	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 1 de 8

Código de la dependencia: 21.1

FECHA	miércoles, 4 de diciembre de 2019
--------------	-----------------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Fusagasugá

UNIDAD REGIONAL	Sede Fusagasugá
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Tecnología en Cartografía

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Maldonado Guauta	Leidy Lorena	1069765265
Rodríguez Bermúdez	Nathalia	1069758318

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



**MACROPROCESO DE APOYO
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**CÓDIGO: AAAR113
VERSIÓN: 3
VIGENCIA: 2017-11-16
PAGINA: 2 de 8**

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Fonseca Piedrahita	Jhon Henry

TÍTULO DEL DOCUMENTO
EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Tecnólogo en Cartografía

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÀGINAS
22/11/2019	50

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1.Vulnerabilidad	Vulnerability
2. Acuíferos	Aquifers
3.GOD	GOD
4.Contaminación	Polution
5.	
6.	

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 3 de 8

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

El río Bogotá es uno de los cursos de agua superficial más importantes del departamento de Cundinamarca, pues es el principal cauce fluvial de la sabana de Bogotá, por sus características físicas y diferentes niveles de contaminación; Su cuenca se divide en alta, media y baja. A lo largo de este proyecto se realizará el estudio del nivel de vulnerabilidad en la cuenca alta y media del afluente. En el río Bogotá nace en el páramo de Guacheneque que esta próximo al municipio de Villapinzón, aquí se evaluará la fragilidad a la contaminación a la que están expuestas las aguas subterráneas presentes en esta cuenca. Para este fin se aplicará el método de evaluación de superposición de índices o paramétrico conocido como GOD, este método propuesto por Foster (1987) utiliza tres parámetros: tipo de acuífero, litología de la cobertura y el nivel freático del agua subterránea, cada parámetro es continuo en el espacio geográfico y es representado por una capa cartográfica que al ponderar y superponer generan como resultado otra capa susceptible de ser categorizada en niveles de vulnerabilidad del sistema de acuíferos de la cuenca.

The Bogotá river is one of the surface water courses of the department of Cundinamarca, it is the main river channel of the savanna of Bogotá. Due to its physical characteristics and different levels of pollution, its basin is divided into high, medium and low. Throughout this project, the study of fragility in the upper and middle basin will be carried out, the Bogotá river is born in the Guacheneque moorland near the municipality of Villapinzón, vulnerability to pollution due to the exposure of Groundwater presents in this basin. For this purpose, an evaluation method of index or parametric overlay called GOD will be applied, this method proposed by Foster (1987) uses three parameters: type of aquifer, cover lithology and groundwater level, each parameter is continuous in the geographical space and it is shown by a cartographic layer that, when qualified and superimposed, results in another layer capable of being categorized in levels of restrictions of the aquifer system of the basin.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 4 de 8

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	x	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	x	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	x	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 5 de 8

autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado.

SI ___ NO X.

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 6 de 8

patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.


e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 7 de 8



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.


La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).


Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1.EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD EN ACUIFEROS DEL RÍO BOGOTÁ.pdf	TEXTO
2.Vulnerabilidad en acuíferos.pdf	IMAGEN
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Maldonado Guauta Leidy Lorena	
Rodríguez Bermúdez Nathalia	

Código Serie Documental: 21.1-51-20

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16 PAGINA: 8 de 8

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16 PAGINA: 7 de 7



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



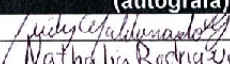
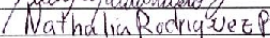
Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1.EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD EN ACUIFEROS DEL RÍO BOGOTÁ.pdf	TEXTO
2.Vulnerabilidad en acuíferos.pdf	IMAGEN

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
Maldonado Guata Leidy Lorena	
Rodríguez Bermúdez Nathalia	

Código Serie Documental: 21.1-51-20

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE
LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ**

**Nathalia Rodríguez Bermúdez
Leidy Lorena Maldonado Guauta**

**Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá
Programa Tecnología en Cartografía
Facultad de Ciencias Agropecuarias
2019**

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE
LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ**

**Nathalia Rodríguez Bermúdez
Leidy Lorena Maldonado Guauta**

Trabajo de grado para optar el título de Tecnólogo en Cartografía

**Director
Jhon Henry Fonseca Piedrahita
Ing. Catastral y Geodesta**

**Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá
Programa Tecnología en Cartografía
Facultad de Ciencias Agropecuarias
2019**

Dedicatoria

Este trabajo esta dedicado a todas las personas que apoyaron el proyecto, que colaboraron en él, también a nuestra familia, que nos forjo como personas responsables, muchos de nuestros logros se deben a ellos, compañeros y profesores, quienes siempre tuvieron una palabra de aliento para motivarnos a mejorar.

Dedico el trabajo a mis padres, quienes apoyaron mi carrera y dándome el amor y los valores necesarios para culminar esta importante etapa en mi vida. – Leidy Lorena

Maldonado Guauta.

Dedico este trabajo a mi hijo Juan Martín y mis padres, quienes son el motor de mi vida y la motivación y anhelo de lograr lo que me he propuesto. – Nathalia Rodríguez Bermúdez.

Agradecimientos

*Al director el Ingeniero Catastral y Geodesta Jhon Henry Fonseca Piedrahita
y demás profesores, quienes guiaron en el desarrollo d este proyecto.*

*A mis padres, quienes me apoyaron económicamente para realizar mis estudios
universitarios e influyeron para que pudiera terminar mi proyecto de grado. – Leidy Lorena
Maldonado Guauta.*

*Agradezco a mis padres y Andrés Morales quienes me impulsaron a terminar el tecnólogo,
tanto económica como moralmente para que pudiera realizar el proyecto de grado y
culminar la carrera. – Nathalia Rodríguez Bermúdez.*

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jhon Henry Fonseca Piedrahita
Director

Jurado

Jurado



**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA
ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. OBJETIVO GENERAL	14
4.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
4. MARCO REFERENCIAL	15
4.1. Marco Teórico	15
4.2. Marco Conceptual	17
5.1. Marco Legal	25
5. DISEÑO METODOLÓGICO	31
5.1. Ubicación	31
6. ESQUEMA METODOLÓGICO	32
7. RESULTADOS	43
7.1. Producto 1:	43
8. CONCLUSIONES	48
9. RECOMENDACIONES	49
10. Bibliografía	50



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Definiciones de vulnerabilidad	19
Tabla 2. Marco Legal.....	25
Tabla 3. Ponderación para tipo de acuífero	33
Tabla 4. Ponderación características litológicas.	33
Tabla 5. Ponderación nivel freático.	34
Tabla 6. Nivel de vulnerabilidad según valor de las ponderaciones.....	34
Tabla 7. Ponderaciones grado de confinamiento	43
Tabla 8. Ponderaciones ocurrencia del sustrato suprayacente	44
Tabla 9. Ponderaciones profundidad del nivel del agua subterránea.....	44
Tabla 10. Área de nivel de vulnerabilidad.	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de Acuíferos	16
Figura 2. Esquema metodológico	32
Figura 3. Registro de la capa de VULNERABILIDAD en la GDB de la ANLA.	47

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación zona de estudio	31
Mapa 2. Insumo puntos de captación de agua.	35
Mapa 3. Puntos de captación de agua subterránea POMCA Río Bogotá.	36
Mapa 4. Shape final, Puntos hidrogeológicos compilados.	37
Mapa 5. Insumo Unidades Geológicas.	38
Mapa 6. Insumo Grado de confinamiento.....	38
Mapa 7. Insumo Granulometría.	39
Mapa 8. Insumo Ocurrencia del sustrato suprayacente.	40
Mapa 9. Insumo Nivel estático.	41
Mapa 10. Insumo Distancia al nivel del agua subterránea.....	41



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

RESUMEN

El río Bogotá es uno de los cursos de agua superficial más importantes del departamento de Cundinamarca, pues es el principal cauce fluvial de la sabana de Bogotá, por sus características físicas y diferentes niveles de contaminación; Su cuenca se divide en alta, media y baja. A lo largo de este proyecto se realizará el estudio del nivel de vulnerabilidad en la cuenca alta y media del afluente. En el río Bogotá nace en el páramo de Guacheneque que esta próximo al municipio de Villapinzón, aquí se evaluará la fragilidad a la contaminación a la que están expuestas las aguas subterráneas presentes en esta cuenca. Para este fin se aplicará el método de evaluación de superposición de índices o paramétrico conocido como GOD, este método propuesto por Foster (1987) utiliza tres parámetros: tipo de acuífero, litología de la cobertura y el nivel freático del agua subterránea, cada parámetro es continuo en el espacio geográfico y es representado por una capa cartográfica que al ponderar y superponer generan como resultado otra capa susceptible de ser categorizada en niveles de vulnerabilidad del sistema de acuíferos de la cuenca.

Palabras Clave: Vulnerabilidad, acuíferos, GOD, contaminación.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

ABSTRAC

The Bogotá river is one of the surface water courses of the department of Cundinamarca, it is the main river channel of the savanna of Bogotá. Due to its physical characteristics and different levels of pollution, its basin is divided into high, medium and low. Throughout this project, the study of fragility in the upper and middle basin will be carried out, the Bogotá river is born in the Guacheneque moorland near the municipality of Villapinzón, vulnerability to pollution due to the exposure of Groundwater presents in this basin. For this purpose, an evaluation method of index or parametric overlay called GOD will be applied, this method proposed by Foster (1987) uses three parameters: type of aquifer, cover lithology and groundwater level, each parameter is continuous in the geographical space and it is shown by a cartographic layer that, when qualified and superimposed, results in another layer capable of being categorized in levels of restrictions of the aquifer system of the basin.

Keywords: Vulnerability, aquifers, GOD, pollution.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha ido creciendo la preocupación ante la sostenibilidad, degradación y pérdida de la calidad de los recursos hídricos subterráneos, cada vez existe mayor conciencia sobre la necesidad de desarrollar una gestión ambientalmente segura del agua subterránea. La Gestión integral del Recurso Hídrico (GIRH) busca orientar el desarrollo de políticas públicas en materia del agua, es un proceso que promueve la gestión y aprovechamiento de los recursos hídricos con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (Ministerio de Medio Ambiente, 2019). Como resultado de esto, se generaliza el uso de técnicas para cartografiar el grado de vulnerabilidad por contaminación en acuíferos, como herramienta para comparar el grado de contaminación causado por actividades antrópicas y la capacidad del acuífero para soportarla sin causar afecciones al agua subterránea.

La cuenca del río Bogotá se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca junto con los ríos Sumapaz, Magdalena, Negro, Minero, Suárez, Blanco, Gacheta y Mchetá. A unos kilómetros de su nacimiento, el río abastece 26 acueductos comunitarios, 25 de los cuales no necesitan proceso alguno de purificación porque la calidad del agua está en óptimas condiciones. La extensión total del río Bogotá abarca 46 municipios y el Distrito Capital, lo que representa una población aproximada de 10 millones de habitantes.

Se realizará una Clasificación de los grados de vulnerabilidad en el sistema de acuíferos pertenecientes a esta cuenca, utilizando el método paramétrico GOD, el cual tiene en cuenta el tipo de acuífero, las características de la litología presente y el nivel freático o la profundidad a la cual se encuentra agua subterránea de la superficie.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) el río Bogotá tiene un nivel de contaminación entre 4 y 8, debido a un ineficaz mantenimiento por parte de los entes gubernamentales y la irresponsabilidad de la comunidad, la falta de plantas de tratamiento de aguas residuales, los vertimientos industriales, vertimiento de agua doméstica, la minería extractiva y la disposición de sedimentos y escombros. Aunque no es navegable, ni caudaloso, tiene una gran importancia para el país debido a que en las zonas aledañas se desarrollan múltiples actividades económicas que representan el 26% del total en Colombia, dentro de las cuales se destacan la producción agrícola, pecuaria e industrial, pese a la importancia que representa este curso de agua superficial para la región tampoco se ha realizado una evaluación óptima del estado de las aguas subterráneas presentes en esta cuenca, destacando que estos acuíferos son importantes para el buen manejo de los recursos disponibles, por ende se formula la pregunta: ¿Cómo cartografiar el grado de vulnerabilidad que permita la realización de un análisis de las zonas en las cuales se concentran los residuos de contaminantes y como catalogar el nivel de degradación en el sistema de acuíferos de la cuenca del río Bogotá?



