

Evaluación de la vulnerabilidad del recurso hídrico subterráneo del municipio de Cota Cundinamarca utilizando el modelo DRASTIC

Vulnerability assessment of underground water resources in the municipality of Cota Cundinamarca using the DRASTIC model

Jesús Ernesto Torres Quintero¹, Nikolay Agudelo², Oscar L. Ortiz M³, Rober Fayruth Soler Pedreros⁴

¹ Ingeniero Civil Magister Recursos hídricos, Universidad Libre, jesuse.torresq@unilibrebog.edu.co

² Ingeniero Químico Magister en Ingeniería Ambiental, Universidad Libre, rafaeln.agudelo@unilibrebog.edu.co

³ Ingeniero Ambiental Magister en gestión Ambiental, Universidad Libre, oscarl.ortizm@unilibrebog.edu.co

⁴ Estudiante Ingeniería Ambiental, Universidad Libre, roberf.solerp@unilibrebog.edu.co

Fecha de recepción: 26/05/2015 Fecha de aceptación del artículo 27/10/2015

Resumen

Esta investigación se desarrolló al interior del Grupo de Investigación TECNOAMBIENTAL y con apoyo del convenio CAR –UNILIBRE, en el Proyecto Gestión Integral del Recurso Hídrico en la temática de Aguas Subterráneas. Se identificó que los cuatro pozos del acueducto donde se explota agua subterránea para el Municipio de Cota Cundinamarca ofrecen al día 3'715,200L. Se identificó la demanda hídrica del casco urbano del Municipio de Cota,

Se generaron mapas de vulnerabilidad intrínseca para el acuífero del Municipio de Cota Cundinamarca, mediante la metodología DRASTIC conforme a cada una de las variables y utilizando algebra de mapas se generó cada mapa por medio del software ArcGis 10.1. Se obtuvieron valores correspondientes al índice de vulnerabilidad intrínseca. Todo lo anterior mencionado se hizo con el fin de tener una visión clara de la importancia de proteger el recurso hídrico subterráneo del Municipio de Cota.

Palabras Claves

Aguas subterráneas, modelación, hidrología, vulnerabilidad, DRASTIC

Abstract

This article is TECNOAMBIENTAL Research Group and with support from CAR -UNILIBRE

agreement on the Comprehensive Water Resources Management Project in the subject of Groundwater. It was identified that the four wells where groundwater aqueduct exploited for the Municipality of Cota Cundinamarca offer daily 3'715,200L. Water demand of the urban area of the municipality of Cota was identified.

Maps for aquifer intrinsic vulnerability of the Municipality of Cota Cundinamarca by the DRASTIC methodology according to each of the variables and using algebra maps each map was generated through ArcGIS 10.1 software were generated. Values for the intrinsic vulnerability index were obtained. All the above mentioned was made in order to have a clear vision of the importance of protecting the groundwater resources of the municipality of Cota.

Keyword

Groundwater, modeling, hydrology, vulnerability, DRASTIC

1. Introducción

En el presente artículo se identificaron cuatro pozos del acueducto donde se explota agua subterránea para el Municipio de Cota Cundinamarca, estos pozos en la actualidad están siendo empleados para ofrecer 3.715.200 L/día de agua., dicho dato fue obtenido gracias a los trabajos de campos que fueron hechos

en campo, además de información suministrada por el acueducto La Moya y las personas que trabajan en la planta de tratamiento Cetime. De igual forma, gracias al estudio de calidad de agua realizado por la Universidad de la Salle en el 2013, se logró hacer mapas donde se muestra el comportamiento de los parámetros físico - químicos en toda el área de estudio. Así mismo, con la respectiva información obtenida mediante el DANE, se logró identificar el número de habitantes que existen actualmente en la parte rural y urbana del Municipio de Cota, gracias a esto y con ayuda del RAS 2000, se calculó la demanda hídrica del casco urbano del Municipio el cual es abastecido por el acueducto. Todo lo mencionado se hizo con el fin de tener una visión clara de la importancia de proteger el recurso hídrico subterráneo del Municipio.

