



SYSCOL CONSULTORES S.A.S
Servicios Locales, Soluciones Globales.

SUB CAPITULO 1.7.

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA
DE LOS ACUIFEROS A LA CONTAMINACIÓN.**

CONTENIDO

1.	OBJETIVOS.....	4
1.1.	OBJETIVO GENERAL	4
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
2.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
3.	METODOLOGIA.....	6
3.2.	RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	9
3.3.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	9
3.4.	PARAMETRIZACION - Método DRASTIC	26
3.4.1.	Profundidad del Nivel Estático (D)	32
	Recarga Neta (R).....	34
3.4.2.	Litología y estructura del medio acuífero (A).....	35
3.4.3.	Tipo de suelo (S)	37
3.4.4.	Topografía (T).....	38
3.4.5.	Naturaleza de la zona no saturada (I).....	39
3.4.6.	Conductividad hidráulica del acuífero (C)	41
3.4.7.	Vulnerabilidad intrínseca del acuífero – DRASTIC.....	42
3.5.	PARAMETRIZACION - Método GOD.....	43
3.5.1.	Grado de confinamiento Hidráulico.....	46
3.5.2.	Ocurrencia del sustrato.....	47
3.5.3.	Distancia al nivel del agua subterránea	49
3.5.4.	Vulnerabilidad intrínseca del acuífero – GOD	51
3.6.	MAPA DE VULNERABILIDAD	53
4.	CONCLUSIONES	56
	BIBLIOGRAFÍA	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estratigrafía del área de estudio	9
Tabla 2. Rango de valores de resistividad de las unidades litoestratigráficas existentes en el área de estudio.....	13
Tabla 3. Nivel freático y piezométrico	18
Tabla 4. Precipitación media mensual multianual en el área de estudio.	19
Tabla 5. Clasificación Variable "D".....	28
Tabla 6. Clasificación Variable "R".....	28
Tabla 7. Clasificación Variable "A".....	29
Tabla 8. Clasificación Variable "S".....	29
Tabla 9. Clasificación Variable "T".....	30
Tabla 10. Clasificación Variable "I".....	30
Tabla 11. Clasificación Variable "C".....	31
Tabla 12. Factor De Ponderación Del Método Drastic	31
Tabla 13. Grados De Vulnerabilidad – D R A S T I C.....	31
Tabla 14. Nivel de agua de los puntos de agua subterránea ubicados en los Depósitos Aluviales y Terraza Alta.....	32
Tabla 15. Recarga mm/año	35
Tabla 16. Formación geológica que constituye el acuífero (A).....	36
Tabla 17. Tipo de suelo en el área de estudio.	37
Tabla 18. Naturaleza de la zona no saturada	39
Tabla 19. Conductividad hidráulica	42
Tabla 20. Categorías de vulnerabilidad para el método GOD	45
Tabla 21. Grado de confinamiento hidráulico.....	46
Tabla 22. Ocurrencia del sustrato	47
Tabla 23. Distancia al nivel del agua subterránea.....	49

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Localización geográfica del área de estudio.	5
Imagen 2. Estructura metodológica	8
Imagen 3. Mapa Geológico escal 1:25.000 del área de estudio.....	11
Imagen 4. Distribución de los Sondeos Eléctricos Verticales.....	12
Imagen 5. Perfiles de iso-resistividad	13
Imagen 6. Distribución actual de puntos de agua subterránea	17
Imagen 7. Mapa de la precipitación total anual en el área de estudio.....	21
Imagen 8. Mapa de la distribución de la temperatura mínima media anual en el área de estudio.	22
Imagen 9. Mapa de evapotranspiración potencial total anual en el área de estudio.	24
Imagen 10. Zonificación climática CALDAS - LANG del área de estudio.	25

Imagen 11. Variables de evaluación del método DRASTIC.....	26
Imagen 12. Diagrama elaboración método mapas DRASTIC	27
Imagen 13. Profundidad del nivel de agua (D).....	34
Imagen 14. Recarga Neta (R).....	35
Imagen 15. Formación geológica que constituye el acuífero (A).....	36
Imagen 16. Cubierta edáfica bajo la superficie del terreno (S)	37
Imagen 17. Pendientes (T)	38
Imagen 18. Interpretación de los perfiles de isoresistividad. Evaluación geológica	39
Imagen 19. Material geológico de la zona no saturada (I)	40
Imagen 20. Sev 54.	41
Imagen 21. Conductividad hidráulica del acuífero (C).....	42
Imagen 22. Grado de vulnerabilidad DRASTIC	43
Imagen 23. Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca	44
Imagen 24. Diagrama elaboración método mapas DRASTIC	45
Imagen 25. Grado de confinamiento hidráulico.....	47
Imagen 26. Ocurrencia del sustrato.	49
Imagen 27. Distancia al nivel del agua subterránea	51
Imagen 28. Grado de vulnerabilidad GOD.....	52

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Precipitación media mensual multianual en el área de estudio.	20
--	----

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de profundidad del nivel estático (D)
Anexo 2. Mapa de recarga neta (R)
Anexo 3. Mapa de litología y estructura del medio acuífero (A)
Anexo 4. Mapa de tipo de suelo (S)
Anexo 5. Mapa de Topografía (T)
Anexo 6. Mapa de Naturaleza de la zona no saturada (I)
Anexo 7. Mapa de la conductividad hidráulica (C)
Anexo 8. Mapa de Vulnerabilidad intrínseca del acuífero DRASTIC
Anexo 9. Mapa grado de confinamiento hidráulico (G)
Anexo 10. Mapa litología de la zona no saturada (O)
Anexo 11. Mapa profundidad del agua subterránea o el techo del acuífero (D)
Anexo 12. Mapa de Vulnerabilidad intrínseca del acuífero GOD
Anexo 13. Mapa de Vulnerabilidad intrínseca del acuífero DRASTIC – GOD
Anexo 14. Geo Data Base GDB. (Digital Ver CD)

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el grado de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos presentes en las unidades litoestratigráficas de interés hidrogeológico, mediante las metodologías DRESTIC y GOD, lo anterior en el marco del proyecto para el desarrollo de las fases de aprestamiento y primera fase de diagnóstico del sistema de acuíferos en el municipio de Guasca, jurisdicción de Corpoguayao.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

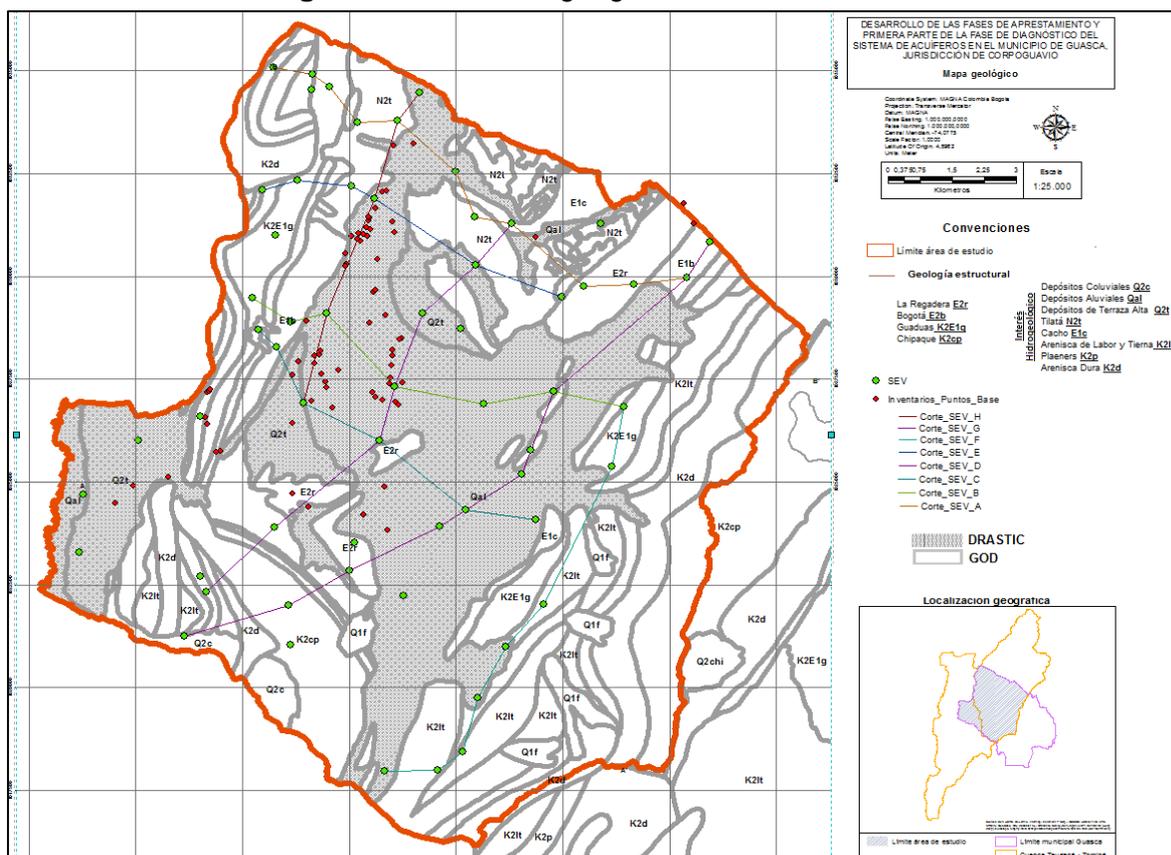
- Recopilar información detallada sobre el área de estudio.
- Caracterizar las principales condiciones físicas del área de estudio.
- Valorar los parámetros definidos por la metodología DRASTIC para la estimación de vulnerabilidad intrínseca en los Depósitos Aluviales y Depósitos de Terraza Alta
- Valorar los parámetros definidos por la metodología GOD para la estimación de vulnerabilidad intrínseca en los Depósitos coluviales, Depósitos Fluvioglaciares, Formación Regadera, Formación Cacho, Formación Tiltatá y Grupo Guadalupe.
- Integrar los parámetros valorados en un Sistema de Información Geográfica para la estimación del índice de vulnerabilidad intrínseca del acuífero de interés.
- Establecer y analizar el grado de vulnerabilidad del acuífero de interés presente en el área de estudio.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio, comprende la superficie interceptada por los límites del municipio de Guasca y la cuenca del Embalse Tominé y el río Teusacá, de los cuales se pudieron determinar unidades litoestratigráficas de interés hidrogeológico como lo son; la los cuaternarios (Depósitos aluviales, Depósitos coluviales, Depósitos de Terrazas Altas y Depósitos Fluvioglaciales), La formación Tilatá, La formación Cacho, formación regadera y el Grupo Guadalupe (Formación Arenisca Dura, Formación Plaeners y Formación Arenisca Labor y Tierna).

Para determinar el grado de vulnerabilidad intrínseca de la zona, se verificó la densidad de datos disponibles para cada formación de interés, pues es un factor limitante para escoger el método de evaluación adecuado; como se observa en la imagen 1, la metodología DRASTIC se evaluó para las formaciones con más información mientras que el método GOD permite evaluar la vulnerabilidad cuando existen pocos datos del área de estudio por tal motivo se establecieron estas dos áreas de estudio.

Imagen 1. Localización geográfica del área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3. METODOLOGIA.

3.1. ESTRUCTURA METODOLÓGICA.

Recopilación de información.

Para el desarrollo del análisis de vulnerabilidad se realizó un barrido de información primaria y secundaria del área de estudio, de los cuales se tomó como referencia el proyecto en ejecución (Primera parte de la Fase de Diagnóstico del sistema de acuíferos en el municipio de Guasca Jurisdicción Corpoguavio, y documentación suministrada por la Corporación. Todo enmarcado en la formulación del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos.

Caracterización física del área de estudio.

Una vez recopilada la información, se clasificó la documentación requerida para aplicar las metodologías de evaluación a la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación ubicados en el Municipio de Guasca Cundinamarca, (GOD & DRASTIC); los documentos que permitieron caracterizar y evaluar el área de estudio son; Evaluación Geológica, Evaluación Geofísica, Inventario de puntos de agua subterránea, Análisis Hidroclimatológico e Hidráulica de pozos, todos éstos elaborados por la firma Consultora SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

Parametrización metodología DRASTIC.

Para parametrizar la metodología Drastic se debe tener en cuenta las características y el comportamiento de cada parámetro, (**D** profundidad, **R** recargas, **A** litología del acuífero, **S** tipo de suelo, **T** pendiente, **I** naturaleza de la zona no saturada, y **C** conductividad hidráulica) a los cuales se les asigna índices que van desde 1,0 (mínima vulnerabilidad) hasta 10,0 (máxima vulnerabilidad). Este método establece un factor de ponderación a cada parámetro que depende si el contaminante en cuestión es un pesticida o no, una vez parametrizado.

Parametrización metodología GOD.

Esta metodología comprende tres parámetros (**G** grado de confinamiento hidráulico, **O** ocurrencia del sustrato suprayacente y **D** distancia al nivel del agua subterránea o al techo del acuífero), cuyos valores son asignados de acuerdo con la contribución en la defensa a la contaminación.

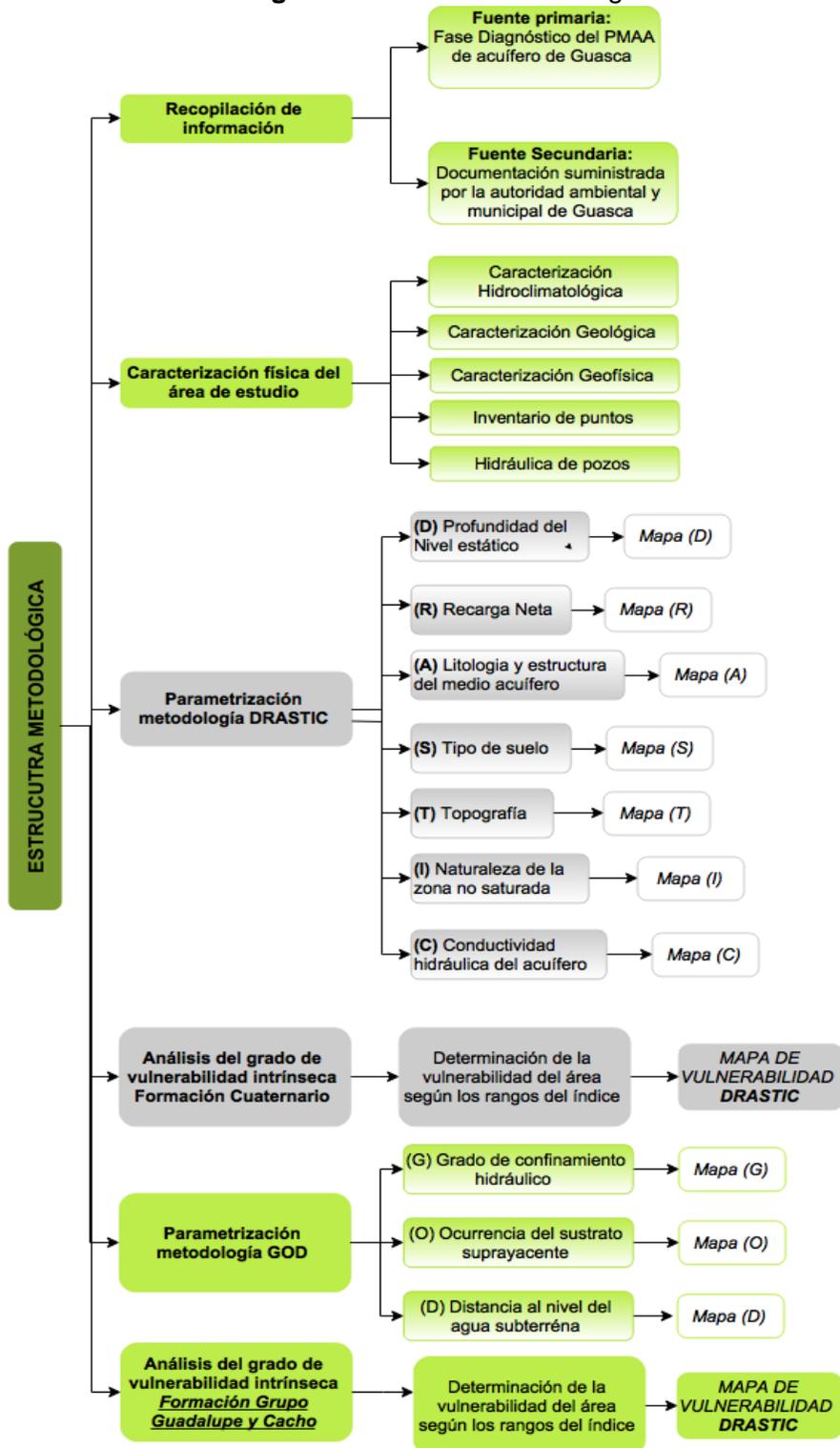
Análisis de grado de vulnerabilidad.

Para determinar el grado de vulnerabilidad del método DRASTIC, se aplica la fórmula del índice de vulnerabilidad, el cual se obtiene a partir de la sumatoria de la multiplicación de cada parámetro por su respectivo valor de ponderación. Así mismo el método GOD plantea el índice de vulnerabilidad a partir de la multiplicación de los valores asignados a cada parámetro, los cuales arrojan el grado de vulnerabilidad clasificados en rangos (muy bajo, bajo, moderado, alto, muy alto), el resultado de cada variable se plasmó cartográficamente.

Instrumentos o herramientas utilizadas.

Para la estimación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos de interés presente en el municipio de Guasca del departamento de Cundinamarca, Colombia, mediante la metodología DRASTIC y GOD, se utilizaron herramientas tecnológicas para el procesamiento de la información documental y cartográfica, la síntesis del proyecto y la modelación de las variables, correspondientes a la metodologías seleccionadas a través de sistemas de información geográficos, empleando el software ArcGIS versión 10.5.

Imagen 2. Estructura metodológica



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.2. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se tomó como referencia el proyecto referente a la primera parte de la Fase de Diagnóstico del sistema de acuíferos en el municipio de Guasca Jurisdicción Corpoguvio, del cual se obtuvo información recolectada en campo y análisis de resultados de la evaluación geológica, geofísica, inventario de puntos de agua subterránea, hidroclimatológica e hidráulica de pozos del área de estudio, lo anterior permitió realizar la caracterización física de la zona de estudio.