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

2. JUSTIFICACIÓN

A pesar de ser uno de los principales cauces fluviales de la sabana de Bogotá enfrenta problemas como: la tala de árboles, las captaciones de agua ilegales, el depósito de residuos domésticos e industriales, la disposición de basuras, residuos industriales con metales pesados y la falta de interés por manejar eficiente y responsablemente las aguas del río, lo convierten en un referente de suciedad y contaminación a nivel mundial.

Los vertimientos industriales de las curtiembres de Villa Pinzón, Cundinamarca ubicadas a 5 kilómetros del nacimiento, la falta de plantas de tratamiento que hagan un manejo adecuado del agua doméstica y vertimiento de agua en mal estado al río incluyendo Bogotá, generando así el 80% de la contaminación. Los tres vertimientos de Bogotá que afectan al río dejándolo anóxico y sin vida son Salitre, Fucha y Tunjuelo. Cuando el río llega a Bogotá entra con un nivel de contaminación 4 y cuando recibe la primera descarga del río Salitre en la calle 80, cambia a nivel 8 manteniéndose así en su recorrido (Corporación Autónoma Regional, 2019).

Para este proyecto se empleó la información del Plan de ordenamiento y manejo de la Cuenca hidrográfica del Río Bogotá (POMCA), donde la problemática del agua se ha centrado en la creación de nuevas estrategias para la planificación del recurso hídrico que garantice el abastecimiento de este para futuras generaciones, integrando principios de desarrollo sostenible con políticas y programas nacionales para contrarrestar la pérdida de recursos del medio ambiente y así reducir el porcentaje de población que carezca de acceso sostenible al agua potable. La estrategia de desarrollo territorial sostenible está enmarcada bajo la construcción de una visión regional que integre los Planes de Gestión Nacional Ambiental, los Planes de Ordenamiento Territorial y los procesos de planificación del desarrollo social y económico, todo esto enmarcado en el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). A nivel regional las autoridades ambientales que regulan recursos naturales plantean los Planes de Gestión Ambiental Regional (PGAR) y los Planes de Acción Trienal, con el fin de planificar la gestión ambiental estratégicamente en cada jurisdicción. (Cundinamarca, 2019)

La agencia nacional de licencias ambientales ANLA, es la autoridad ambiental que rige el otorgamiento de licencias ambientales y define los criterios técnicos, documentales y cartográficos o de almacenamiento de información geográfica bajo los estándares establecidos



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

por la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales (ICDE), para la presentación de solicitudes de licenciamiento ambiental de los diferentes proyectos de exploración y explotación de recursos naturales en el país. Estos criterios depositan gran importancia al componente cartográfico como elemento fundamental al tratarse de proyectos que se desarrollan directamente en el espacio geográfico susceptible de diferentes tipos de impactos tanto ambientales como culturales. Uno de estos elementos es la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos presentes en las áreas geográficas objeto de las solicitudes de licencia, para lo cual existe un feature class o capa geográfica dentro del modelo de almacenamiento geográfico destinado para el almacenamiento de dicha información (Resolución 2182 de 2016).

El método a aplicar es el GOD ya que es el más apropiado en áreas de trabajo con escasa información, con irregular distribución de datos o con incertidumbre de la información, este método posee tres parámetros G, O y D, cuyos valores de ponderación son asignados de acuerdo con la contribución en la defensa a la contaminación, una vez ponderadas dichas variables se procede a realizar un algebra de mapas con las capas de cada parámetro que se combinan para generar información secundaria como resultado en este caso un mapa que represente los grados de vulnerabilidad de los acuíferos presentes en la cuenca.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

3. OBJETIVO GENERAL

Generar cartografía a escala adecuada que represente la evaluación de las zonas vulnerables a la contaminación en el sistema de acuíferos de la cuenca alta y media del río Bogotá mediante la aplicación del método paramétrico GOD.

4.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar y calificar los insumos o capas cartográficas necesarias para llevar a cabo el álgebra de mapas según los criterios de análisis establecidos para la metodología GOD.
- Representar mediante mapas las características hidrogeológicas de las capas insumo y el grado de vulnerabilidad del sistema de acuíferos de la cuenca alta y media del río Bogotá.
- Registrar el resultado del grado de vulnerabilidad de acuíferos de la cuenca alta y media del río Bogotá en el feature class correspondiente de la Geodatabase del modelo de almacenamiento geográfico de la ANLA.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. Marco Teórico

La vulnerabilidad en acuíferos indica el riesgo de deterioro de la calidad de las aguas subterráneas por derramados o actividades contaminantes, las cuales representan una fracción importante de la masa de agua, el agua del subsuelo es un recurso importante, pero difícil gestión por su sensibilidad a la contaminación y la sobreexplotación. Existen tres tipos de aguas subterráneas, las meteóricas o de intercambio, las cuales participan en el ciclo hidrológico y que circulan más superficial en niveles altos del subterráneo; las de reserva, que circulan en niveles bajos y no hacen parte del ciclo hidrológico, debido a que no se alimentan de las precipitaciones por tiempos históricos, y por lo tanto, al ser explotadas desaparecen debido a que no hay renovación; y por último las profundas o de formación, que tampoco pertenecen al ciclo hidrológico, simplemente son aguas que quedan atrapadas durante los procesos de sedimentación (Ingeniería, 2007).

Los acuíferos son formaciones geológicas saturadas o parcialmente saturadas que debido a sus características físicas permiten el movimiento del agua bajo la acción de fuerzas de presión, en condiciones adecuadas para la explotación a un costo razonable. Las formaciones acuíferas vienen definidas por una base o muro, y por un techo, que puede ser libre, semipermeable o impermeable; debido a esto, existen varios tipos de acuíferos, según la presión hidrostática, el libre que se caracteriza por tener una presión igual a la atmosférica, en la superficie freática; el confinado, en el que el agua posee una presión mayor a la atmosférica y corre por una zona permeable entre dos capas impermeables; el acuífero semi- confinado, en el cual algunas capas que confinan el agua tienen cierto grado de permeabilidad, según el tipo de huecos, poroso, los kársticos, aquellos que resultan en la dilución de las rocas calizas por acción del agua y fisurado; y según las características litológicas, detríticos y carbonatados (Ingeniería, 2007). Para entender los tipos de acuíferos se presenta la **Figura 1**. (a) Río o Lago, fuente de recarga. (b) Suelo Poroso no saturado. (c) Suelo Poroso saturado, en el cual existe una camada de terreno impermeable. (d) Terreno impermeable formado. (e) Acuífero no confinado. (f) Manantial. (g) Pozo que capta agua del acuífero no confinado. (h) Pozo que alcanza el acuífero confinado, frecuentemente el agua brota, llamado pozo artesiano.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

(El agua subterránea y actividad ganadera)



Figura 1. Tipos de Acuíferos

- Contaminación de acuíferos

El agua subterránea tiende a tener una baja salinidad y a ser potable, sin embargo, en algunos sectores las capas freáticas son ricas en sales disueltas. La circulación subterránea permite la depuración del agua en partículas y microorganismos, que en ocasiones llegan al acuífero debido a prácticas humanas, como fosas sépticas o residuos agrícolas, contaminación por causas antropogénicas, infiltración de nitratos y otros abonos químicos solubles usados en la agricultura, que suele ser una grave causa de contaminación de los suministros en llanuras de elevada productividad agrícola y densa población.

Actualmente, los contaminantes del agua subterránea que más preocupan son los compuestos orgánicos industriales, como disolventes, pesticidas, pinturas, combustibles, por otro lado, los abonos químicos minerales, como los nitratos que son el contaminante inorgánico más conocido y uno de los más perjudiciales, se origina de diferentes fuentes, como las lagunas de retención de residuos sólidos no impermeabilizadas por debajo y la infiltración de aguas residuales o tratadas (EE.UU, s.f.).

- Vulnerabilidad y riesgo en un acuífero

Las aguas subterráneas representan una parte importante; su situación en el subsuelo permite que tengan mayor protección a la contaminación inmediata que las aguas superficiales; sin embargo, por la naturaleza del medio en que se encuentran son de difícil acceso, por lo que no existe conocimiento completo de las características hidrogeológicas del sistema acuífero, y cuando se produce la contaminación el efecto es irreversible.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

En hidrogeología el término de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas se comenzó a utilizar en la década de los años 70 en Francia, basado en la hipótesis que el medio geológico y la cubierta edafológica proporcionan un grado de protección a las aguas subterráneas frente a contaminantes de origen tanto natural, como los derivados de las actividades humanas. Luego en los años 80 es ampliamente descrito y toma diversos conceptos, calificaciones y se han desarrollado diversas metodologías de evaluación orientadas a su representación cartográfica, en la mayor parte de los casos (SANTA MARTA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DRASTIC).

- Índice de vulnerabilidad

El índice de vulnerabilidad integrado único (intrínseco) o con índices de vulnerabilidad relativos (específicos).

Es fundamental tener presente las tres leyes sobre la vulnerabilidad del agua subterránea, expresadas como advertencias en revisiones de los Estados Unidos por la National Research Council, en el año 1993.

- Todo acuífero tiene algún grado de vulnerabilidad a la contaminación.
- Cualquier evaluación de la vulnerabilidad de acuíferos contiene incertidumbres.
- En los sistemas más complejos se corre el riesgo de que al evaluar la vulnerabilidad se pase por algo lo sutil.

4.2. Marco Conceptual

- **ICDE:** la Infraestructura colombiana de datos espaciales, nos permite la construcción e implementación colectiva de políticas y facilita los procesos de gestión de los recursos geográficos, que incluyen datos, información y conocimiento, para armonizarlos, disponerlos y reutilizarlos por el Gobierno y la Sociedad, como sustento de la Gobernanza y la toma de decisiones.
- **POMCA:** Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas, es el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos. También es el marco para planificar el uso sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

hidrográfica (Ambiente, s.f.)

