Las crecientes súbitas, se caracterizan por una respuesta rápida a la ocurrencia de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, los incrementos de nivel son del orden de metros en pocas horas, y el tiempo de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas son igualmente de horas o pocos días, estas se presentan en todas las cuencas de alta pendiente de la región Andina principalmente. (IDEAM, 2014).

En los flujos torrenciales se presenta una avenida que transporta troncos de árboles y/o abundantes sedimentos desde finos hasta bloques de roca. Pueden ser generados por lluvias, por ruptura de represamientos o por abundantes deslizamientos sobre una cuenca.

5.4.1 Inundaciones en la cuenca del río Bogotá

Según lo evaluado en el componente de Gestión de Riesgos del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica –POMCA- del río Bogotá en su versión de 2019, se concluyó lo siguiente con respecto a las inundaciones en la cuenca del río Bogotá, tal como se evidencia en el mapa de la *Figura 21*:

- Las mayores áreas que quedan dentro de la categoría de amenaza alta se localizan en las llanuras de inundación del río Bogotá, las cuales se presentan al norte de la Sabana de Bogotá, **principalmente entre los municipios de Gachancipá y Cota** y en la parte sur de la Sabana, en los municipios de Mosquera y Soacha. También hay una amplia zona de amenaza alta en el municipio de Nemocón, en lo que constituye la llanura de inundación del río Neusa y en las zonas aledañas a los ríos Subachoque y Balsillas, al occidente de la Sabana. En las cuencas alta y baja, las áreas de amenaza alta predominan en un estrecho corredor próximo a las márgenes del río Bogotá. Las áreas de amenaza alta corresponden a un 3,55% del área de la cuenca.
- En el contexto regional el régimen hídrico y de inundaciones en la Sabana de Bogotá, en particular en su zona media, es importante dado que condiciona la conectividad hídrica del sistema hídrico del Humedal Torca Guaymaral, con el cual limita la zona coincidente de la franja AP – 2 con la Autopista Norte, y considerando

que el río Bogotá es el receptor de los aportes de la quebrada las Pilas a través del sistema hídrico hacia aguas abajo. La zonificación de inundación que se presenta a continuación mostrará la interacción con el Humedal Torca Guaymaral hasta el río Bogotá.

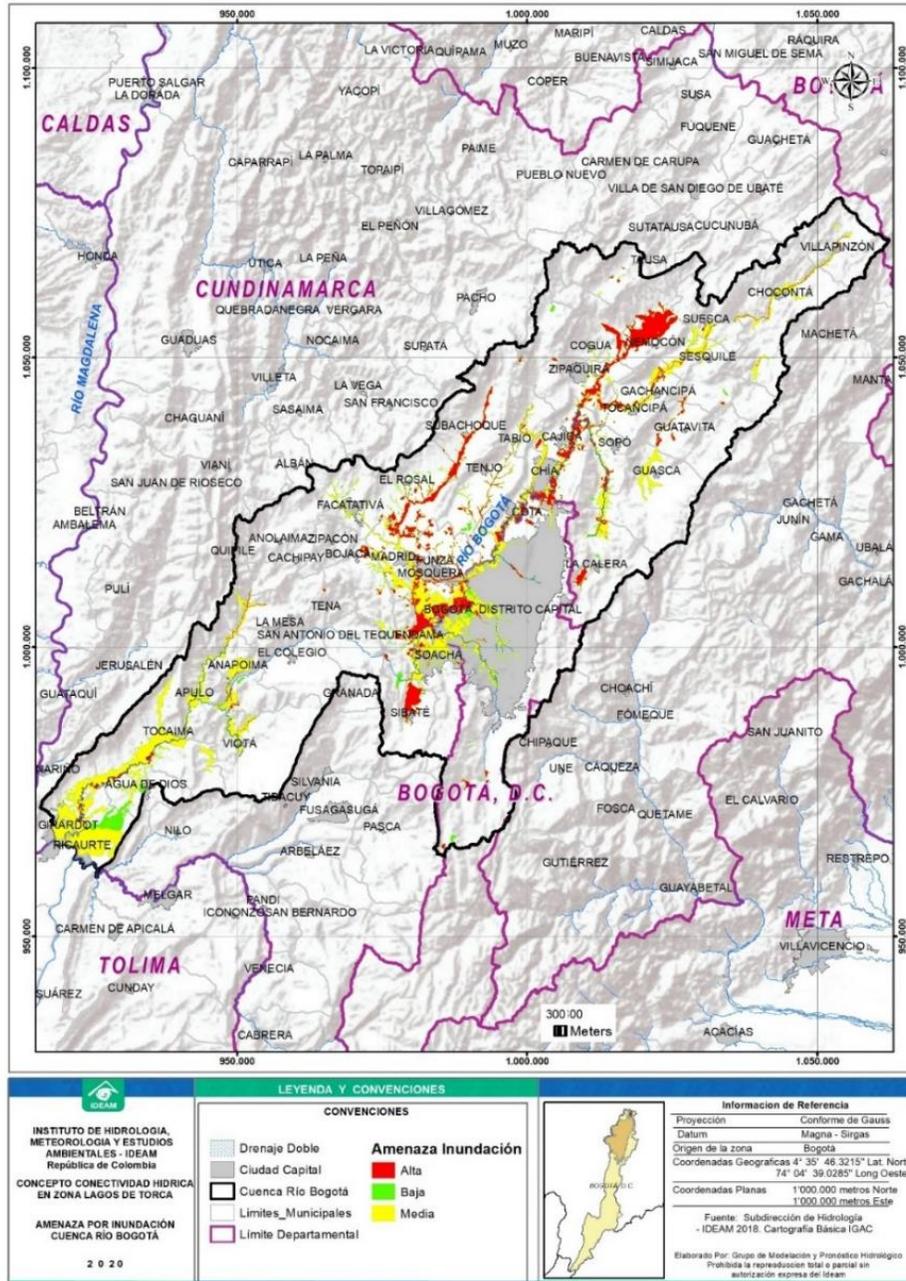


Figura 21. Amenaza de Inundaciones en la cuenca del río Bogotá Fuente POMCA Río Bogotá

5.4.2 Inundaciones en el Distrito Capital

Mediante el Decreto 190 de 2004 con el cual se reglamentó el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Capital, se desarrolló el mapa de inundación para el Distrito Capital, el cual se actualizó mediante la Resolución 1972 de 2017, el cual se muestra en la Figura 22.

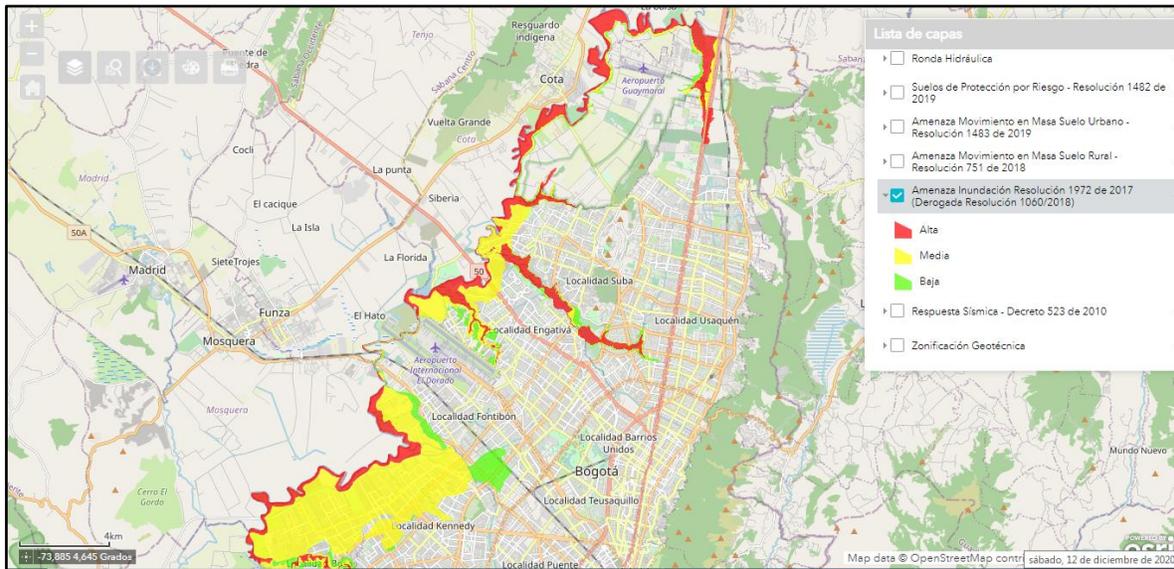


Figura 22. Amenaza por inundación para Bogotá, Fuente: Resolución 1972 de 2017

En este punto es importante resaltar que en los considerandos del decreto 088 de 2017 de la alcaldía de Bogotá se indica:

“Que, en lo relacionado con la evaluación y prevención de riesgo, la entonces Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, hoy Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo y el Cambio Climático -IDIGER, como máxima autoridad distrital en materia de gestión del riesgo, emitió Concepto Técnico No. CT-4872 del 29 de junio de 2007, ratificado el 2 de mayo de 2016 mediante concepto técnico RO-869302010, por el cual estableció que la zonificación de amenaza de inundación señalada en el Decreto Distrital 190 de 2004 se encuentra vigente y es la aplicable para el área de la Ciudad Lagos de Torca.”

Como se muestra en la Figura 22, se evidencian zonas de amenaza alta media y baja para el Distrito Capital. A continuación, se realiza un acercamiento a la zona donde se encuentra el sistema Torca-Guaymaral.

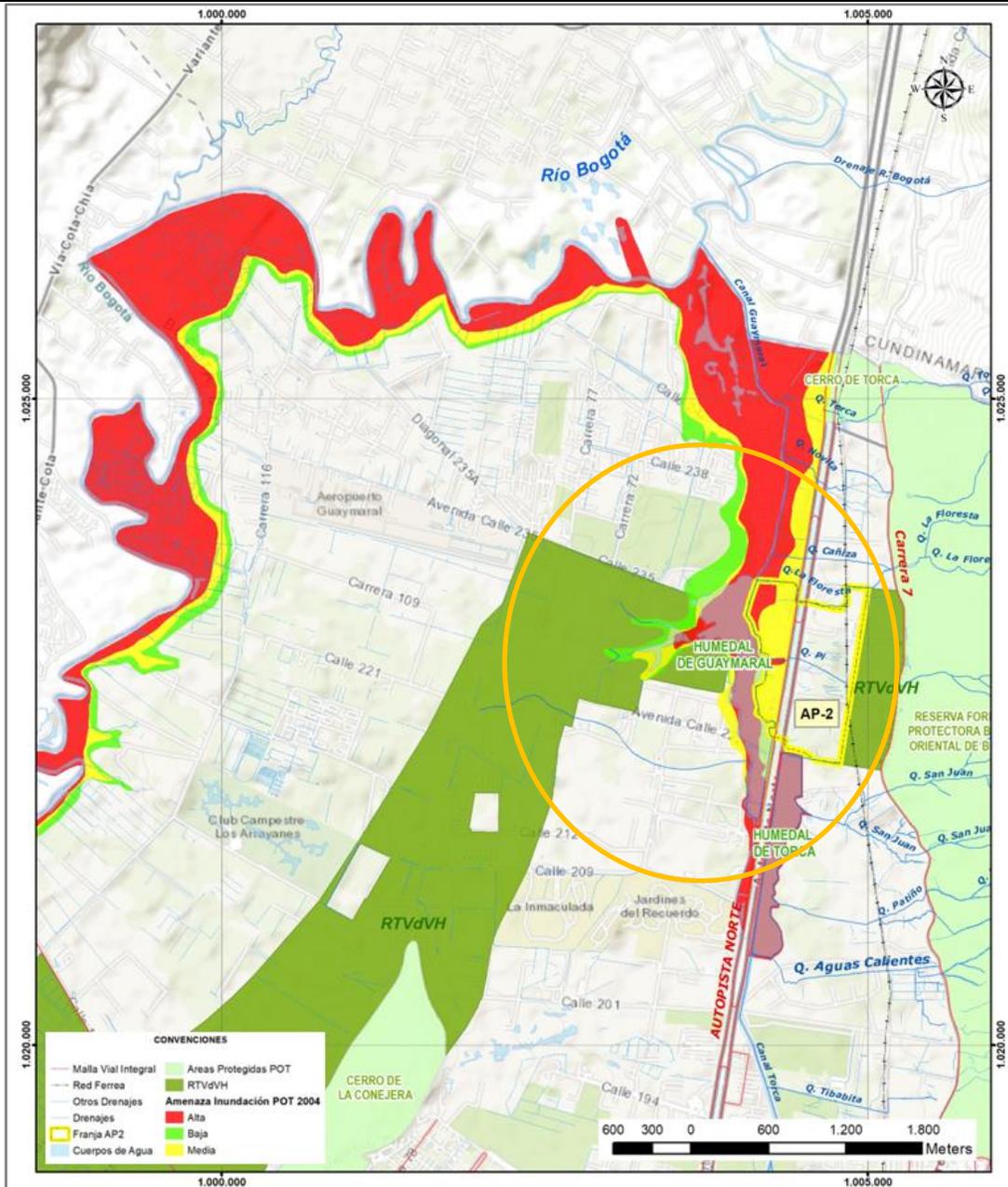


Figura 23. Detalle de Amenaza por Inundación en zona de interés Fuente: Resolución 1972 de 2017-SDP. Amenaza por inundación para Bogotá

Con respecto a la Figura 23, se pueden observar las zonas del norte de la ciudad que presentan amenaza por inundación, la cual obedece a que, en los sectores donde se emplaza la Autopista Norte y los predios colindantes, estos son sectores de desborde del Sistema Torca-Guaymaral. Estas planicies de inundación, antes de desarrollarse la infraestructura instalada, eran las que permitían amortiguar las crecientes en caso de presentarse en el sistema.

Actualmente, debido a estas modificaciones antrópicas que se han realizado en la zona, se presentan desbordamientos asociados a la falta de capacidad hidráulica de los humedales

y por las diferentes conexiones del sistema de drenaje pluvial que descargan en este. Como resultado de lo anterior, se presentan inundaciones por desbordamiento de los humedales e inundación por encharcamiento debido al estado de la infraestructura de drenaje existente y la falta de cobertura en algunos sectores del área.

Durante la primera temporada de lluvias de 2019 el reporte de IDIGER de eventos para la ciudad de Bogotá estuvo cercano a los 1300 eventos (Figura 24) y se destaca que los encharcamientos fueron el fenómeno predominante en la zona norte, en las localidades de Usaquén y Suba.

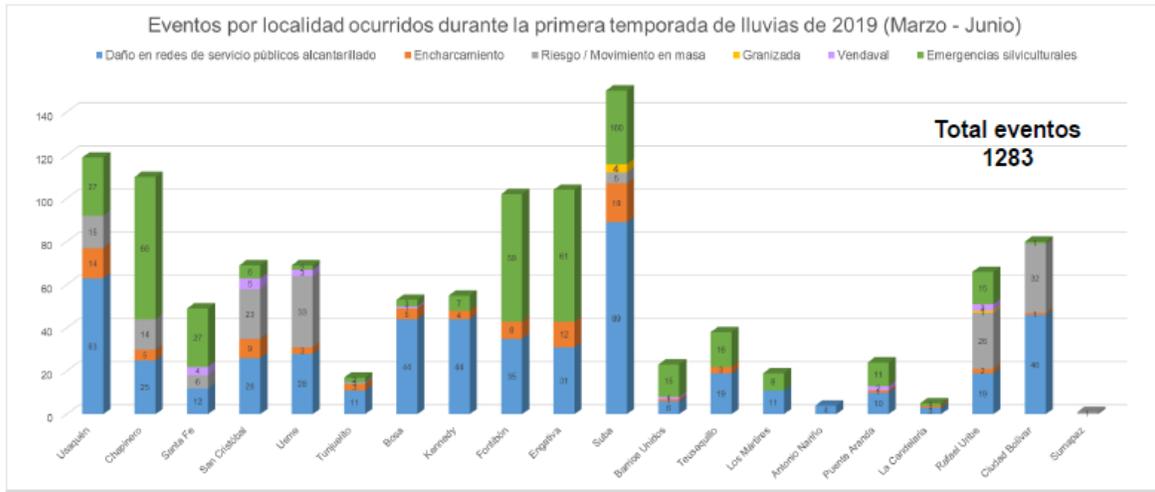


Figura 24. Eventos por localidad primera temporada de lluvias 2019 Fuente IDIGER

Para el área objeto de estudio, se observa que existe una zonificación de amenaza alta y media para el sector occidental asociado al desbordamiento del Sistema Torca Guaymaral (Figura 25).