Como fuente de información secundaria se utilizó cartografía base suministrada por la Corporación Autónoma del Guavio -Corpoguvio, sobre el uso y cobertura del suelo, igualmente se tomó como referencia el estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca para la elaboración del mapa del tipo de suelos del área de estudio.

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

3.3.1.1. Geología

La geología del área de estudio está conformada por rocas sedimentarias de diferentes edades que van desde el Mesozoico hasta el Cuaternario. Las rocas más antiguas corresponden a una secuencia monótona en la que predominan las arcillolitas y lodolitas de la Formación Chipaque y las rocas más recientes corresponden a depósitos Cuaternarios con predominio lacustre, fluvio-glacial y fluvial.

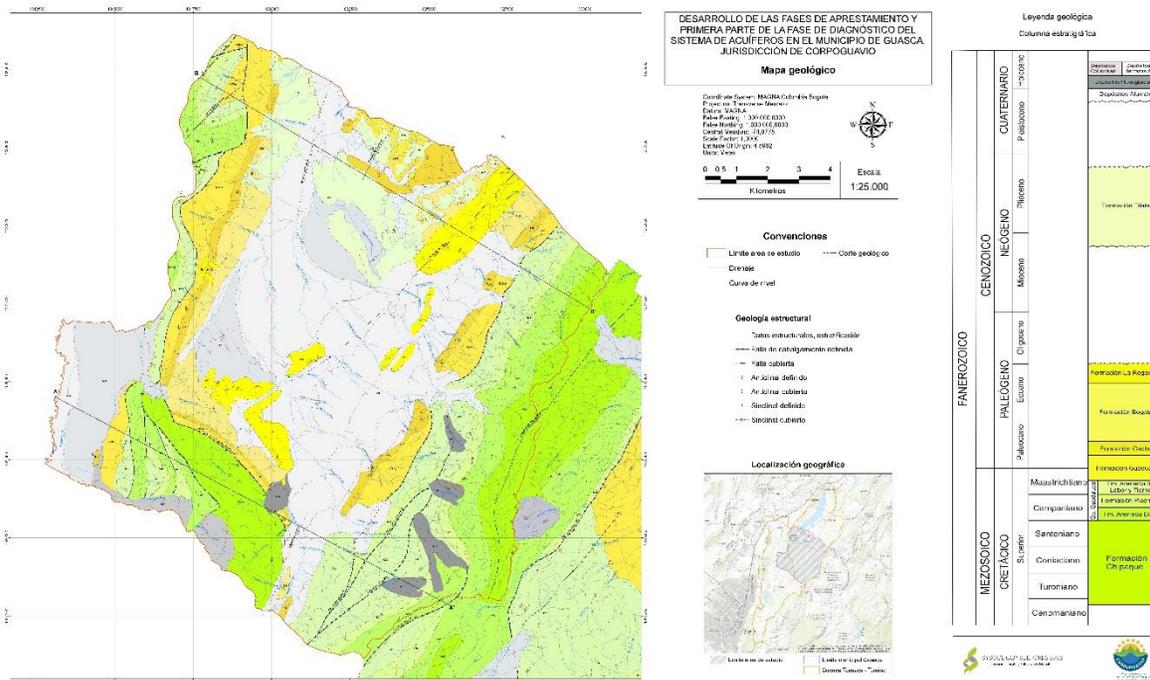
Tabla 1. Estratigrafía del área de estudio

FORMACIÓN GEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Depósitos coluviales (Q2c)	Son acumulaciones sobre las laderas por procesos de escorrentía superficial, por flujo lento y viscoso de suelos saturado y no saturado. La litología es de bloques angulares a subangulares de diferentes tamaños embebido en un material arcilloso.
Depósitos de Terraza Alta (Q2t)	Están conformadas por sedimentos conglomeráticos de diferentes rangos, en una matriz areno-arcillosa y con lentes arcillosos y arenosos, se encuentra constituido por arcillas plásticas de color gris oscuro, con intercalaciones lenticulares de arena suelta, gravas y cenizas volcánicas de color gris claro, además se registran niveles de turbas
Depósitos Fluvio-glaciares (Q2t)	Las litologías observadas en los depósitos con geofomas aplanadas son de gravas y arenas de grano fino, no

FORMACIÓN GEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
	consolidadas, las gravas son granosoportadas con tamaños guijos de 4 cm y en menor proporción de 6 cm, envueltos en una matriz arenosa, formando bancos hasta de 2 m.
Depósitos aluviales (Qa)	Los Depósitos Aluviales en el área de estudio de caracterizan por presentar material no consolidado arcillo - arenoso con clastos (guijos - guijarros) y bloques de hasta 1 m que presentan formas redondeadas a subredondeadas y subangulares, moderadamente seleccionadas a mal seleccionados, se presenta erosión en surcos.
Tilatá (N2t)	La Formación Tilatá de forma general en el área de estudio está compuesta por gravas y arenas, se observan variaciones en el tamaño de los clastos, los cuales van desde limo, arena de grano grueso (0.1cm), guijo (5 cm) y guijarro (20 cm), con formas subredondeadas envueltos en un matriz areno - arcillosa de color gris claro, esporádicas concreciones rojizas y óxidos de hierro. Se presenta erosión en forma surcos.
La Regadera (E2r)	La Formación La Regadera de forma general en el área de estudio está compuesta por capas tabulares muy gruesas de cuarzoareniscas color gris y beige, de tamaño de grano medio a grueso, moderadamente calibradas, con estratificación curvada no paralela con óxidos de hierro intercaladas con capas delgadas de arcillolitas de color gris claro.
Bogotá (E1b)	La Formación Bogotá de forma general en el área de estudio está compuesta por capas muy gruesas de arcillolitas de color gris claro y tonalidades violetas con intercalaciones esporádicas de intervalos de arenisca cuarzosa de color gris claro y tamaño de grano fino a muy grueso con estratificación plano-paralela que en ocasiones se caracterizan por no presentarse de manera continua.
Cacho (E1c)	La Formación Cacho, en el área de estudio se presenta en capas muy gruesas a medias de cuarzoareniscas de color beige a rojizas - moradas y tamaño de grano muy fino a conglomerático, la forma de los granos es redondeados a subredondeados, moderadamente seleccionados, localmente se presentan óxidos de hierro.
Guaduas (K2E1g)	La Formación Guaduas en el área de estudio está compuesta litológicamente por capas medias de arcillolitas de color gris claro a naranja-rojizas con laminación plano-paralela. Se presentan intercalaciones esporádicas de cuarzoarenitas de grano fino a medio de color gris claro a ocre y dispuestas en capas delgadas a medias, locamente se presentan óxidos de hierro.
Arenisca de Labor y Tierna (K2It)	La Formación Arenisca Labor y Tierna en el área de estudio se presenta como una secuencia compuesta por arenisca cuarzosa de grano fino a muy fino, color gris y beige claro, dispuesta en capas delgadas a muy gruesas, con intercalaciones de limolita de color grisáceo a amarillo en capas gruesas y arcillolita color gris muy claro en capas delgadas.

FORMACIÓN GEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Plaeners (K2p)	La Formación Plaeners en el área de estudio está constituida principalmente por liditas o porcelanitas dispuestas en capas medias a muy delgadas, arcillolitas desde láminas delgadas a gruesas de color gris claro intercalado con limolitas dispuestas en capas muy gruesas de color gris medio y cuarzoarenisca en capas muy gruesas
Arenisca Dura (K2d)	La Formación Arenisca Dura en el área de estudio se presenta como una secuencia de cuarzoarenitas de grano muy fino a fino de color gris claro, compactas, dispuestas en capas medias a gruesas intercaladas con arcillolitas de color gris claro, en láminas delgadas y lutitas de color gris oscuro, en láminas delgadas
Chipaque (K2cp)	Se presenta como una secuencia en la que predominan las lodolitas y arcillolitas de color gris oscuro y gris medio, físilas, en capas gruesas a muy gruesas intercaladas con areniscas de grano muy fino color naranja en capas muy gruesas con estratificación plana paralela donde es común observar óxidos de hierro y micas

Imagen 3. Mapa Geológico escal 1:25.000 del área de estudio.

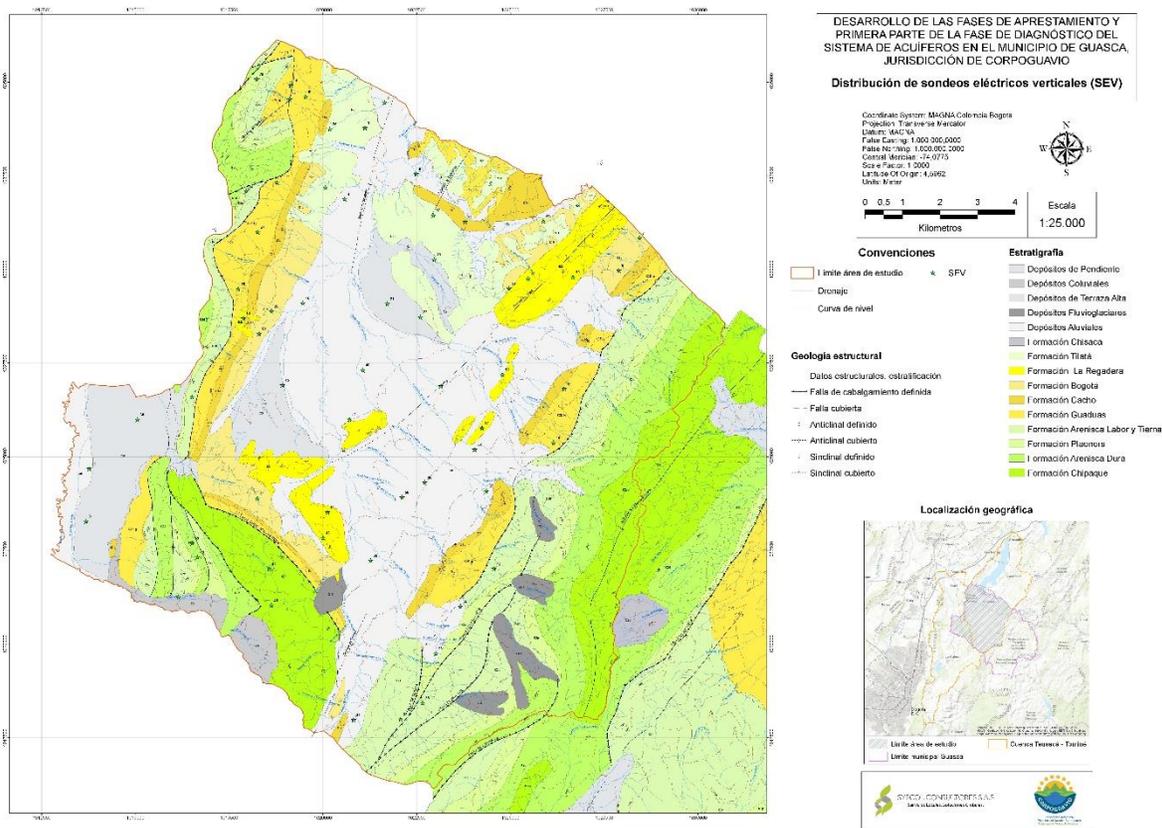


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

3.3.1.2. Geofísica

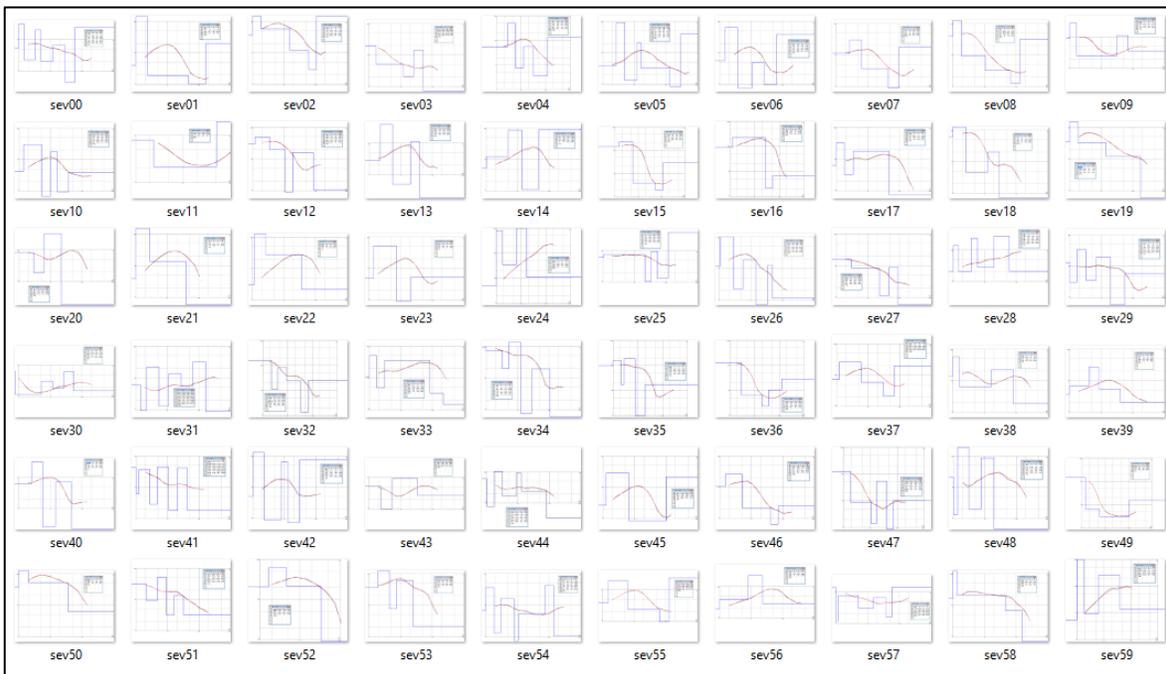
Se realizaron 60 sondeos eléctricos verticales (SEV), sobre cada una de las formaciones geológicas presentes en el área de estudio, A partir del análisis y procesamiento de los datos adquiridos en campo y la caracterización geológica del área de estudio, se realiza la correlación e interpretación de los resultados con el objetivo de caracterizar las unidades litoestratigráficas localizadas en el área de estudio.

Imagen 4. Distribución de los Sondeos Eléctricos Verticales.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

Imagen 5. Perfiles de iso-resistividad



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

A partir de los resultados obtenidos del procesamiento de los SEV y la evaluación geológica, se realizó la correlación geológica – geoelectrica donde se establecieron un rango de resistividad característico de las unidades litoestratigráficas existentes en el área de estudio. Las formaciones geológicas del área de estudio la componen: Depósitos Coluviales (Q2c), Depósitos Aluviales (Qal), Depósitos de Terraza Alta (Q2t), Fm. Tiltatá (N2t), Fm. La Regadera (E2r), Fm. Bogotá (E1b), Fm. Cacho (E1c), Fm. Guadas (K2E1g), Fm. Arenisca de Labor y Tierna (K2lt), Fm. Plaeners (K2p), Fm. Arenisca Dura (K2d) y Fm. Chipaque (K2cp). La tabla 3 muestra los valores de resistividad para cada una de las unidades litoestratigráficas existentes en el área de estudio.

Tabla 2. Rango de valores de resistividad de las unidades litoestratigráficas existentes en el área de estudio.

FORMACIÓN GEOLÓGICA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	RESISTIVIDAD (OHM.M)
Suelo residual (H)	H	Suelo residual	6 – 31.292

FORMACIÓN GEOLÓGICA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	RESISTIVIDAD (OHM.M)
Depósitos sin diferenciar (Q)	Q	Depósitos no consolidados de poco espesor y poca extensión	200 – 6.190
Depósitos coluviales (Q2c)	Q2c	Bloques de diferentes tamaños con matriz areno-arcillosa	490
Depósitos aluviales (Qal)	Qal (a)	Arcillas	2 – 13
	Qal (b)	Arenas saturadas, con diferente proporción de arcillas y limos	32 – 98
	Qal (c)	Arenas y/o gravas saturadas	134 – 641
	Qal (d)	Arenas y/o gravas no saturadas (secas) o parcialmente saturadas	694 – 2.610
Depósitos de Terraza Alta (Q2t)	Q2t (a)	Gravas no saturadas (secas)	2.098 – 2.194
	Q2t (b)	Arenas y/o gravas saturadas	137 – 516
	Q2t (c)	Arcillas limosas	9 – 30
Tilatá (N2t)	N2t (a)	Arcillas limosas	15 – 32
	N2t (b)	Arenas saturadas, con intercalaciones de limos y arcillas	49 – 74
La Regadera (E2r)	E2r (a)	Conglomerados y/o areniscas compactas	896 – 3.227
	E2r (b)	Conglomerados y/o areniscas friables saturadas	164 – 691
	E2r (c)	Areniscas friables saturadas, con intercalaciones de arcillolitas	73 – 120
Bogotá (E1b)	E1b (a)	Capas gruesas de areniscas saturadas, con intercalaciones delgadas de arcillolitas	92 – 194
	E1b (b)	Arcillolitas intercaladas con areniscas	22 – 73
	E1b (c)	Capas gruesas de arcillolitas con intercalaciones delgadas de areniscas	1 – 13
Cacho (E1c)	E1c (a)	Areniscas saturadas, con diferente proporción de conglomerados e intercalaciones de arcillolitas	113 – 412
	E1c (b)	Valor anómalo (Capas muy compactas de la Formación Cacho)	46.240
Guaduas (K2E1g)	K2E1g (a)	Capas gruesas de lodolitas	0,5 – 15
	K2E1g (b)	Capas gruesas de lodolitas con intercalaciones delgadas de areniscas	19 – 22

FORMACIÓN GEOLÓGICA	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	RESISTIVIDAD (OHM.M)
	K2E1g (c)	Lodolitas intercaladas con areniscas	38 – 86
	K2E1g (d)	Capas gruesas de areniscas fracturadas saturadas, con intercalaciones delgadas de lodolitas	110 – 187
	K2E1g (e)	Valores anómalos (Capas gruesas de areniscas compactas o secuencias de la Formación Guaduas con intercalaciones de capas de carbón)	1934 – 2.325
Arenisca de Labor y Tierna (K2lt)	K2lt (a)	Capas gruesas de areniscas compactas, con intercalaciones delgadas de lodolitas	531 – 2.126
	K2lt (b)	Capas gruesas de areniscas fracturadas saturadas, con intercalaciones delgadas de lodolitas	102 – 285
	K2lt (c)	Lodolitas intercaladas con areniscas	5 – 87
Plaeners (K2p)	K2p (a)	Capas gruesas de lodolitas	9
	K2p (b)	Capas de areniscas y liditas fracturadas saturadas, con intercalaciones delgadas de lodolitas	147 – 328
	K2p (c)	Capas de areniscas y liditas compactas, con intercalaciones delgadas de lodolitas	2.280 – 3.583
Arenisca Dura (K2d)	K2d (a)	Capas gruesas de lodolitas con intercalaciones delgadas de areniscas	11 – 63
	K2d (b)	Capas gruesas de areniscas fracturadas saturadas, con intercalaciones delgadas de lodolitas	95 – 140
	K2d (c)	Capas gruesas de areniscas compactas, con intercalaciones delgadas de lodolitas	2609
Chipaqué (K2cp)		Capas gruesas de lodolitas con intercalaciones delgadas de areniscas	3 – 20
		Capas gruesas de areniscas compactas, con intercalaciones de lodolitas	650 – 857

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.