- **Base de Datos Geográfica (BDG, Geodatabase GDB):** Es una colección de datos organizados de tal manera que sirvan para ser utilizados en aplicaciones de sistemas de información geográfica (SIG) y permitan el almacenamiento estructurado de la información, acorde a criterios espaciales para la gestión de la información Geográfica.
- **Información Raster:** Este tipo de información corresponde a cualquier imagen digital representada en celdas regulares (Pixel).
- **Información Vectorial:** Es la que se puede representar mediante formas geométricas: puntos, líneas y polígonos, convirtiéndose en objetos que se pueden caracterizar mediante atributos y ser georreferenciados. La información vectorial se constituye como insumo para la generación de cartografía (mapas) y para la realización de geo procesos y análisis espacial. También se hace referencia a Capas Geográficas para referirse a la información vectorial.
- **Modelo de Datos Geográficos:** Conjunto de datos geográficos y alfanuméricos para la representación y caracterización de los elementos del mundo real, definidos y estructurados para facilitar y optimizar el almacenamiento, consulta y análisis de la información.
- **Modelo de datos temáticos:** El modelo de almacenamiento geográfico en su componente de datos temáticos, define y establece la estructura para la presentación de información geográfica con fundamento en las solicitudes de información definidas en la Metodología General para la elaboración y presentación de estudios ambientales.
- **ANLA:** La autoridad Nacional de Licencias Ambientales es la encargada de que los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental cumplan con la normativa ambiental para contribuir al desarrollo sostenible del país.
- **Vulnerabilidad:** Riesgo de deterioro de la calidad de las aguas subterráneas por vertidos o actividades potencialmente contaminantes.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

Tabla 1. Definiciones de vulnerabilidad

AUTOR	DEFINICIÓN
Margat, 1968	Protección que ofrece el medio al agua subterránea contra las actividades antrópicas susceptibles de contaminar.
Albinet y Margat, 1970	Probabilidad de infiltración y difusión de un contaminante en un acuífero, según el tipo de formación geológica y condiciones hidrogeológicas.
Olmer y Rezác, 1974	Grado de peligrosidad determinado por las condiciones naturales, independientemente de la fuente de contaminación.
Villusem et al, 1983	Riesgo de que las sustancias químicas usadas en o cerca de la superficie puedan afectar a la calidad de las aguas subterráneas.
Foster, 1987	Características intrínsecas que determinan la sensibilidad de varias partes de un acuífero a ser afectado adversamente por un contaminante.
Bachmat y Colli, 1987	Sensibilidad de la calidad del agua subterránea frente a actividades antrópicas contaminantes.
Sotomikova y Vrba, 1987	Habilidad de un sistema hidrogeológico para protegerse de impactos externos, tanto antrópicos como naturales, que afectan su estado y características, en el tiempo y en el espacio.
Civita, 1988	La vulnerabilidad de un cuerpo acuoso es la posibilidad de infiltración y percolación de líquidos o soluciones acuosas de contaminantes a través de la zona no saturada.
Custodio, 1990	Sensibilidad de la calidad del agua subterránea a ser cambiada negativamente a consecuencia de la actividad antrópica.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

S.E.P.A, 1992	Sensibilidad del acuífero: posibilidad de que un contaminante (pesticida), aplicado en o cerca de la superficie, pueda migrar al acuífero en función de las características geológicas, independientemente de las prácticas agrícolas o de las características del contaminante.
	Vulnerabilidad del agua subterránea: posibilidad de que un contaminante (pesticida), aplicado en la superficie o cerca de ella, pueda llegar al acuífero debido a las prácticas agrícolas, características del contaminante y sensibilidad hidrogeológica.
Zaporozec, 1994	Vulnerabilidad: propiedad intrínseca de un sistema de aguas subterráneas que depende de su sensibilidad a impactos naturales y/o humanos.
	Vulnerabilidad intrínseca (natural): es función de factores hidrogeológicos (características de un acuífero y de la superposición del suelo y materiales geológicos).
	Vulnerabilidad específica (integrada): depende de las propiedades intrínsecas de un sistema de aguas subterráneas y el uso presente o futuro de los recursos hídricos subterráneos.
Roins et. Al. 1994	La vulnerabilidad es el resultado de la superposición de las propiedades intrínsecas del suelo y la zona no saturada del acuífero.
Daly y Waren, 1994	Representa las características geológicas e hidrogeológicas que determinan la sensibilidad de las aguas subterráneas a la contaminación por actividades antrópicas.
Modificación Decreto, 1729	Características propias de un acuífero que determinan la sensibilidad de este a ser afectado por contaminación derivada de actividades antrópicas o fenómenos naturales.

(Territorial, 2010)



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

- **Vulnerabilidad intrínseca:** Depende de propiedades características del medio entre ellas, el tipo de acuífero y cobertura, permeabilidad, litología, profundidad del nivel del agua subterránea, tipo de recarga, topografía, entre otros procesos. La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación se realiza a través de evaluación de tres factores, principalmente: (1) la capacidad de atenuación de la carga contaminante que ocurre en el suelo, en la zona no saturada y en la zona saturada; (2) la resistencia o la inaccesibilidad en el sentido hidráulico a la penetración de los contaminantes; y (3) los factores externos que puedan facilitar o retardar el impacto de las cargas contaminantes, como la pendiente del terreno y la recarga del acuífero son un valor indicativo (cualitativo) y no cuantitativo, por tanto los resultados que se obtienen de su evaluación son relativos y adimensionales (Territorial, Septiembre de 2010).
- **Capacidad de atenuación de la carga contaminante:** La capacidad de atenuación de la carga contaminante se relaciona con los procesos que ocurren en el suelo y en la zona no saturada.
- **Suelo:** El suelo es la porción más superficial de la zona no saturada, caracterizado por una significativa actividad biológica, que a efectos prácticos pueden considerarse con espesores hasta 2 metros. La principal función del suelo desde el punto de vista de la vulnerabilidad es la capacidad de atenuación de la carga contaminante, siendo mayor cuando el suelo tiene mayor contenido de materiales finos (limos y arcillas) y de materia orgánica. Estas características de los suelos los hacen más efectivos a la mayoría de los procesos que protegen las aguas subterráneas.
- **Zona no saturada:** La zona no saturada es el espesor comprendido entre la superficie y el nivel freático. En esta zona el contenido de agua es menor que la porosidad, es decir que el agua no ocupa todos los poros. Las características de la zona no saturada son de gran importancia en la evaluación de la vulnerabilidad, porque es la primera defensa natural del acuífero contra los contaminantes. En esta zona el flujo es más lento y generalmente aerobio y alcalino, lo cual hace mayor el potencial para la intercepción, sorción y eliminación de bacterias y virus, y para la atenuación de metales pesados y otros químicos. Por tanto, un mayor espesor de la zona no saturada implica un mayor tiempo de tránsito de los contaminantes y mayor tiempo de contacto con el medio, lo que posibilita procesos de atenuación de mayor duración. Entonces, un acuífero tendrá



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

baja vulnerabilidad a la contaminación cuando la zona no saturada sea de gran espesor y con gran contenido de arcillas y materia orgánica. Por el contrario, se evaluará un acuífero con vulnerabilidad alta cuando la zona-saturada tenga poco espesor y altos contenidos de arena, grava o rocas de alta permeabilidad.

- **Resistencia en sentido hidráulico:** La resistencia o inaccesibilidad de la zona no saturada en sentido hidráulico a la penetración de los contaminantes es función de tres factores: (1) el régimen hidráulico del acuífero, grado de confinamiento, (2) la profundidad del nivel de agua en acuíferos libres o techo del acuífero confinado, (3) las características litológicas y el grado de consolidación de la zona no saturada o capas confinantes.
- **Régimen hidráulico del acuífero:** El régimen hidráulico del acuífero se refiere al grado de confinamiento de las aguas que contienen. Se distinguen así tres tipos de acuíferos: libres, confinados y semiconfinados. Así, por ejemplo, un acuífero confinado con un gran espesor confinante será menos vulnerable a la contaminación que un acuífero libre. En caso de acuíferos multicapa se debe considerar el nivel permeable más superficial, salvo que se traten de pequeños niveles colgados. Asimismo, si existiese alguna duda sobre la continuidad y/o la naturaleza de los niveles confinantes, se considerará al acuífero como libre. Profundidad del agua subterránea: La profundidad del agua subterránea se refiere al nivel freático en los acuíferos libres y al techo del acuífero en los acuíferos confinados. La vulnerabilidad a la contaminación será menor en aquellos acuíferos que tengan un nivel freático a mayor profundidad. En estos casos, el espesor de la zona no saturada será mayor y, por lo tanto, el tiempo de tránsito para un contaminante en alcanzar el agua subterránea será mayor también, lo que proporciona más posibilidad de atenuación de una cierta carga contaminante por degradación o retención natural.
- **Características litológicas:** El tiempo de tránsito de un contaminante para alcanzar la zona saturada no es sólo función del espesor de la zona no saturada sino también de las características de los materiales que contiene. Estas características de la zona no saturada y de las capas confinantes hacen referencia a: (1) el tipo de litología, considerando indirectamente porosidad efectiva, permeabilidad de la matriz y contenido de humedad o retención específica en la zona no saturada y (2) el grado de consolidación, teniendo en cuenta la probable presencia o ausencia de permeabilidad



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

secundaria por fisuras. En medios granulares, por ejemplo, el tamaño de los granos determina la permeabilidad del medio, así cuanto mayor sea la granulometría menor será la capacidad de atenuación de la zona no saturada o de las capas confinantes. Por el contrario, en medios con granos finos (suelos con contenidos de arcilla y limo) la permeabilidad es menor, haciendo que el recorrido de los contaminantes sea más tortuoso hacia el acuífero. En un medio fracturado, por su parte, la vulnerabilidad es función de la intensidad y densidad del fracturamiento. La información relativa a este factor deberá servir para describir la influencia del terreno en las condiciones de flujo de agua y transporte de contaminantes.

- **Topografía:** La topografía del terreno es un factor en la evaluación de la vulnerabilidad de los acuíferos dado que las pendientes o las variaciones de la superficie pueden permitir la evacuación de los contaminantes a través de la escorrentía o, al contrario, facilitar su infiltración. Igualmente, la topografía influye en el desarrollo de los suelos y, por lo tanto, en la atenuación de la contaminación. Por ejemplo, se establece que pendientes menores al 2% favorecen la infiltración y la evapotranspiración, dada la baja velocidad de la escorrentía. Por el contrario, pendientes mayores al 18% el agua lluvia escurre con facilidad y puede evacuar mayores cantidades de sustancias dispuestas sobre el terreno en forma disuelta o en suspensión.
- **Recarga neta:** La recarga neta se define como el volumen de agua por unidad de área que ingresa al acuífero durante un período de tiempo. El proceso de tránsito del agua hasta la recarga puede conllevar el arrastre de sustancias, convirtiéndose la recarga en un vehículo para la lixiviación y el transporte de contaminantes líquidos y sales. Entonces, cuanto mayor es el volumen de recarga, más fácilmente puede ser transportada la carga contaminante. Por tanto, un acuífero tendrá una alta vulnerabilidad a la contaminación si existe un volumen de recarga alto y la zona no saturada es de poco espesor. Esto, a excepción que el volumen de la recarga sea tan grande que el contaminante se diluya hasta concentraciones permisibles (Territorial, Septiembre de 2010).

Dentro de los métodos para evaluar la vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación tenemos son los siguientes:



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

- **DRASTIC:** Evalúa profundidad de la superficie freática, recarga neta, litología, suelo, topografía, impacto de la zona subsaturada y conductividad hidráulica.
- **GOD:** Tipo de acuífero, litología de la cobertura y profundidad del agua o acuífero.
- **SINTACS:** Profundidad del agua, infiltración, zona subsaturada, tipo de suelo, características del acuífero, conductividad hidráulica y topografía.
- **EPIK:** Características del epikarst, cobertura edáfica, infiltración y red kárstica.
- **EK_v:** Espesor de la selección subsaturada y permeabilidad vertical de la sección subsaturada.
- **ΔHT'**: Diferencia de potencia hidráulica (libre-semiconfinado) y transmisividad vertical del acuitado.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

5.1. Marco Legal

Tabla 2. Marco Legal

Titulo	Descripción
Decreto 2811 de 1974	<p>Se refiere a las medidas de protección necesarias para la garantizar la calidad de las fuentes de aguas subterráneas. El siguiente será el texto del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente:</p> <p>El ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, este Código tiene por objeto:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de estos y la máxima participación social, para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional.2. Prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos.3. Regular la conducta humana, individual o colectiva y la actividad de la administración pública, respecto del ambiente y de los recursos naturales



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

	<p>renovables y las relaciones que surgen del aprovechamiento y conservación de tales recursos y de ambiente.</p> <p>Artículo 8.- Se consideran factores que deterioran el ambiente entre otros:</p> <ul style="list-style-type: none">a) La contaminación del aire, de las aguas, del suelo y de los demás recursos naturales renovables.b) La degradación, la erosión y el revenimiento de suelos y tierrasc) Las alteraciones nocivas de la topografíad) Las alteraciones nocivas del flujo natural de las aguase) La sedimentación en los cursos y depósitos de aguaf) Los cambios nocivos del lecho de las aguas.g) La extinción o disminución cuantitativa o cualitativa de especies animales y vegetales o de recursos genéticos.h) La introducción y propagación de enfermedades y de plagas.i) La introducción, utilización y transporte de especies animales o vegetales dañinas o de productos de sustancias peligrosas.j) La alteración perjudicial o antiestética de paisajes naturales.
--	--