Por otro lado, se generaron mapas de vulnerabilidad intrínseca para el acuífero del Municipio de Cota Cundinamarca, mediante la metodología DRASTIC conforme a cada una de las variables y utilizando algebra de mapas se generó cada uno de los mapas empleando el software ArcGis 10.1. Se obtuvieron

valores correspondientes al índice de vulnerabilidad intrínseca para la metodología DRASTIC, con resultados comprendidos entre los valores posibles (23 a 230), divididos en cinco intervalos de vulnerabilidad (muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto). En el área total de la zona de estudio que corresponde a 53.42 km², se tiene que el 60.9% presenta una vulnerabilidad moderada y el 39.1% una vulnerabilidad alta. En términos generales, se identifica que la zona de estudio presenta múltiples fuentes de contaminación, debido a la agricultura, ganadería, industrias y urbanización, este documento contribuye como una base a futuras investigaciones dirigidas al diagnóstico del acuífero.

2. Metodología

La metodología utiliza siete parámetros D-R-A-S-T-I-C, que dependen del clima, el suelo, el sustrato superficial y subterráneo como se presenta en la Figura

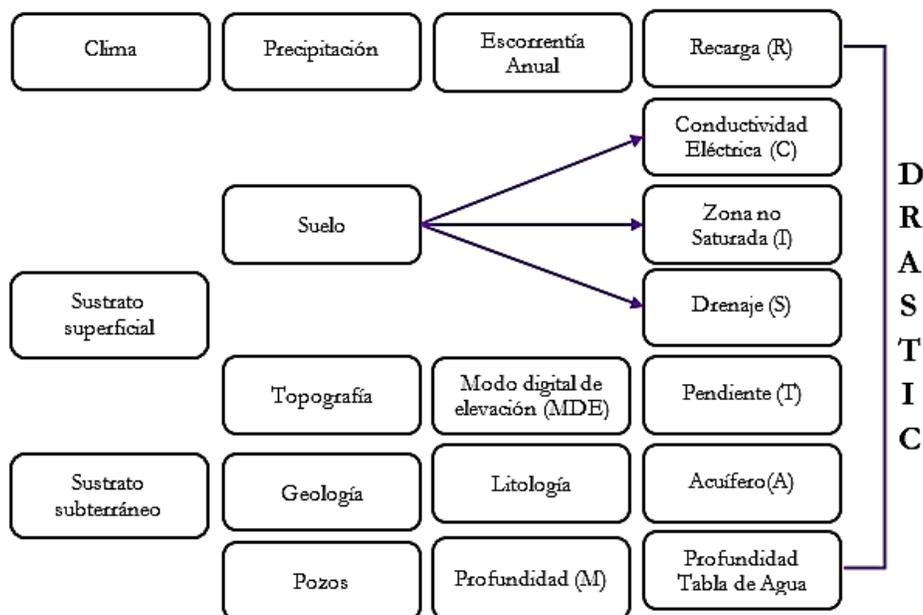


Figura 1. Metodología DRASTIC. Fuente: [1].

Para determinar la oferta hídrica, se hizo trabajo de campo el cual tuvo como finalidad visitar cada uno de los pozos y solicitar información de los caudales que se están extrayendo actualmente, dicha información fue

suministrada por las personas encargadas de la supervisión de cada pozo y además se complementó en información aportada por las oficinas del acueducto La Moya.

El estudio de Calidad de Agua consto de la visita de 72 puntos de agua con diferente tipo de estructura tales como: Pozos, aljibes y barrenos. Para tener acceso a las fuentes hídricas, se solicitó permiso a los propietarios de los predios puesto que están ubicados en propiedades privadas, menciona [2].

3. Desarrollo de la Investigación

3.1. Análisis y mapas de vulnerabilidad dados por la metodología DRASTIC

- **Profundidad del agua subterránea (D)**

Establece la profundidad del nivel estático del agua subterránea, tal como lo menciona [3]:

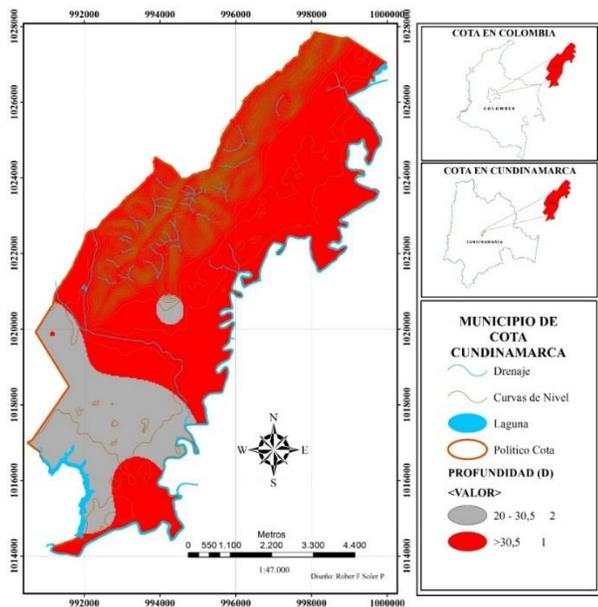


Figura 2. Mapa profundidad de agua subterránea. Fuente: [4].