3.3.1.3. Inventario de puntos de agua subterránea

Para la búsqueda y actualización de los puntos de aguas subterráneas en la zona de estudio se realizaron las siguientes etapas: recopilación y análisis preliminar de la información, trabajo de campo, obtención de la información para su respectivo procesamiento y análisis.

Recopilación Y Análisis Preliminar De La Información

Se llevó a cabo la recopilación, depuración y procesamiento de toda la información existente de las captaciones de agua subterránea en el área de influencia del estudio. Según información que se obtuvo de la **CAR** (Base de datos de aljibes y manantiales, del 2002) y de **Corpoguavio** (Estudio de Zonificación para Racionalizar el Aprovechamiento de Aguas Subterráneas, Actualización de Expedientes de Pozos Profundos en el Municipio de Guasca Cundinamarca del 2000, Base de datos donde se relacionan los permisos de vertimientos aprobados y el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos); donde se evidencia que la Corporación no ha otorgado ninguna concesión de agua subterránea en la zona de estudio. Esta revisión permitió generar una base de datos de **13 manantiales, 9 pozos y 66 aljibes para un total de 88 puntos** que sirvió de guía para el avance de la campaña de campo.

Trabajo De Campo

SYSCOL CONSULTORES S.A.S realizó durante el mes de enero del 2017, la recopilación de datos por medio del Formulario Único Nacional de Aguas Subterráneas (FUNIAS), el cual integra información general (datos del proyecto, tipo y condición del punto), y datos más especificados como de la ubicación geográfica de los punto (coordenadas Este, Norte, y altura), profundidad del nivel estático, caudal de producción, tiempo de bombeo, características constructivas de pozos y aljibes, parámetros físico químicos in situ, usos del agua, entre otros datos que ayudan a conocer de manera preliminar el funcionamiento del sistema acuífero. Ésta trabajo de campo permitió cuantificar los puntos de agua subterránea existentes en el área de estudio y así generar una nueva base de datos de: **8 manantiales, 11 pozos y 52 aljibes para un total de 71 puntos** que sirvió de guía para el avance de la campaña de campo. **Ver imagen 6**

Tabla 3. Nivel freático y piezométrico

ID	TIPO DE PUNTO	ESTE	NORTE	ALTURA (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (mts)	NIVEL DEL AGUA (mts)	NIVEL PIEZOMÉTRICO
1	Pozo	1'019.035	1'024.392	2766	150	3	2763
2	Pozo	1'014.531	1'024.475	2583	75	5	2578
3	Pozo	1'016.679	1'026.413	2716	Aprox. 150	26,5	2689,5
4	Pozo	1'016.624	1'026.575	2722	150	62	2660
5	Pozo	1'018.660	1'024.714	2800	160	82	2718
6	Aljibe	1'020.415	1'030.981	2643	7	5	2638
7	Aljibe	1'020.332	1'031.019	2648	10	5,7	2642,3
8	Aljibe	1'020.394	1'031.175	2659	7	5,6	2653,4
9	Aljibe	1'020.447	1'031.357	2639	9	5,5	2633,5
10	Aljibe	1'020.469	1'031.414	2634	10	5,3	2628,7
11	Aljibe	1'020.440	1'031.452	2640	8	5,3	2634,7
12	Aljibe	1'020.616	1'031.651	2640	6	3,7	2636,3
13	Aljibe	1'020.782	1'032.048	2637	5	4	2633
14	Aljibe	1'020.864	1'032.085	2635	7	1,5	2633,5
15	Aljibe	1'019.920	1'030.555	2638	8,5	6	2632
16	Aljibe	1'019.923	1'030.292	2650	Se desconoce	6,2	2643,8
17	Aljibe	1'019.919	1'030.254	2653	20	6	2647
18	Aljibe	1'019.301	1'028.100	2671	4	1,5	2669,5
19	Aljibe	1'019.171	1'027.872	2681	17	6,5	2674,5
20	Aljibe	1'019.433	1'027.442	2688	9	5,5	2682,5
21	Aljibe	1'019.609	1'026.794	2698	10	7,3	2690,7
22	Aljibe	1'021.000	1'028.200	2681	8	3,8	2677,2
23	Aljibe	1'020.985	1'027.837	2679	12	4	2675
24	Aljibe	1'020.958	1'027.528	2689	6	4	2685
25	Aljibe	1'021.076	1'026.948	2698	3	0,8	2697,2
26	Aljibe	1'020.555	1'029.620	2645	5	1,8	2643,2
27	Aljibe	1'020.551	1'027.168	2696	5	3	2693
28	Aljibe	1'021.058	1'031.065	2637	10 a 14	0,9	2636,1
29	Aljibe	1'016.721	1'027.195	2780	5 a 9	3,85	2776,15
30	Aljibe	1'021.143	1'026.864	2703	9	1	2702
31	Aljibe	1'018.984	1'028.904	2673	3	1,7	2671,3
32	Aljibe	1'020.619	1'029.669	2646	Se desconoce	1,5	2644,5
33	Aljibe	1'021.163	1'028.457	2670	3,50	3	2667
34	Aljibe	1'020.182	1'030.909	2646	12	6,8	2639,2

ID	TIPO DE PUNTO	ESTE	NORTE	ALTURA (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (mts)	NIVEL DEL AGUA (mts)	NIVEL PIEZOMÉTRICO
35	Aljibe	1'020.937	1'027.378	2681	12	0,6	2680,4
36	Aljibe	1'020.768	1'026.979	2694	7	3	2691
37	Aljibe	1'016.990	1'025.747	2763	11	2,3	2760,7
38	Manantial	1'024.352	1'030.941	2650	No Aplica		2650
39	Manantial	1'027.839	1'031.759	2805	No Aplica		2805
40	Manantial	1'028.053	1'031.273	2849	No Aplica		2849
41	Manantial	1'021.034	1'033.181	2637	No Aplica		2637
42	Manantial	1'020.338	1'024.191	2769	No Aplica		2769
43	Manantial	1'020.891	1'023.815	2781	No Aplica		2781

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S 2017.

3.3.1.4. Hidroclimatología

La caracterización hidrológica del área de estudio se determinó a partir de la información obtenida de la unidad hidrográfica de Tominé, la cual es un tributario del Río Bogotá, esta unidad hidrográfica está compuesta por diez (10) subunidades hidrográficas, en las que se encuentran el Río Chiguanos, Río Alto Siecha, Río Chipata, Quebrada Montoque, Río Bajo Siecha, Río Chiquito, Quebrada Corales, Río Medio y Bajo Aves, Río Alto Aves.

Precipitación

La precipitación media mensual multianual es el promedio multianual en los 28 años de estudio de la precipitación total anual. La tabla 4 muestra la serie de los valores de precipitación media mensual multianual del área de estudio.

Tabla 4. Precipitación media mensual multianual en el área de estudio.

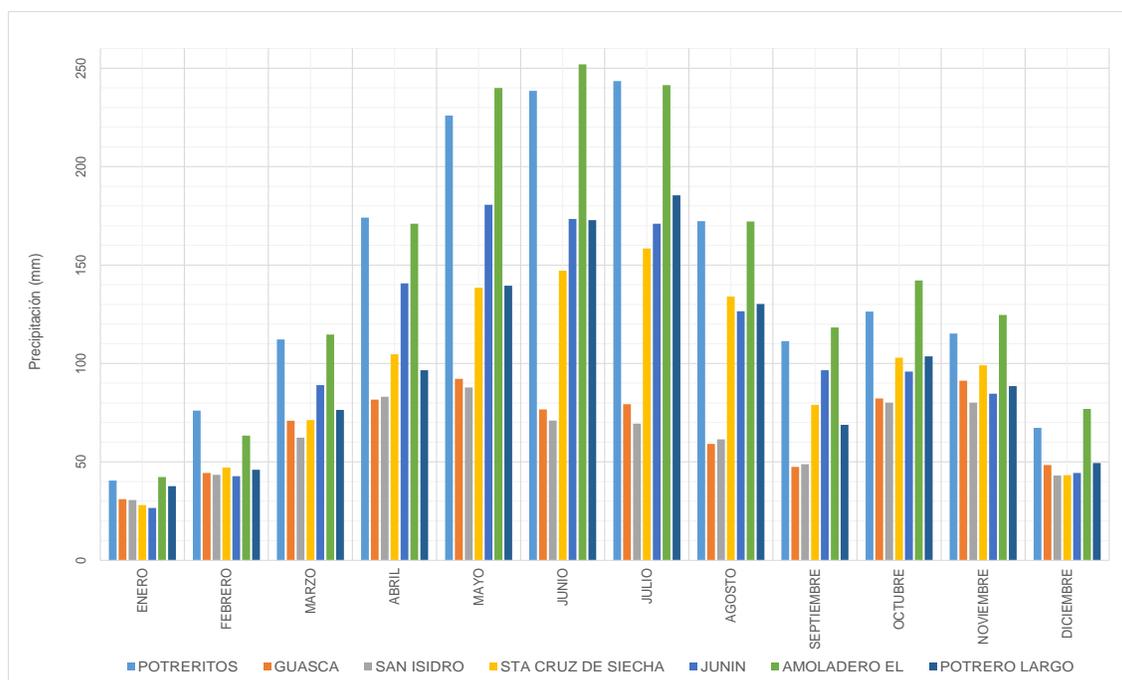
ESTACIÓN	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
AMOLADERO EL	42,3	63,3	114,7	171,0	239,9	252,0	241,4	172,2	118,3	142,2	124,6	76,9
GUASCA	31,0	44,3	70,9	81,7	92,1	76,6	79,3	59,2	47,5	82,2	91,3	48,4
JUNIN	26,6	42,7	89,0	140,7	180,6	173,4	171,0	126,5	96,6	95,9	84,6	44,3
POTRERITOS	40,5	76,0	112,2	174,0	225,9	238,5	243,5	172,3	111,4	126,3	115,2	67,3
POTRERO LARGO	37,7	46,0	76,4	96,6	139,5	172,8	185,4	130,2	68,8	103,6	88,5	49,4

ESTACIÓN	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
SAN ISIDRO	30,6	43,4	62,3	83,1	87,8	70,9	69,4	61,5	48,9	80,0	80,0	43,1
STA CRUZ DE SIECHA	28,1	47,1	71,3	104,6	138,5	147,1	158,4	134,0	78,9	102,9	99,0	43,2

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

La gráfica 1 muestra el comportamiento de la precipitación media mensual multianual del área de estudio. El régimen de precipitación observado es de tipo unimodal, donde el periodo con mayores valores de precipitación se presenta entre abril y agosto con un valor máximo de 252 mm en la estación Amoladero y el periodo con menores valores de precipitación se presenta entre septiembre y marzo, obteniendo registros de precipitación de 26,6 mm y 28,1 mm para las estaciones Junin y Santa Cruz de Siecha respectivamente.

Gráfica 1. Precipitación media mensual multianual en el área de estudio.

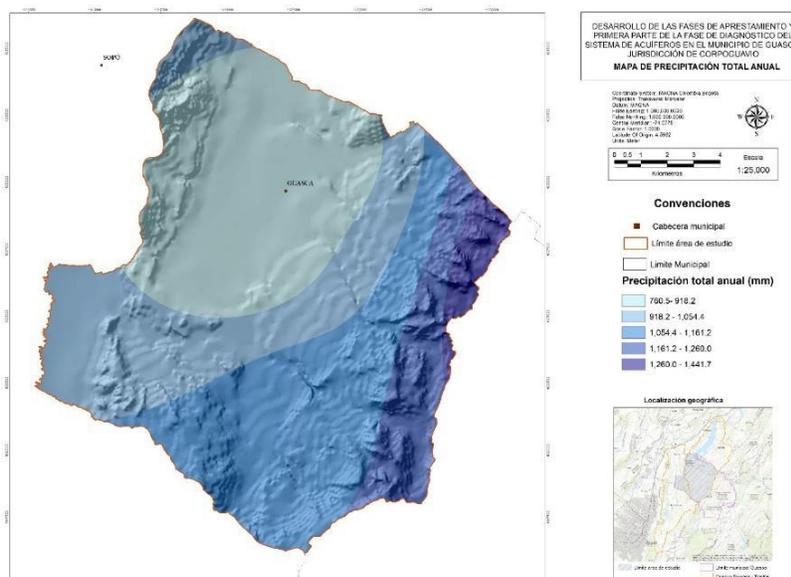


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Precipitación media anual

En la imagen 7 se muestra la distribución espacial de la precipitación total anual, donde se puede observar que las menores precipitaciones se presentan al norte del área de estudio incluyendo el casco urbano del municipio de Guasca y hace parte de la cuenca Tominé, con valores que van de 760,5 mm a 918 mm. Las mayores precipitaciones se pueden observar hacia el este del área de estudio, en las estribaciones del Páramo Grande con valores que van de 1.260 mm a 1.441 mm.

Imagen 7. Mapa de la precipitación total anual en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Temperatura

Inicialmente la distribución espacial de la temperatura se realizó mediante un software especializado en sistemas de información geográfica (SIG), empleando la herramienta de interpolación IDW (distancia inversa ponderada), una vez generada la distribución espacial se hizo un análisis de los resultados obtenidos para la temperatura media y mínima en el que se logra establecer que debido a la escasez de datos en el área de estudio los resultados obtenidos eran de poca confiabilidad.

Debido a esto se optó por utilizar como referencia los datos de WorldClim – Global Climate Data (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2017) que representa promedios de largo plazo (entre los años 1950 y 2000) a 30 arco-segundos de

Evotranspiración

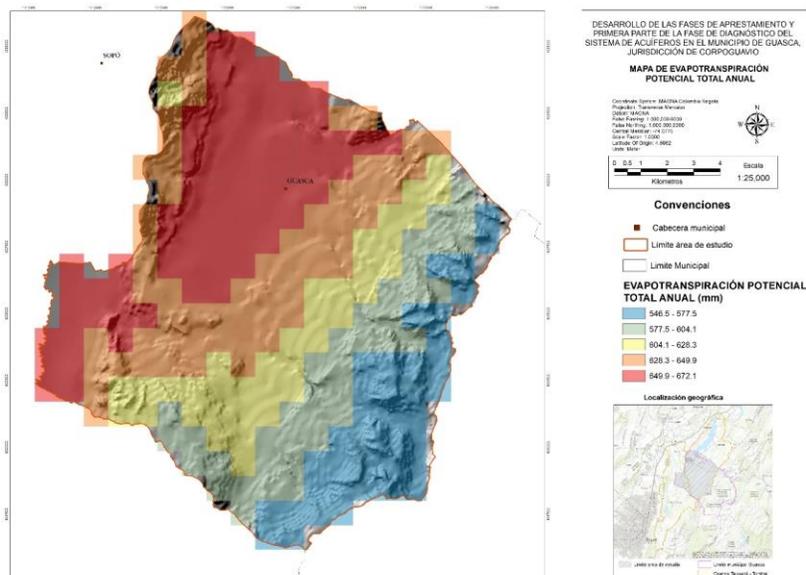
La evapotranspiración potencial (ETP) es la cantidad máxima teórica de agua que puede evaporarse desde el suelo completamente cubierto de vegetación y contantemente abastecido de agua, en relación con las precipitaciones recogidas, la ETP se toma como indicador climático de humedad o aridez ambiental¹. Este parámetro fue calculado mediante el método de Thornthwaite.

Para determinar la evapotranspiración potencial en el área de estudio, se tuvo en cuenta como insumo los *rasters* de temperatura obtenidos a partir del WordClim, generando así un producto con buena especialización. Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizó la herramienta *Raster Calculator* del software ArcGis, por medio de esta herramienta que tiene una interfaz parecida a la de una calculadora, es posible utilizar ecuaciones de cálculo para determinar la variable de ETP.

En la imagen 9 se muestra la distribución espacial de la evapotranspiración potencial media anual, donde se puede observar que los menores valores de evapotranspiración potencial se presentan hacia el sureste del área de estudio, mientras los mayores valores se presentan hacia el noreste y este del área de estudio, mostrando un comportamiento que sigue la tendencia observada en la distribución espacial de la temperatura. La evapotranspiración potencial total anual se encuentra en un rango entre 546,5 a 672,1 mm.

¹ INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (ESPAÑA). Evapotranspiración potencial (ETP) media anual [en línea]. [Madrid, España] [citado 8 jul, .2017]. Disponible en Internet:<URL: https://www.ign.es/espmmap/mapas.../Clima_Mapa_08texto_corregido.pdf>

Imagen 9. Mapa de evapotranspiración potencial total anual en el área de estudio.