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

	<p>k) La disminución o extinción de fuentes naturales de energía primaria.</p> <p>l) La acumulación o disposición inadecuada de residuos, basuras, desechos y desperdicios.</p> <p>m) El ruido nocivo.</p> <p>n) El uso inadecuado de sustancias peligrosas.</p> <p>o) La eutricación, es decir, el crecimiento excesivo y anormal de la flora en lagos y lagunas.</p> <p>p) La concentración de población humana urbana o rural en condiciones habitacionales que atenten contra el bienestar y la salud.</p>
Ley 9 de 1979	ARTICULO 10. DE LOS ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS. Para definir la viabilidad del otorgamiento de las concesiones de aguas subterráneas, las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales realizarán los estudios hidrogeológicos, y adelantarán las acciones de protección de las correspondientes zonas de recarga. Los anteriores estudios serán realizados, con el apoyo técnico y científico del IDEAM e INGEOMINAS.
Acuerdo N° 042 de Corporación Autónoma Regional de Valle del Cauca.	Por el cual se adopta la reglamentación integral para la gestión de las aguas



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

	<p>subterráneas en el departamento del Valle del Cauca. Solicitud de exploración de aguas subterráneas que incluyen perforaciones de prueba con miras a su posterior aprovechamiento tanto en terrenos de propiedad privada como en baldíos, requiere el permiso de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Verificación de la viabilidad de la solicitud de acuerdo con los lineamientos del Plan de Ordenamiento Territorial y Plan de ordenamiento de la cuenca. Visita técnica. Contenido del permiso de exploración. Concepto técnico para la construcción de pozos. Construcción de pozos para la captación de aguas subterráneas. Usos y uso eficiente del agua subterránea. Concesiones de aguas subterráneas. Obligaciones de la CVC.</p>
<p>Resolución N° 444 de 17 de abril de 2008 de Corporación Autónoma Regional de Risaralda.</p>	<p>Por medio de la cual se reglamenta el parágrafo del artículo 15 del Decreto 1575 de 2007; en relación con las condiciones mínimas que deben cumplir los mapas de riesgo de la calidad del agua para consumo humano.</p>
<p>Resolución 1503 de 2010</p>	<p>Por la que se adopta la Metodología de Presentación de Estudios Ambientales, incluyendo por primera vez la estructura o Modelo de Almacenamiento de la Información Geográfica (Base de Datos</p>



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

	<p>Geográfica o GDB), como requerimiento de soporte de la información documental de los proyectos y trámites ambientales presentados ante la Autoridad Ambiental entre los que se incluyen los Estudios de Impacto Ambiental EIA, los Planes de Manejo Ambiental PMA entre otros.</p>
Resolución 1415 de 2012	<p>En la cual el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible actualizó y modificó el Modelo de Almacenamiento Geográfico (Base de Datos Geográfica o GDB) contenido en la Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales adoptada mediante la Resolución 1503 del 4 de agosto de 2010.</p>
Resolución 188 de 2013	<p>Por la que se adopta el Modelo de Almacenamiento Geográfico (Base de Datos Geográfica o GDB) para la entrega de la información geográfica de los Informes de Cumplimiento Ambiental ICA, con el objetivo de complementar y contrastar la Base de Datos Geográfica de Estudios Ambientales presentada por los usuarios mediante Resolución 1415 de 2012 (línea base), y la de permisos y licenciamiento (obligaciones y permisos otorgados), logrando así facilitar el seguimiento ambiental de los proyectos licenciados y el control y cumplimiento de las obligaciones contenidas en la Licencia Ambiental. A partir del 23 de diciembre de 2016 se</p>



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

	<p>formalizó el nuevo modelo de almacenamiento de datos geográficos mediante la Resolución 2182 de 2016, el cual cuenta con un periodo de transición de seis meses a partir de los cuales es obligatorio para todos los usuarios la entrega de la información geográfica en este modelo, tanto para la Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental EIA, Planes de Manejo Ambiental PMA e Informes de Cumplimiento Ambiental ICA, entre otros.</p>
Resolución 2182 de 2016	<p>Por medio de la cual se formalizó el nuevo modelo de almacenamiento de datos geográficos, esta cuenta con un periodo de transición de seis meses a partir de los cuales es obligatorio para todos los usuarios la entrega de la información geográfica en este modelo, tanto para la Evaluación de Estudios de Impacto Ambiental EIA, Planes de Manejo Ambiental PMA e Informes de Cumplimiento Ambiental ICA, entre otros.</p>

(Territorial, 2010)

(Corporacion Autonoma Regional, 2019)

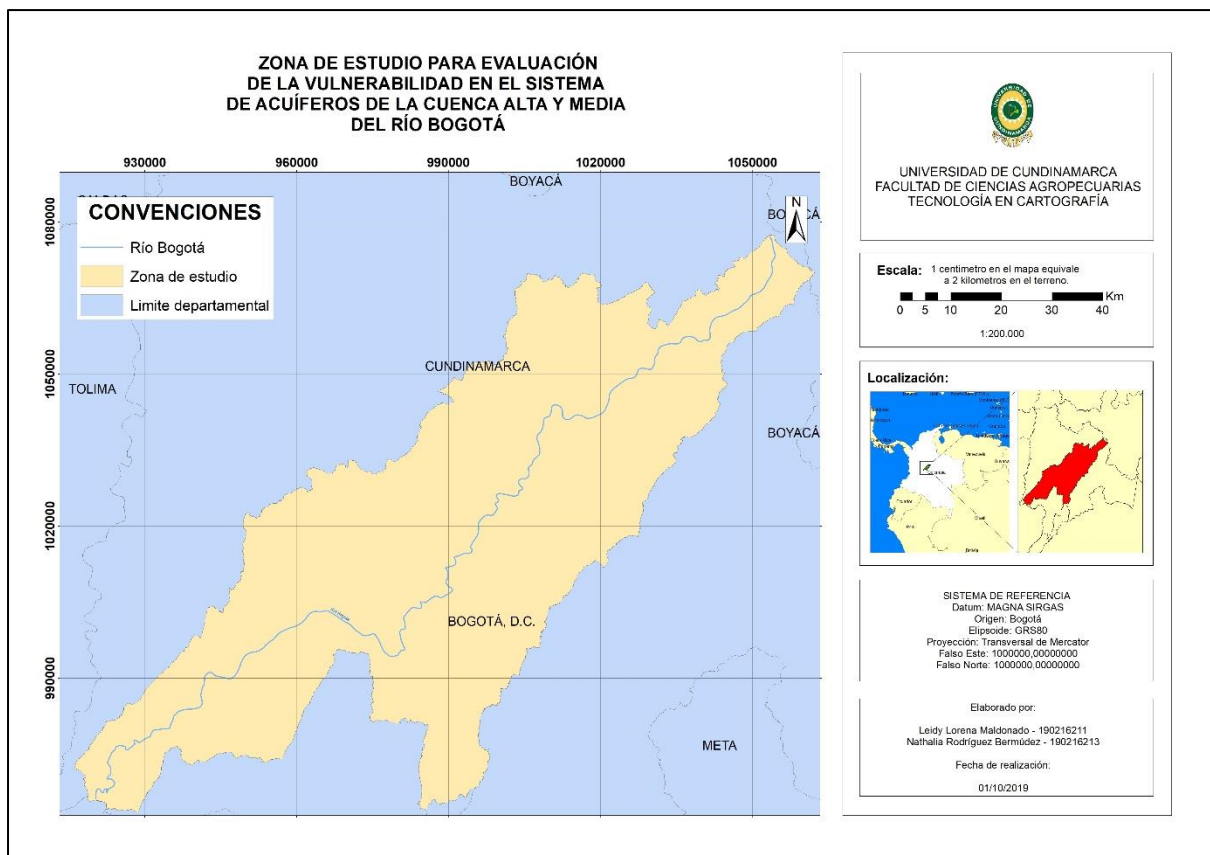


EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. Ubicación

El área del proyecto de evaluación en la vulnerabilidad en las cuencas alta y media del río Bogotá, se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca, en la latitud norte $4^{\circ} 17' 14''$ y longitud oeste de $74^{\circ} 47' 43''$, cuenta con una extensión aproximada de 380 km². El drenaje nace en el páramo de Guacheneque a 3300 m.s.n.m. y desemboca en el río Magdalena en el municipio de Girardot. El río Bogotá recorre los municipios y algunas localidades de la capital del departamento como: Villapinzón, Chocontá, Suesca, Sesquilé, Tominé, Gachancipá, Zipaquirá, Tocancipá, Cajicá, Chía, Cota, Suba, Engativá, Fontibón, Kennedy, Bosa, Funza, Mosquera y Soacha. Este drenaje lo alimentan otros ríos como lo son: el Tominé, Neusa, Frío, Teusacá, Tunjuelo, Apulo, etc.



Mapa 1. Ubicación zona de estudio



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

6. ESQUEMA METODOLÓGICO

Para llevar a cabo el proyecto se tendrá en cuenta el método GOD, aprobada por el ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, esta técnica paramétrica analiza variables espaciales como el grado de confinamiento, la zona no saturada y el nivel freático de los acuíferos, para ello se hace una búsqueda exhaustiva de información en entidades nacionales que posteriormente de acuerdo a una calificación de los parámetros establecidos en la metodología y según criterios de porosidad y el nivel de fracturamiento de capas geológicas y textura del suelo, que a través de superposición o de algebra de mapas es posible obtener como resultado una capa cartográfica para análisis y clasificación del grado de vulnerabilidad de los acuíferos presentes en esta cuenca.

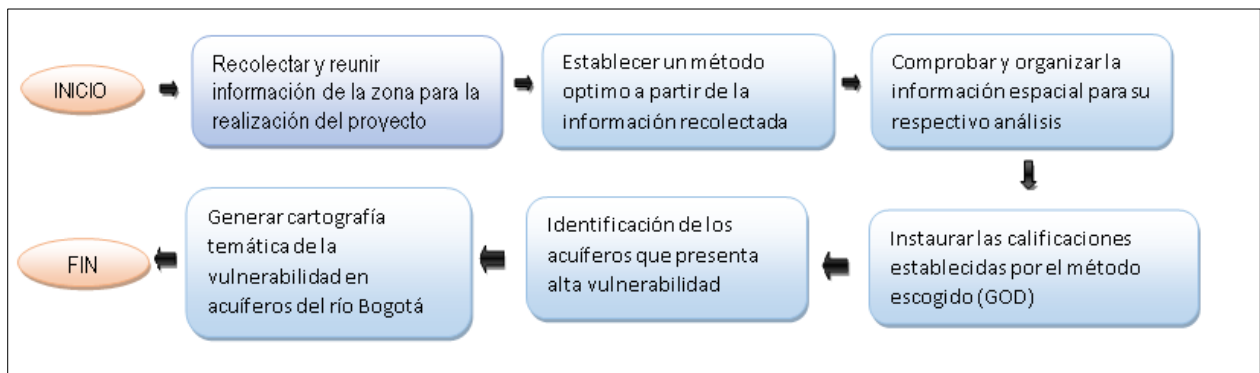


Figura 2. Esquema metodológico

Recolectar información de la zona

La búsqueda de información se realizó en la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, con las capas geográficas de la Geodatabase¹ del POMCA de la cuenca del río Bogotá, de donde se obtuvieron 5443 puntos de la ubicación y descripción de puntos de agua subterránea existentes en la cuenca media y alta del río Bogotá, asimismo en la plataforma de la Corporación Autónoma Regional (CAR) se halló una base de datos con información de la medida de la profundidad del agua subterránea de 303 puntos.