- **Recarga neta (R)**

La recarga del agua subterránea por precipitación se define como la entrada del agua dentro de la zona saturada, donde comienza hacer parte de las reservas subterránea de agua[5].

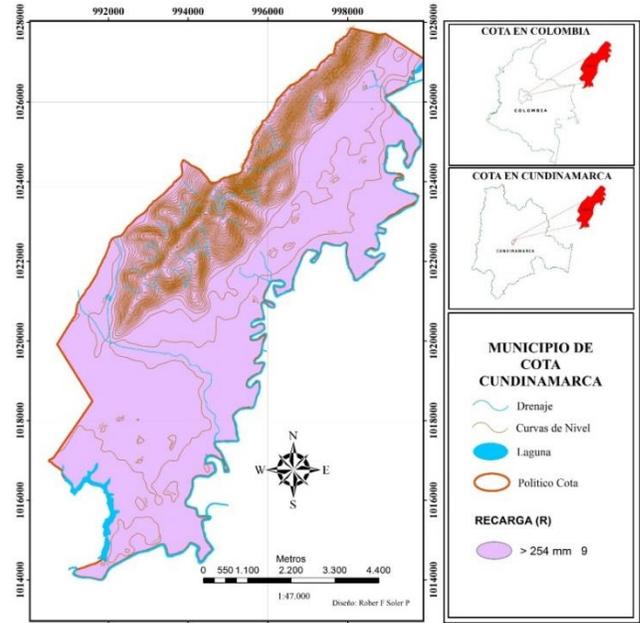


Figura 3. Mapa de Recarga. Fuente: [4].

- **Litología y estructura del acuífero (A)**

La litología y estructura del medio acuífero es homogénea para el caso del presente proyecto, se tomó según lo descrito en el corte hidrogeológico esquemático de la cuenca del río Bogotá, citado por [6]. Se trata de la formación Guadalupe Constituido por areniscas compactas y friables con intercalaciones de limolitas y arcillolitas/lutitas.

- **Tipo de suelo (S)**

Con base a lo descrito en el PBOT del municipio de Cota Cundinamarca [7], los suelos son margosos de tipo franco-arenosos, constituidos principalmente de arcilla, limo y arena. En las partes altas de la cordillera presente dentro del área es estudio el suelo está constituido por gravas mezcladas con arenas y arcillas.

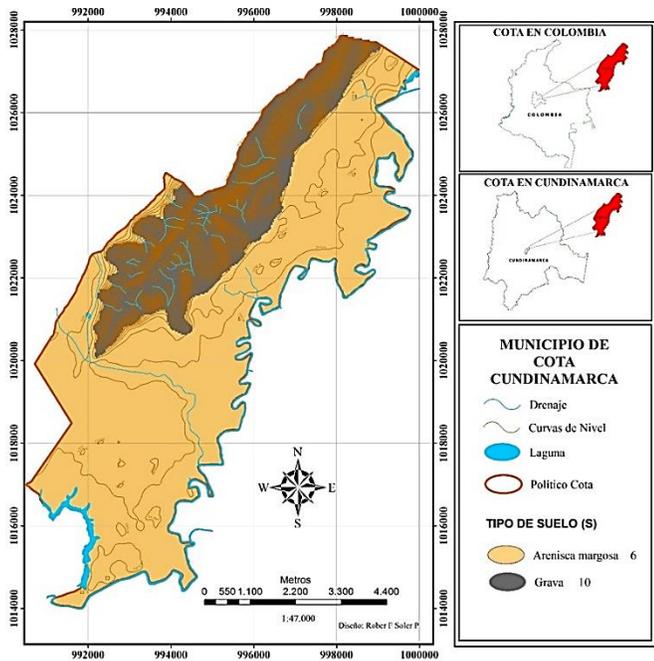


Figura 4 Tipo de suelos. Fuente: [4].