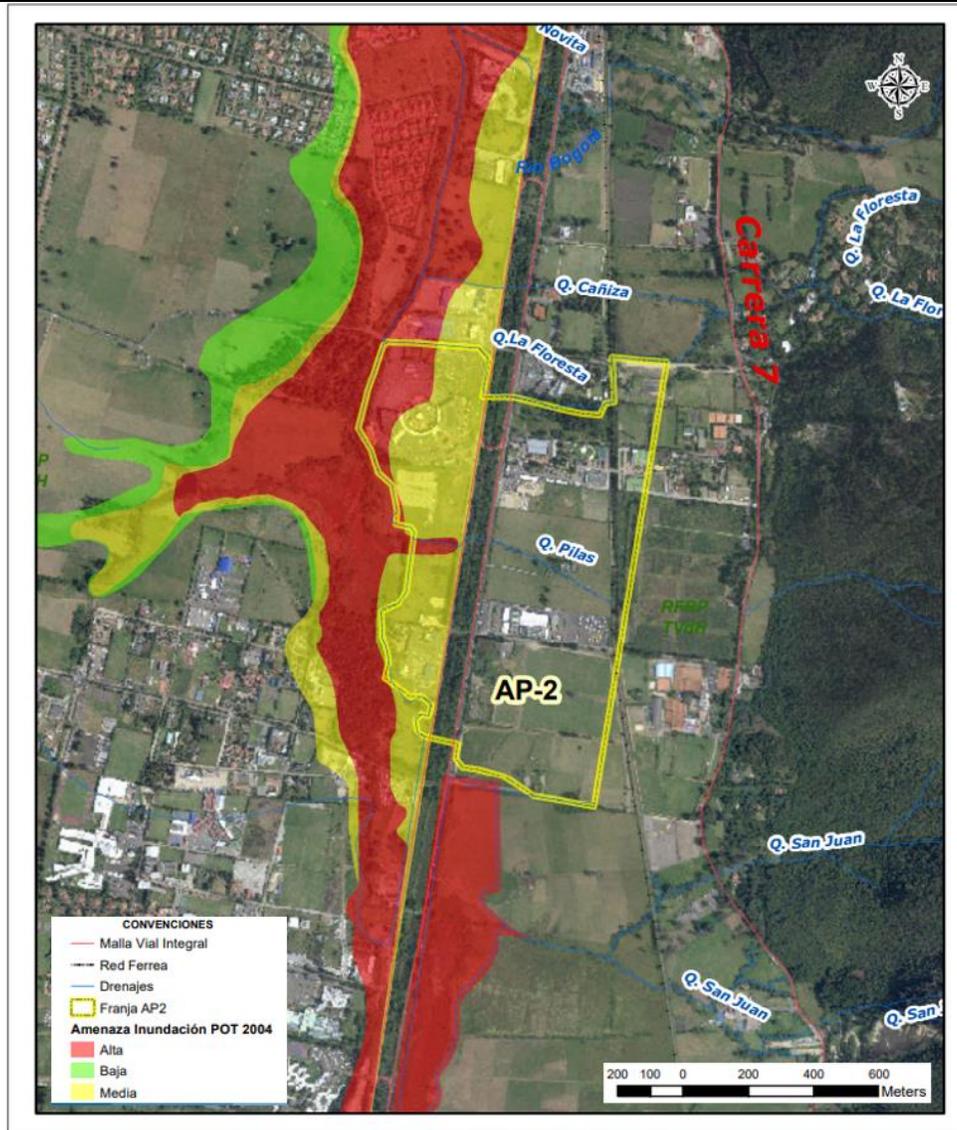


Figura 25. Detalle Amenaza de Inundaciones en la franja paralela a la autopista norte coincidente con la AP-2

Fuente: Resolución 1972 de 2017-SDP. Amenaza por inundación.

Igualmente se puede ver que la zona de la franja paralela a la autopista norte coincidente con la AP-2 en su costado oriental no presenta amenaza por inundación.

5.5 CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO DE LA ZONA NORTE DE LA SABANA DE BOGOTÁ

La conceptualización y caracterización hidrogeológica que se aborda en el presente documento es expuesta según información existente en estudios realizados a diferentes escalas que incluyen, bien sea la sabana de Bogotá, el Distrito Capital o el denominado borde norte, considerado los siguientes componentes principales:

- Caracterización de unidades hidrogeológicas (Cartografía geológica, estructuras y respuesta del depósito o roca respecto al tránsito del agua).
- Sistema de flujo de aguas subterráneas (medición de niveles, monitoreo, isotopía)
- Conexiones hidráulicas aguas superficiales aguas subterráneas
- Análisis de recarga de acuíferos (mecanismos de recarga)

Acorde con lo anterior, inicialmente se dispone de la cartografía geológica oficial existente en la zona norte de la sabana de Bogotá realizada por el SGC, correspondiente al mapa geológico de la plancha 228 del 2008 y la memoria explicativa del 2015, que da cuenta de aspectos regionales de la geología, que posteriormente son desarrollados a escala 1:5000 por la SDP (2018) y por WSP (2019). Estos estudios permiten reconocer las características litológicas y estructurales de las unidades litoestratigráficas que predominan en la franja paralela a la autopista norte coincidente con la AP-2.

Una vez reconocida la información geológica, es posible caracterizar las unidades de sedimentos y formaciones rocosas respecto al tránsito y almacenamiento del agua como se desarrolla en los estudios recientes de la SDA & UPJ (2018) y las de la SDA (2013).

Las unidades hidrogeológicas identificadas se caracterizan de acuerdo con sus potencialidades de flujo de agua subterránea, las conexiones hidráulicas y los mecanismos de recarga que se pueden presentar dentro de la Unidad Espacial de Análisis que incluye el área del corredor de la autopista norte coincidente con la franja de conexión AP-2. Como contextualización para este tema se retoma información del modelo hidrogeológico conceptual generado por la SDA (2018) que contiene un análisis completo de estudios anteriores y una propuesta de modelación analítica 3D y 2D, que complementan el modelo conceptual de la sabana de Bogotá propuesto por diferentes autores con anterioridad.

5.5.1 Aspectos Geológicos de la Zona Norte de la Sabana de Bogotá

En el presente numeral, se abordan los aspectos geológicos (depósitos, rocas y su posición) presentes en la zona norte de la sabana de Bogotá, como primer elemento para contextualizar la conformación del sistema de aguas subterráneas de la unidad espacial de análisis.

En la unidad espacial de análisis del corredor de la Autopista Norte coincidente con el AP-2, geológicamente se encuentran rocas del Cretácico Superior que corresponden a la

Formación Chipaque (K2cp), Grupo Guadalupe (Arenisca Dura, Plaeners y Arenisca Labor -Tierna) y parte de la **Formación Guaduas (K2E1g)**; unidades cubiertas discordantemente por las **Formaciones Sabana (Q1sa)** y **Chía (Q2ch)**; así como por **Depósitos Coluviales del Cuaternario (Q2c)** y **Rellenos Antrópicos** del tiempo presente (**Qra1**), como se muestra en la *Figura 26*. En el presente numeral, se abordan los aspectos geológicos de sedimentos y formaciones rocosas presentes en la zona norte de la Sabana de Bogotá, como primer elemento para contextualizar la conformación del sistema de aguas subterráneas de la unidad espacial de análisis.

La unidad espacial de análisis del corredor de la Autopista Norte coincidente con el AP-2 esta subyacida en profundidad por rocas cretácicas que de base a techo corresponden a las secuencias de intercalaciones de areniscas y lutitas de las formaciones **Chipaque (K2cp), Grupo Guadalupe** (conformado de base a techo por las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Arenisca Labor -Tierna) y parte de la **Formación Guaduas (K2E1g)**. Esta espesa secuencia sedimentaria esta suprayacida de manera discordante por las formaciones de origen aluvial y lagunar denominadas Sabana (Q1sa) y Chía (Q2ch). Así mismo, se presentan depósitos recientes de origen coluvial (Q2c) y rellenos antrópicos (*Figura 26*)

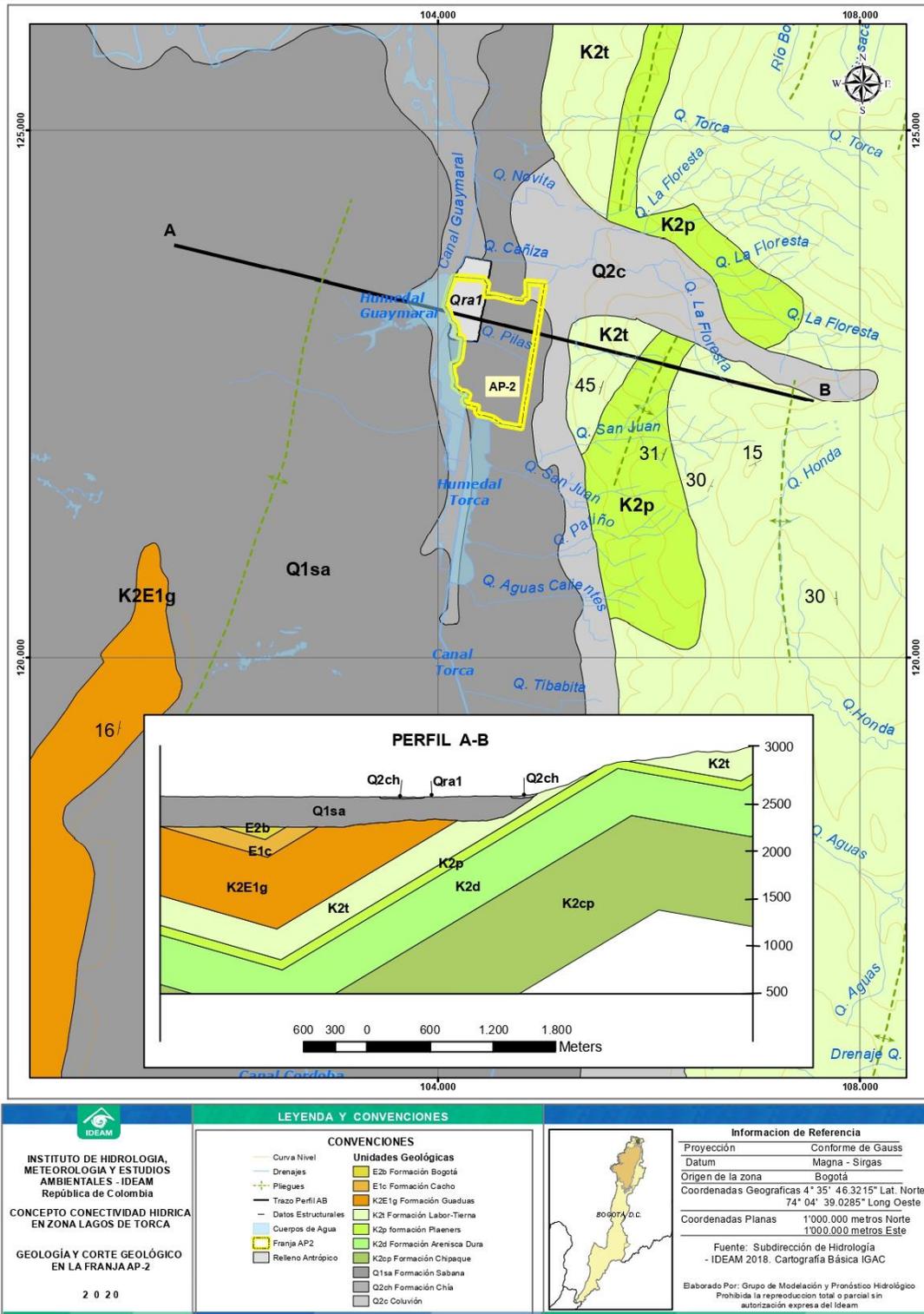


Figura 26. Geología y corte geológico en área del corredor de la autopista norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2

Fuente: Modificado y adaptado del Mapa Geológico- plancha 228 (SGC, 2008) y detalles de WSP (2018)

La **Formación Chipaque (K2cp)** está constituida por una secuencia monótona de hasta 1.000 m de espesor en la que predominan las arcillolitas y las lodolitas en capas gruesas y muy gruesas, intercaladas con limolitas y arenitas de grano muy fino y fino, en capas medias y delgadas que no afloran en la unidad espacial de análisis por encontrarse en las capas más profundas del subsuelo (SGC,2015).

Esta unidad esta suprayacida por la **Formación Arenisca Dura (K2d)** del Grupo Guadalupe, con un espesor de 500 m, en la cual predominan las cuarzoarenitas de grano muy fino, muy cementadas, con cemento silíceo, en capas gruesas y muy gruesas; con presencia de limolitas y lodolitas, con algunas porcelanitas, en capas delgadas y medianas (SGC, 2015).

Ascendiendo estratigráficamente se encuentra la **Formación Plaeners (K2p)**, con 100 metros de espesor, conformada principalmente por lodolitas silíceas, limolitas y arcillolitas, con algunas intercalaciones de arenitas de grano muy fino. Luego se encuentra la **Formación Arenisca Labor-Tierna (K2t)**, con unos 300 m de espesor constituidos principalmente de cuarzoarenitas de grano muy fino a medio, friables, en capas tabulares delgadas a muy gruesas; estas dos formaciones se encuentran aflorando al oriente de la unidad espacial de análisis en la Reserva Forestal Protectora Nacional Bosque Oriental de Bogotá. Luego, se encuentra la **Formación Guaduas (K2E1g)**, con un espesor de unos 700 m, conformada principalmente por arcillolitas en capas medias y gruesas, con algunas capas de cuarzoarenitas de grano muy fino y esporádicas capas de carbón. Esta unidad geológica aflora en los conocidos Cerros de Suba (SGC, 2015).

Cubriendo discordantemente estas unidades, se encuentra la **Formación Sabana (Q1sa)**, de unos 320 m de espesor (en el sector de Funza) compuesta principalmente por arcillas con intercalaciones de arcillas arenosas y arenas arcillosas relacionadas con sedimentos del río Bogotá. Esta unidad se encuentra en superficie en la franja de conexión ambiental AP-2. Estratigráficamente arriba de esta unidad, se presenta la **Formación Chía (Q2ch)**, con 5 m de espesor, constituido predominante de arcillas moteadas de color gris y naranja, e incluyen arcillas con materia orgánica suprayacidas por una capa delgada de limos y arcillas. Sobre esta unidad se encuentra el río Bogotá y los humedales La Conejera, Torca y Guaymaral (SGC, 2015).

Hacia la parte nororiental de la unidad de análisis y en el cauce de la quebrada La Foresta se presenta un **Depósito Coluvial (Q2c)** conformado por conglomerados matriz-soportados de cantos y bloques, moderadamente seleccionados y subredondeados (SGC, 2015). Cabe aclarar que, la cartografía geológica a escala 1:5000, realizada dentro de las actividades de actualización de la cartografía de Remoción en Masa que da lugar a la Resolución 0751 del 2018 (SDP, 2018), define los depósitos como de tipo fluvio-glaciar, interpretación que no difiere en los objetivos de interpretación hidrogeológica ya que los depósitos coluviales y fluvio-glaciares pueden presentar comportamientos similares.

Por último, se encuentran los **Rellenos Antrópicos (Qar1)** definidos por WSP *et al.*, 2019 que corresponden a los depósitos que han resultado de acciones antrópicas para el desarrollo urbanístico, materiales dispuestos por una parte con el objetivo de manejar los niveles freáticos y por otra parte como sistema constructivo.