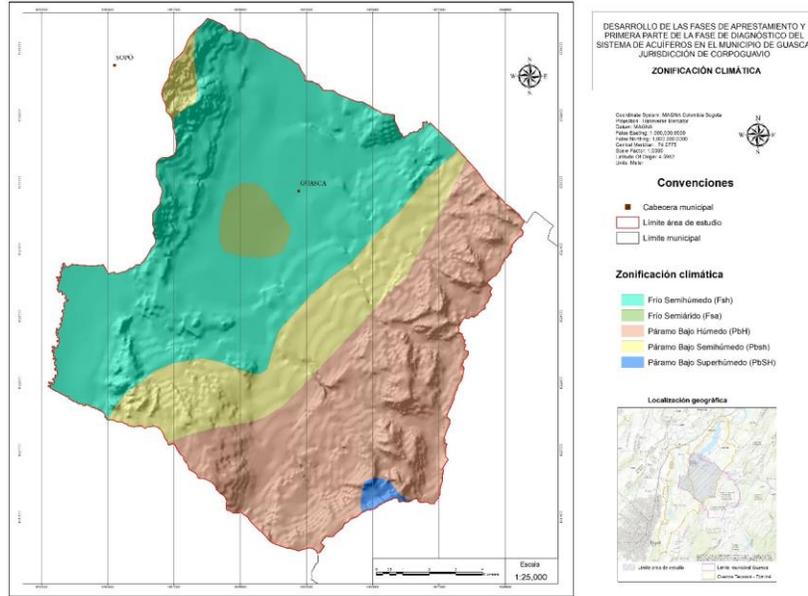


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Zonificación climática

En la clasificación climática para el área de estudio se obtienen 5 tipos dinámicos según la clasificación de Caldas-Lang entre los que se encuentran: Frío semihúmedo (Fsh), Frío semiárido (Fsa), Páramo bajo húmedo (PBH), Páramo bajo semihúmedo (PBsh) y Páramo bajo superhúmedo (PBSH). En el área de estudio prevalecen los pisos térmicos Frío y Páramo y la clase de clima Húmedo, como se observa en la imagen 24.

Imagen 10. Zonificación climática CALDAS - LANG del área de estudio.

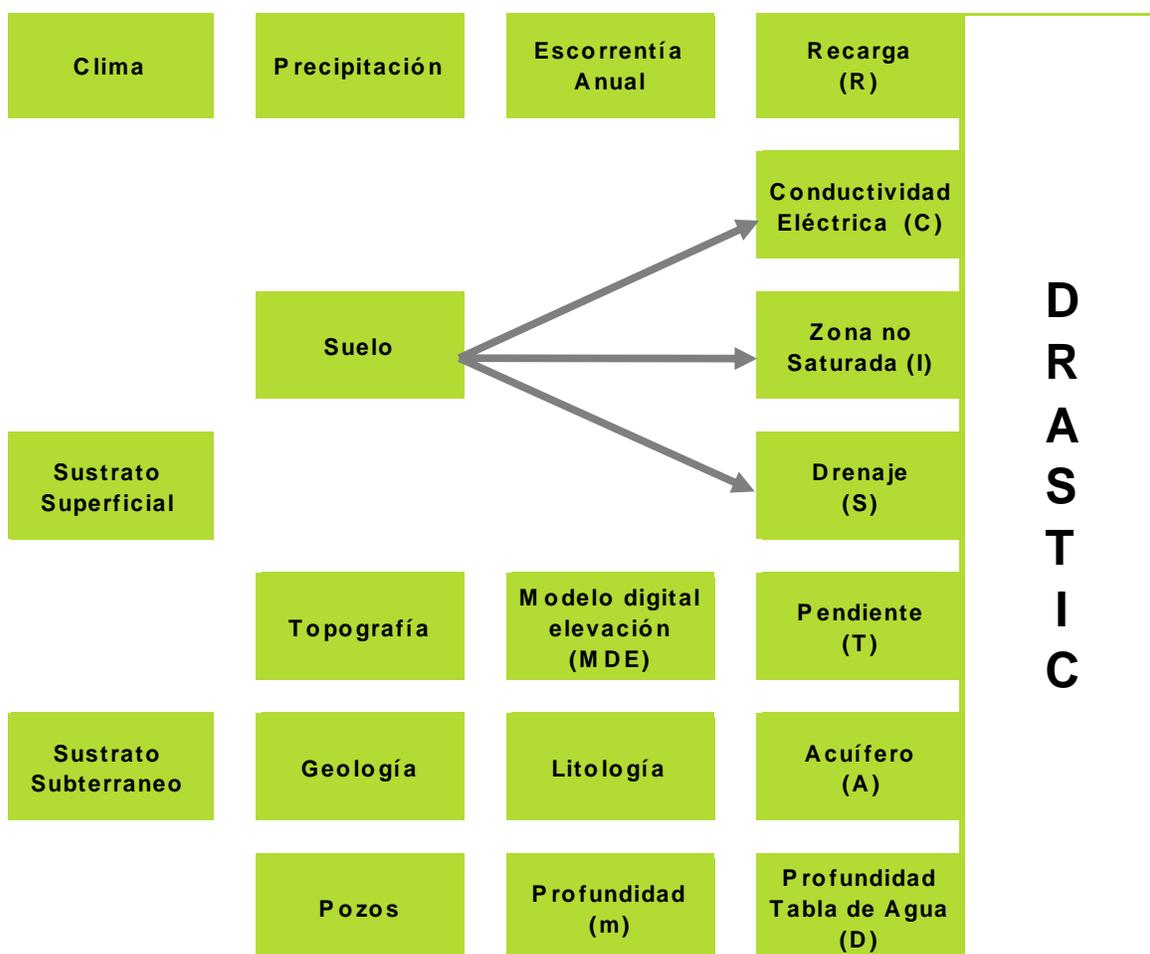


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.4. PARAMETRIZACION - Método DRASTIC

El método Drastic es un modelo empírico por Aller et al en el año 1987 dirigida para la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, EPA (Environmental Protection Agency), su objetivo es sistematizar la determinación del potencial de los contaminantes de alcanzar la zona saturada, esta técnica es denominada así debido a que utiliza para la evaluación de la vulnerabilidad siete parámetros, (D, R, A, S, T, I, C) que dependen del clima, el suelo, el sustrato superficial y el subterráneo descritos a continuación.

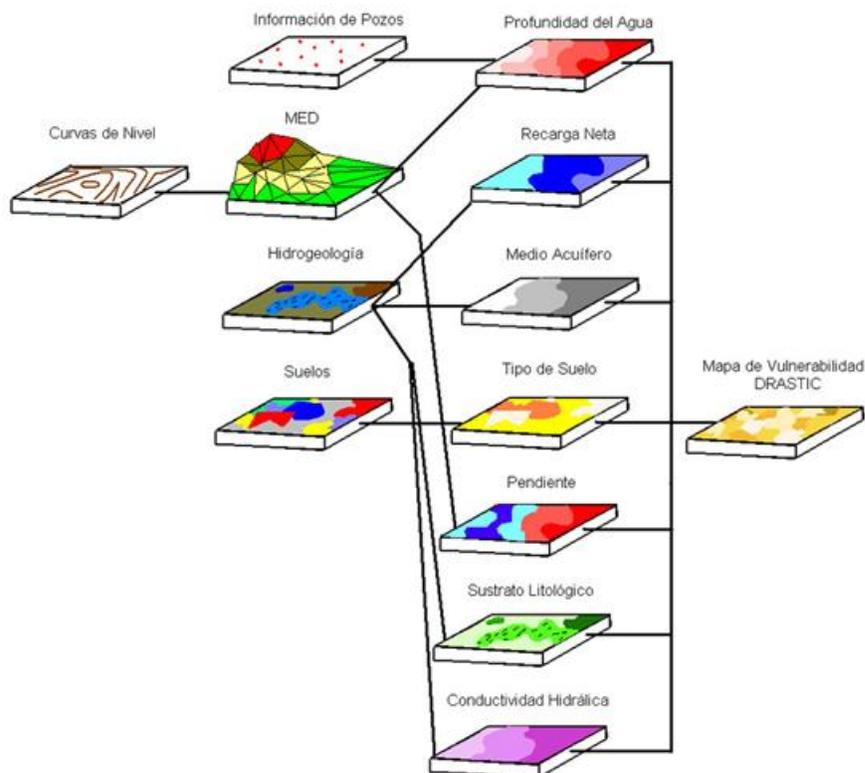
Imagen 11. Variables de evaluación del método DRASTIC.



Fuente: MADS, Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación.²

² VARGAS QUINTERO, Consuelo. Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación: Metodología DRASTIC: Editorial Ministerio de Medio Y Desarrollo Sostenible,

Imagen 12. Diagrama elaboración método mapas DRASTIC



Fuente: GIDAHATARI, Métodos de determinación de la vulnerabilidad en acuíferos.³

Además de la valoración de 1 a 10 que se da a cada parámetro se pondera su influencia dentro de la evaluación de la vulnerabilidad mediante la asignación de unos pesos de 1 a 5, que variarán si el contaminante en cuestión es un pesticida, al ser este menos volátil y más persistente. Ambos índices se multiplican y se suman los siete resultados para obtener una valoración final, según se indica en la siguiente expresión:

$$\text{DRASTIC} = (D_r \cdot D_w) + (R_r \cdot R_w) + (A_r \cdot A_w) + (S_r \cdot S_w) + (T_r \cdot T_w) + (I_r \cdot I_w) + (C_r \cdot C_w)$$

En donde:

2010. 45 p

³ GIDAHATARI, Métodos de determinación de la vulnerabilidad en acuíferos [en línea] <<http://gidahatari.com/ih-es/metodos-determinacion-vulnerabilidad>> [citado en 20 de Agosto de 2017]

- r: indica factor de clasificación o valoración.
- w: indica factor de ponderación.

Los valores que adoptan los factores de clasificación y de ponderación para cada parámetro se resumen en las siguientes tablas:

D: Profundidad del agua subterránea: Indica el espesor de la zona no saturada que es atravesado por las aguas de infiltración y que pueden traer consigo el contaminante, hasta alcanzar el acuífero.

Tabla 5. Clasificación Variable "D"

CLASIFICACIÓN VARIABLE "D"	
Profundidad (m)	Valoración D_r
0 – 1,5	10
1,5 – 4,6	9
4,6 – 9,1	7
9,1 – 15,2	5
15,2 – 22,9	3
22,9 – 30,5	2
> 30,5	1

Fuente: MADS, Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

R: Recarga neta: Es la cantidad de agua anual por unidad de superficie que contribuye a la alimentación del acuífero. La recarga resulta primariamente de la fracción de precipitación que no se evapotranspiración y de la escorrentía superficial. Es el principal vehículo transportador de los contaminantes.

Tabla 6. Clasificación Variable "R"

CLASIFICACIÓN VARIABLE "R"	
R (RECARGAS, mm)	Rr
0 – 50	1
50 – 103	3
103 – 178	6
178 – 254	8
> 254	9

Fuente: MADS, Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

A: Litología y estructura del medio acuífero: Representa las características del acuífero, en particular la capacidad del medio poroso y/o fracturado para transmitir los contaminantes.

Tabla 7. Clasificación Variable "A"

CLASIFICACIÓN VARIABLE "A"		
A (LITOLOGÍA DEL ACUÍFERO)	VALORACIÓN Ar	VALOR TÍPICO Ar
Lutita masiva	1 – 3	2
Metamórfica/Ígnea	2 – 5	3
Metamórfica/Ígnea meteorizada	3 – 5	4
Arenas y gravas de origen glaciar	4 – 6	5
Secuencias de arenisca, caliza y lutitas	5 – 9	6
Arenisca masiva	4 – 9	6
Caliza masiva	4 – 9	6
Arena o grava	4 – 9	8
Basaltos	2 – 10	9
Caliza kárstica	9 – 10	10

Fuente: MADS, Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

S: Tipo de suelo: Representa la capacidad de los suelos para oponerse a la movilización de los contaminantes y corresponde a la parte de la zona vadosa o no saturada, que se caracteriza por la actividad biológica. En conjunto, con el parámetro A, determinan la cantidad de agua de percolación que alcanza la superficie freática.

Tabla 8. Clasificación Variable "S"

CLASIFICACIÓN VARIABLE "S"	
Tipo de suelo	Valoración S _r
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Agregado arcilloso o compactado	7
Arenisca margosa	6
Marga	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol-cieno	2

CLASIFICACIÓN VARIABLE "S"

Arcilla no compactada y no agregada	1
-------------------------------------	---

Fuente: MADS, Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

T: Topografía: Representa la pendiente de la superficie topográfica e influye en la evacuación de aguas con contaminantes por escorrentía superficial y sub-superficial.

Tabla 9. Clasificación Variable "T"

CLASIFICACIÓN VARIABLE "T"	
Pendiente (%)	Valoración Tr
0 – 2	10
2 – 6	9
6 – 12	5
12 – 18	3
>18	1

Fuente: MADS, Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

I: Naturaleza de la zona no saturada: Representa la capacidad del suelo para obstaculizar el transporte vertical.

Tabla 10. Clasificación Variable "I"

CLASIFICACIÓN VARIABLE "I"		
I (NATURALEZA DE LA ZONA NO SATURADA)	VALORACIÓN Ir	VALOR TÍPICO Ir
Capa confinante	1	1
Cieno-arcilla	2 – 6	3
Lutita	2 – 5	3
Caliza	2 – 7	6
Arenisca	4 – 8	6
Secuencias de arenisca, caliza y lutita	4 – 8	6
Arena o grava con contenido de cieno y arcilla significativo	4 – 8	6
Metamórfica/Ígnea	2 – 8	4
Grava y arena	6 – 9	8
Basalto	2 – 10	9
Caliza kárstica	8 – 10	10

Fuente: MADS, Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

C: Conductividad hidráulica del acuífero: Determina la cantidad de agua que atraviesa el acuífero por unidad de tiempo y por unidad de sección, es decir la velocidad.

Tabla 11. Clasificación Variable "C"

CLASIFICACIÓN VARIABLE "C"		
Conductividad hidráulica	Conductividad hidráulica	Valoración C_r
m/día	cm/s	
0,04 – 4,08	$4,6 \cdot 10^{-5} - 4,7 \cdot 10^{-3}$	1
4,08 – 12,22	$4,7 \cdot 10^{-3} - 1,4 \cdot 10^{-2}$	2
12,22 – 28,55	$1,4 \cdot 10^{-2} - 3,4 \cdot 10^{-2}$	3
28,55 – 40,75	$3,4 \cdot 10^{-5} - 4,7 \cdot 10^{-2}$	6
40,75 – 81,49	$4,7 \cdot 10^{-2} - 9,5 \cdot 10^{-2}$	8
> 81,49	> $9,5 \cdot 10^{-2}$	10

Fuente: MADS, Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación.

Además de la asignación de valores a cada parámetro, este método asigna un factor de ponderación a cada parámetro, que depende si el contaminante en cuestión es un pesticida (DRASTIC-P) o no (dado que los pesticidas son menos volátiles y más persistentes), con valores que están entre 1,0 y 5,0 (ver Tabla 7).

Tabla 12. Factor De Ponderación Del Método Drastic

FACTOR DE PONDERACIÓN DEL MÉTODO DRASTIC							
TIPO DE CONTAMINANTE	VARIABLE						
	D_w	R_w	A_w	S_w	T_w	I_w	C_w
Pesticida (DRASTIC-P)	5	4	3	5	3	4	2
No Pesticida	5	4	3	2	1	5	3

Fuente: MADS, Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación.

Finalmente se obtiene una valoración final de la vulnerabilidad del acuífero, que oscilará entre 23 (mínima) y 230 (máxima), aunque en la práctica el índice varía entre 50 y 200. Si se considera contaminación por pesticidas podrá tomar valores comprendidos entre 26 y 260. En la siguiente tabla se indica el grado de vulnerabilidad en función del valor obtenido por el método DRASTIC:

Tabla 13. Grados De Vulnerabilidad – D R A S T I C

GRADOS DE VULNERABILIDAD – D R A S T I C			
VULNERABILIDAD GENERAL		VULNERABILIDAD PESTICIDAS	
GRADO	VULNERABILIDAD	GRADO	VULNERABILIDAD
Muy bajo	23 – 64	Muy bajo	26 – 73
Bajo	65 – 105	Bajo	74 – 120
Moderado	106 – 146	Moderado	121 – 167
Alto	147 – 187	Alto	168 – 214
Muy alto	188 – 230	Muy alto	215 – 260

Fuente: MADS, Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación.

El método DRASTIC es el más utilizado y suele ser muy útil utilizar un sistema de información geográfica (SIG) como Arc View para combinar las distintas variables.

VALORACIÓN DE LOS PARÁMETROS DRASTIC.

Al revisar la información disponible del área de estudio, se pudo determinar que las formaciones con mayor densidad de datos son los Depósitos Aluviales, Depósitos de terrazas Altas, las cuales conforman un acuífero libre, es por esto que se evaluaron estas formaciones de interés hidrogeológico con la metodología DRASTIC., a continuación, se describe detalladamente los datos requeridos para realizar la valorización de cada uno de las variables DRASTIC.

3.4.1. Profundidad del Nivel Estático (D)

Para obtener el parámetro profundidad del nivel estático “D”, se recopiló información del inventario de puntos de aguas subterránea del área de estudio, de allí se clasificaron los puntos que estaban captando sobre los cuaternarios Depósitos Aluviales, Terraza Alta.

Tabla 14. Nivel de agua de los puntos de agua subterránea ubicados en los Depósitos Aluviales y Terraza Alta.