• Topografía o pendiente (T)

Para obtener los valores de esta variable fue necesario utilizar el programa Global Mapper, mediante la superposición de imágenes elaborar curvas de nivel que posteriormente fueron llevadas a la herramienta ArcMap donde fueron procesadas para la elaboración de un TIN y un DEM y así obtener las pendientes en porcentaje como se muestra en la Figura 26.

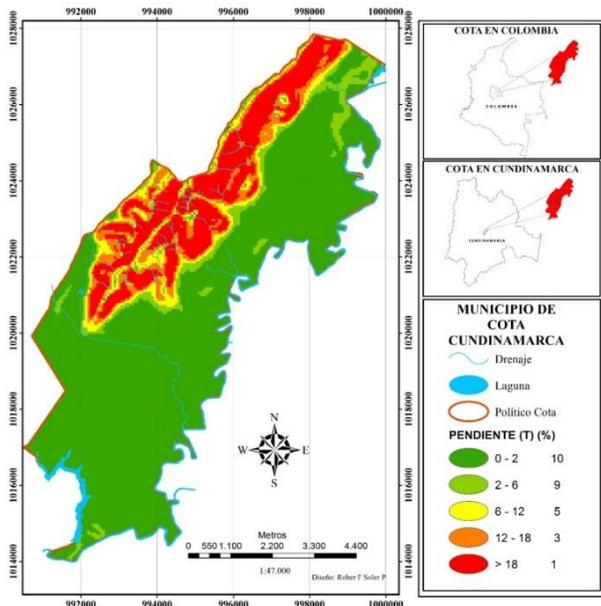


Figura 5. Mapa de Pendientes. Fuente: [4].

• Conductividad hidráulica (C)

Para obtener este parámetro, se tienen en cuenta las pruebas de infiltración desarrolladas en campo, en la figura 28 se muestra las isolíneas desplazándose desde los puntos donde se realizaron los ensayos de infiltración. También muestra las diferentes velocidades con que el agua penetra en los diferentes lugares de la zona de estudio.

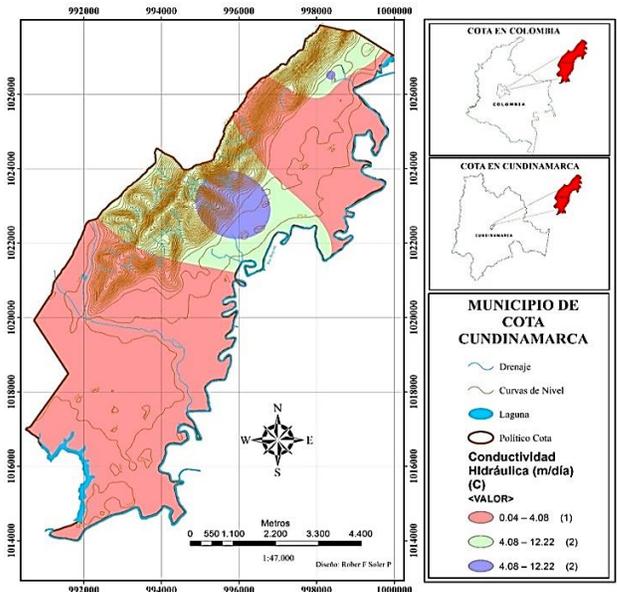


Figura 6. Mapa de Conductividad Hidráulica. Fuente: [4].

3.2. Análisis de los resultados de la Investigación de la vulnerabilidad intrínseca para la metodología DRASTIC

A continuación, se hace recuento de cada uno de los parámetros determinados anteriormente.

• Parámetro (D)

Gracias a los datos obtenidos en trabajo de campo y suministrados por las diferentes entidades (ver tabla 20), y con ayuda del Software ArcGis 10.1 se interpolaron los valores de profundidad, posteriormente se hizo una reclasificación de los mismos con el fin de obtener los rangos de profundidad que establece la metodología DRASTIC, para este caso, en la Figura 22 se observa que la menor profundidad del área de estudio oscila entre 20-30.5m la cual se le establece un valor de 2 y la mayoría del área central y norte, la profundidad estática es mayor a 30.5m la cual corresponde una valoración de 1.