Establecer método óptimo a partir de la información

¹ Geodatabase. Es un formato de almacenamiento de datos geográficos nativo de ArcGIS de la casa de software ESRI.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

Para determinar el mapeo de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación y de acuerdo con la información disponible, se seleccionó el método GOD, propuesto por Foster (FOSTER, 1991), que corresponde a un método de índice y superposición, este contempla el tipo de acuífero respecto a su comportamiento hidráulico y grado de consolidación. Esta metodología sugiere la evaluación según, el grado de inaccesibilidad de los contaminantes al acuífero y el grado de atenuación de la contaminación, retención o reacción fisicoquímica. Considera los siguientes parámetros de evaluación:

GRADO DE CONFINAMIENTO HIDRÁULICO

(TIPO DE ACUÍFERO)

Condición de confinamiento del acuífero

Tabla 3. Ponderación para tipo de acuífero

Acuífero	Ponderación_G
Ninguno	0
Surgente	0
Confinado	0,2
Semi confinado	0,4
No confinado (cubierto)	0,6
No confinado	1,0

OCURRENCIA DEL SUSTRATO SUPRAYACENTE

(características litológicas y grado de consolidación de la zona no saturada o capas confinantes)

Tabla 4. Ponderación características litológicas.

Características del suelo	Ponderación_O
Arcillas, lacustres y de estuarios. Suelos residuales.	0,4
Limos aluviales, loess, till glaciario. Arcillas lutitas.	0,5
Arenas eólicas.	0,6



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

Limolitas tobas volcánicas. Formaciones ígneas/metamórficas/volcánicas antiguas.	
Arenas aluviales y fluvio glaciares. Areniscas.	0,7
Gravas coluviales. Lavas volcánicas recientes.	0,8
Calizas blancas calcarenitas.	0,9
Caliche/calizas karstificadas.	1,0

DISTANCIA AL NIVEL DEL AGUA SUBTERRÁNEA (no confinados) O AL TECHO DEL ACUÍFERO (confinados).

Tabla 5. Ponderación nivel freático.

Nivel freático	Ponderación_D
>50 m	0,6
20 – 50 m	0,7
5 – 20 m	0,8
< 5 m	0,9
Cualquier profundidad	1,0

VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO

Tabla 6. Nivel de vulnerabilidad según valor de las ponderaciones

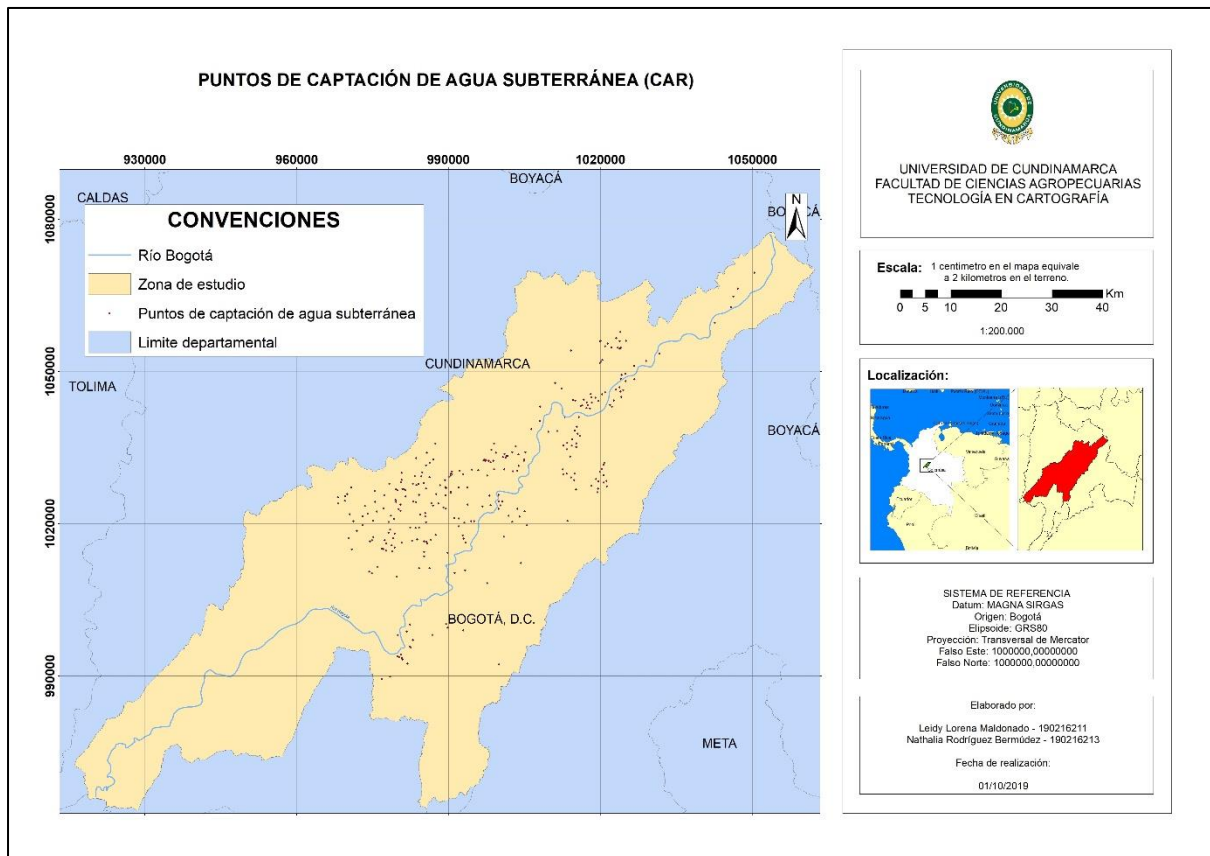
Valor	Nivel
0 – 0,1	Despreciable
0,1 – 0,3	Baja
0,3 – 0,5	Media
0,5 – 0,7	Alta
0,7 – 1,0	Extrema



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

Comprobar y organizar la información para su respectivo análisis

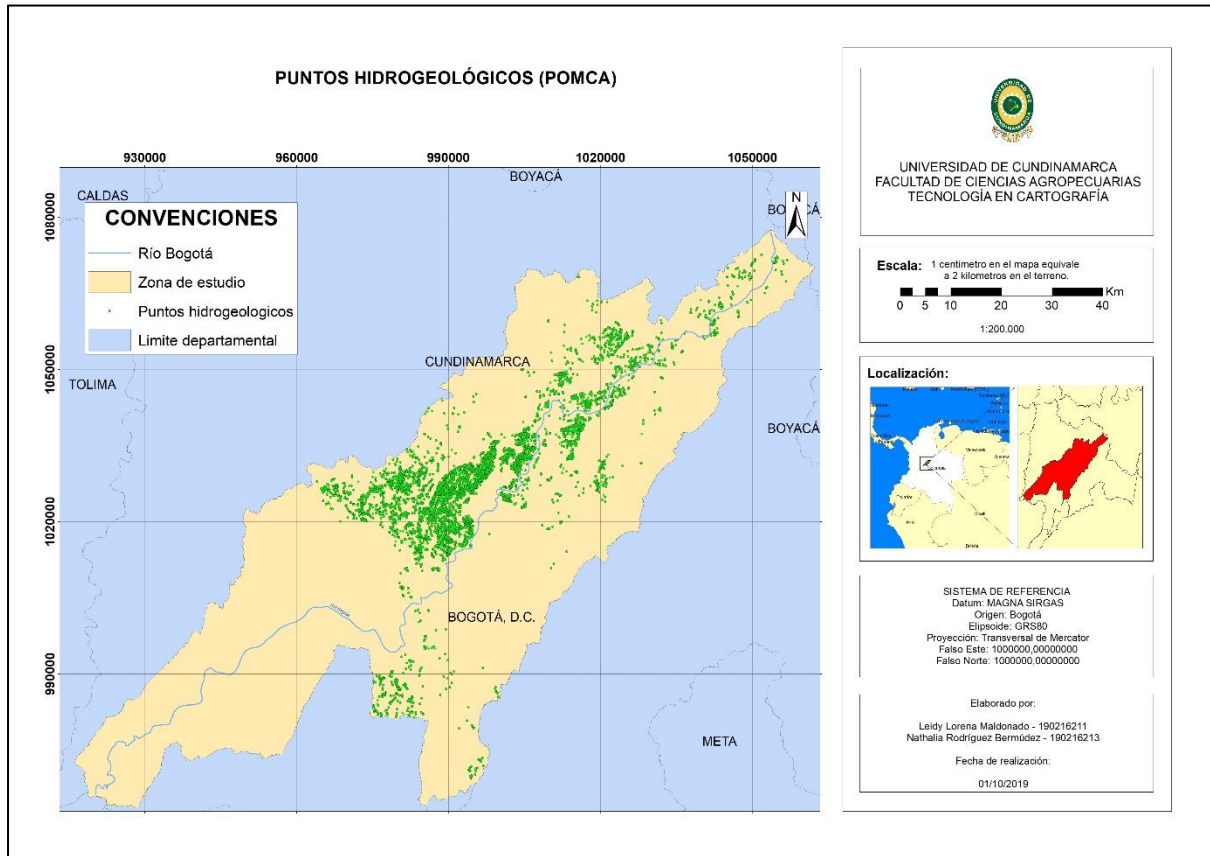
La información de los puntos de captación de agua subterránea recolectada en la CAR con la medida o distancia desde la superficie al nivel de profundidad del agua, se valida al contrastarla con la misma capa de punto hidrogeológico de la geodatabase del POMCA del río Bogotá, junto con su localización geográfica y demás atributos para la identificación, esto con ayuda de la herramienta Attribute Tranfer Tools de ARC GIS.



Mapa 2. Insumo puntos de captación de agua.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

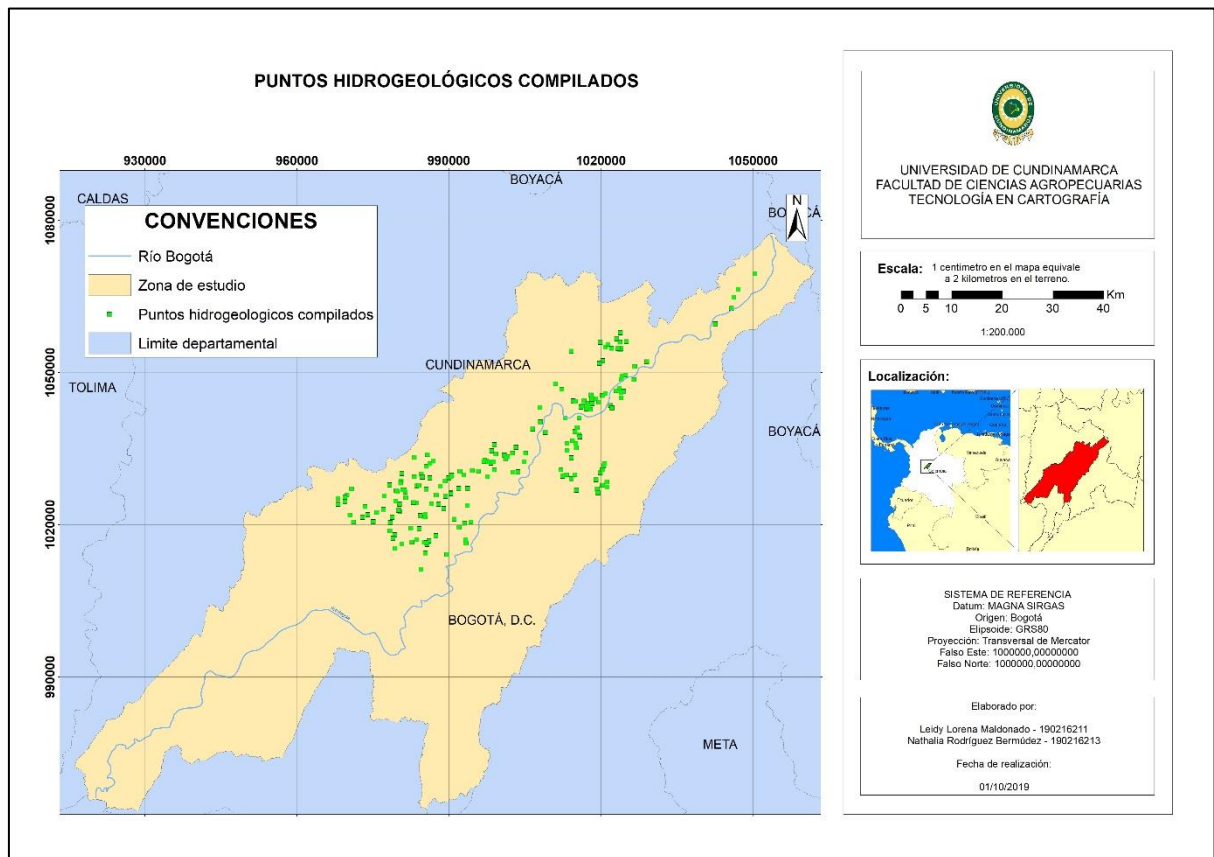


Mapa 3. Puntos de captación de agua subterránea POMCA Río Bogotá.