En los estudios para el desarrollo de la denominada Ciudad Lagos de Torca realizados por WSP *et al.* (2019), se identifica un relleno antrópico en los terrenos del centro comercial Bima. En general, el espesor de este depósito puede variar entre unos pocos centímetros a un metro; pueden estar compuestos por una mezcla de fragmentos de areniscas y porcelanitas de diferentes tamaños, que son traídos de otros lugares siendo depositados y compactados en el sitio.

Aspectos Estructurales

En la plancha geológica 228 (SGC, 2008), se observa que las rocas reconocidas en el subsuelo del área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2, conforman plegamientos de tipo sinclinal y anticlinal que involucran toda la secuencia cretácica aflorante al oriente de la unidad de análisis más allá de los cerros orientales y que se extienden en el subsuelo hacia el occidente (véase figura 26)

Hacia la parte oriental del área del corredor de la autopista norte coincidente con la franja de conexión AP-2 se presenta el anticlinal de Torca, cuyo núcleo se encuentra en la Formación Plaeners y en los flancos las formaciones Arenisca Labor-Tierna y Guaduas; el flanco occidental, con buzamiento de 30 grados al NW, está cubierto parcialmente por los depósitos cuaternarios de las formaciones Sabana, Chía y depósitos coluviales. Hacia el occidente de la zona se interpreta una estructura sinclinal, cubierta por las rocas de la Formación Sabana; lo anterior, considerando que, en los cerros de Suba se presenta un afloramiento de la Formación Guaduas con buzamiento de 15 grados al SE, y es correlacionable con la secuencia estratigráfica del flanco occidental del anticlinal de Torca (SGC, 2015).

5.5.2 Unidades Hidrogeológicas en la zona norte de la sabana de Bogotá

Considerando los estudios existentes y en especial los más recientes que han tenido análisis completo del estado del arte en la comprensión del sistema de flujo de agua subterránea de la Sabana de Bogotá o del Distrito Capital¹; en el presente numeral se aborda el segundo aspecto para el entendimiento de la hidrogeología que corresponde a la identificación de la respuesta de las formaciones geológicas al tránsito y almacenamiento del agua que depende en su mayoría de las características litológicas y estructurales.

El documento Sistema de modelamiento hidrogeológico Distrito Capital (SDA, 2013), y SDA (2018), citan la identificación de un sistema multiacuífero para la Sabana de Bogotá determinado por la existencia de 3 tipos de unidades hidrogeológicas principales a saber:

¹Resaltando que cada estudio según su objetivo, escala y metodología agrupan las unidades hidrogeológicas de manera diferente.



sedimentos y rocas con flujo intergranular (A), rocas con flujo prevalente a través de fracturas (B) y rocas con limitados recursos de agua (C).

Para la zona norte de la sabana de Bogotá que incluye la unidad espacial de análisis del área del corredor de la autopista norte coincidente con la franja de conexión, SDA (2013, 2018) han citado y se identifica acorde al aspecto geológico las características hidrogeológicas citadas a continuación en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 6. Unidades hidrogeológicas y sus características

Unidad Hidrogeológica	Formación	Características hidrogeológicas
Sedimentos y rocas con flujo intergranular (A)	Depósitos Cuaternarios que rellenan la cuenca de la Sabana	
	Formación Sabana (Qsa1)	Acuitardo de extensión local, conformado por arcillas lacustres. Es la formación con mayor número de pozos instalados
	Formación Chía (Qch2)	Acuitardo de extensión local conformado por limos fluviales.
	Depósitos Coluviales (Q2c)	Acuíferos de extensión local, discontinuos, libres a confinados.
	Rocas Neógenas y Cretácicas	
	Formación Labor y tierna (K2t)	Acuífero de extensión regional. En los cerros orientales y al sur de la ciudad afloran presentando un comportamiento de acuífero libre en estas zonas.
	Formación Guaduas	Acuicludo - acuífero discontinuo pobre de extensión regional, conformado por secuencias de arcillolitas con intercalaciones de areniscas y mantos de carbón.
	Formación Cacho	Acuífero pobre confinado a semiconfinado de extensión regional.
Rocas con flujo prevalente a través de fracturas (B)	Formación Chipaque	Acuicludo de extensión regional. Espesor máx 1027 m.
	Formación Arenisca dura	Acuífero de extensión regional, restringido a zonas fracturadas, confinado a semiconfinado.
	Formación Plaeners	Acuífero de extensión regional, restringido a zonas fracturadas, confinado a semiconfinado. Con fracturamiento en las dos direcciones. Conductividad hidráulica baja.
	Formación Bogotá	Acuitardo de extensión regional.

Fuente: Modificado y adaptado de SDA (2013, 2018)

En términos generales se distingue el acuífero principal de la sabana de Bogotá correspondiente a la Formación Arenisca Tierna y Labor del Grupo Guadalupe que presenta condiciones de porosidad primaria y buena permeabilidad que favorece el almacenamiento y flujo de las aguas subterráneas que se comporta como acuífero confinado bajo el área de interés y que aflora en los cerros orientales donde se comporta como acuífero libre. Este acuífero es continuo con flujo tipo “pistón” desde su área de recarga en estos mismos cerros hacia el centro de la Sabana de Bogotá.

Sobre esta unidad cretácica hay una secuencia impermeable que se comporta como acuicludo en la Formación Guaduas y acuitardo en las formaciones Sabana y Chía. Se reconocen acuíferos discontinuos, de recarga local en los depósitos coluviales que se desprenden de los cerros orientales y algunos depósitos recientes de arenas y gravas de extensión muy local y recarga estacional que normalmente está asociada a los cauces de las quebradas y que mantiene su flujo base en épocas secas. Bajo la Formación Arenisca Tierna y Labor, se presenta porosidad secundaria asociada a fracturas y muy baja permeabilidad en las formaciones Plaeners y Arenisca Dura del Grupo Guadalupe.

5.5.3 Tendencias del Flujo de Agua Subterránea

La tendencia del flujo de agua subterránea, corresponde al tercer aspecto abarcado para la caracterización hidrogeológica en la unidad espacial de análisis área del corredor de la autopista norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2; este componente se contextualiza considerando los resultados de las campañas de monitoreo realizados en por la EAAB *et al.*, 2009 y en la campaña más reciente realizada por WSP *et al* (2019) que incluye medición en piezómetros existentes en la Franja de conexión ambiental AP-2, destacándose la construcción mapas de isopiezas o superficies piezométricas que indican las tendencias de los flujos de agua subterráneas.

De las campañas de monitoreo de piezómetros realizadas, la adelantada inicialmente por EAAB *et al.*, 2009 reporta los siguientes resultados generales:

-La campaña de monitoreo incluyó la instalación de medidores automáticos de nivel, en el 2001, en 11 pozos en unidades hidrogeológicas del Cuaternario.

-El nivel del agua en el Cuaternario claramente responde a las estaciones y a la infiltración de la lluvia; por lo tanto, concluye que el sistema Cuaternario recibe recarga, infiriendo que hay aporte por infiltración directa al sistema.

WSP *et al* (2019), realiza 20 años después un monitoreo de piezómetros para la zona norte de la sabana en el Distrito Capital y observa:

-Que continúan patrones similares respecto a los medidos por EAAB *et al* (2009), con fluctuaciones progresivas y constantes dependientes del régimen de precipitación.

- Los niveles más cercanos al nivel del terreno se presentan cerca al humedal Torca y Guaymaral, mientras que los niveles más profundos están cerca a los cerros orientales.

Por otro lado, DAMA *et al.* 1999, (Hoy, Secretaría Distrital de Ambiente) en las simulaciones numéricas realizadas; identifica que, los tiempos de tránsito desde la zona de recarga hasta la ciudad en un orden de 10,000 años, lo que sugiere un movimiento muy lento de los cerros orientales al centro de la Sabana.

A nivel general, el modelo hidrogeológico de la sabana de Bogotá permite distinguir flujos regionales, intermedios y locales con distribución diferente al sur y al norte de la ciudad. Así mismo, se evidencia la probabilidad de flujos verticales, provenientes de la recarga en los cerros, que viajan a través de los depósitos consolidados, en especial el Grupo Guadalupe y ascienden hasta los depósitos no consolidados o poco consolidados de las formaciones del Neógeno- Cuaternario ².

De manera específica en la unidad espacial las observaciones generales del sistema no son ajenas a la zona; por lo tanto, se tienen flujos de extensión regional subyaciendo la sabana asociados a la continuidad de las unidades del grupo Guadalupe, como se muestra en la *Figura 27*; mientras que, los flujos intermedios y los flujos locales se encuentran circunscritos a los depósitos cuaternarios en especial a los coluviales que se presenta en los cerros orientales, en la Reserva Forestal Protectora Nacional Bosque Oriental de Bogotá. La tendencia del flujo de agua subterránea, corresponde al tercer aspecto abarcado para la caracterización hidrogeológica en la unidad espacial de análisis del área del corredor de la autopista norte coincidente con la franja de conexión AP-2; este componente se contextualiza considerando los resultados de las campañas de monitoreo realizados por la EAAB *et al.*, 2009 y en la campaña más reciente realizada por WSP *et al* (2019) que incluye medición en piezómetros existentes en la franja de conexión ambiental AP-2, destacándose la construcción de mapas de isopiezas o superficies piezométricas que indican las tendencias de los flujos de agua subterráneas.

De las campañas de monitoreo de piezómetros realizadas, la adelantada inicialmente por EAAB *et al.*, 2009 reporta los siguientes resultados generales:

-La campaña de monitoreo incluyó la instalación de medidores automáticos de nivel, en el 2009, en 11 pozos en unidades hidrogeológicas del Cuaternario.

-El nivel del agua en el Cuaternario claramente responde a la estacionalidad pluviométrica y a la infiltración de la lluvia; por lo tanto, concluye que el sistema Cuaternario recibe recarga local, infiriendo que hay aporte por infiltración directa al sistema.

-Que continúan patrones similares respecto a los medidos por EAAB *et al* (2009), con fluctuaciones progresivas y constantes dependientes del régimen de precipitación.

- Los niveles más cercanos al nivel del terreno se presentan cerca al humedal Torca y Guaymaral.

Por otro lado, DAMA *et al.* 1999, (Hoy, Secretaría Distrital de Ambiente) en las simulaciones numéricas realizadas; identifica que, los tiempos de tránsito para el acuífero principal de la Sabana de Bogotá constituido por la Formación Arenisca Tierna y Labor desde la zona de

² Observación señalada desde 1992 por Lobo Guerrero & Uscátegui, citado en SDA (2018).

recarga hasta la ciudad en un orden de 10,000 años, lo que sugiere un movimiento muy lento de los cerros orientales al centro de la Sabana.

Así pues, se reconoce un flujo regional que parte desde la zona de recarga de la Formación Arenisca Tierna y Labor que se extiende hacia el centro de la Sabana de Bogotá con mecanismos flujo tipo “pistón” propio de acuíferos confinados y flujos locales asociados a depósitos coluviales y depósitos recientes con facies arenosas localizadas

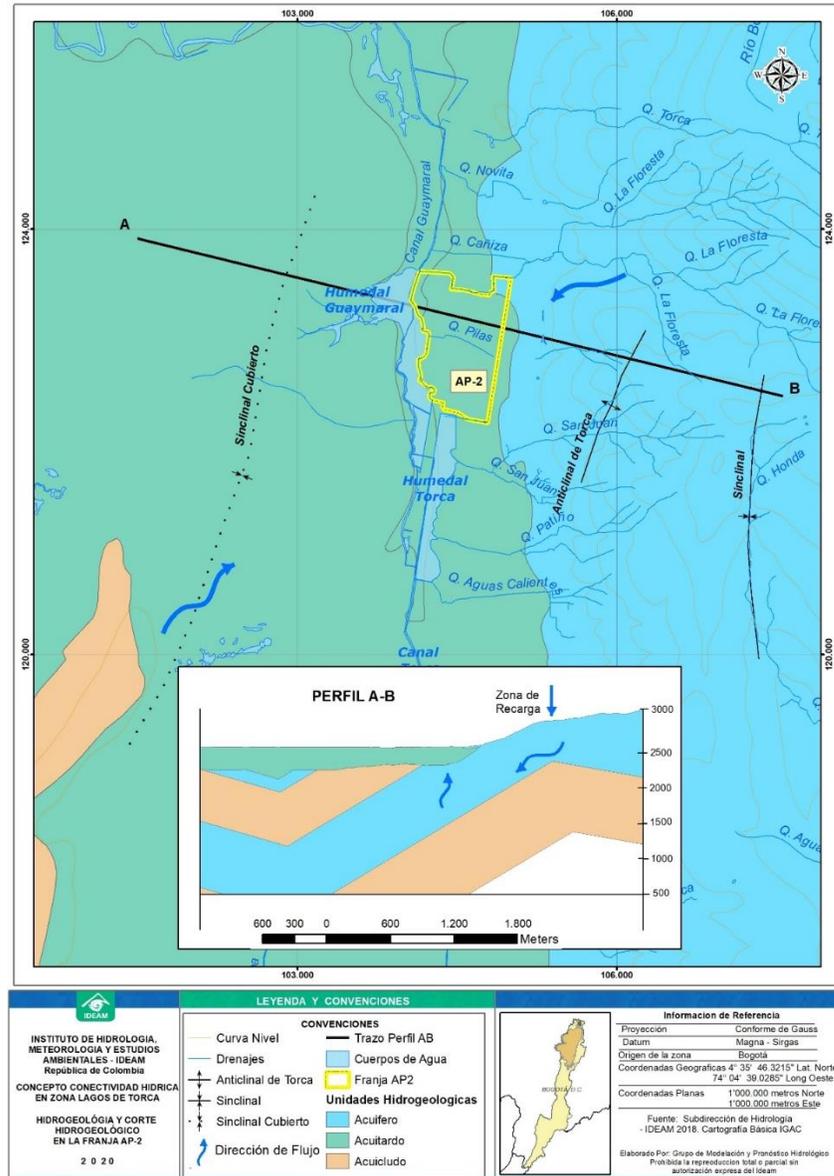


Figura 27. Unidades hidrogeológicas en planta y perfil junto con las direcciones generales de flujo.

Fuente: Modificado de los modelos conceptuales de la Sabana de Bogotá SDA (2013 y 2018)

6. DETERMINANTES DE CONECTIVIDAD ECOLÓGICA E HÍDRICA SUPERFICIAL, SUBSUPERFICIAL Y SUBTERRANEA.

6.1 CONECTIVIDAD ECOLÓGICA DE LA ZONA NORTE CON ÉNFASIS EN EL ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA DE CONEXIÓN AP-2

La generación de análisis de conectividad en ambientes altamente urbanizados como la sabana de Bogotá y la zona de interés en particular debe tener en cuenta dos aspectos estratégicos. Primero: es necesario reducir los parámetros necesarios para que un remanente de vegetación se considere un nodo; el grado de transformación disminuye la posibilidad de tener remanentes de vegetación con altos grados de conservación y la biodiversidad existente en estas zonas se caracteriza por la plasticidad en el uso de remanentes de vegetación altamente modificados embebidos en una matriz altamente transformada. Segundo: el análisis propuesto contempló el contexto completo –zona norte– con el fin de evaluar las áreas de flujos potenciales existentes. Esto disminuye la posibilidad de enmascarar las posibles conexiones, o no tener en cuenta el área completa por la subdivisión del área de estudio.

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en los estudios de conectividad es la generación de la matriz de resistencia. En áreas con altos grados de transformación, como en la zona evaluada, existe un alto número de intervenciones antrópicas que incrementan la resistencia del paisaje. En este sentido el análisis presentado acá incluye un mayor número de variables para representar la resistencia del paisaje, lo que permite acercarse de mejor manera al grado de transformación del área de estudio incluyendo aspectos como la densidad de población humana, los terraplenes, muros y cercas.

Adicionalmente la revisión del documento incluye nuevos análisis de conectividad con diferentes modelos que pueden tenerse en cuenta en la toma de decisiones de manejo de esta zona de Bogotá. Estos modelos no solo nos permiten evaluar la propuesta generada desde el Ministerio de Ambiente, sino que también generan la posibilidad de evaluar la contribución del área de análisis, teniendo en cuenta el contexto completo.