- **Parámetro (R)**

Para el caso de la recarga, se utilizó la fórmula empírica de (Turc, 1954), citado por [8], en donde se utiliza los valores medios multianuales de precipitación y temperatura de la zona de estudio, en este caso corresponde a 770 mm/año y una temperatura de 12.05 °C, estos valores se obtuvieron a partir de las isoyetas e isothermas mencionadas anteriormente. Al reemplazar los valores en la fórmula, arroja una recarga de 281.78 mm/año, donde según la metodología es mayor a 254 mm/año, entonces, tiene una valoración de 9.

- **Parámetro (A)**

Así mismo, para la litología y estructura del acuífero, se tomó información citada por [6], en donde se trata de la formación Guadalupe el cual está constituido principalmente por areniscas compactadas con algunas intercalaciones de arcillolitas. Entonces, la metodología DRASTIC especifica que para este tipo de acuífero se le asigna una numeración de 6 (ver Tabla 6).

- **Parámetro (S)**

La información sobre el tipo de suelo de la zona de estudio se obtuvo mediante la descrita en el PBOT del Municipio, el cual especifica que son suelos margosos constituidos principalmente por arcillas, limos y arenas el cual la metodología asigna una valoración de 6, y para la parte alta son suelos presenta una alta cantidad de gravas y arenas al cual se le establece una valoración de 10.

- **Parámetro (T)**

Para el caso de la pendiente, se obtuvo mediante el Software ArcGis, en donde se estableció que el área de estudio tiene las siguientes pendientes con su respectiva valoración DRASTIC:

0 – 2 % valoración de 10

2 – 6 % valoración de 9

6 – 12 % valoración de 5

12 – 18 % valoración de 3

Mayor a 18 valoración de 1

Las pendientes en general son bajas, lo que indica que cualquier tipo de contaminante tiende a estancarse, esto hace que el contaminante tenga más probabilidad de

infiltrarse. Para los casos de la pendiente mayor a 18%, existe más presencia de escorrentía y presentaría menos infiltración.

- **Parámetro (I)**

La naturaleza de la zona no saturada corresponde a la estructura existente entre en nivel freático y la superficie del suelo. Según [4], la zona de estudio está constituida por la formación Chía, formada principalmente por arcillas de inundación puesto que se encuentra el Río Bogotá, el Río Chicú y algunas zonas húmedas (ver figura 27), la cual tiene una valoración DRASTIC de 3, también está la formación Sabana constituida por arcillas orgánicas, turbas, arcillas arenosas intercaladas, para la cual se le da una valoración de 6, por último, en la parte de las pendientes altas, está constituida principalmente por gravas y arenas mezcladas a la cual se le asigna una valoración de 8.

La formación Chía es poco vulnerable puesto que las arcillas impiden la infiltración, para la formación Sabana, por el contenido de arenas, puede ser vulnerable por que puede presentar una infiltración más rápida y no alcanzaría a degradar el contaminante. La vulnerabilidad de la zona donde se presentan gravas es muy baja, porque además de tener pendiente alta, también son materiales difíciles de infiltrar.

- **Parámetro (C)**

El último parámetro, representa la conductividad hidráulica de la zona de estudio, la cual fue determinada mediante los ensayos de infiltración, para esto, se hizo una interpolación de datos con la herramienta IDW de ArcGis y posteriormente se reclasifico obteniendo las siguientes velocidades de infiltración:

0.04 – 4.08 m/día valoración de 1

4.08 – 12.22 m/día valoración 2

Para las zonas con más contenido de arcillas presenta una infiltración muy baja a diferencia de las zonas donde los suelos son principalmente francos arenosos.

Todo lo anteriormente expuesto se resume en la Tabla 1 en donde representa los valores correspondientes a la vulnerabilidad intrínseca del acuífero para el Municipio de Cota, Cundinamarca.

Tabla 1. Valores DRASTIC para el municipio de Cota Cundinamarca. Fuente: Autores.