Una vez realizada la transferencia de atributos y realizar la respectiva compilación de información, se obtuvieron como resultado aproximadamente 200 puntos, con los cuales fue posible realizar una interpolación de información para la obtención del insumo o parámetro D de la metodología GOD para la evaluación del grado de vulnerabilidad, esta interpolación se llevó a cabo en el software Surfer de la casa de software Golden software de Colorado EE. UU., el cual es una herramienta óptima para obtener interpolaciones adecuadas para este tipo de variables en el espacio geográfico.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ



Mapa 4. Shape final, Puntos hidrogeológicos compilados.

Instaurar calificaciones establecidas por el método GOD

Con esta información se da inicio a la evaluación de la vulnerabilidad por el método GOD, por parámetros, así:

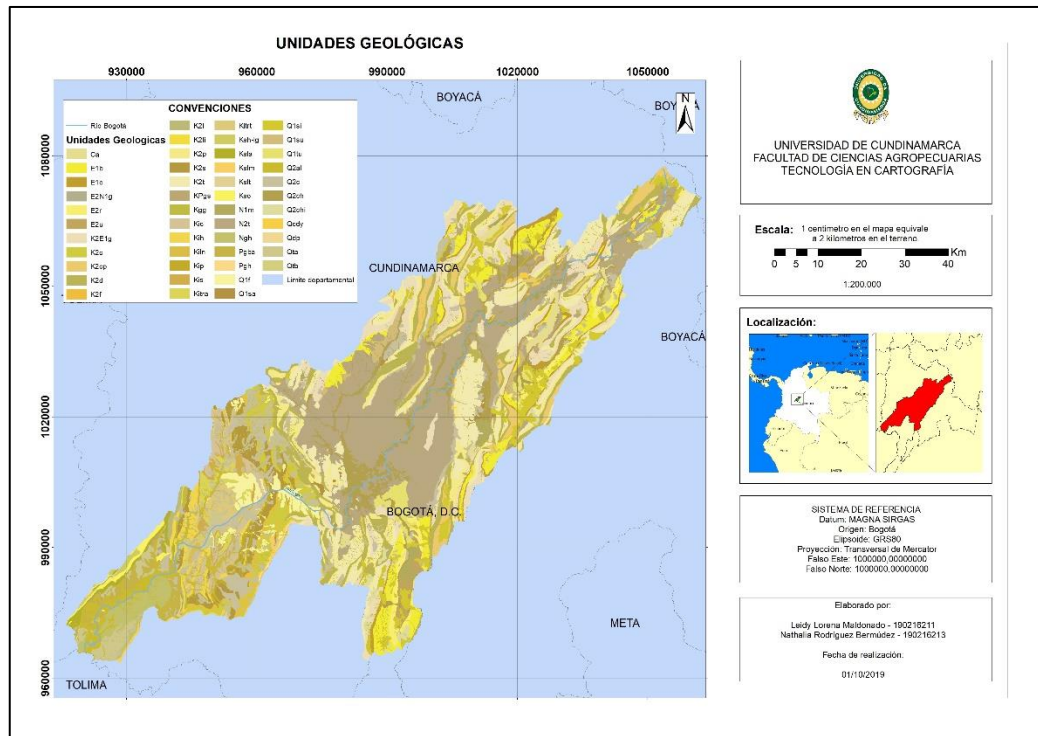
Asignación de ponderación al parámetro G. Para la valoración de este parámetro se tomó información de la geología del lugar tomada de la Geodatabase del POMCA del río Bogotá y a través de las distintas unidades geológicas se dió una calificación al comportamiento hidráulico que estas tienen dependiendo del origen y el material que contienen de la cuales se dio la siguiente calificación de acuerdo con la tabla 3 de la metodología GOD:

- Surgente: *Kih, Kic, K2c, K2s, K2cp.* = (0);
- Confinado: *KPgs, Kgg, Q1sa, K2li, Ksh-lg, K2l, Qcdy, Kip, E2u, Q2chi, Kso, Kitrt, Kitra, Q1tu, Q1si, E1b, K2E1g.* = (0,2);
- Semiconfinado: *Ksla, Pgh, E2N1g, Q1su, Pgba, E2r, Ngh, E1c, K2p, Q2ch* = (0,4).

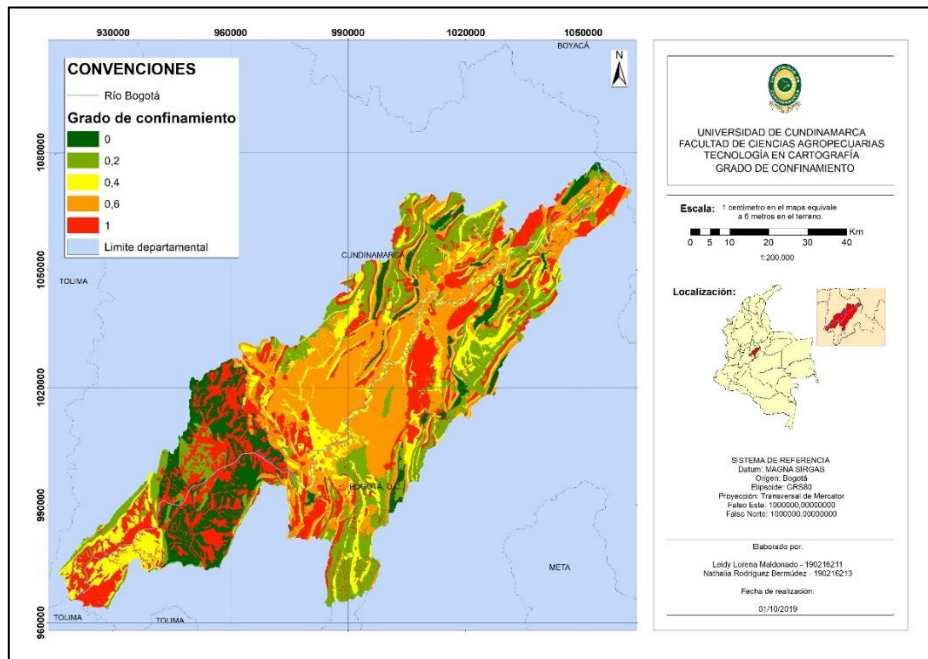


EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

- No confinado (cubierto): $N1m, K2d, N2t. = (0,6)$;
- No confinado: $Qta, Qdp, Qtb, Kslt, Q1f, Q2al, Q2c, K2t. = (1)$;



Mapa 5. Insumo Unidades Geológicas.



Mapa 6. Insumo Grado de confinamiento.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

Asignación de ponderación O. Para la valoración de ese parámetro se empleó la información de la Geodatabase obtenida en el POMCA del Río Bogotá, en Suelos y el atributo Granulometría, donde se encontraron unidades de suelo con texturas de arcillas orgánicas, arenas gravas y bloques en matriz arcillosa, gravas, arenas, gravas, cantos, lodos y limos.

Se realizó una selección por atributos y se asignaron las ponderaciones correspondientes de acuerdo con la Tabla 4 de la metodología GOD, mediante las siguientes sentencias:

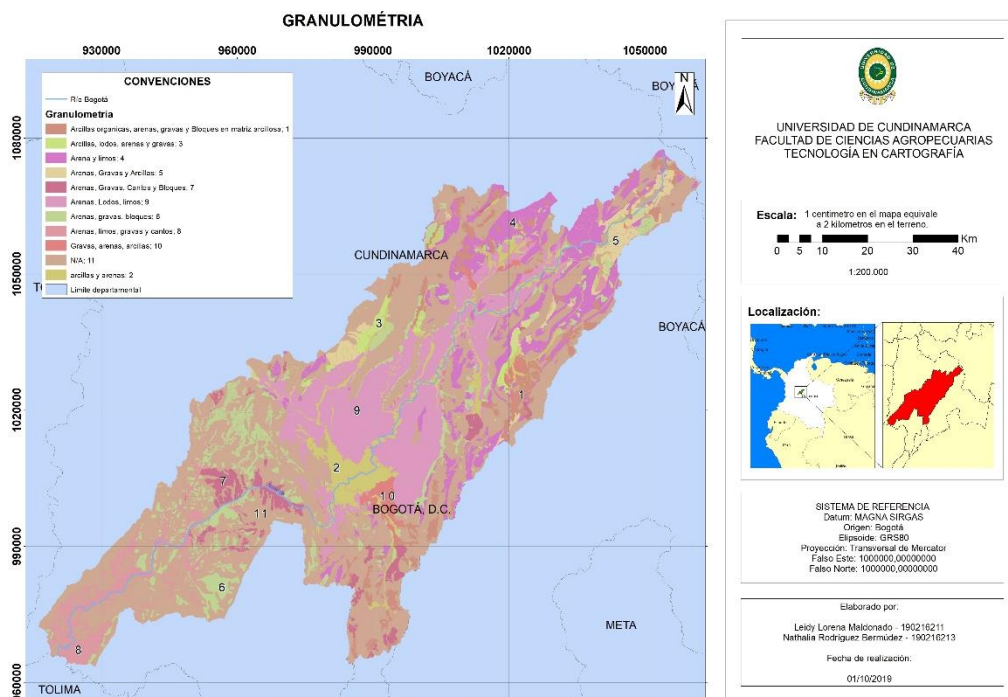
GRANULOM= N/A = 0;

GRANULOM = Arcillas orgánicas, arenas, gravas y bloques en matriz arcillosa OR GRANULOM= Arenas, Gravas y Arcillas OR GRANULOM= Arenas, limos, gravas y cantos = 0,5;

GRANULOM= Arcillas, lodos, arenas y gravas OR GRANULOM= Arena y limos OR GRANULOM= Arenas, Lodos, limos = 0,6;

GRANULOM = Arcillas y arenas OR GRANULOM= Arenas, gravas, bloques OR GRANULOM= Arenas, Gravas, Cantos y Bloques = 0,7;