El resultado del análisis muestra que la conectividad ecológica es altamente dependiente del número de nodos seleccionados. Es decir, la selección de hábitats entre los cuales puede existir una conectividad potencial.

En este sentido la contribución de la conectividad depende de la intervención definida, la cual determina el tipo de corredor, área total y ubicación de los eventuales corredores que conecten los fragmentos (complementar el aporte de la conectividad).

Resulta importante realizar el análisis de conectividad dentro de un contexto espacial más amplio e incluir otros nodos (como por ejemplo el cerro de La Conejera).

Con el fin de complementar los resultados del análisis de conectividad ecológica, se hace la recomendación de que la entidad competente incluya información funcional que permita evaluar los corredores propuestos para diferentes especies.

Los modelos que incluyen más elementos del paisaje (p.e. modelo 3 y 4) como nodos conectores y stepping stones entre parches relativamente grandes, se encontraron más adecuados para mejorar la conectividad entre la matriz territorial al aprovechar los componentes clave de los espacios abiertos.

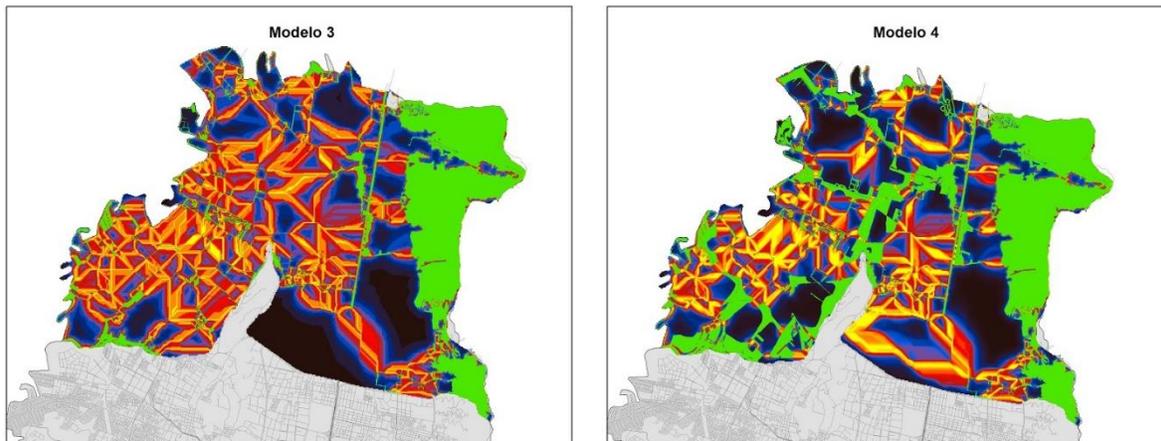


Figura 28. Modelos 3 y 4 detallados

Estrategias de conservación anidada a un nivel detallado (p.e. microcuena) puede ser adecuada para la gestión de espacios verdes ya que mejora los valores del paisaje para la recreación, el acceso y disfrute del público y la conservación. Es un aspecto importante, especialmente en un contexto periurbano, donde convergen distintas presiones provocadas por la expansión urbana y el aumento de la densificación de la infraestructura vial.

6.2 CONECTIVIDAD HÍDRICA SUPERFICIAL DE LA ZONA NORTE ENFASIS ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA DE CONEXIÓN AP-2

Durante la visita de reconocimiento en campo, efectuada el 3 de diciembre de 2020 y que se documenta en extenso en el anexo 1, se lograron identificar las drásticas modificaciones que ha experimentado la quebrada Las Pilas respecto a su drenaje natural hacia su confluencia con el humedal Guaymaral.

En la carrera 7 costado oriental, existe una estructura de paso con un estado deteriorado, a la cual le hace falta mantenimiento. (Ver Fotografía 1). En el costado occidental de la carrera 7 no se pudo confirmar la ubicación del drenaje en predios de la Hacienda Las Pilas hacia el humedal Guaymaral. (Ver Fotografía 2).

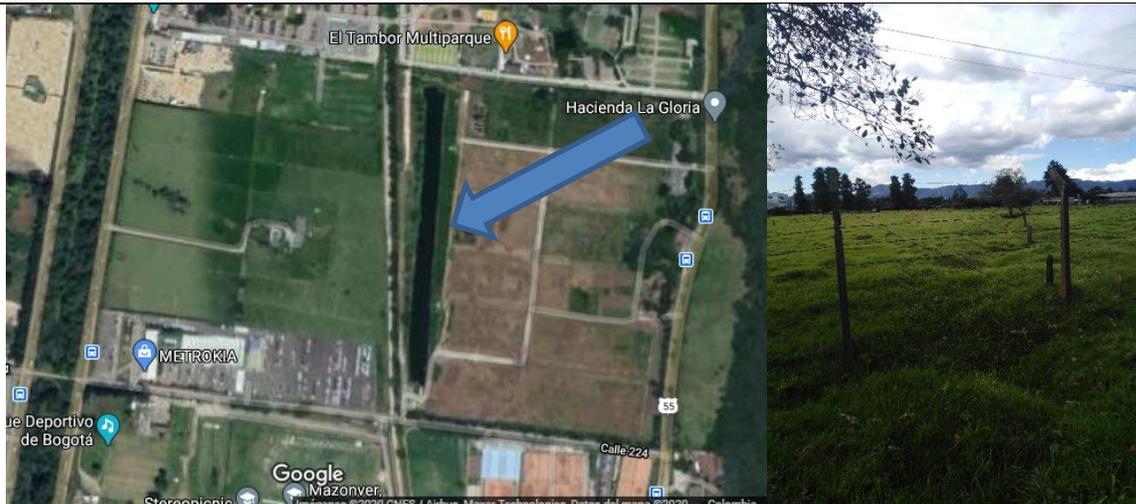


Fotografía 1. Estructura de paso Carrera 7 de la quebrada Pilas costado Oriental.



Fotografía 2. No se logra identificar el paso de la quebrada Pilas en el costado occidental de la Carrera 7

Entre la carrera 7 y la carrera 9, existe un pondaje, el cual, almacena la mayoría de caudal proveniente de la cuenca alta de la Quebrada Pilas, restringiendo la conectividad del flujo hacia su drenaje en la autopista donde se conecta con el humedal Guaymaral. (Ver Fotografía 3).



Fotografía 3. Izq. Pondaje existente en el predio al oriente de la carrera 9. Der. Aparente continuidad de la Quebrada Pilas entre la carrera 9 y la Autopista Norte.

Entre la carrera 9 y la autopista Norte, se observa la conexión del drenaje la cual se pierde en su intersección con la autopista donde se presume conecta con el humedal Guaymaral. (Ver Fotografías 5 y 6).



Fotografía 5. Quebrada Pilas entre la carrera 9 y la Autopista Norte.



Fotografía 6. Quebrada Pilas entre la carrera 9 y la Autopista Norte.

Un esquema general de la red del drenaje superficial que existe en la zona de análisis se presenta en la Figura 29 y Figura 30. A partir de este reconocimiento se realizó la selección de los sitios en los cuales se realizaron aforos líquidos que permitieran corroborar el orden de magnitud de los flujos de agua que en efecto transitan por esas zonas.

El anexo 2 de este documento presenta los reportes de las mediciones realizadas en la quebrada La Floresta a la altura de la carrera 7 con un orden de magnitud de 80 litros por segundo, y en la entrega al Canal Guaymaral con un caudal de 20 litros por segundo. Se destaca que en las restantes fuentes superficiales no se pudieron realizar mediciones de caudal líquido y en el momento de la visita no presentaban flujo de agua.

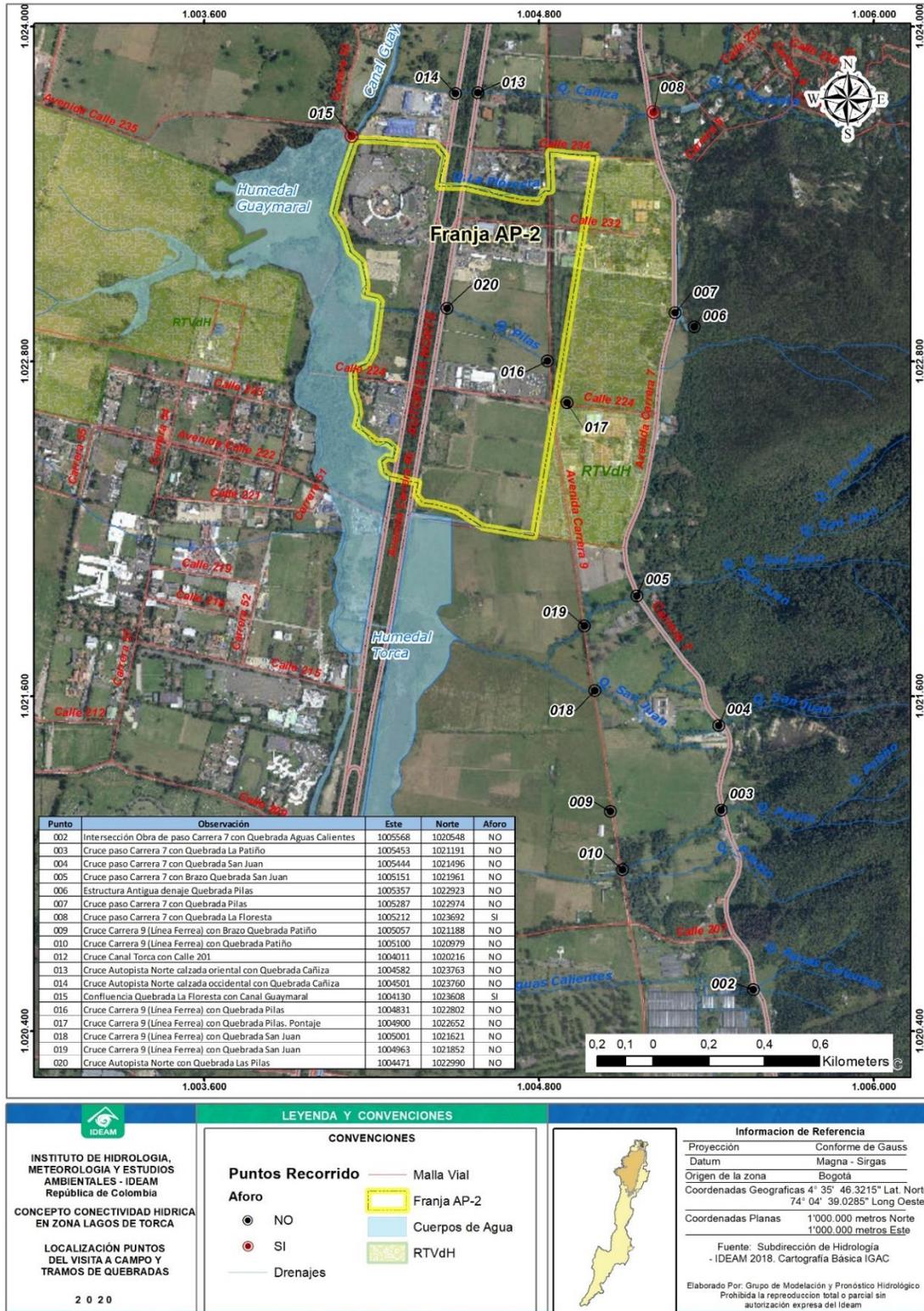


Figura 29. Identificación puntos de verificación red de drenaje superficial en la zona de análisis

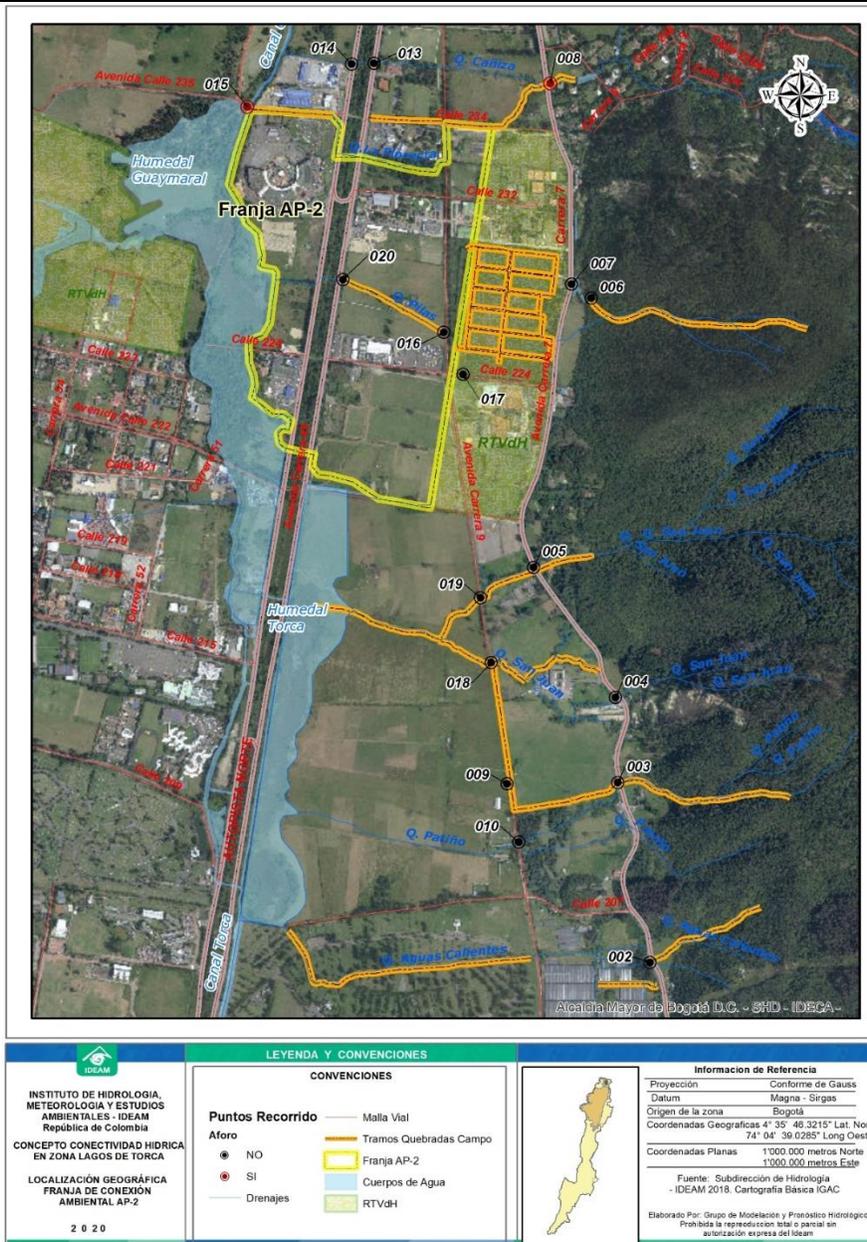


Figura 30. Esquema básico de conectividad superficial en la zona de análisis

Para contexto de la información anterior se presenta a continuación la cuenca de la quebrada las Pilas, extraído del informe de WSP (Informe producto 4 estudio hidrológico, página 110), en la Figura 31 se puede apreciar que se da continuidad a la cuenca aferente hasta los cerros orientales, representando el trazado original de la corriente entre el límite de la del área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2 al oriente y la carrera séptima, el cual en la figura anterior presenta la existencia de un sistema de vallados.