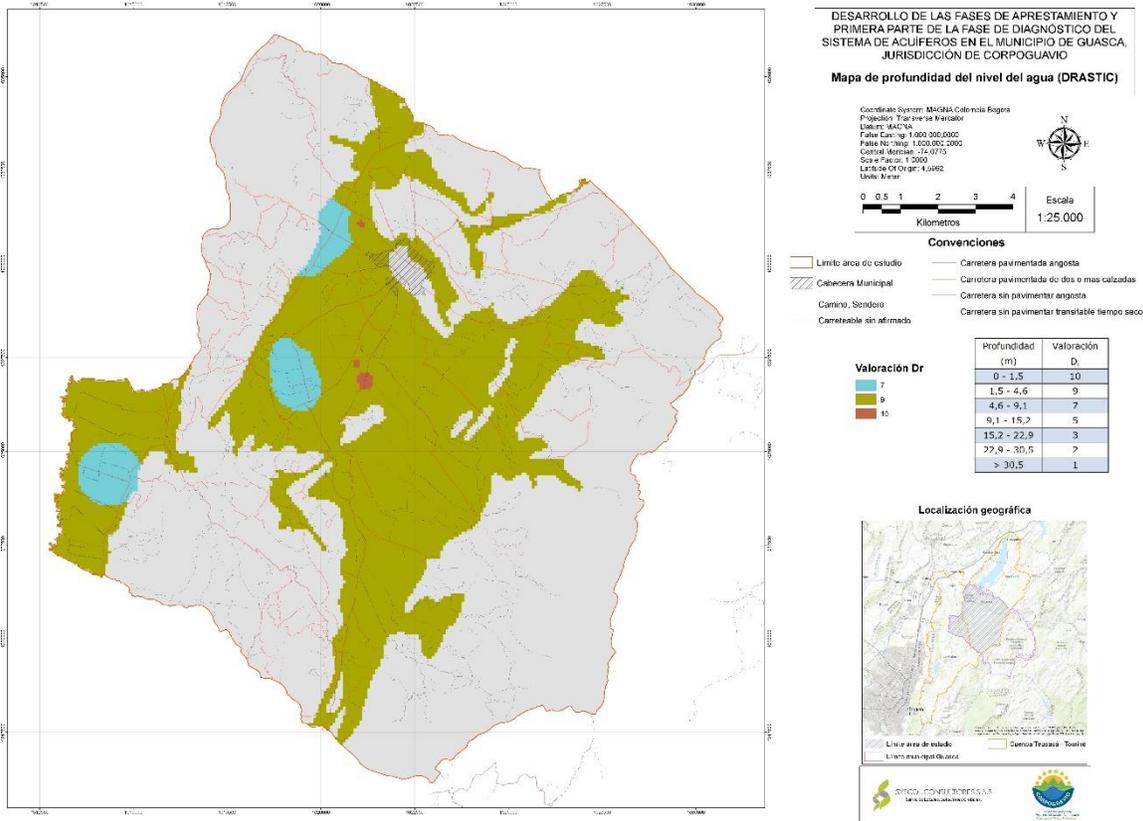
ID	TIPO DE PUNTO	ESTE	NORTE	ALTURA (m.s.n.m)	NIVEL DEL AGUA (mts)	Dr	Dw	Dr_Dw
9	Aljibe	1'020.864	1'032.085	2639	1,5	10	5	50
13	Aljibe	1'019.301	1'028.100	2675	1,5			
20	Aljibe	1'021.076	1'026.948	2697	0,8			
23	Aljibe	1'021.058	1'031.065	2639	0,9			

ID	TIPO DE PUNTO	ESTE	NORTE	ALTURA (m.s.n.m)	NIVEL DEL AGUA (mts)	Dr	Dw	Dr_Dw
24	Aljibe	1'021.143	1'026.864	2703	1			
26	Aljibe	1'020.619	1'029.669	2654	1,5			
29	Aljibe	1'020.937	1'027.378	2688	0,6			
32	Manantial	1'021.034	1'033.181	2639	0			
7	Aljibe	1'020.616	1'031.651	2637	3,7	9	5	45
8	Aljibe	1'020.782	1'032.048	2638	4			
17	Aljibe	1'021.000	1'028.200	2673	3,8			
18	Aljibe	1'020.985	1'027.837	2681	4			
19	Aljibe	1'020.958	1'027.528	2684	4			
21	Aljibe	1'020.555	1'029.620	2652	1,8			
22	Aljibe	1'020.551	1'027.168	2691	3			
25	Aljibe	1'018.984	1'028.904	2676	1,7			
27	Aljibe	1'021.163	1'028.457	2674	3			
30	Aljibe	1'020.768	1'026.979	2693	3			
31	Aljibe	1'016.990	1'025.747	2768	2,3			
1	Aljibe	1'020.415	1'030.981	2648	5	7	5	35
2	Aljibe	1'020.332	1'031.019	2650	5,7			
3	Aljibe	1'020.394	1'031.175	2647	5,6			
4	Aljibe	1'020.447	1'031.357	2642	5,5			
5	Aljibe	1'020.469	1'031.414	2642	5,3			
6	Aljibe	1'020.440	1'031.452	2641	5,3			
10	Aljibe	1'019.920	1'030.555	2657	6			
11	Aljibe	1'019.923	1'030.292	2656	6,2			
12	Aljibe	1'019.919	1'030.254	2657	6			
14	Aljibe	1'019.171	1'027.872	2680	6,5			
15	Aljibe	1'019.433	1'027.442	2687	5,5			
16	Aljibe	1'019.609	1'026.794	2698	7,3			
28	Aljibe	1'020.182	1'030.909	2651	6,8			

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

Para realizar el análisis espacial de la información (ver imagen 13) se realizó la interpolación IDW (Distancia Inversa Ponderada) La cual determina los valores de la celda a través de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra; en este caso es el nivel de agua de los puntos (ver tabla 14) La ponderación es una función de la distancia inversa. La superficie que se interpola debe ser la de una variable dependiente de la ubicación.

Imagen 13. Profundidad del nivel de agua (D)



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

3.4.2. Recarga Neta (R)

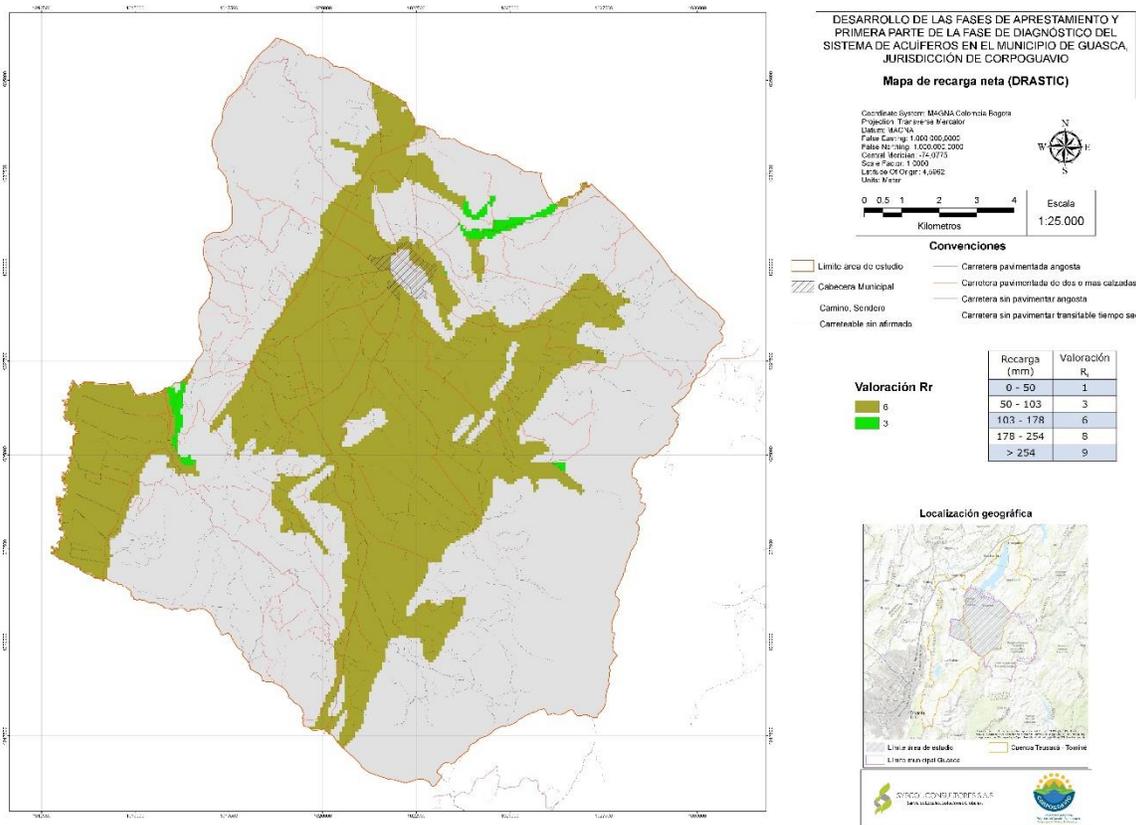
Este parámetro considera la cantidad de agua anual que penetra la superficie por unidad de área, expresada por mm/año. La recarga resulta principalmente del balance hídrico del suelo que relaciona la fracción de precipitación interceptada por el follaje, la infiltración y la escorrentía superficial. Básicamente se tomó el mapa del balance hídrico resultado del estudio hidroclimatológico del área de estudio y se reclasificó se según la recarga expresada en mm/año.

Tabla 15. Recarga mm/año

RECARGA MM/AÑO		Rr	Rw	Rr_Rw
236,19	Franco arenoso	8	4	24
224,48	Franco arcilloso			
204,56	Franco			
81,96	Franco arcilloso limoso	3	4	12

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S

Imagen 14. Recarga Neta (R)



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

3.4.3. Litología y estructura del medio acuífero (A)

Este parámetro representa las características litológicas y estructura del medio, en relación con el tipo de roca que conforma el acuífero y porosidad o fracturamiento que inciden en el transporte de un contaminante. El acuífero de estudio se encuentra ubicado en los Cuaternarios Depósitos aluviales y Depósitos de terraza Alta, estos depósitos constan de sedimentos arenosos y arcillosos de color gris, con presencia

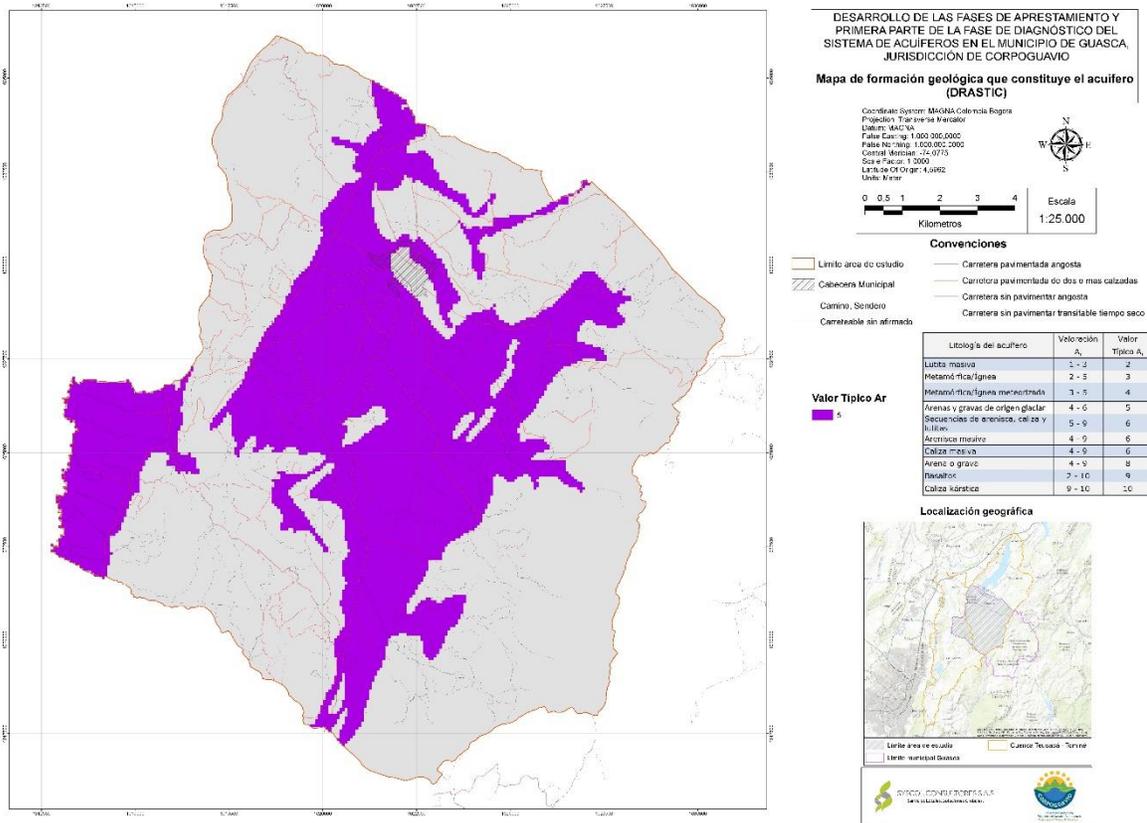
de cantos de diferente tamaño. Son materiales de ambiente fluvial y localmente lacustre, asociados a las llanuras de inundación más recientes de los drenajes de la Sabana.

Tabla 16. Formación geológica que constituye el acuífero (A)

Litología	Ar	Aw	Ar_Aw
Arenas y gravas de origen glaciar	5	3	15

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

Imagen 15. Formación geológica que constituye el acuífero (A)



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

3.4.4. Tipo de suelo (S)

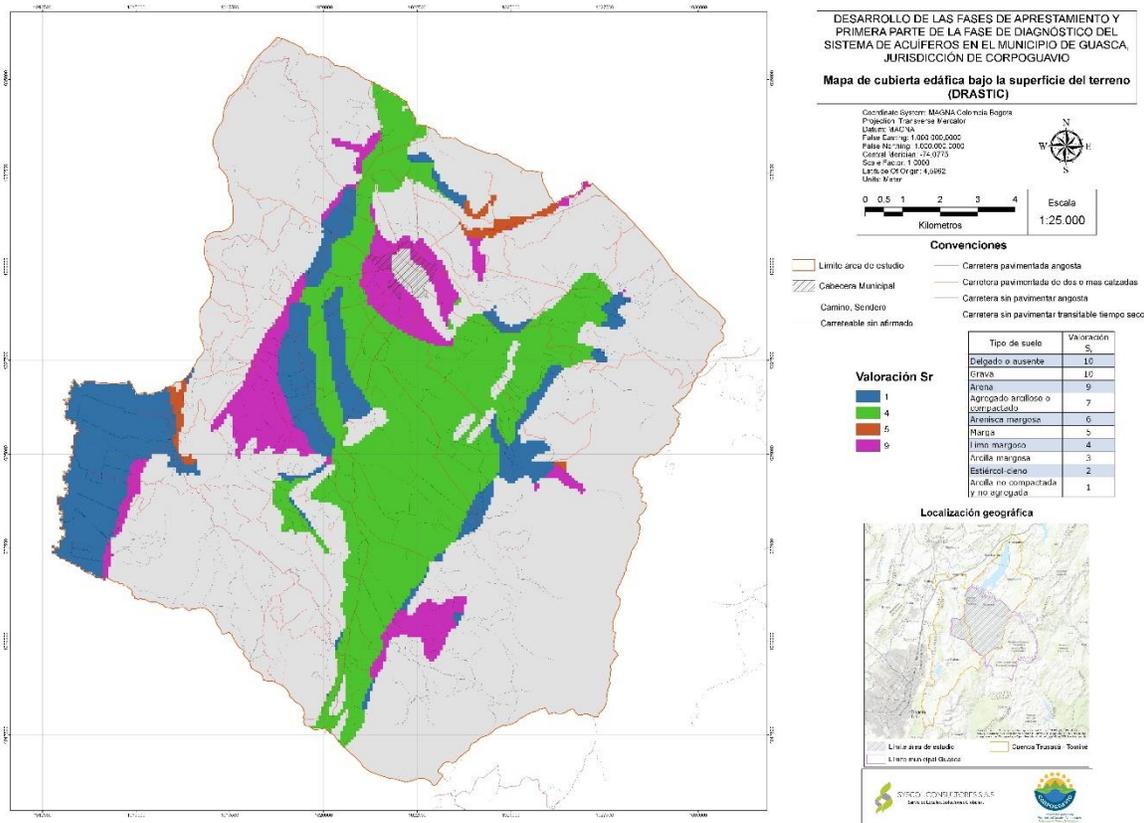
Para clasificar el suelo del área de estudio según esta metodología se tomó como referencia el estudio de suelos del departamento de Cundinamarca realizado por el Instituto Agustín Codazzi IGAC, posteriormente se construyó el mapa del tipo de suelos **Ver imagen 6**.

Tabla 17. Tipo de suelo en el área de estudio.

Tipo de suelo	Sr	Sw	Sr_Sw
Franco	4	2	8
Franco arcilloso limoso	5	2	10
Franco arcilloso	1	2	2
Franco arenoso	9	2	18

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

Imagen 16. Cubierta edáfica bajo la superficie del terreno (S)

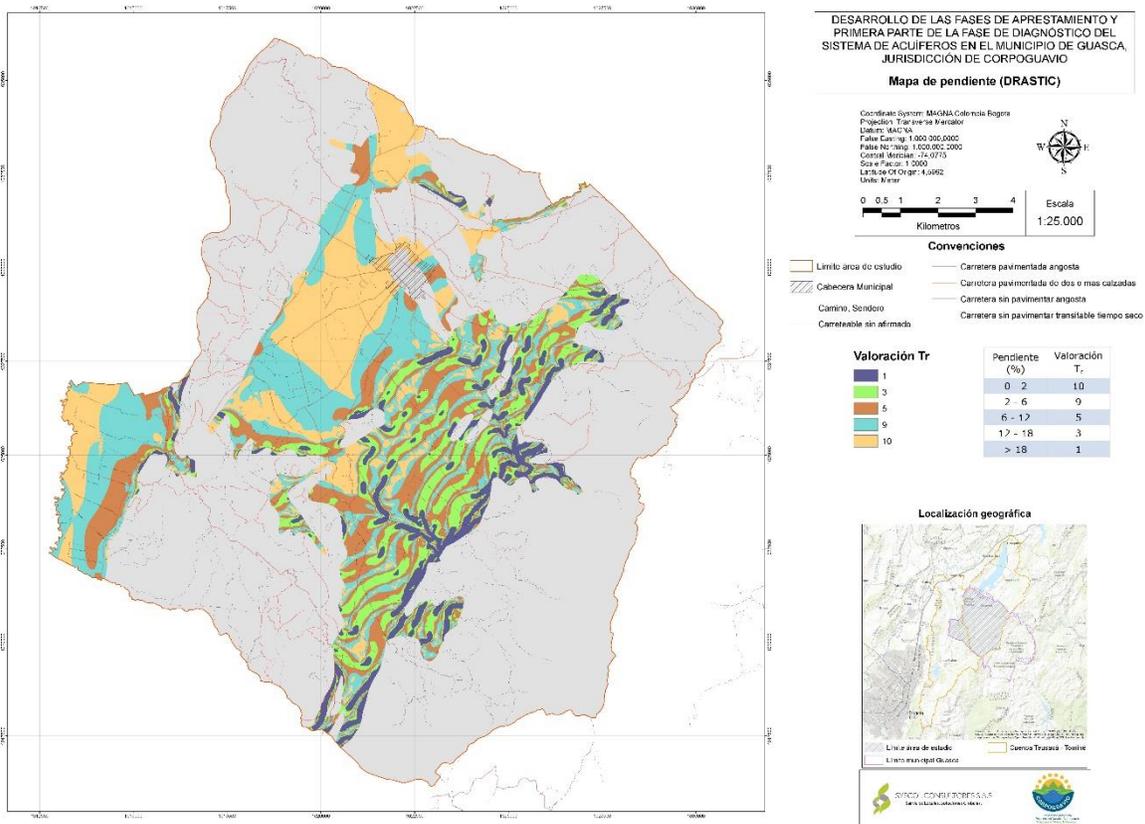


3.4.5. Topografía (T)

Este parámetro representa la superficie topográfica, la cual actúa sobre la velocidad en la evacuación de aguas con contaminantes por escorrentía superficial y subsuperficial, y la infiltración de un posible contaminante, para la elaboración de este mapa se realizó un modelo de elevación digital DEM, los cuales se reclasificaron de acuerdo con los intervalos de la metodología DRASTIC.