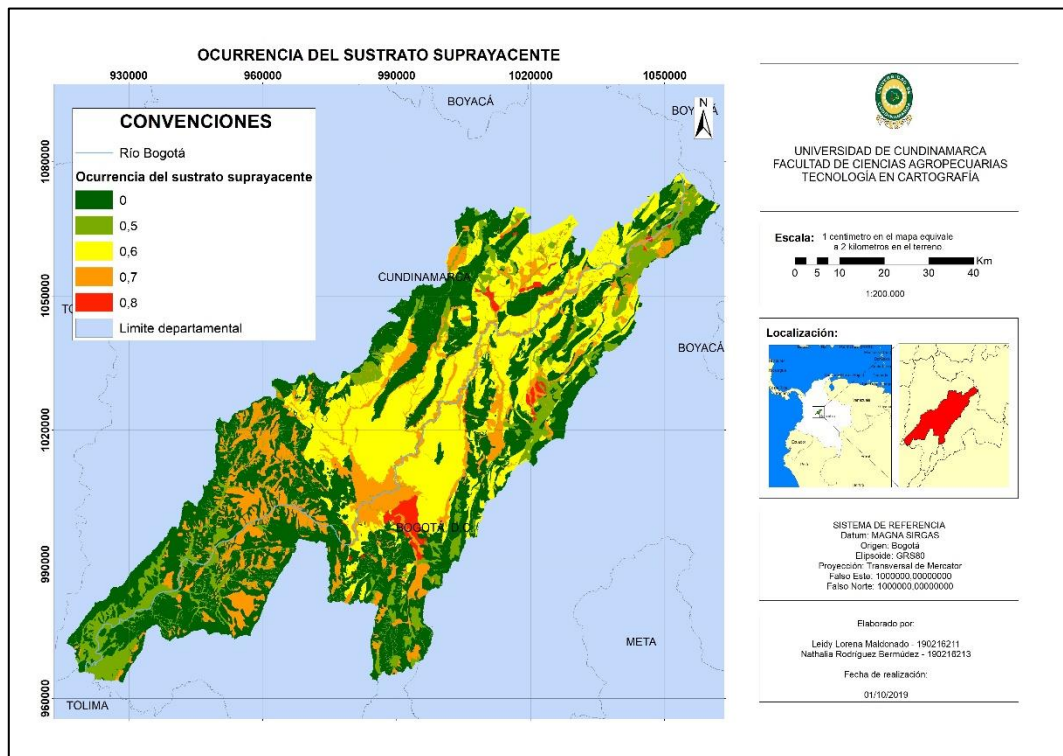
GRANULOM= Gravas, arenas, arcillas = 0,8;



Mapa 7. Insumo Granulometría.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ



Mapa 8. Insumo Ocurrencia del sustrato suprayacente.

Asignación de ponderación al parámetro D. Para la valoración de este parámetro se empleó la información recopilada en el inventario de puntos de agua subterránea, interpolando el valor de la profundidad del agua subterránea de aproximadamente 200 puntos, cuya variación está entre 0,9 y 105 metros.

Una vez obtenida la capa como resultado de la interpolación del nivel del agua subterránea se realizó una consulta de selección por atributos para asignar las ponderaciones correspondientes de acuerdo con la Tabla 5 de la metodología GOD, mediante las siguientes sentencias:

$\text{Nivel_Estat} \leq 105 \text{ AND Nivel_Estat} > 50 = 0,6$

$\text{Nivel_Estat} \leq 50 \text{ AND Nivel_Estat} > 20 = 0,7$

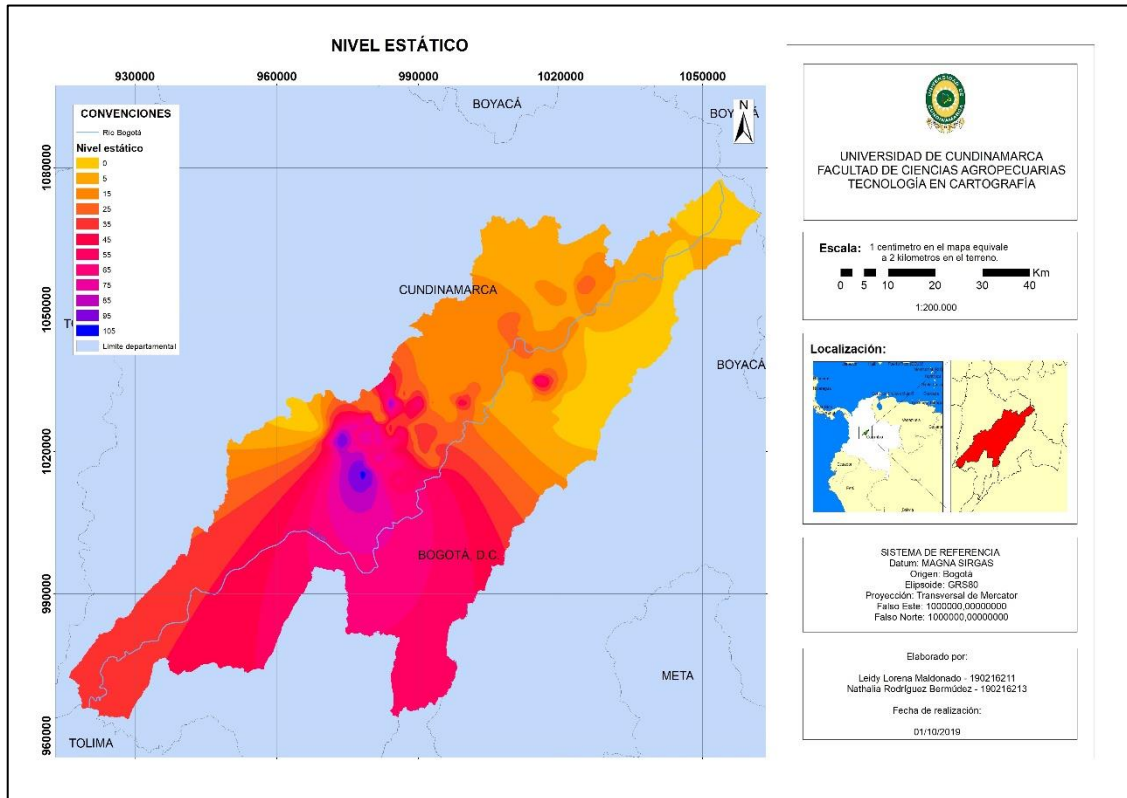
$\text{Nivel_Estat} \leq 20 \text{ AND Nivel_Estat} > 5 = 0,8$

$\text{Nivel_Estat} \leq 5 \text{ AND Nivel_Estat} > 0 = 0,9$

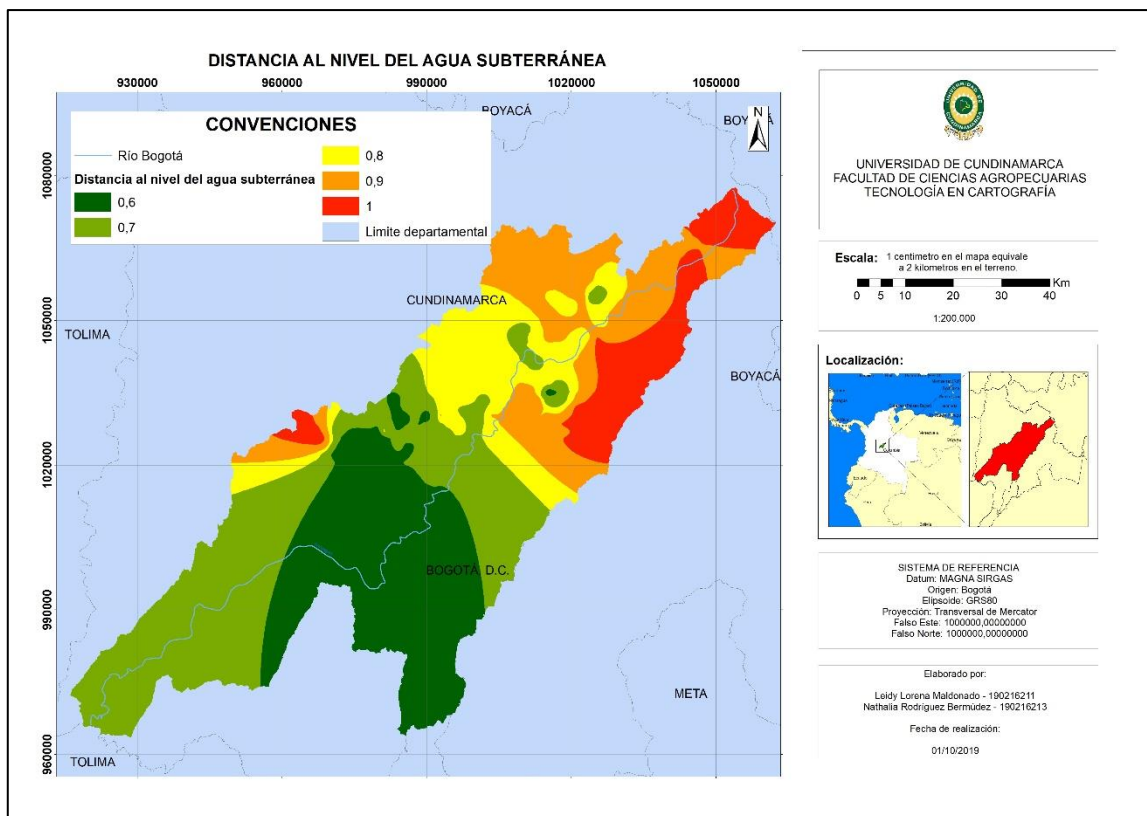
$\text{Nivel_Estat} = 0 = 1,0$



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ



Mapa 9. Insumo Nivel estático.



Mapa 10. Insumo Distancia al nivel del agua subterránea.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

Posteriormente y según la metodología GOD, se procede a intersecar los 3 parámetros o capas previamente calificados y multiplicarlos entre sí en un nuevo campo llamado VULNERA, para obtener una estimación numérica del grado de vulnerabilidad de los acuíferos, así:

$POND_G * POND_O * POND_D =$ Estimación numérica del grado de vulnerabilidad

Identificar acuíferos que presentan mayor vulnerabilidad

Para asignar las categorías de vulnerabilidad de extremo, alto, medio, bajo y despreciable, se hizo una selección por atributos de acuerdo con la Tabla 6, donde se realizaron las siguientes sentencias:

$VULNERA \geq 0$ OR $VUNERA < 0,1$ = Despreciable

$VULNERA \geq 0,1$ OR $VULNERA < 0,3$ = Baja

$VULNERA \geq 0,3$ OR $VUNERA < 0,5$ = Media

$VULNERA \geq 0,5$ OR $VULNERA < 0,7$ = Alta

$VULNERA \geq 0,7$ OR $VUNERA < 1$ = Extrema



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

7. RESULTADOS

Se espera obtener tres productos a partir de los procesos realizados, los cuales son:

7.1. Producto 1: Tabla de ponderaciones con el grado de vulnerabilidad a la contaminación del sistema de acuíferos de la cuenca alta y media del río Bogotá.