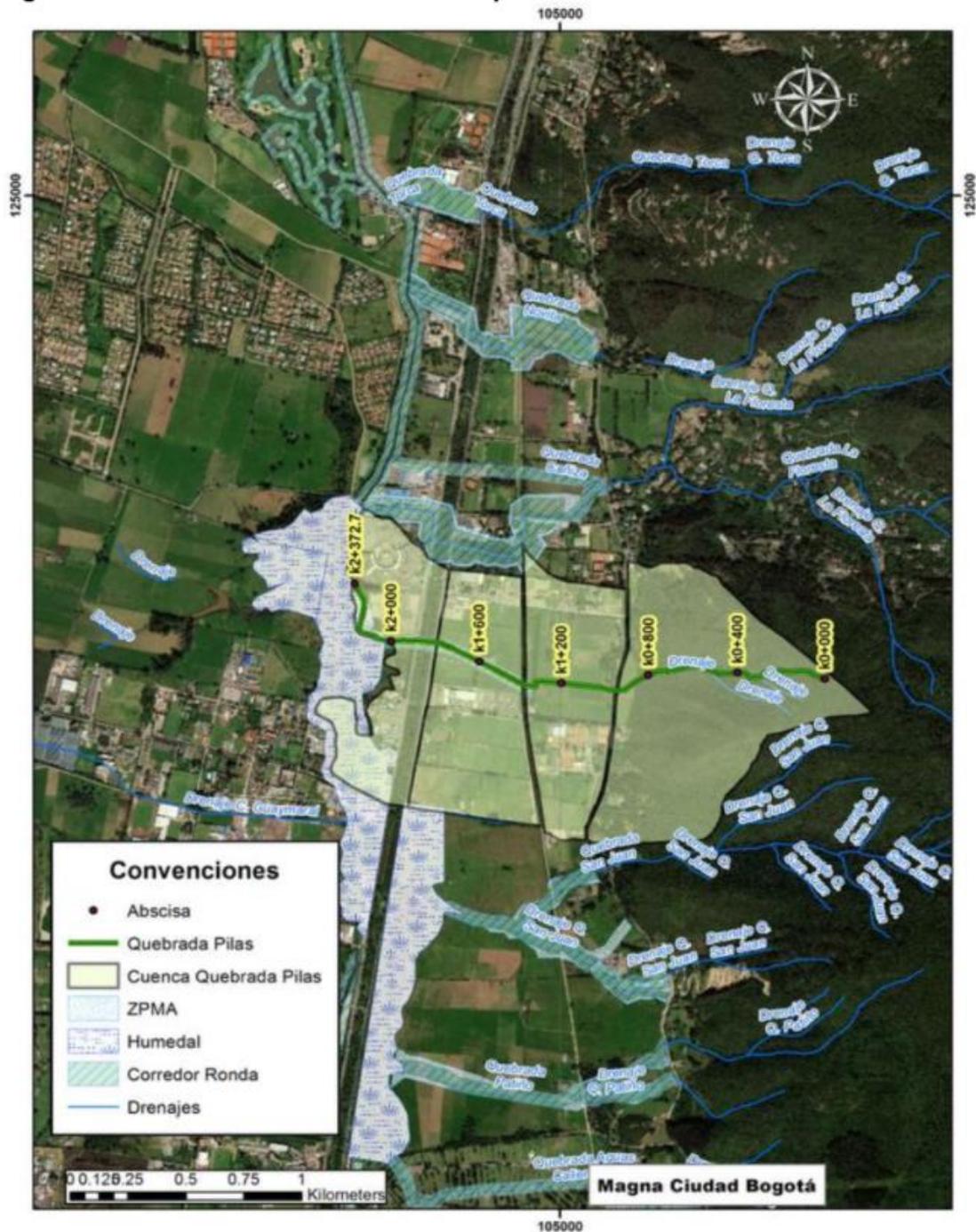


Figura 31. Delimitación de la cuenca de la quebrada las Pilas. Fuente: WPS 2020

En la Figura 32, se presenta el perfil longitudinal de la quebrada las pilas, que muestra la baja pendiente en la parte inferior en particular en la zona de conexión con el Humedal Torca Guaymaral. Lo anterior es un factor determinante en el diseño de las adecuaciones sobre la quebrada y especialmente en las obras de conexión y de paso sobre la carrera séptima y la Autopista Norte principalmente.

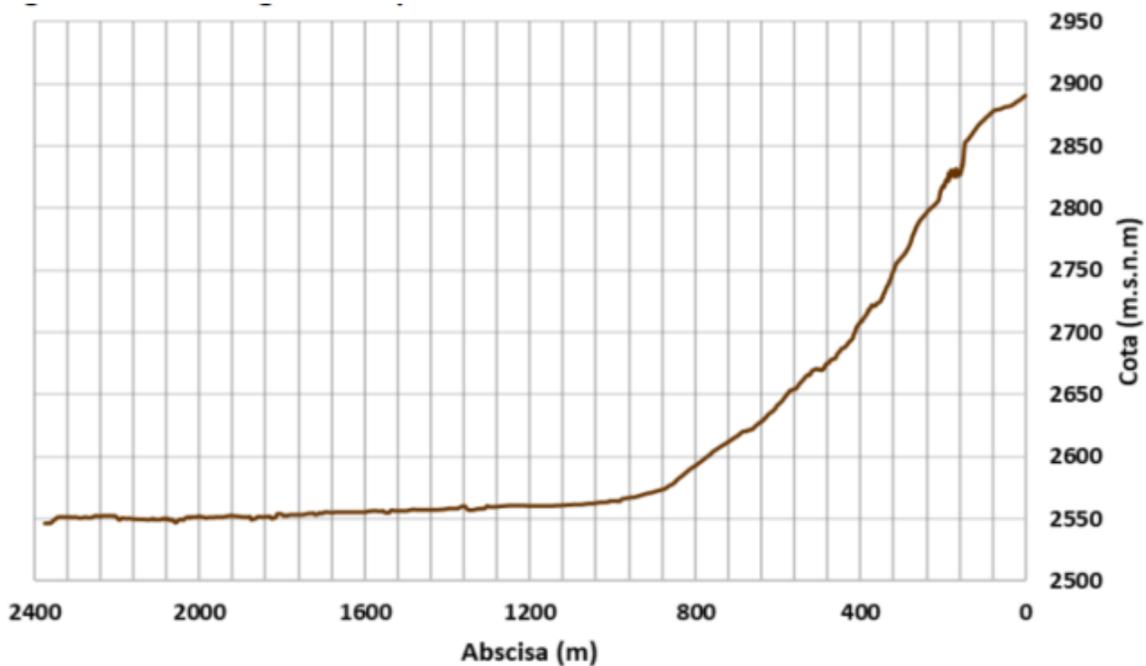


Figura 32. Perfil Longitudinal Quebrada Las Pilas. Fuente WPS (2020)

En perspectiva de los desarrollos que se propone generar en esta zona, es importante revisar lo descrito mediante el Decreto 088 de 2017 asociado al sistema hídrico Torca Guaymaral, en donde se encuentra como parte del sistema la quebrada Pilas, tal y como se enuncia a continuación:

“ARTÍCULO 8 Objetivos específicos. Son objetivos específicos de Ciudad Lagos de Torca:

1 En cuanto a la Estructura Ecológica Principal - EEP:

1.1 La restauración ecológica del Humedal de Torca - Guaymaral, del sistema de quebradas y del sistema urbano de drenaje sostenible que lo alimentan, generando una efectiva conectividad ecológica con los valores ambientales regionales, según lo dispuesto en el Decreto Distrital 386 de 2008, como fuente de servicios ecosistémicos para el urbanismo sostenible y como espacios para promover el contacto, conocimiento y disfrute de la naturaleza por parte de los habitantes y visitantes del sector.

(...)

1.3 Incrementar la recarga hídrica del humedal de Torca - Guaymaral y mitigar la amenaza de inundación.

(...)

1.7 Optimizar la eficiencia y el ciclo local de los flujos de agua”

Lo anteriormente estipulado en el Decreto 088 de 2017, es consistente con las necesidades identificadas mediante los análisis realizados en este capítulo, ya que ratifica que se deben

realizar obras de reconfiguración del sistema Torca-Guaymaral para poder realizar una efectiva conectividad de flujo superficial.

En ese mismo sentido, revisando el caso específico de la quebrada Pilas, es importante revisar el artículo 21 del Decreto 088 de 2017:

“ARTÍCULO 21 Franja corredor de la Autopista Norte coincidente con franja AP-2.

Conforme a lo establecido en el artículo 7 de la Resolución No. 475 de 2000 del Ministerio de Ambiente, lo indicado en el artículo 6 del Acuerdo 11 de 2011 de la CAR, Por el cual se declara la Reserva Forestal Productora del Norte de Bogotá D.C. y el artículo 23 del Acuerdo 021 de 2014 de la CAR, por el cual se adopta el Plan de Manejo Ambiental de la misma, son lineamientos para la articulación de los nuevos desarrollos urbanos de dicha área los siguiente:

1. Con el fin de cumplir la condición del Plan de Manejo Ambiental, los nuevos desarrollos urbanos en las zonas limítrofes al área de reserva forestal deberán propender por ubicar las áreas de cesión para zonas verdes en ese sector; la localización de las zonas de cesión obligatoria de los nuevos desarrollos que se localicen al interior de la Franja del corredor de la Autopista Norte, deberán hacerse según se determinó en la cartografía del presente decreto en especial en los Planos Nos. 7 "Estructura funcional: Espacio Público. 13 " Delimitación de Planes Parciales". 15 · Asignación de Suelo de Cargas Locales Prioritaria y 21 · Plano Indicativo de Conectividad Ecológica", con el fin de propiciar la conformación de zonas verdes que preserven la conectividad ecológica entre los Cerros Orientales y el Río Bogotá.
2. Las zonas de cesión paralelas a la ronda de la Quebrada Las Pilas deberán conformarse por zonas de Conectividad Ecológica Complementarias, las cuales deberán cumplir los siguientes lineamientos:

Mínimo cobertura Forestal	Mínimo cobertura arbustiva	Mínimo cuerpos de agua lénticos	Mínimo melíferas y ornitócoras
50%	30%	20%	35% y 35%
Índice mínimo de proximidad	Mínimo permeabilidad y retención	Máximo superficies duras	Visibilidad máxima de lo construido
7	90% y 50%	20%	10%

3. El corredor transversal de 30 metros de ancho que conecta (en sentido sur norte y viceversa) el **corredor de la quebrada Las Pilas** y el Parque Metropolitano Guaymaral debe localizarse según lo determinado en los Planos Nos. 7 "Estructura Funcional: Espacio Público", 13 "Definición de Planes Parciales". 15 · ' Asignación de Suelo de Cargas Locales Prioritaria. y 21 " Plano Indicativo de conectividad Ecológica" del presente decreto."

Conforme con el Numeral 3 y lo descrito en el Documento Técnico de Soporte del Plan Parcial Santa María, “**3-Corredor Ecológico del Parque Lineal: Este corredor se encuentra determinado por el art. 21 del Decreto 088 de 2017 y está conformado por una franja de conectividad de 30 metros de ancho (subrayado fuera de texto) que conecta en sentido , norte – sur y viceversa, el corredor ecológico de la Quebrada Las Pilas y el Parque Metropolitano Guaymaral. En el Plan Parcial No. 24, este corredor se encuentra conformado por una cesión pública destinada a parque lineal, el cual cumple con todos los lineamientos establecidos por el Decreto 088 de 2017 y decretos modificatorios”**,

Esta franja transversal favorece la conectividad al estar dentro de la zona urbanizable o sobre la que cambiará la cobertura y uso actual con la implementación del Plan Zonal.

2 Criterios para la delimitación física de la ronda hídrica: El límite físico será el resultado de la envolvente que genera la superposición de mínimo los siguientes criterios: geomorfológico, hidrológico y ecosistémico.

2.1. Criterio geomorfológico: deberá considerar aspectos morfoestructurales, morfogenéticos y morfodinámicos. Las unidades morfológicas mínimas por considerar deben ser: llanura inundable moderna, terraza reciente, escarpes, depósitos fuera del cauce permanente, islas (de llanura o de terraza), cauces secundarios, meandros abandonados, sistemas lénticos y aquellas porciones de la llanura inundable antropizadas. La estructura lateral y longitudinal del corredor aluvial debe tenerse en cuenta mediante la inclusión de indicadores morfológicos.

2.2. Criterio hidrológico: deberá considerar la zona de terreno ocupada por el cuerpo de agua durante los eventos de inundaciones más frecuentes, de acuerdo con la variabilidad intra-anual e inter-anual del régimen hidrológico, considerando el grado de alteración morfológica del cuerpo de agua y su conexión con la llanura inundable.

2.3. Criterio ecosistémico: deberá considerar la altura relativa de la vegetación riparia y la conectividad del corredor biológico, lo cual determina la eficacia de su estructura para el tránsito y dispersión de las especies a lo largo del mismo.

Ahora bien, con respecto a los caudales analizados en los estudios realizados por EAAB Consorcio Borde Norte (2011) y WSP (2020), estos presentan diferencias en la subdivisión de las cuencas y difieren los valores de las áreas de las cuencas, siendo difícil de contrastar los valores de caudal dado que en el informe del consorcio Borde norte no se presente una figura asociada a las áreas de las cuencas definidas y a las estimaciones hidrológicas, lo que sí es claro en el informe de WPS que subdivide la cuenca de la quebrada las Pilas en 4 tramos acorde con los condicionantes físicos generados por la carrera séptima, la autornorte y la zona en los cerros orientales.

6.3 CONECTIVIDAD HÍDRICA SUBSUPERFICIAL DE LA ZONA NORTE CON ENFASIS EN EL ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA DE CONEXIÓN AP-2

Con respecto a la conexión hídrica subsuperficial de la unidad espacial de análisis AP-2, con la Reserva Forestal Protectora Nacional Bosque Oriental de Bogotá, se resaltan las siguientes observaciones:

-Los drenajes superficiales de interés para la franja del área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2 quebradas La Floresta, San Juan, Las Pilas y Patiño, discurren en sentido oriente occidente; es decir, transitan inicialmente por La Reserva Forestal Protectora Nacional Bosque Oriental de Bogotá (Formaciones; Plaeners y Arenisca de Labor y Tierna), materiales que permiten por un lado escorrentía e infiltración; con posterior tránsito sobre materiales de la Formación La Sábana que permite más escorrentía que infiltración; con posterior descarga hídrica a los materiales de la Formación Chía en el humedal Torca y Guaymaral. Recorrido de análisis en el cual hay canalización (por tramos) de la mayoría de los cauces antes de la entrega o descarga al humedal; situación que impide la conexión directa de las aguas subsuperficiales con los materiales y en su defecto con niveles freáticos subsuperficiales, pero que corrobora una conexión relacionada con la descarga hídrica superficial entre la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá y el humedal Torca y Guaymaral.

- Retomando el transecto hidrogeológico entre cerros orientales y el Río Bogotá, sector Guaymaral, elaborado por CAR *et al* (2011), realizada para 10m de espesor; es decir, adecuado para el análisis subsuperficial, se resume y evidencia que el recorrido de los cauces de la unidad de análisis AP-2 empieza en materiales asociados a las areniscas, luego discurre sobre un depósito coluvial que hidráulicamente entrega al suelo presente en la zona; posteriormente, esta capa de suelo se encuentra interconectada con el humedal Torca y Guaymaral, como se muestra a continuación en la *Figura 33*.