Pendiente	Tr	Tw	Ts_Tw
0 – 2	10	1	10
2 – 6	9	1	9
6 – 12	5	1	5
12 – 18	3	1	3
>18	1	1	1

Imagen 17. Pendientes (T)



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

3.4.6. Naturaleza de la zona no saturada (I)

Para determinar este parámetro se tomó como referencia la evaluación geofísica del presente estudio, lo que permitió ubicar los Sondeos Eléctricos Verticales realizados sobre los Depósitos Aluviales y Depósitos de Terraza Alta, esta interpretación permitió identificar las características litológicas del área, no obstante, se tomó la primera unidad que afloraba y se clasificó de acuerdo con los valores establecidos en la metodología.

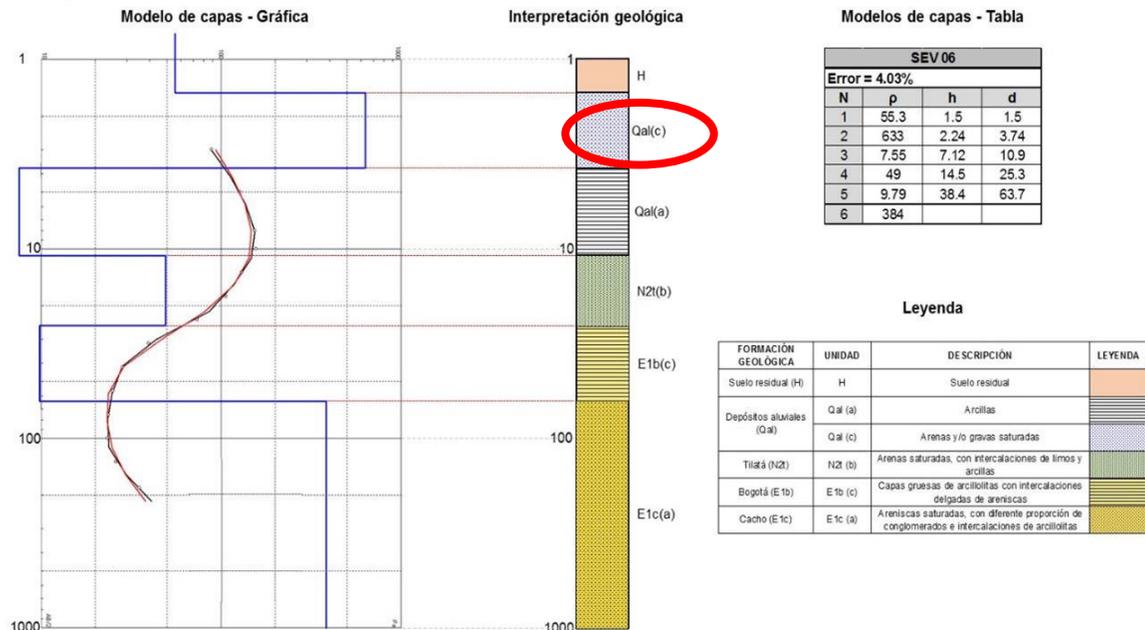
Tabla 18. Naturaleza de la zona no saturada

Naturaleza de la zona no saturada		Ir	Iw	Ir_Iw
Q2tc	Arcillas limosas	3	5	15
Qala	Arcillas			
Qalb	Arenas saturadas, con diferente proporción de arcillas y limos	6	5	30
Qalc	Arenas y/o gravas saturadas	8	5	40
Qald	Arenas y/o gravas no saturadas (secas) o parcialmente saturadas			

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

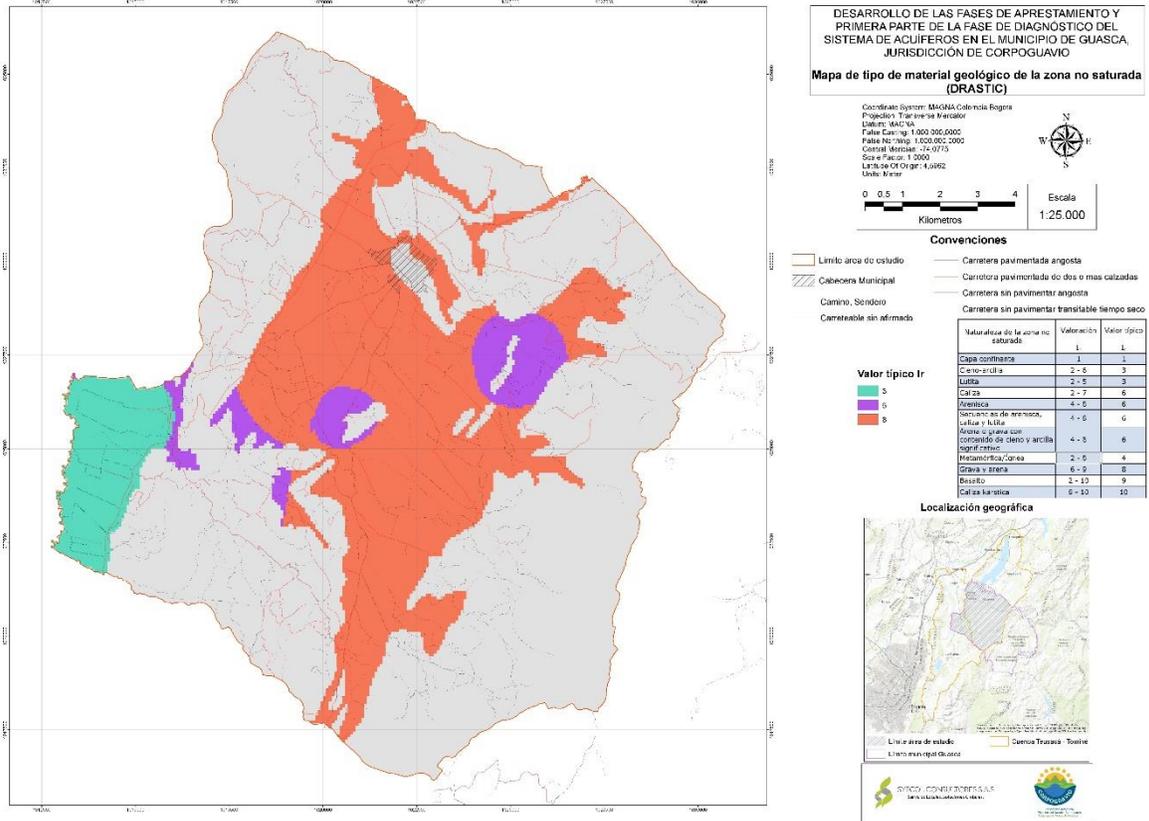
Imagen 18. Interpretación de los perfiles de iso-resistividad. Evaluación geológica

SEV_06



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

Imagen 19. Material geológico de la zona no saturada (I)



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

3.4.7. Conductividad hidráulica del acuífero (C)

Para determinar la cantidad de agua que atraviesa el acuífero por unidad de tiempo y por unidad de sección, es decir la velocidad, se tomó como referencia los resultados de la prueba de bombeo en cuanto a la transmisividad del pozo Unique Colletion S.A. ubicado en el área a evaluar.

La transmisividad media es de $=160,36 \frac{m^2}{dia}$

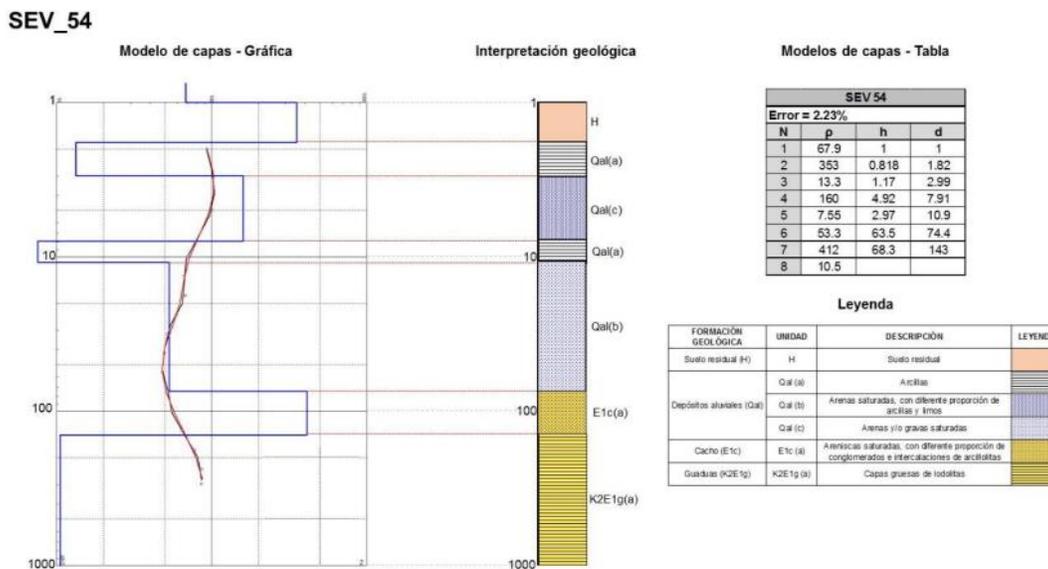
La conductividad hidráulica se determina a través de la siguiente fórmula:

k= Conductividad hidráulica
T=transmisividad
b= espesor

$$k= t/e$$

El espesor se determinó a partir del Sondeo eléctrico más cercano al pozo Unique Colletion S.A. (SEV 54)

Imagen 20. Sev 54.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

$$k= t/e$$

$$k= 160,36 \frac{m^2}{días} / 63.5 \text{ mts} + 4.92 \text{ mts}$$

$$k= 160,36 \frac{m^2}{días} / 68.42 \text{ mts}$$

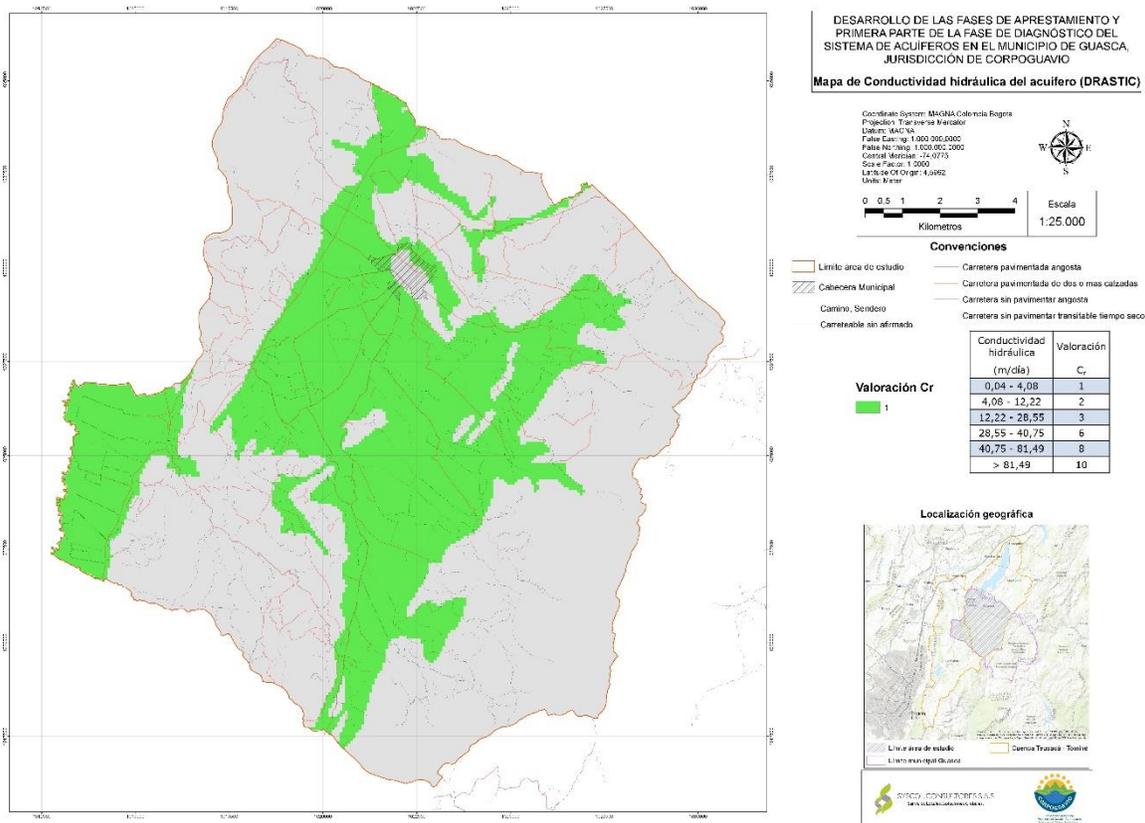
$$k= 2.34 \text{ m/seg}$$

Tabla 19. Conductividad hidráulica

Conductividad hidráulica	Cr	Cw	Cr_Cw
2.34 m/seg	1	3	3

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

Imagen 21. Conductividad hidráulica del acuífero (C)



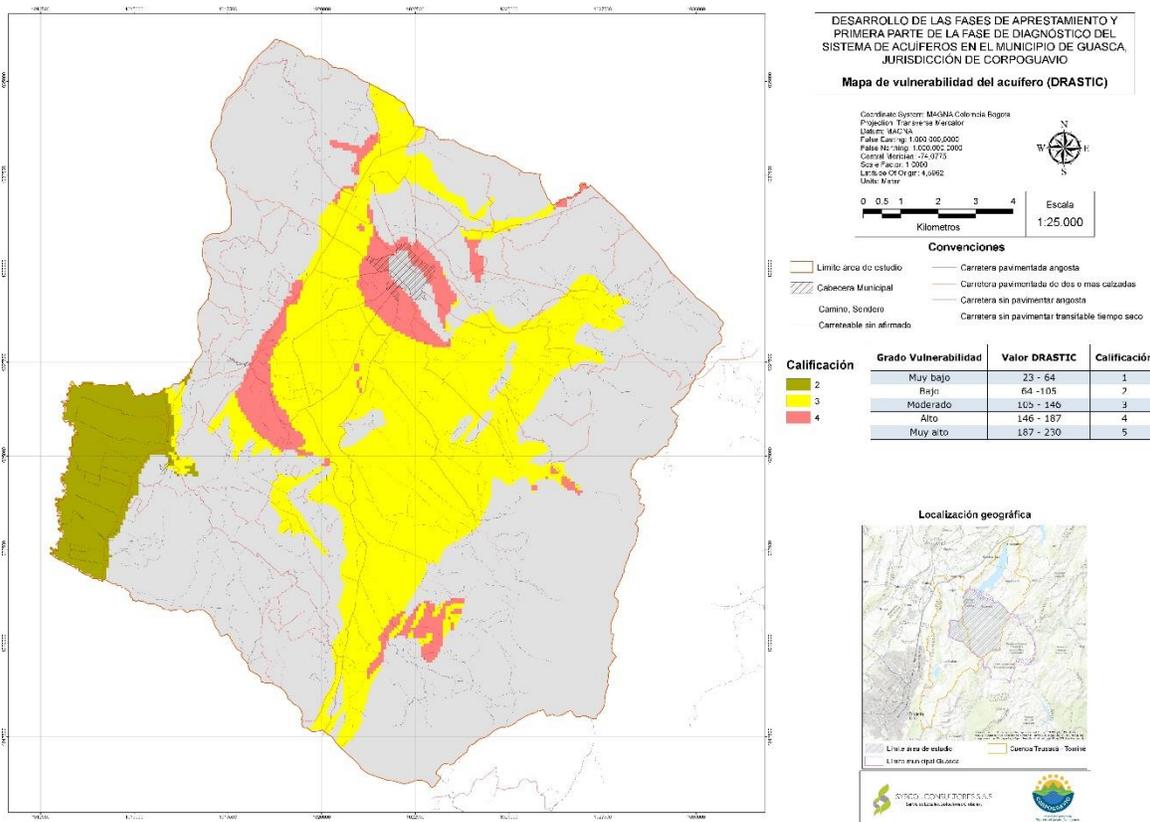
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

3.4.8. Vulnerabilidad intrínseca del acuífero – DRASTIC

Al integrar los parámetros valorados en un sistema de información geográfica para la estimación del índice de vulnerabilidad intrínseca del acuífero de interés, se realiza la representación de la sumatoria de los productos de cada valoración del parámetro y su respectivo factor de ponderación (considerando la posibilidad de contaminantes como los Pesticidas), obteniendo así un grado de vulnerabilidad moderado para la zona centro del área de estudio, vulnerabilidad baja para la zona

sur occidente y vulnerabilidad alta refleje en parte de la zona del casco urbano, todo esto siendo el resultado de la integración de la capacidad de atenuación, resistencia o Inaccesibilidad en sentido hidráulico y transporte de Contaminantes al acuífero.

Imagen 22. Grado de vulnerabilidad DRASTIC



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

3.5. PARAMETRIZACION - Método GOD

El sistema de indexación GOD, propuesto por Foster (1987), es aplicable a áreas de trabajo con escasa información, con irregular distribución de datos o con incertidumbre de la información. Esta metodología comprende tres parámetros: G, O y D; cuyos valores son asignados de acuerdo con la contribución en la defensa a la contaminación, (ver Figura 1), los cuales se describen a continuación.