7.1.1. Ponderación grado de confinamiento hidráulico

Tabla 7. Ponderaciones grado de confinamiento

Nomenclatura	Grado de confinamiento	Ponderación_G	Área (km²)	Área (%)
Kiln, K2f, Kis, Ca, Kih, Kic, K2c, K2s, K2cp.	Surgente	0	669,999161	11,36%
KPgs, Kgg, Q1sa, K2li, Ksh-1g, K2l, Qcdy, Kip, E2u, Q2chi, Kso, Kitrt, Kitra, Q1tu, Q1si, E1b, K2E1g.	Confinado	0,2	1203,632602	20,41%
Ksla, Pgh, E2N1g, Q1su, Pgba, E2r, Ngh, E1c, K2p, Q2ch.	Semiconfinado	0,4	988,570792	16,77%
N1m, K2d, N2t.	No confinado (cubierto)	0,6	1529,962864	25,95%
Qta, Qdp, Qtb, Kslt, Q1f, Q2al, Q2c, K2t.	No confinado	1	1502,389902	25,48%
		Total	5894,555323	100%



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

7.1.2. Ponderación ocurrencia del sustrato suprayacente

Tabla 8. Ponderaciones ocurrencia del sustrato suprayacente

Características Litológicas	Ponderación_O	Área (km²)	Área (%)
Lavas volcánicas recientes, gravas coluviales.	0,8	83,512512	1,4%
Arenas aluviales y fluvio-glaciares.	0,7	951,088555	16,13%
Arenas eólicas, Formaciones ígneas, metamórficas, volcánicas antiguas.	0,6	1574,923333	26,71%
Arcillas lutitas, Limos aluviales.	0,5	747,494341	12,68%
Arcillas aluviales y fluvio-glaciares, Suelos residuales.	0	2537,536579	43,04%
	Total	5894,555323	100%

7.1.3. Ponderación distancia al nivel del agua subterránea (no confinados) o al techo del acuífero (confinados).

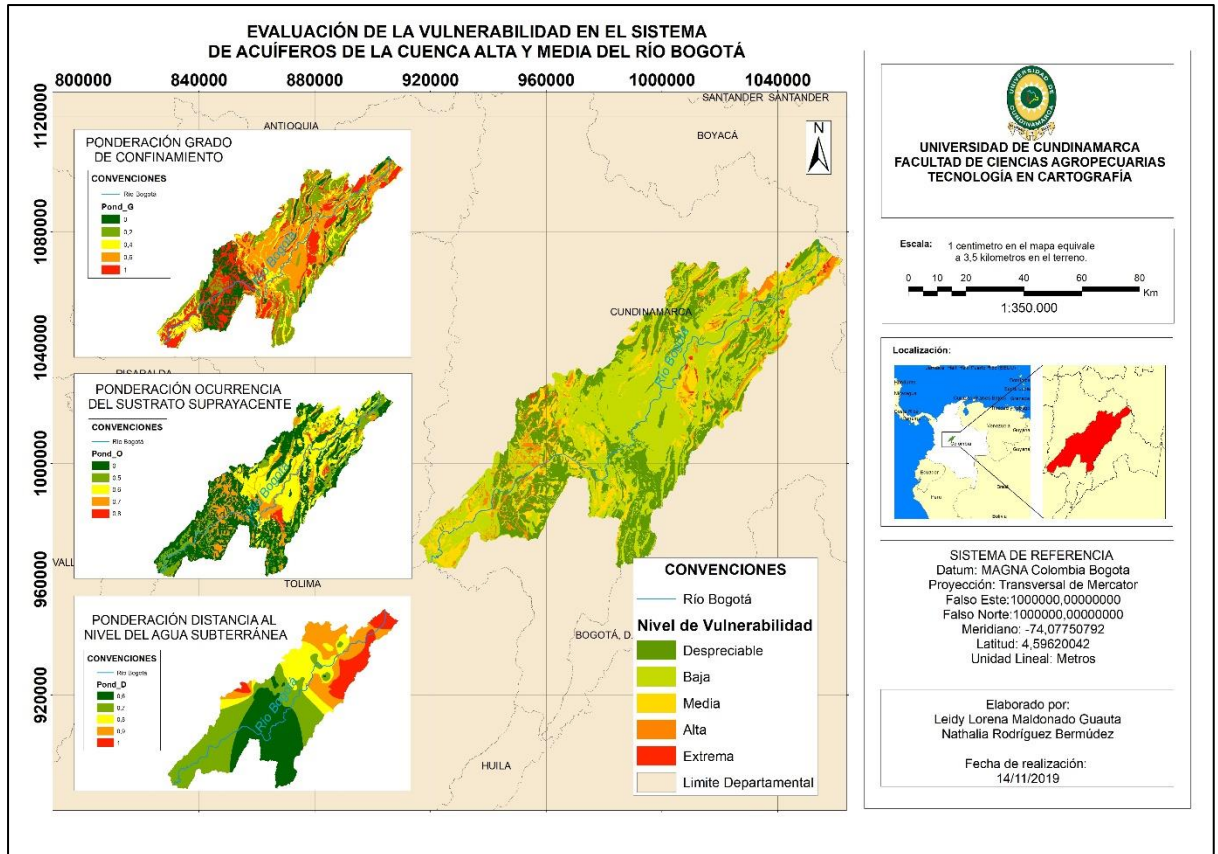
Tabla 9. Ponderaciones profundidad del nivel del agua subterránea

Nivel Estático	Ponderación_D	Área (km²)	Área (%)
105 – 95 – 85 – 75 – 65 - 55	0,6	1604,769254	27,22%
45 – 35 - 25	0,7	1889,943855	32,06%
15	0,8	853,337267	14,47%
5	0,9	953,969522	16,18%
0	1	592,535423	10,05%
	Total	5894,555323	100%



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

- **Producto 2:** Representación en un mapa de vulnerabilidad a la contaminación del sistema de acuíferos.



Mapa 11. Evaluación de la vulnerabilidad.

Tabla 10. Área de nivel de vulnerabilidad.

Grado de Vulnerabilidad	Área (km ²)	Área (%)
Extrema	42,971705	0,72%
Alta	323,356639	5,48%
Media	1090,204859	18,49%
Baja	2811,571319	47,69%
Despreciable	1626,450797	27,59%
Total	5894,555319	100



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

- La zona con grado de vulnerabilidad extrema se encuentra en el 0,72%, asociada a un acuífero compuesto por rocas sedimentarias tipo areniscas y conglomerados y gravas en matriz arcillosa y en los acuíferos de los Depósitos Aluviales, conformados por lodos arenosos y arenas gravosas, también gravas coluviales. Estas unidades conforman acuíferos de tipo no confinado, con nivel estático del agua subterránea en general menor a 2 m.
- La zona con grado de vulnerabilidad alta ocupa el 5,48%, se presenta en el acuífero conformado por cenizas volcánicas sobre detritos glaciario, que abarcan formaciones ígneas, metamórficas. Constituye un acuífero de tipo no confinado, con nivel estático menor a 2 metros; son vulnerables a muchos contaminantes, excepto a los absorbibles y/o fácilmente transformables.
- La zona con grado de vulnerabilidad media ocupa el 18,49%, se presenta en acuíferos conformados por depósitos detríticos glaciario y rocas sedimentarias, limos aluviales que constituyen un acuífero de tipo no confinado, donde el nivel de la tabla de agua se encuentra entre 2 y 5 m. Son vulnerables a largo plazo a contaminantes persistentes.
- La zona con grado de vulnerabilidad baja ocupa el 47,69% de la zona, se presenta en acuíferos conformados por cenizas volcánicas con sustrato de rocas sedimentarias, arcillas, lacustres y estuarios, el nivel estático se encuentra en 0, lo que quiere decir que es de tipo no confinado.
- La zona con grado de vulnerabilidad despreciable ocupa el 27,59%, que corresponde a acuíferos conformados por depósitos detríticos medios y finos de origen fluvial y limos aluviales, un nivel estático de 15 metros, de tipo confinado.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

- **Producto 3:** Registro del resultado de la vulnerabilidad de acuíferos en la geodatabase del modelo de almacenamiento geográfico de la ANLA (Res. 2182 de 2016). Este ítem se llevó a cabo al copiar y pegar el resultado del grado de vulnerabilidad en el feature class (VulneraAcuiferos) dispuesto en el feature dataset (T_16_HIDROGEOLOGIA) (ver figura 3.) haciendo coincidir el nombre de los campos para heredar los atributos obtenidos en el proceso.

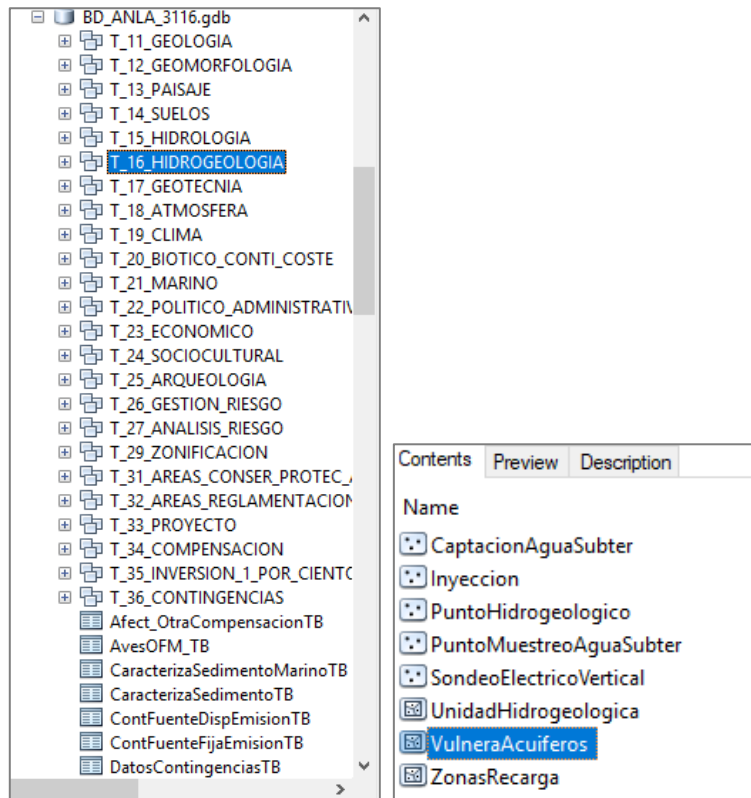


Figura 3. Registro de la capa de VULNERABILIDAD en la GDB de la ANLA.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

8. CONCLUSIONES

- El uso de herramientas SIG permite generar información nueva a partir de la unión y recopilación de datos ya existentes y así mismo suministrar insumos para proyectos posteriores.
- La técnica GOD es un método óptimo para evaluar casos de vulnerabilidad en acuíferos de áreas con poca información disponible y así generar una buena aproximación que permita la toma de decisiones respecto a los proyectos presentados para tramitar licencias ante la ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales).
- Al cuantificar y cualificar correctamente la vulnerabilidad de los acuíferos de la cuenca alta y media del río Bogotá, es posible visualizar las zonas críticas y así identificar acciones para el correcto uso y manejo adecuado de los recursos y acuíferos existentes en la cuenca.
- Las zonas con vulnerabilidad extrema se encuentran en el origen de la cuenca alta, en el municipio de Villapinzón, debido a las actividades económicas que se desarrollan en esa zona.
- La menor vulnerabilidad se encuentra en Mosquera, Funza, Cota y Tenjo, municipios aledaños a Bogotá.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

9. RECOMENDACIONES

1. La evaluación de vulnerabilidad en el sistema de acuíferos de la cuenca del río Bogotá da información pertinente para la toma de decisiones para el buen manejo y cuidado de la red de aguas subterráneas de este río.
2. Debido a la escasez del recurso hídrico potable se debe dar prioridad a la protección en los acuíferos de la contaminación de distinto tipo.
3. Es conveniente que exista una autoridad encargada al monitoreo y desarrollo de la cuenca para controlar y proteger los acuíferos que se encuentra en la cuenca del río Bogotá.



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RÍO BOGOTÁ

10. Bibliografía

- Ambiente, S. D. (s.f.). *Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.* Obtenido de <http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/pomca>
- Corporacion Autonoma Regional. (4 de 09 de 2019). *Corporacion Autonoma Regional*. Obtenido de https://www.car.gov.co/rio_bogota/vercontenido/5
- Cundinamarca, C. A. (2019). *POMCA Cuenca del Río Bogotá*. Obtenido de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac24aeabc81c.pdf>
- (s.f.). *El agua subterránea y actividad ganadera* .
- FOSTER, S. e. (1991). *Determinación de los Riesgos de Contaminación de las Aguas Subterráneas. Una metodolgia basada en datos existentes*. CEPIS-OPS.
- Ministerio de Medio Ambiente. (4 de 09 de 2019). *Ministerio de Medio Ambiente*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico>
- Territorial, M. d. (2010). *PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRINSECA DE LOS ACUÍFEROS A LA CONTAMINACIÓN*. Bogotá.