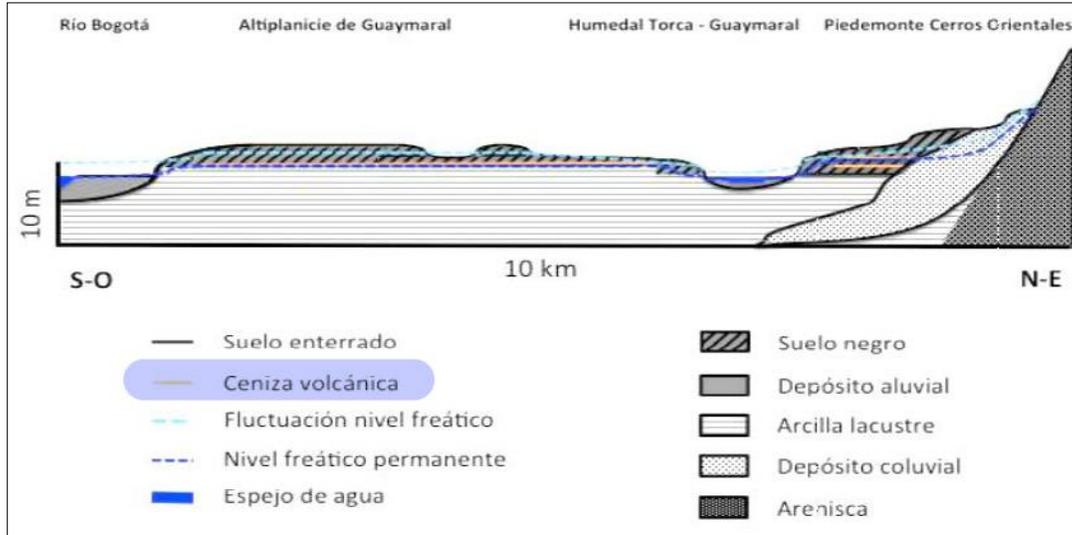


Figura 33. Transecto hidrogeológico entre cerros orientales y el río Bogotá, sector Guaymaral

Fuente: UNAL-CAR, 2011

-Como se analiza en el numeral de tendencia de flujos subterráneos, múltiples estudios señalan la evidencia de una relación de los niveles piezométricos con la variabilidad estacional o con el régimen de precipitación de la zona; siendo los niveles más cercanos al nivel del terreno los presentados cerca al humedal Torca y Guaymaral, mientras que los niveles más profundos están cerca de la reserva forestal, observación que infiere recarga directa y local por precipitación en las formaciones Sabana y Chía, resaltando que es en estas formaciones que se registra mezcla de aguas.

-En el modelo conceptual generado por WSP *et al.*, 2019 que realiza una aproximación al comportamiento del sistema de flujo de aguas subterráneas de la zona norte del distrito capital; analizado para el aspecto subsuperficial (15 m de profundidad), sugiere una descarga relacionada al área del sistema de humedales Torca-Guaymaral, las direcciones de flujo generadas a lo largo de las campañas muestran una convergencia en dirección a los humedales y al cauce principal del río Bogotá; en donde, el tránsito del agua subterránea a través de la Formación Sabana transcurre desde los cerros orientales en dirección al río Bogotá, generando una zona de descarga en los humedales, como se muestra en la *Figura 34*.

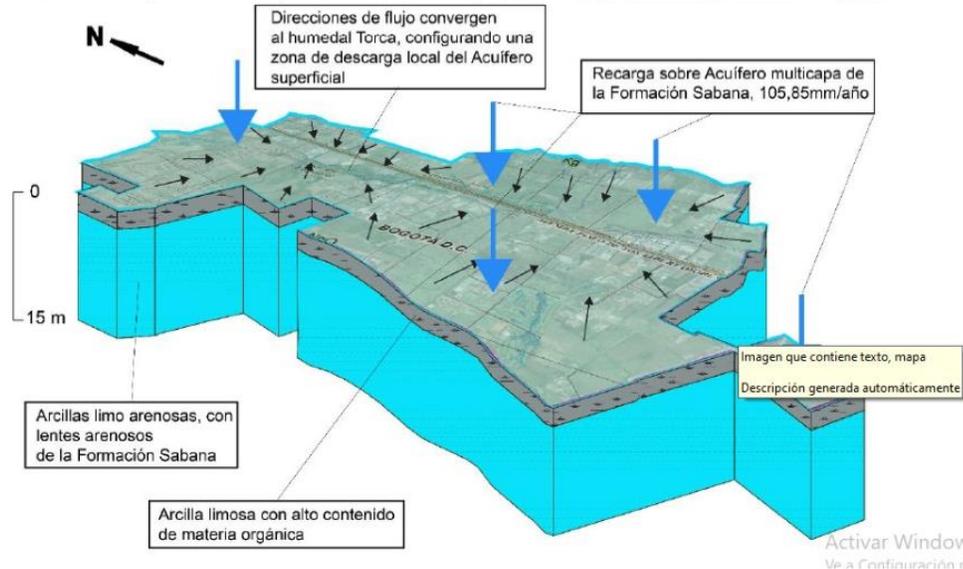


Figura 34. Modelo hidrogeológico conceptual, sector Guaymaral

Fuente: WSP et al, 2019

De igual manera WSP et al, 2019, señala que las aguas del acuífero más somero de la Sabana, aporta aguas al Humedal de Torca y Guaymaral.

6.4 CONECTIVIDAD HÍDRICA SUBTERRÁNEA DE LA ZONA NORTE CON ENFASIS EN EL ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA DE CONEXIÓN AP-2

Acorde con los estudios hidrogeológicos y la cartografía geológica, se evidencia la importancia de los cerros orientales donde se emplaza la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá pues constituye la zona de recarga del Acuífero principal de la Sabana de Bogotá correspondiente al Grupo Guadalupe. Es evidente la continuidad de este sistema acuífero que aflora en los cerros orientales y luego se extiende en profundidad al occidente bajo la zona de estudio. Asimismo, se reconocen conexiones locales en unidades suprayacentes favorecidas por recargas locales en unidades terciarias y recientes. A continuación, se citan algunas observaciones de interés resaltadas en múltiples estudios que coadyuvan a evidenciar la conexión hídrica subterránea que se presenta en la AP-2 y en particular para el área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2:

-En los aspectos geológicos y estructurales, los modelos hidrogeológicos existentes para la zona norte de sabana de Bogotá, en el Distrito Capital, coinciden en indicar que las rocas expuestas en los cerros orientales y su secuencia estratigráfica, se encuentran en profundidad debajo de los sedimentos de la Formación Sábana y Chía, tal como lo propone el SGC (2008, 2015).

-La SDA (2013) con base en el análisis de isótopos estables Deuterio, O-18 (con los cuales se puede identificar la procedencia de la molécula de agua), junto con la interpretación de la línea de evaporación de los humedales del Distrito Capital; concluye que la mayoría de los humedales del Distrito Capital, presentan posibles interacciones con flujos subterráneos de diferentes tipos (local, intermedio o regional). Especialmente para el humedal Torca y Guaymaral, evidencia una interconexión agua superficial- agua lluvia, alimentado principalmente de agua subterránea con flujo intermedio a regional.

- La conductividad eléctrica (indicativa del total de sólidos disueltos en el agua) medida en los pozos profundos de la sabana de Bogotá presentan en general un aumento a medida que las captaciones se alejan de los cerros orientales (Reserva Forestal Protectora Nacional Bosque Oriental de Bogotá); esto indica un enriquecimiento mineral durante su tránsito, y una recarga desde los cerros.

-La composición química de las aguas captadas de la Formación Sabana, evidencian mezclas de aguas de diferentes tipos, para lo cual tanto en los estudios elaborados por Ingeominas en 2001, como en los estudios realizados por la Secretaría Distrital de Ambiente SDA (2018), han sustentado que esta mezcla puede ser indicadora de flujos verticales ascendentes de las unidades roca -sedimento que la infrayacen.

6.5 MECANISMOS DE RECARGA DEL SISTEMA DE AGUAS SUBTERRÁNEA ENFOCADO AL ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA DE CONEXIÓN AP-2

Los estudios de la CAR (2001), plantean la infiltración y recarga desde los cerros y el piedemonte representando flujos regionales que alimentan las unidades acuíferas más profundas; estas unidades presentan a la vez, flujos verticales que pueden llegar a la Formación Sabana, como se muestra esquemáticamente a continuación en la *Figura 35*.

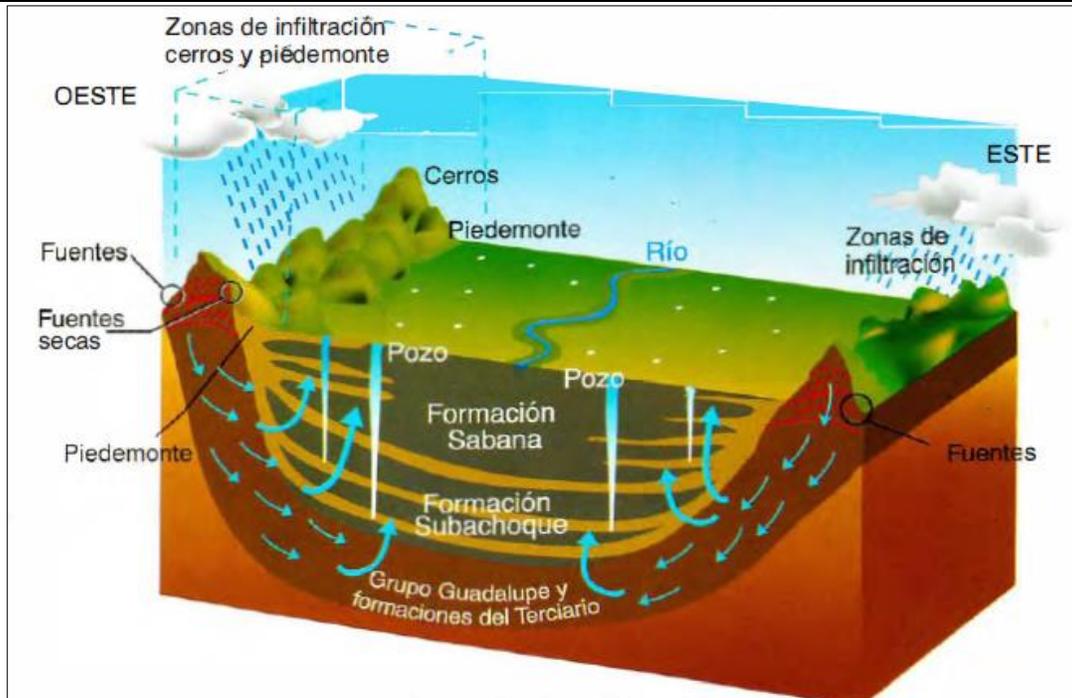


Figura 35. Corte esquemático este oeste en la cuenca de la sabana de Bogotá.
Fuente: CAR, 2001

Es así como los estudios en su mayoría coinciden en indicar que las formaciones geológicas que conforman los cerros orientales favorecen la recarga de los sistemas acuíferos de la sabana de Bogotá, y existen observaciones y evidencias adicionales que permiten identificar los mecanismos de recarga; que ocurren tanto en los cerros, como en la sabana misma.

La EAAB et al.,2003 y SDA (2018) sustentan mediante diferentes técnicas, que las rocas del Grupo Guadalupe que conforman los cerros orientales facilitan la recarga regional de los acuíferos que se encuentran en profundidad, bajo los sedimentos no consolidados de la Formación Sabana, esto según las siguientes observaciones:

- Los valores de conductividad eléctrica (CE) son más bajos (en torno a $20\mu\text{S}$) en las zonas de piedemonte, presentando un aumento (entorno a los $1850\ \mu\text{S}/\text{cm}$) hacia el oeste de la cuenca. Este comportamiento de la CE es típico de zonas donde el agua de recarga va teniendo un enriquecimiento producto del intercambio catiónico. Básicamente el aumento de la salinidad con el paso del tiempo se da porque el agua disuelve o altera los minerales que encuentra en su recorrido (INGEOMINAS, 2001)

- La relación del contenido isotópico respecto a la profundidad en los depósitos consolidados y no consolidados, evidencia que las muestras recolectadas en los pozos provienen de mezclas de agua a diferentes alturas de recarga. No se observan diferencias entre los tipos de depósitos, ni tampoco en los pozos ubicados en el distrito (INGEOMINAS, 1991). Una vez más, se reiteran las afirmaciones realizadas en los diferentes análisis, que consideran

que se tiene una importante mezcla de agua en los pozos que pueden estar relacionadas con flujos verticales ascendentes.

-En la zona central de la cuenca de la sabana, la recarga se genera por infiltración producto de las precipitaciones (recarga por infiltración directa), y es mayor hacia las zonas de piedemonte donde la presencia de depósitos no consolidados de grano más grueso facilita la infiltración de la lluvia. INGEOMINAS, 1991 considera también la recarga por infiltración de las fuentes superficiales (río Bogotá y sus tributarios) que se concentra en la parte más cercana al piedemonte por encima de la cota 2.600 msnm, debido a que los cauces de la parte plana son pocos profundos y desconectados de los acuíferos principales.

La Formación Sabana, presenta una recarga en sus afloramientos y es la que permite un mayor tránsito del agua sin dejar de tener presente que lo hacen con unas velocidades bajas (SDP *et al*, 2018).

-Así mismo, INGEOMINAS (1991) y SDA (2018), sustentan que los depósitos cuaternarios, son pequeñas áreas de recarga local, es de acotar que estos materiales se presentan en la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá.

Por último, se resalta que referente a este aspecto la Secretaría Distrital de Planeación del Distrito SDP (2018), ha citado:

“Funcionamiento hidrogeológico de los Cerros Orientales: En los Cerros Orientales, afloran las areniscas del Grupo Guadalupe, considerado el acuífero principal de la Sabana de Bogotá, y constituyen la principal zona de recarga de este acuífero, en el área del Distrito Capital. Estas áreas deben ser protegidas, ya que constituyen zonas de interés hidrogeológico, y aisladas de ocupación urbana. El agua de la precipitación y la de cuerpos superficiales (lagunas o ríos), se infiltra por las fracturas existentes en las rocas que integran los Cerros Orientales, y se mueve a través de las capas permeables, por acción de la fuerza de la gravedad, siguiendo el buzamiento de los estratos, hacia el centro del Valle”.

Con lo anterior; se observa que la mayoría de estudios realizados por distintas instituciones identifican los cerros orientales como áreas de recarga que alimentan por flujos regionales, intermedios y locales a los sistemas acuíferos profundos que subyacen el acuífero multicapa de la Formación Sabana; así mismo, identifican infiltración directa en la Sabana misma, a través de los depósitos coluviales y de cauces de fuentes hídricas.

7. ANÁLISIS DE POTENCIALES IMPACTOS DE DESARROLLOS URBANÍSTICOS

7.1. PLANES PARCIALES UBICADOS EN EL ÁREA DEL CORREDOR DE LA AUTOPISTA NORTE COINCIDENTE CON LA FRANJA DE CONEXIÓN AP-2

En la franja de conexión AP-2 se encuentran dos planes parciales denominados Plan Parcial N°24 “Santa María” aprobado mediante resolución 3947 del 31 de diciembre de 2019 y Plan Parcial N°25 “Sorrento” aprobado mediante resolución 3728 del 20 de diciembre de 2019. En las siguientes figuras se puede observar la distribución de usos, cargas y áreas de cesión de cada plan parcial (*Figura 36, Figura 37*).