G. (Groundwater occurrence) Corresponde al grado de confinamiento hidráulico con la identificación del tipo de acuífero, su índice puede variar entre 0 y 1. El modo de ocurrencia varía entre la ausencia de acuíferos (evaluado con índice 0) en el extremo izquierdo y la presencia de un acuífero libre o freático (evaluado como

índice 1) en el extremo derecho, pasando por acuíferos artesianos, confinados y semiconfinados.

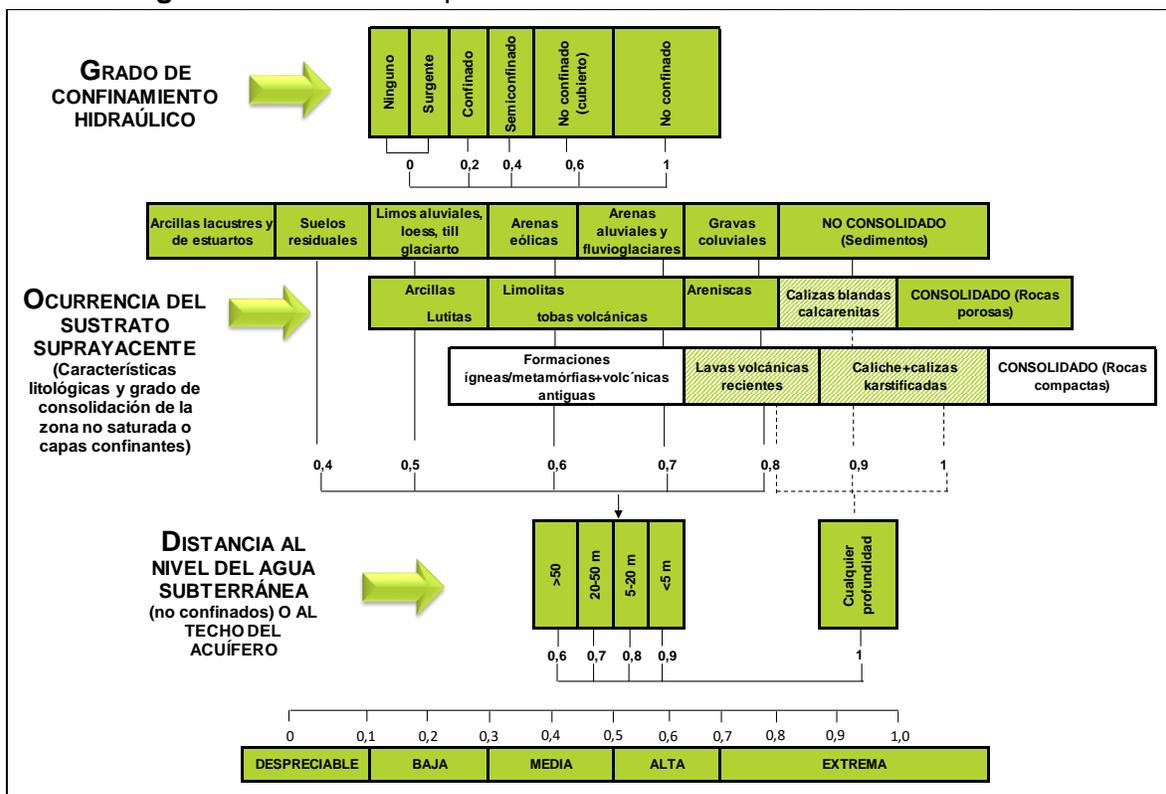
O. (Overall aquifer class) Corresponde a la caracterización de la zona no saturada del acuífero o de las capas confinantes. Los índices más bajos (0,4) corresponden a los materiales no consolidados, mientras que los más altos (0,9 – 1,0) corresponden a rocas compactas fracturadas o karstificadas.

D. (Depth). Se refiere a la profundidad del nivel freático en acuíferos libres o a la profundidad del techo del acuífero, en los confinados. Los índices más bajos (0,6) corresponden a acuíferos libres con profundidad mayor a 50 m; mientras que los índices altos (1,0) corresponden a acuíferos que independientemente de la profundidad se encuentran en medios fracturados. Para el caso de los acuíferos libres la profundidad del nivel estático está sujeta a la oscilación natural.

El índice de vulnerabilidad GOD se obtiene, entonces, de multiplicar los valores asignados a cada parámetro

$$iV_{GOD} = G \times O \times D$$

Imagen 23. Método GOD para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca



Fuente: MADS, Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

Imagen 24. Diagrama elaboración método mapas DRASTIC



Fuente: GIDAHATARI, Métodos de determinación de la vulnerabilidad en acuíferos.

Los resultados del cálculo del iv pueden variar $<0,1$ y $1,0$, obteniendo las categorías de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación, presentados en la siguiente tabla.

Tabla 20. Categorías de vulnerabilidad para el método GOD

PUNTAJE	VULNERABILIDAD
0.7 - 1.0	Muy alta
0.5 – 0.7	Alta
0.3 – 0.5	Moderada
0.1 – 0.3	Baja
< 0.1	Muy baja

Fuente: MADS, Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación

VALORACIÓN DE LOS PARÁMETROS GOD

Se determinó analizar las unidades litoestratigráficas de interés hidrogeológico que poseen pocos datos como lo son; los Depósitos coluviales, Depósitos Fluvioglaciares, Formación Regadera, Formación Cacho, Formación Tiltá y Grupo Guadalupe con la metodología GOD, a continuación, se describe detalladamente los datos requeridos para realizar la valorización de cada una de las variables.

3.5.1. Grado de confinamiento Hidráulico

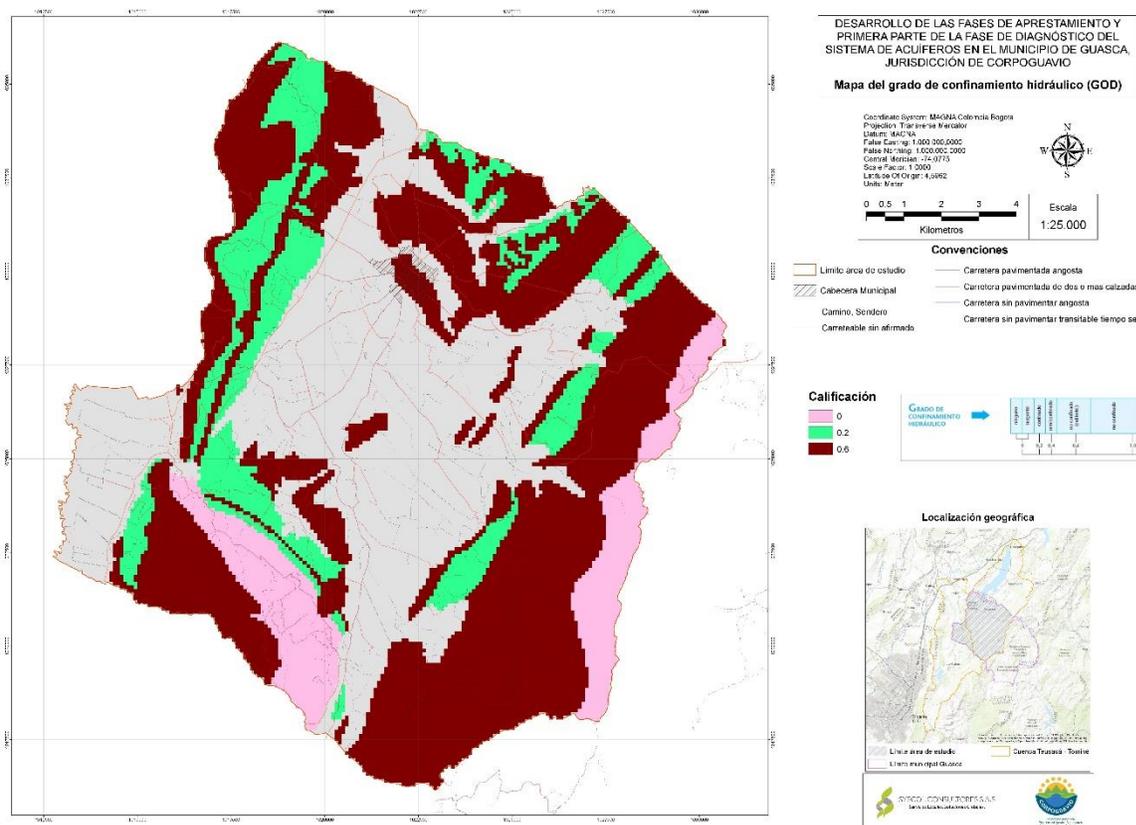
El grado de confinamiento se determinó a partir de la evaluación geológica del área de estudio, determinando el comportamiento de cada una de ellas en la conformación del acuífero donde se pudo establecer que La formación Guaduas, Chipaque, y Bogotá se comportan como acuitardos, Contrario a los Depósitos coluviales, Depósitos Fluvioglaciares, Formación Regadera, Formación Cacho, Formación Tilatá y Grupo Guadalupe los cuales poseen un alto interés hidrogeológico.

Ya teniendo esta información clara, se tomó como referencia el mapa geológico 1:25.000 y se determinó como acuífero libre las áreas donde afloraban las unidades de interés hidrogeológico anteriormente nombradas, a su vez se caracterizó como acuífero confinado las áreas donde afloraban la formación Guaduas y Bogotá; respecto a la formación Chipaque por sus características litológicas se comporta como una capa confinante lo que se determinó que en esta área no existe acuíferos de ningún tipo.

Tabla 21. Grado de confinamiento hidráulico

UNIDAD	NOMENCLATURA	GRADO DE CONFINAMIENTO	G
Depósitos Coluviales	Q2c	No confinado cubierto	0,6
Depósitos de Pendiente	Qdp	No confinado cubierto	
Depósitos Fluvioglaciares	Q1f	No confinado cubierto	
Formación La Regadera	E2r	No confinado cubierto	
Formación Arenisca Dura	K2d	No confinado cubierto	
Formación Arenisca Labor y Tierna	K2lt	No confinado cubierto	
Formación Cacho	E1c	No confinado cubierto	
Formación Plaeners	K2p	No confinado cubierto	
Formación Tilatá	N2t	No confinado cubierto	
Formación Bogotá	E1b	Confinado	0,2
Formación Guaduas	K2E1g	Confinado	0
Formación Chipaque	K2cp	Ninguno	

Imagen 25. Grado de confinamiento hidráulico



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

3.5.2. Ocurrencia del sustrato.

Para determinar este parámetro se tomó como referencia la evaluación geofísica del presente estudio, lo que permitió ubicar los Sondeos Eléctricos Verticales realizados sobre las unidades litoestratigráficas de interés hidrogeológico, esta interpretación permitió identificar las características litológicas del área

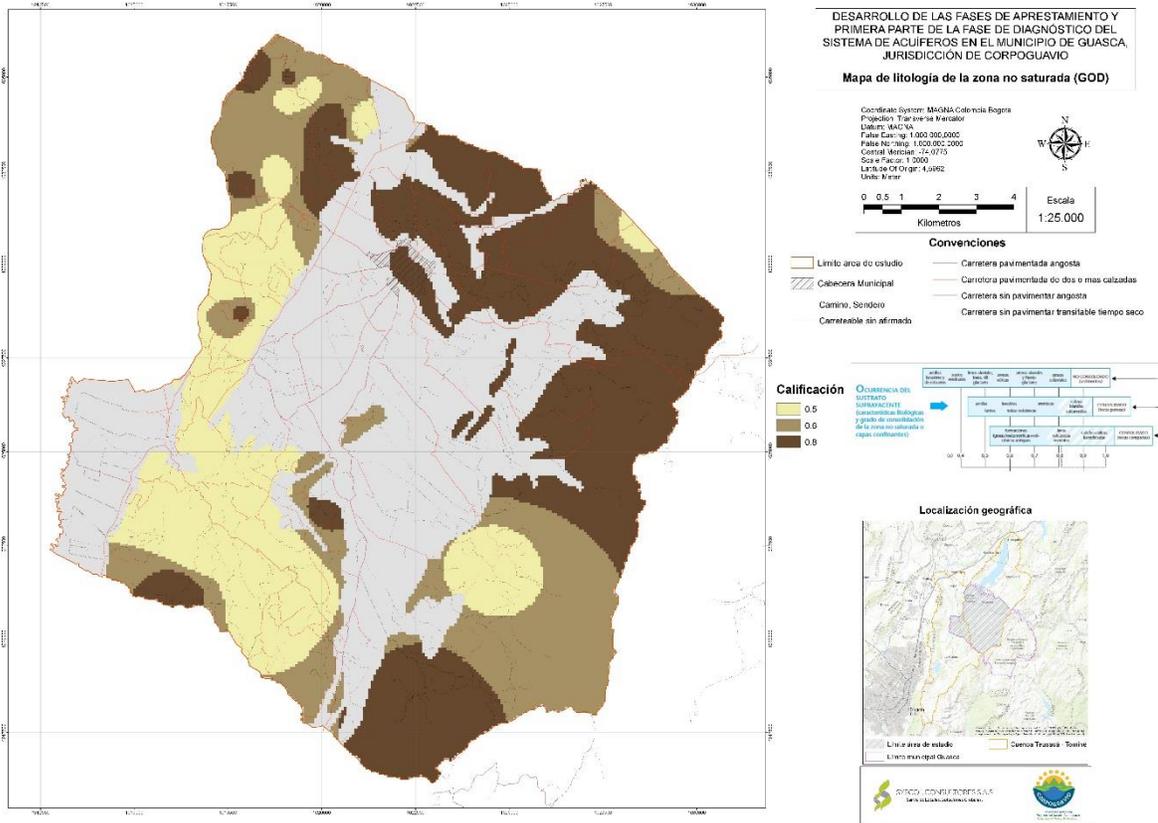
Tabla 22. Ocurrencia del sustrato

UNIDAD	OCURRENCIA DEL SUSTRATO	O
N2ta	Arcillas limosas	0,5
E1bb	Arcillolitas intercaladas con areniscas	
E1bc	Capas gruesas de arcillolitas con intercalaciones delgadas de areniscas	
K2E1ga	Capas gruesas de lodolitas	

K2E1gb K2cpa K2da K2db	Capas gruesas de lodolitas con intercalaciones delgadas de areniscas	
K2E1gc K2ltc	Lodolitas intercaladas con areniscas	
E1ca	Areniscas saturadas, con diferente proporción de conglomerados e intercalaciones de arcillolitas	0,7
K2pb	Capas de areniscas y liditas fracturadas saturadas, con intercalaciones delgadas de lodolitas	
K2lta	Capas gruesas de areniscas compactas, con intercalaciones delgadas de lodolitas	
K2ltb K2E1gd	Capas gruesas de areniscas fracturadas saturadas, con intercalaciones delgadas de lodolitas	
E1ba	Capas gruesas de areniscas saturadas, con intercalaciones delgadas de arcillolitas	
E2ra	Conglomerados y/o areniscas compactas	
E2rb	Conglomerados y/o areniscas friables saturadas	
K2E1ge	Valores anómalos (Capas gruesas de areniscas compactas o secuencias de la Formación Guaduas con intercalaciones de capas de carbón)	
N2tb	Arenas saturadas, con intercalaciones de limos y arcillas	
Q2c	Bloques de diferentes tamaños con matriz areno-arcillosa	

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

Imagen 26. Ocurrencia del sustrato.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S

3.5.3. Distancia al nivel del agua subterránea

Por la poca información de esta área respecto al nivel freático y piezométrico, se determinó la profundidad del acuífero con los sondeos eléctricos verticales realizados en esta área, donde se toma la profundidad que muestre la presencia de la unidad litoestratigráficas de interés.

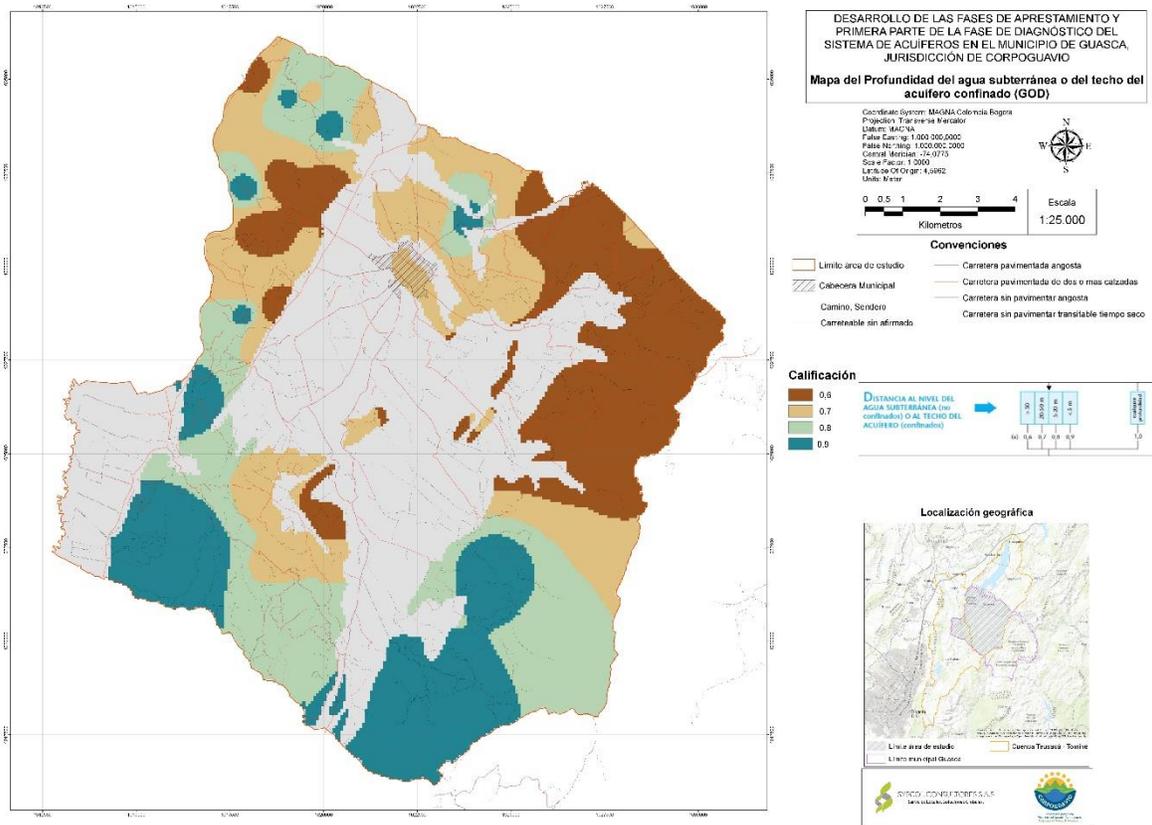
Tabla 23. Distancia al nivel del agua subterránea.

SEV	DISTANCIA AL NIVEL DEL AGUA	D
2	>60,2	0,6
3	>52,34	
8	>67,2	
15	>55,4	

SEV	DISTANCIA AL NIVEL DEL AGUA	D
16	>53,4	0,7
19	>174	
27	>90,6	
28	>59,8	
29	>55,6	
44	>79,7	
55	>63,09	
58	>152	
0	29,7	0,7
1	46,1	
7	44,4	
10	37,3	
17	46,9	
20	21,7	
26	46,8	
41	42,5	
42	26,6	
53	24,4	
57	37,83	0,8
14	13,6	
48	19,3	0,9
9	1,62	
11	2,38	
12	3,46	
13	2,26	
24	1,81	
25	1,07	
32	2,27	
35	2,16	
47	1,84	
49	1,4	
52	1,64	
59	1,83	

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S

Imagen 27. Distancia al nivel del agua subterránea

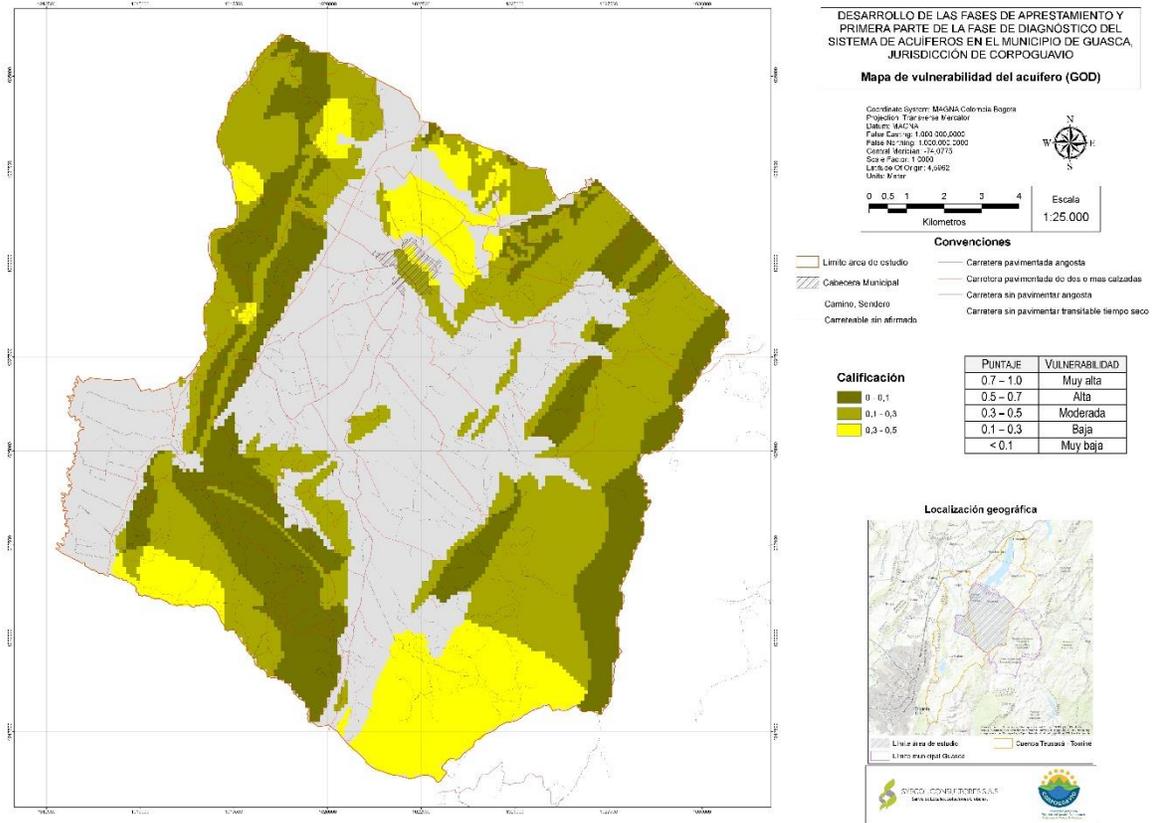


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S

3.5.4. Vulnerabilidad intrínseca del acuífero – GOD

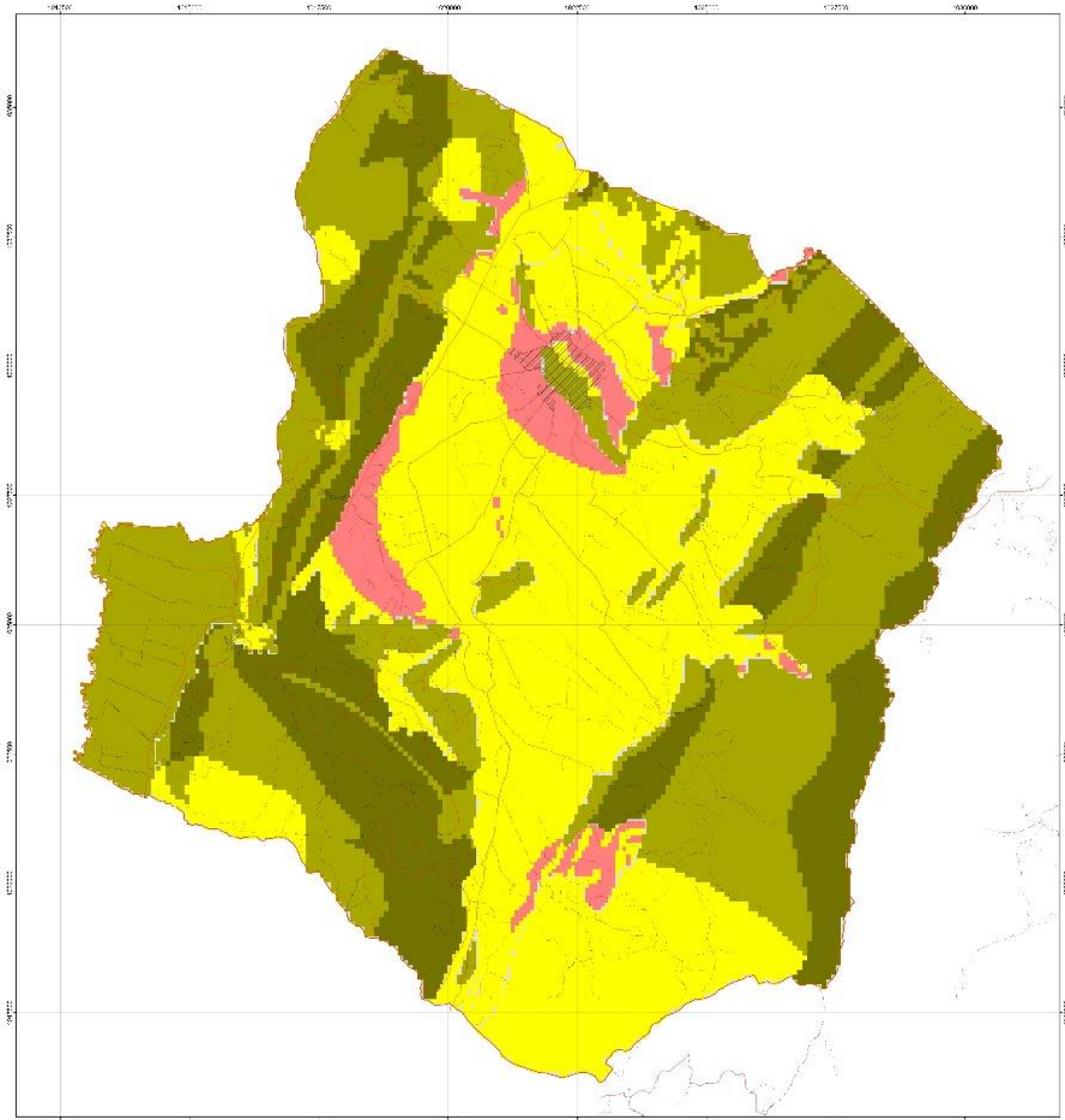
La estimación del índice del grado de vulnerabilidad se determinó en un sistema de información geográfica, donde se realiza la representación del producto de cada valoración del parámetro, obteniendo así un grado de vulnerabilidad moderado para la zona sur, parte del área sur occidente y nor oriente, vulnerabilidad baja y muy baja se reflejó mayormente en toda el área evaluada, todo esto siendo el resultado de la integración de la capacidad de atenuación, resistencia o Inaccesibilidad en sentido hidráulico y transporte de Contaminantes al acuífero.

Imagen 28. Grado de vulnerabilidad GOD.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S

3.6. MAPA DE VULNERABILIDAD



DESARROLLO DE LAS FASES DE APRESTAMIENTO Y PRIMERA PARTE DE LA FASE DE DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ACUIFEROS EN EL MUNICIPIO DE GUASCA, JURISDICCIÓN DE CORPOGUAYO

Mapa de vulnerabilidad del acuífero (DRASTIC - GOD)

Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: MAGNA
 False Easting: 1.000.000,0000
 False Northing: 1.000.000,0000
 Central Meridian: -74,0775
 Scale Factor: 1,0000
 Latitude Of Origin: 4,0662
 Units: Meter

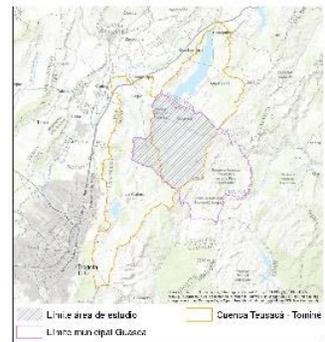


- Convenciones**
- Límite área de estudio
 - Cabecera Municipal
 - Camino, Sendero
 - Carreteable sin afirmado
 - Carretera pavimentada angosta
 - Carretera pavimentada de dos o mas calzadas
 - Carretera sin pavimentar angosta
 - Carretera sin pavimentar transitable tiempo seco

LEYENDA DE VULNERABILIDAD (DRAGCOMBAS)

VULNERABILIDAD EXTREMA: Alta vulnerabilidad y alta exposición, especialmente debido a que todos los componentes son permeables.	VULNERABILIDAD BAJA: Moderada vulnerabilidad y moderada exposición, especialmente debido a que algunos componentes son impermeables.
VULNERABILIDAD ALTA: Moderada vulnerabilidad y alta exposición, especialmente debido a que algunos componentes son permeables.	VULNERABILIDAD MUY BAJA: Baja vulnerabilidad y baja exposición, especialmente debido a que algunos componentes son impermeables.
VULNERABILIDAD MODERADA: Moderada vulnerabilidad y moderada exposición, especialmente debido a que algunos componentes son permeables.	ZONAS Y ENTORNOS DE CUENCAS DE ACUIFEROS EN ÁREAS DE INTERÉS ESPECIAL.
ÁREAS SIN INFORMACIÓN	

Localización geográfica



La vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación se realiza a través de evaluación de tres factores, principalmente: el primero es la capacidad de atenuación de la carga contaminante que ocurre en el suelo, en la zona no saturada y en la zona saturada; donde se evalúan los parámetros relacionados con el tipo de suelo y el espesor comprendido entre la superficie y el nivel freático de la zona no saturada, el segundo factor es la resistencia o la inaccesibilidad en el sentido hidráulico a la penetración de los contaminantes, lo que refiere al Grado de confinamiento, Profundidad del agua subterránea y Características litológicas; y por último se evalúan los factores externos que puedan facilitar o retardar el impacto de las cargas contaminantes, como la pendiente del terreno y la recarga del acuífero éstos son un valor indicativo (cualitativo) y no cuantitativo, por tanto, los resultados que se obtienen de su evaluación son relativos y adimensionales.⁴

La evaluación del grado de vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación generalmente se clasifica desde muy baja, baja, media, alta, muy alta. Los resultados de esta evaluación se suelen presentar en mapas temáticos, los cuales zonifican un territorio en áreas de diferente aptitud potencial para un propósito específico, es decir mapas orientados a usos u objetivos concretos.⁵

El resultado de la aplicación de las dos metodologías GOD y DRASTIC, se observa en la imagen anterior, de allí es importante resaltar que la zona con un grado de vulnerabilidad alta (color rojo) refleja en parte del casco urbano del municipio de Guasca, por lo que se justifica que éste asentamiento humano está sobre los depósitos aluviales con características litoestratigráficas de arenas y/o gravas saturadas, las cuales se comportan como un acuífero libre, a su vez las pendientes en esta área oscila entre 17 y >18 %, es decir que el terreno tiene alta velocidad de escorrentía por lo que desfavorece el proceso de infiltración y evapotranspiración ya que el agua lluvia escurre con facilidad y puede evacuar mayores cantidades de sustancias dispuestas sobre el terreno en forma disuelta o en suspensión.

La zona centro del área de estudio determina un grado de vulnerabilidad moderado, posiblemente esté asociado a la unidades litoestratigráficas que afloran, es decir los Depósitos aluviales y Depósitos de terraza alta, éstos se comportan como un acuífero libre, y su espesor es mínimo comprendido entre la superficie y el nivel freático de la zona no saturada, es decir que tienen mayor probabilidad de ocurrencia a la contaminación, esto por estar más cerca al suelo residual, en caso hipotético de que existan actividades antropogénicas en esa área que puedan contaminar el suelo y a su vez el agua subterránea, el área de color amarillo mostrada en el mapa anterior, sería susceptible a esa infiltración y por consiguiente a la contaminación de acuífero.

⁴ VARGAS QUINTERO. Op. Cit., p 12.

⁵ Ibid., p. 102.

Con relación al área de estudio que establece una vulnerabilidad baja y muy baja, reflejada por los colores (verde claro y oscuro), probablemente resulte de la resistencia o la inaccesibilidad en el sentido hidráulico a la penetración de los contaminantes es decir el grado de confinamiento hidráulico, ésta área se determinó como un acuífero confinado básicamente por la profundidad en la que se encuentra las unidades litoestratigráficas de interés hidrogeológico, además de las características litológicas de estas formaciones.

Es importante que, de acuerdo con los resultados en la zona de vulnerabilidad alta y moderada, se implementen medidas de manejo ambiental para las actividades antrópicas realizadas en el municipio, que consideren estrategias para la prevención y control de eventos de contaminación considerando el alto grado de vulnerabilidad del acuífero en relación con sus características naturales.

4. CONCLUSIONES

El grado de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación se realizó por medio de la aplicación de dos metodologías, el criterio de selección se estableció a partir de la densidad de datos disponibles para cada unidad litoestratigráficas de interés hidrogeológico; la metodología DRASTIC por su mayor cantidad de parámetros a evaluar se estableció para las formaciones con mayor información, mientras que el método GOD permite evaluar la vulnerabilidad cuando existen pocos datos del área de estudio por tal motivo se establecieron estas dos áreas de estudio.

Se realizó un barrido de información primaria y secundaria lo que permitió establecer que las unidades litoestratigráficas con mayor densidad de datos disponibles son los Depósitos Aluviales, Depósitos de terrazas Altas, por tal motivo se evaluaron con el método DRASTIC. Por tal razón unidades litoestratigráficas de interés hidrogeológico que poseen pocos datos como lo son; los Depósitos coluviales, Depósitos Fluvioglaciares, Formación Regadera, Formación Cacho, Formación Tilatá y Grupo Guadalupe se evaluaron con la metodología GOD.

Al integrar los parámetros valorados en un sistema de información geográfica para la estimación del índice de vulnerabilidad intrínseca del acuífero de interés, se realiza la representación de la sumatoria de los productos de cada valoración del parámetro y su respectivo factor de ponderación para la metodología DRASTIC y la multiplicación de cada parámetro de la metodología GOD. Estableciendo así el grado de vulnerabilidad de los acuíferos en el área de estudio.

Los parámetros de la metodología DRASTIC - GOD y vulnerabilidad del acuífero fueron estimados y plasmados en cartografía a través del empleo de un sistema de información geográfica (Software ArcGIS), Los cuales ayudan a establecer estrategias de protección del agua subterránea y la planificación de los usos de la tierra. La integración de la protección de las aguas subterráneas mediante mapas de vulnerabilidad en la zonificación o caracterización del territorio de una cuenca hidrográfica es una herramienta de ayuda en la ordenación de los vertimientos potencialmente contaminantes, y para la aplicación de medidas contra la contaminación y en la elaboración de planes de manejo de acuíferos y de ordenación del territorio.

EL mapa de vulnerabilidad del área de estudio reflejó cuatro clasificaciones (muy baja, baja, moderada y alta) de allí es importante resaltar que la zona con un grado de vulnerabilidad alta (color rojo) reflejó en parte del casco urbano del municipio de Guasca, la zona central del área de estudio determinó un grado de vulnerabilidad moderado, y la zona oriente y occidente una vulnerabilidad baja y muy baja, todo esto asociado a las características naturales del acuífero como lo son: la capacidad de atenuación de la carga contaminante que ocurre en el suelo, en la zona no



saturada y en la zona saturada, la resistencia o la inaccesibilidad en el sentido hidráulico a la penetración de los contaminantes y los factores externos que puedan facilitar o retardar el impacto de las cargas contaminantes

BIBLIOGRAFÍA

VARGAS QUINTERO, Consuelo. Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación: Metodología DRASTIC: Editorial Ministerio de Medio Y Desarrollo Sostenible, 2010. 45 p.

GIDAHATARI, Métodos de determinación de la vulnerabilidad en acuíferos [en línea] <<http://gidahatari.com/ih-es/metodos-determinacion-vulnerabilidad>> [citado en 20 de agosto de 2017]

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (ESPAÑA). Evapotranspiración potencial (ETP) media anual [en línea]. [Madrid, España] [citado 8 jul, .2017]. Disponible en Internet:<URL:
https://www.ign.es/espmmap/mapas.../Clima_Mapas_08texto_corregido.pdf>