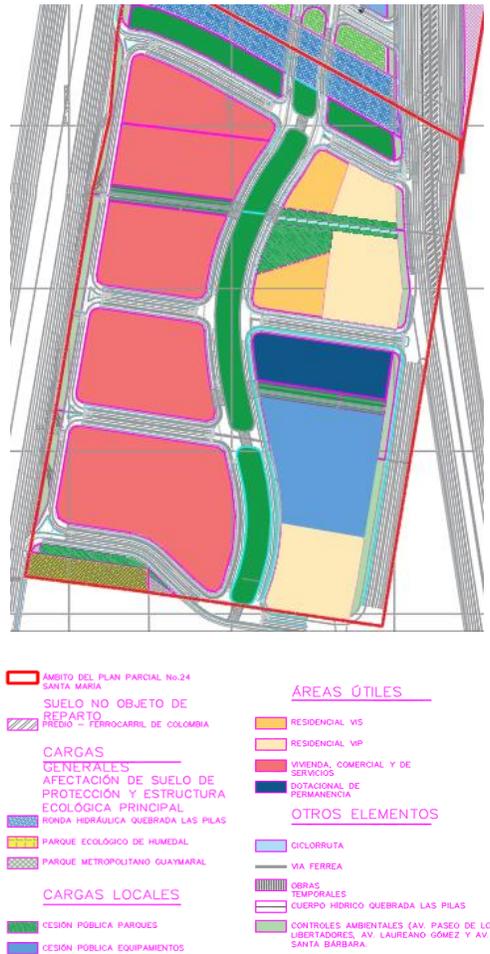


Figura 36 . Plan Parcial N°24 “Santa María”. Cargas

Fuente: Secretaría Distrital de Planeación

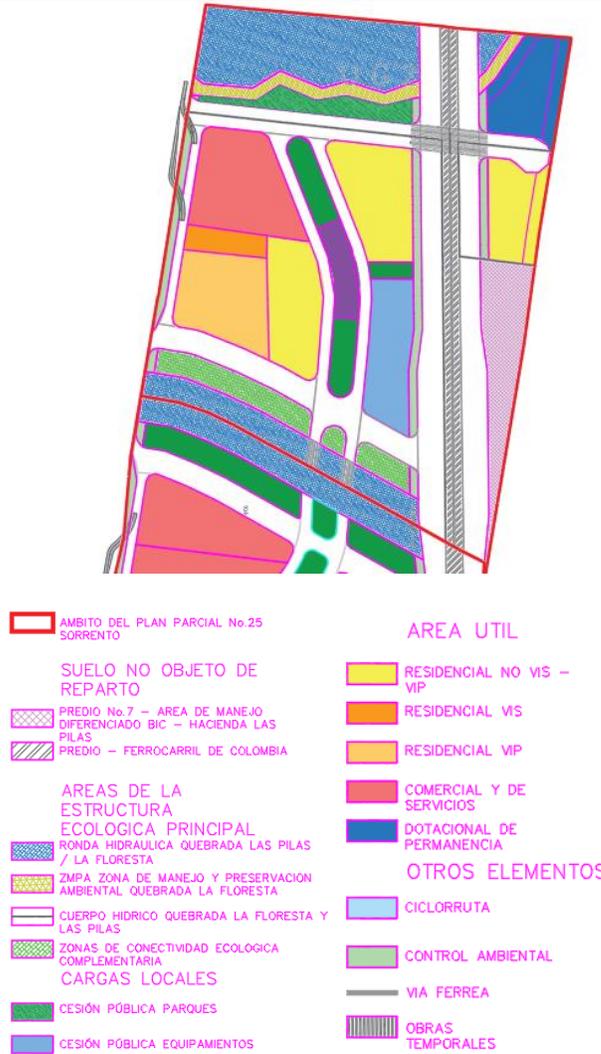


Figura 37. Plan Parcial N°25 "Sorrento". Cargas

Fuente: Secretaría Distrital de Planeación

De acuerdo con el documento "Determinación de Compatibilidad con fines de conectividad ecológica e hidrogeológica de los desarrollos urbanísticos en el área del corredor de la autopista norte coincidente con la franja de conexión ambiental AP-2, (MADS,2020)", en donde realizan un ejercicio para determinar las rutas de conexión ecológica entre las Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá y la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá "Thomas Van Der Hammen", y resaltan que

"Las rutas de conectividad son espacios que utilizan algunas de las especies de fauna y flora con distribución en el área de estudio, aunque seguramente no serán parches funcionales de su totalidad. Sin embargo, las rutas o corredores de conectividad sirven como conectores para permitir la funcionalidad de procesos ecológicos. Dichos espacios están conformados por mosaicos de coberturas naturales, seminaturales y transformadas,

por lo que llegan a convertirse en zonas especiales de gestión y manejo en donde se practique ciertas prácticas productivas orientadas al sostenibilidad y restauración ecológica entre otros”.

Adicionalmente mencionan que:

“...la Franja Ambiental de Conexión AP- 2, se constituye en uno de los pocos corredores o rutas de conectividad existentes y por ende, es estratégico el manejo ambiental que se genere en esta zona, para garantizar y en especial para recuperar, parte de sus atributos ecológicos que generen una mejor funcionalidad en la zona...”

“...los desarrollos urbanísticos en el área del corredor de la Autopista norte coincidente con la franja de conexión ambiental (AP -2), deben diseñarse de forma tal, que se garantice mantener el corredor o ruta de conectividad ecológica existente y además, el manejo dado debe implicar no solamente la restauración de las coberturas de los drenajes o partes de estos que coincidan con los desarrollos urbanísticos, sino que además, debe contemplarse el manejo y restauración del corredor definido, el cual se presenta en forma indicativa en la **Figura 8**”. La Figura 8 del documento de MADS se presenta a continuación.

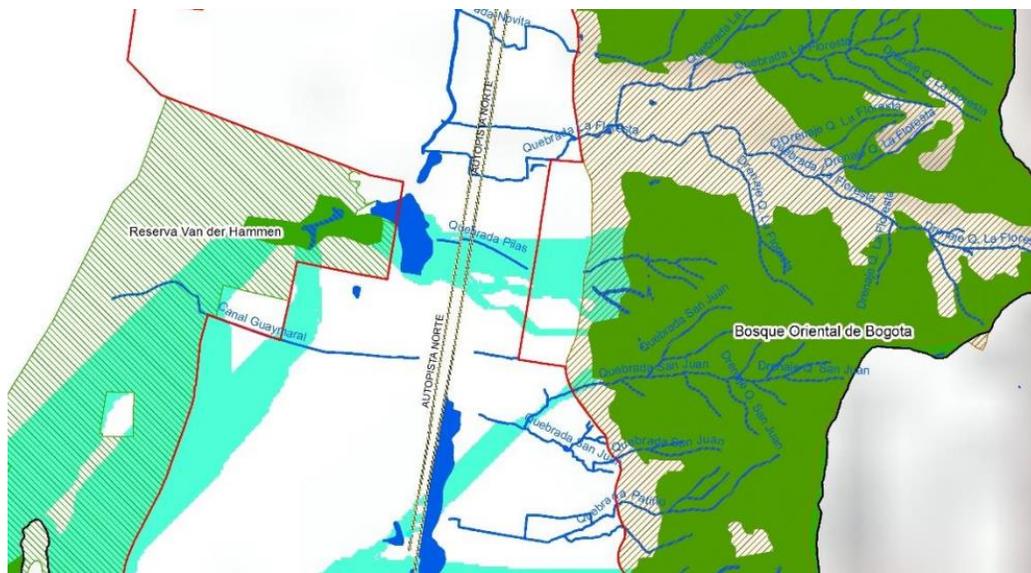


Figura 38. Corredores de conexión ecológica y ambiental determinados por MADS

Con la información anterior, se realizó el ejercicio de superponer las capas de información, tanto de las propuestas de urbanización de los planes parciales como de los corredores ecológicos indicativos determinados por Minambiente para poder realizar un análisis de las áreas de cesión establecidas por los planes parciales ubicados en la franja AP-2.

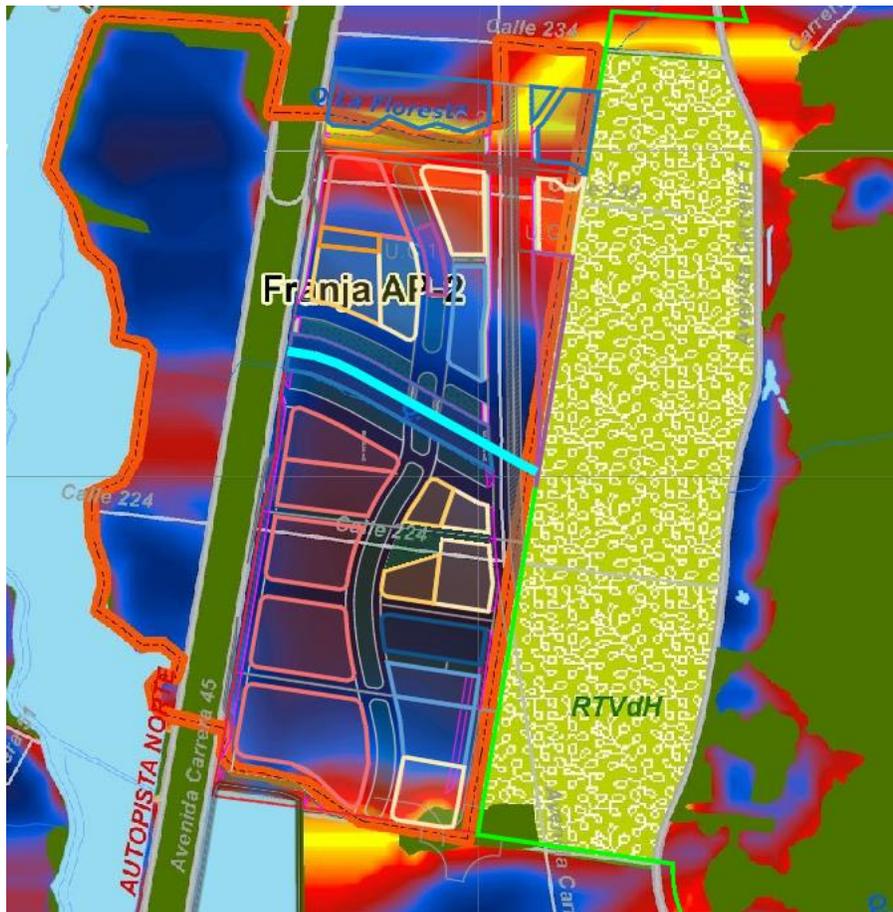


Figura 39. Superposición de información planes parciales Vs corredor ecológico determinado por IAvH(2020)

En la Figura 39 se puede observar la delimitación del corredor ecológico determinado por El Instituto Humboldt y la repartición de cargas de los planes parciales N°24 y 25. En particular se resalta la quebrada Las Pilas en color cian, y es claro que para el área aferente a la quebrada las posibilidades de generar un corredor ecológico de conexión con las reservas son bajas. Como se observa en la Figura 39, la quebrada Las Pilas tiene una alta intervención y su cauce se encuentra dividido por la hacienda las Pilas, que desde la Av. 7, su cauce desaparece en el predio mencionado y vuelve a ser visible a la altura del ferrocarril y hasta la autopista norte como un cauce intermitente. Por esto, en los proyectos se van a incluir criterios de conectividad, restauración y conservación en el Humedal Torca Guaymaral, la quebrada La Floresta y quebrada Las Pilas; realizando las obras requeridas para tal fin.

Adicionalmente, se encontró que el estudio de WSP (2020) Consultoría contratada por el Fideicomiso Lagos de Torca para el diseño urbanístico de la Ciudadela Lagos de Torca, en donde se incluye el diseño de las vías principales y la dotación de servicios públicos domiciliarios, en el producto N°7 (Alternativas), propuso una reconfiguración, a nivel de

ingeniería básica, de las quebradas aferentes al Humedal Torca-Guaymaral. (5.4.6.5.2 Propuesta preliminar de adecuación de quebradas (Alinderramiento), entre otras, a las quebradas La Floresta, San Juan y Las Pilas.

Esta reconfiguración, aunque se realiza a nivel de ingeniería básica (factibilidad), realiza el ejercicio de cálculo de caudales para diferentes periodos de retorno, teniendo en cuenta la información pluviográfica y meteorológica de las estaciones de toma de datos aferentes a la zona. En la *Figura 40* se muestra la propuesta presentada por la firma consultora.

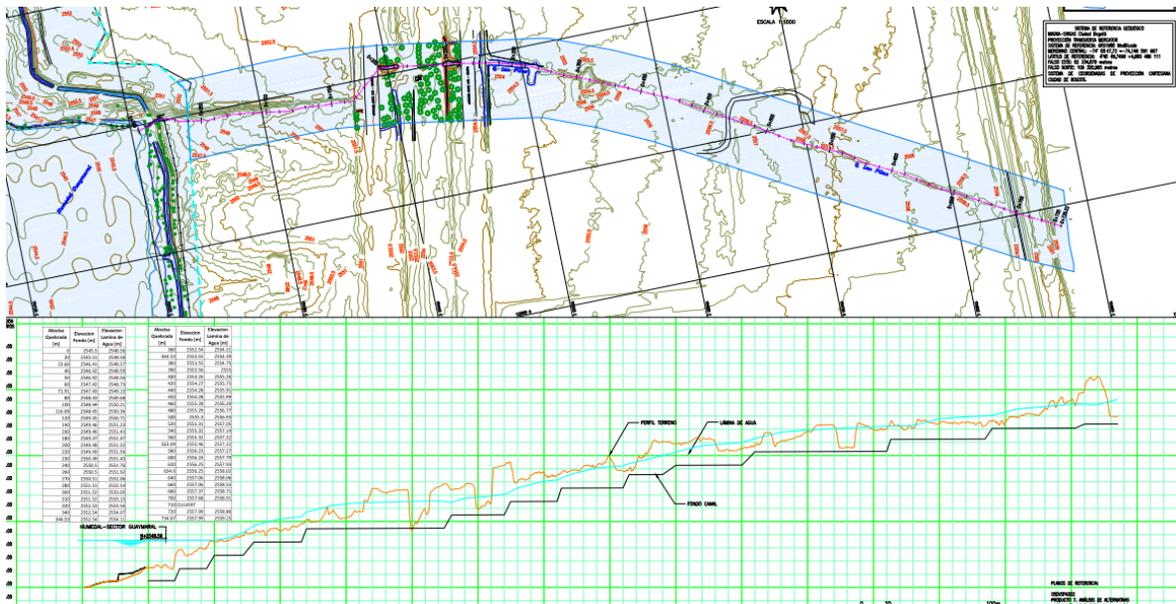


Figura 40. Reconfiguración hidráulica quebrada Las Pilas. Producto 7. Alternativas WSP 2020.

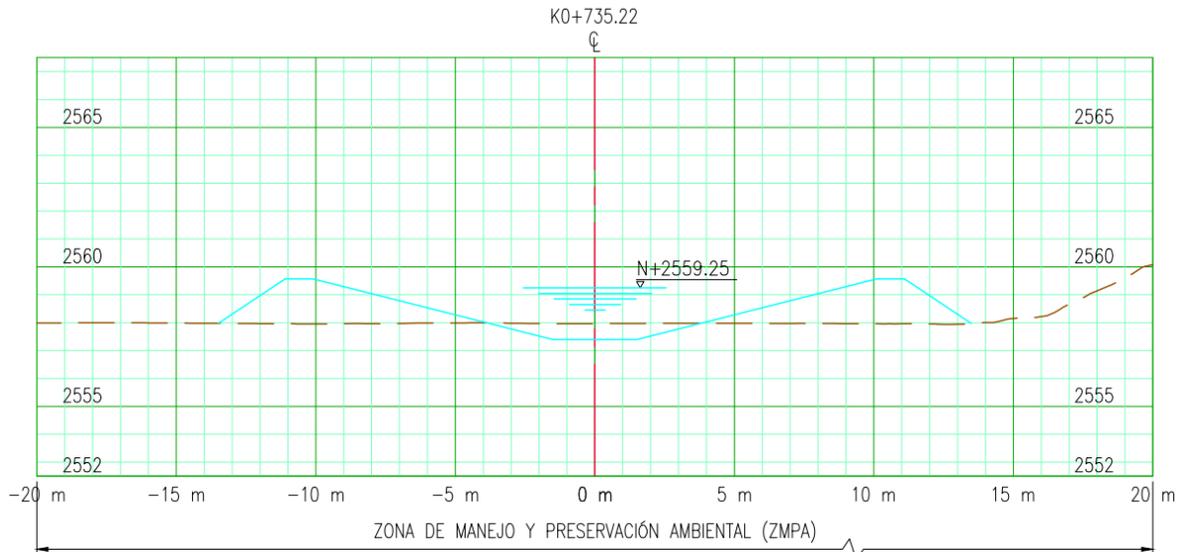


Figura 41. Perfil Quebrada la Pilas. Punto de inicio reconfiguración.

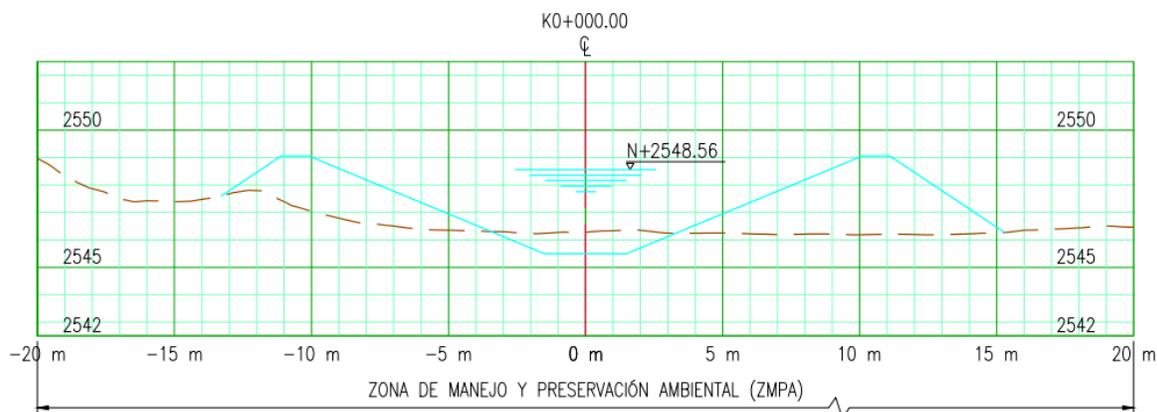


Figura 42 . Perfil Quebrada la Pilas. Punto final reconfiguración.

Particularmente, en los perfiles presentados en la *Figura 41* y *Figura 42*, toman un ancho de 10 a 15 metros aproximadamente, nombrándolo como Zona de Manejo y Preservación Ambiental. Se hace énfasis en esto, porque, como se ha mencionado anteriormente, para la determinación de ronda hídrica se deben seguir los criterios técnicos mencionados en el decreto 2245 de 2017, y aunque WSP es su informe hace mención a estos criterios para la reconfiguración del cauce de las quebradas, en los planos no se discrimina el ancho de ronda hídrica que se debe demarcar a partir de la línea de cauce permanente, que con los estudios que se realizaron y los caudales calculados, deberán poder determinar en donde se ubica esta línea y ubicarla dentro del perfil y la planta del mismo, pero estos límites no son establecidos en los planos.

Adicionalmente, WSP menciona en la página 104 del Producto N°7 lo siguiente:

“Es así que el planteamiento de la reconfiguración hidrogeomorfológica incluye la recuperación del cauce y ronda hidráulica de las 9 quebradas afluentes del humedal, teniendo en cuenta mantener las características iniciales de los drenajes y los corredores ecológicos de los mismos, reconocidos en el Decreto 088 del 2015”

Es decir, que están limitando la reconfiguración de la ronda hídrica a lo dispuesto en el decreto 088 de 2015 y no a lo establecido en el decreto ley 2811 de 1974 y al decreto 2245 de 2017 en donde se dan los criterios para la definición de la ronda hídrica.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de lo anteriormente analizado, se concluye lo siguiente:

Los proyectos urbanísticos en el área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la franja AP-2, son compatibles con los fines de preservación de la conectividad de las reservas forestales del norte y los cerros orientales acatando las determinantes ambientales de la resolución 475 y 621 de 2000, y decreto 2372 en relación a los usos permitidos. La compatibilidad de los proyectos propuestos en el área, está asociada con el diseño de zonas de conectividad propuestas, siendo estas: la Quebrada Las Pilas, Quebrada la Floresta, sus adecuaciones, las respectivas rondas y zonas de manejo y protección ambiental, los parques lineales, la zona de conectividad paralela, el corredor transversal, estructuras de conexión y los controles ambientales. Si bien los diseños actuales a nivel de factibilidad soportan esta compatibilidad, se materializará con los diseños detallados y la implementación de las obras propuestas.

Con los anteriores elementos se espera que el efecto de inclusión de los desarrollos urbanísticos en el corredor de la Autopista Norte coincidente con la franja AP-2 no afecte la conectividad ecológica, hídrica superficial y subsuperficial, en particular en el contexto regional que representa la continuidad de la Franja AP-2 desde los cerros Orientales hasta el río Bogotá.

En cuanto a la conectividad hídrica superficial, si bien en la actualidad hay alteraciones de las condiciones naturales de drenaje tanto en la franja coincidente como en la parte colindante con los cerros orientales, las adecuaciones previstas para el cauce de la quebrada, y el sistema de drenaje pluvial a incorporar en los desarrollos urbanísticos propuestos propiciarán la continuidad de la conectividad de drenaje de la zona, permitiendo comunicar los aportes desde los cerros, incluyendo aquellos generados en la zona intervenida entre la carrera séptima y la altura del Ferrocarril, y la escorrentía generada en el área de la intervención urbanística, hacia el sistema Torca Guaymaral y finalmente hacia el río Bogotá.

Dicha conectividad superficial del área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2 se verá favorecida por: a) la definición de la ronda hídrica b) la zona de conectividad ecológica paralela a la zona de ronda con un ancho de 30 metros, c) el corredor transversal de 30 metros de ancho que conecta el corredor de la quebrada la Floresta, quebrada las pilas, y el Parque Metropolitano Guaymaral. En estas franjas diferentes elementos como el cauce mismo de las quebradas, las zonas de ronda y los sistemas de alcantarillado pluvial que se provean permitirán darle una continuidad al flujo de agua en la zona de interés.

La fase de diseño detallado tendrá una importante relevancia en el diseño de las estructuras especiales de conexión (canales, box culvert, estructuras de control); ya que adicional a los condicionantes de las bajas pendientes, la reducción de las secciones



efectivas de flujo como en los casos presentados en la fotografía del recorrido de campo pueden generar remansos hacia aguas arriba. La selección apropiada de las especies a sembrar en las zonas de ronda podrá mejorar la conectividad potencial en la Franja de Conexión AP-2. Es así, que el Distrito Capital cuenta con la mesa de revisión de diseños paisajísticos en la cual se detallará y revisará esta información, la cual está reglamentada por la Resolución 6563 de 2011 de la Secretaria Distrital de Ambiente. En las condiciones actuales el aporte a la conectividad provisto por la quebrada Las Pilas es limitado (Figura 43).

El cambio de cobertura en el área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2, deberá compensar los efectos en conectividad subsuperficial en la fase de diseños de detalle de los proyectos urbanísticos, donde se debe propender porque parte de esta zona, mantenga una capacidad de infiltración hacia la zona subsuperficial, generada en las zonas verdes, zona de ronda, la zona de conectividad paralela y el corredor transversal, que pueda atenuar en cierta medida el efecto de las zonas duras en la infiltración.

La información y conocimiento disponible permite reconocer que en el área del corredor de la Autopista Norte coincidente con la Franja de Conexión AP-2, no se espera percolación o flujos hacia los acuíferos profundos. Estos flujos sólo se presentan en la zona de recarga de los cerros orientales, por ello, no se producirán impactos por los desarrollos urbanísticos en los acuíferos profundos.

Lo estipulado en el Decreto 088 de 2017, es consistente con las necesidades identificadas de conectividad hídrica superficial mediante los análisis realizados, ya que ratifica que se deben realizar obras de reconfiguración del sistema Torca-Guaymaral y la quebrada Pilas, para poder realizar una efectiva conectividad de flujo superficial que garantice la estabilidad ecológica del sistema y para asegurar la conectividad del sistema de drenaje pluvial, del que se proveerá la zona de desarrollo urbanístico.

En sentido de lo anterior, para la quebrada las Pilas, se recomienda tener en cuenta para fases posteriores el cumplimiento de lo dispuesto en el Decreto 2245 de 2017 *"Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas"*, ya que, en el sentido de lo establecido allí, considera los componentes técnicos mínimos que son los estudios geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos y ecológicos que sean garantes de una conectividad hídrica superficial.

En los datos de caudales reportados para diferentes periodos de retorno según lo planteado por EAAB Consorcio Borde Norte (2011) y WSP (2020), los cuales tienen diferencias entre 20 y 25 % para los periodos de retorno analizados. Es importante destacar que el estudio de WSP es más reciente e involucra los estudios de actualización de curvas IDF y PADF para Bogotá y detalla de mejor forma las cuencas, lo que puede explicar en parte las diferencias.



Para el caso de la quebrada las Pilas, se deberá contar en la fase de estudios detallados, con las láminas de agua asociadas a los niveles para diferentes periodos de retornos del sistema al que drena, en ese sentido, se deberán tener los modelos hidráulicos de la propuesta de reconfiguración o adecuación del Sistema Torca Guaymaral en el punto de confluencia, para que no existan reflujos que generen desbordamientos, y si es así, existan zonas que puedan amortiguar estas crecientes.

Aunque existe respuesta rápida de los niveles freáticos a la temporada de lluvias, se prevé que la recarga local, o sea, por infiltración directa de aguas lluvias sobre la Formación Sabana, sea limitada dadas las condiciones de baja permeabilidad de dicha formación.

En los modelos hidrogeológicos de la sabana de Bogotá y del Distrito Capital elaborados por Ingeominas, EAAB-JICA (2005), SDA (2018), las principales áreas de recarga corresponden a los cerros orientales donde afloran capas de areniscas de las formaciones Arenisca Tierna y Labor del Grupo Guadalupe, con condiciones de porosidad y permeabilidad que favorecen la recarga del acuífero principal de la Sabana de Bogotá que se profundiza hacia el centro de la Sabana de Bogotá y que se encuentra a cientos de metros por debajo de la secuencias terciarias y cuaternarias que se presentan en el área de estudio.

En el área del corredor de la autopista norte coincidente con la franja de conexión AP-2, se reconocen flujos de extensión regional subyaciendo la sabana asociados a la continuidad de las unidades del Grupo Guadalupe; mientras que, los flujos intermedios y los flujos locales están circunscritos a los depósitos cuaternarios en especial a los depósitos coluviales que se presenta en los cerros orientales, en la Reserva Forestal Protectora Nacional Bosque Oriental de Bogotá. Respecto a la conexión hídrica subsuperficial del área del corredor de la Autopista Norte coincidente con el AP-2, dada la existencia de mezclas de agua (de diferentes alturas de recarga) en los pozos que captan de la Formación Sabana y la tendencia de variación estacional que presentan los niveles piezométricos, se sugiere una probable conexión local relacionada con la descarga hídrica superficial entre la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá y el humedal Torca y Guaymaral.

En la fase de estudios detallados de los planes parciales, para las excavaciones o demás actividades que interfieran el nivel freático, se deberán considerar diferentes escenarios que incluyan la variación estacional del flujo subsuperficial; simulando las intervenciones al nivel freático mediante modelos que permitan visualizar o pronosticar el comportamiento del flujo implicado ;en las que se incluyan los escenarios de variación estacional que se ha demostrado sufre la zona; así mismo, se deberá precisar los escenarios y opciones de aislamiento de las excavaciones respecto al nivel freático. Lo anterior, para valorar de manera completa posibles impactos en la conectividad hídrica subsuperficial.

En lo que corresponde a la conectividad ecológica, la quebrada Las Pilas y la franja de conexión ambiental AP-2, se encuentra en un avanzado nivel de transformación, lo que ha causado que ecológicamente, al día de hoy no represente un valor importante para la conectividad de especies (Figura 43). En la condición actual no hay una cobertura de

vegetación apropiada que aporte a la conectividad estructural (árboles, bosques riparios, cercas vivas) en esta zona. El cauce de la quebrada Las Pilas solo mantiene una cobertura de pastos para ganadería y al estar inmersa en una matriz con alto grado de transformación con construcciones urbanas, representa una alta dificultad para la dispersión de las especies, es decir un alto grado de resistencia. Sin embargo, vale resaltar que tanto los bordes norte y sur de la franja de conexión ambiental AP-2 al tener mejor vegetación, ofrecen una mejor ruta para ser un corredor ecológico (Figura 43).

Con lo anterior se concluye que se puede realizar un desarrollo de la franja AP-2, siempre y cuando los proyectos a desarrollar cumplan o sean acordes con el objeto de las áreas circundantes a áreas objeto de conservación y se garantice la conexión **ambiental** e **hídrica**, y se **restaure** y fortalezca la conexión **ecológica** de las Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá y la Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá "Thomas Van Der Hammen"

El modelo de conectividad ecológica, hídrico superficial, subsuperficial y subterráneo están estrechamente relacionados; por lo cual, las acciones de conectividad que se ejecuten en pro de la recuperación de los espacios naturales de los cauces superficiales favorecen el intercambio de procesos ecológicos y la conectividad hídrica entre la RTVdH y la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá.

BIBLIOGRAFÍA

Banco Mundial. 2012 Manejo de Riesgo de Desastres en México y Colombia. - Una Contribución al desarrollo,

Castrillón Ocampo, 2018. Universidad del Valle. “Estrategias para el control de inundaciones en la zona urbana de la cuenca del río Meléndez”.

CAR. 2008. Plan De Manejo Ambiental de Agua Subterránea En La Sabana de Bogotá y Zona Crítica Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.

CENAPRED - Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2008, disponible en línea www.gob.mx/cenapred/articulos.

Coll 2013, Sistemas de Alerta Temprana (SAT) para la reducción de riesgo de inundaciones súbitas. Fenómenos atmosféricos en el área metropolitana de Barranquilla.

Concol Consultores SAS – WSP Ingeniería Colombia SAS – Fideicomiso Lagos de Torca (WSP et al. 2020a). *Producto 3: Estudios de Suelos, Geológico y Geomorfológicos - Actualización de los estudios conceptuales del Contrato EAAB-ESP 1-02-25500-0626-2009, incluyendo la topografía detalle necesaria para el ajuste al plan vial arterial vigente, que sirvan de base para definir las alternativas técnicas y económicas para el desarrollo de la Ciudad Lagos de Torca, FASE I.* Bogotá, D.C.

DAMA – PNUD e HIDROGEOCOL. (DAMA et al. 1999). *Elaboración del modelo hidrogeológico para los acuíferos de Santa Fe de Bogotá, D.C. Informe Final.*

Domínguez Calle Efraín, Lozano Báez Sergio, 2014. *State of the art of the early warning system in Colombia, Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol 38 N°148 pp. 321-332.*

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) – Agencia de cooperación Internacional del Japón (JICA). (EAAB et al. 2009). *Estudio del Abastecimiento Sostenible de Agua para la Ciudad de Bogotá y Áreas Circundantes.*

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) – Agencia de cooperación Internacional del Japón (JICA). (EAAB et a. 2003). *Estudio del Desarrollo Sostenible del Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá. Informe Final.*

Ingeominas. 1991. *Estudio Hidrogeológico Cuantitativo de La Sabana de Bogotá. Mapa Hidrogeológico Sector Tibitoc-Salto de Tequendama.* Bogotá.

Ingeominas. 2001. *Caracterización Geoquímica e Isotópica de Los Acuíferos de La Cuenca Alta Bogotá.* Bogotá.

IPCC 2007, Cambio Climático 2007: Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad disponible en línea en <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg2-sum-vol-sp.pdf>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente.2020). *Determinación de compatibilidad con fines de conectividad ecológica e hidrogeológica de los desarrollos urbanísticos en el área del corredor de la autopista norte coincidente con la franja de conexión ambiental AP-2.*

Secretaría Distrital de Ambiente y Pontificia Universidad Javeriana (SDA et al. 2018). *Modelo Hidrogeológico Conceptual del Acuífero Subsuperficial o Somero en el Perímetro Urbano del Distrito Capital. Bogotá, D.C.*

Secretaria Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C. (SDP. 2018). *Insumos para la actualización del plano normativo Remoción en Masa de la Resolución 0751 del 2018.*

Secretaria Distrital de Planeación- Alcaldía de Bogotá D.C. (SDP. 2018). *Insumos para la actualización del plano normativo Remoción en Masa de la Resolución 0751 del 2018.*

Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D.C. (SGC. 2008). Buitrago, J. y Terraza, R. *Geología de la plancha 228-Bogotá Noreste, Mapa Geológico.*

Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D.C. (SGC. 2015). Corredor, V. y Terraza, R. *Geología de la plancha 228. Memoria Explicativa.*

Taylor, P.D., Fahrig, L. Henein, K. and Merriam, G. 1993. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68(3): 571-572.

Universidad Nacional de Colombia, 2006. *Proyecto: Brindar apoyo técnico y actualizar herramientas para la regulación del aprovechamiento de las aguas subterráneas en Bogotá. Contrato Inter-administrativo No. 190/2005. Informe Final.*

With, K. A. 1997. The application of neutral landscape models in conservation biology. *Conservation Biology* 11: 1069-1080.