	Profundidad (D)		Recarga (R)	Litología (A)	Tipo de suelo (S)	
Variable	20 -30,5m	>30,5m	>254mm	Arenisca Masiva	Arenisca Margosa	Grava
Valor	2	1	9	6	6	10

Pendiente (T)					
Variable	0-2%	2-6%	6-12%	12-18%	>18%
Valor	10	9	5	3	1

	Naturaleza zona no saturada (I)			Conductividad (C)	
Variable	Cieno Arcilla	Arena, Cieno y Arcilla	Grava y Arena	0,04-4,08m/día	4,08-12,22m/día
Valor	3	6	8	1	2

Cada uno de los valores mencionados se detalla cartográficamente en la sección.

Posteriormente, con algebra de mapas, mediante la herramienta de análisis espacial del Software ArcGIS 10.1, se ponderan los valores de cada uno de los siete mapas anteriormente expuestos.

Este procedimiento dio como resultado la distribución del análisis de vulnerabilidad establecido por la metodología DRASTIC [9], se limita en dos valores de cinco descritos en la metodología, moderado y alto como se muestra en la Tabla 2.

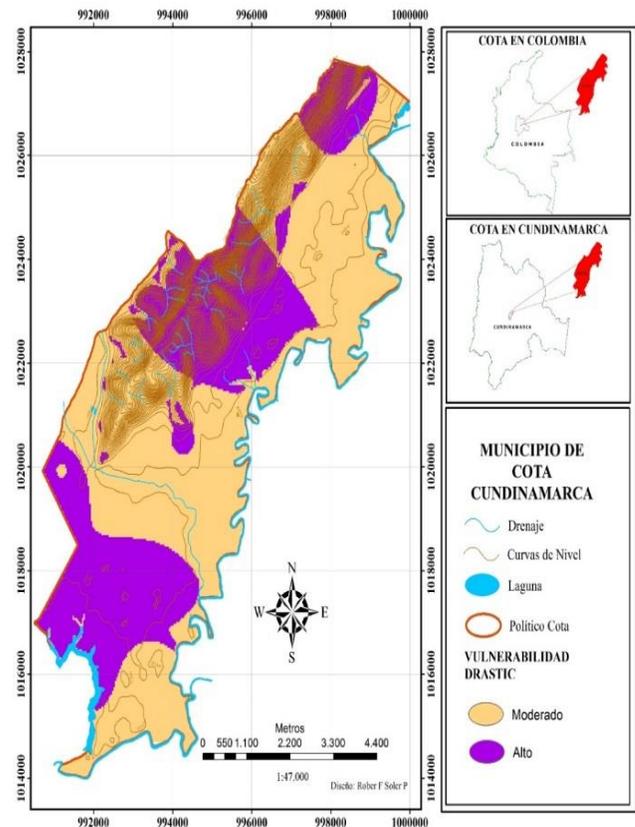


Figura 7. Mapa Resultado DRASTIC Fuente: [4].

Tabla 2. Evaluación de la vulnerabilidad DRASTIC en el área de estudio. Fuente: Autores.

Evaluación de la vulnerabilidad DRASTIC	Área de influencia (Km ²)	Área (%)
Moderado	32,543031	60,9
Alto	20,88695	39,1

Conclusiones

Se identificó la oferta hídrica de agua subterránea de los cuatro pozos que abastecen de agua potable al Municipio de Cota, corresponde a 3'715,200 litros por día, así mismo, según la metodología de (Turc, 1954), citado por [8], el Municipio de Cota tiene una recarga de los acuíferos equivalente a 15'052.687,6 m³ de agua en año, entonces, se puede decir que esa misma cantidad es la oferta total del Municipio.

Se estudió el comportamiento de los principales parámetros físico químicos de 72 puntos de agua, para lo cual se investigaron en campo 14 puntos de los cuales seis pozos se utilizan para abastecimiento de agua del Municipio de Cota que presentan buena calidad y los otros son para uso agrícola, los cuales presentaron valores que oscilan como se expone a continuación:

Temperatura: de 15 a 21 °C

pH: de 4.01 a 7.9

DQO: de 1.2 a 459.7 mg/L

Hierro: de 0 a 5.9 mg/l de Fe⁺²

S. Disueltos: de 32 a 322.9 mg/L

Turbidez: de 0.04 a 93.9 NTU

Conductividad: 114 µS/cm

OD: 3.35 ppm

Se determinó la demanda hídrica del casco urbano del Municipio de Cota Cundinamarca mediante el método expuesto por el Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico 2000, la cual corresponde a 1'315.564,8 L/día, esto corresponde al 35.4% del total producido por el acueducto.

Se analizó cada uno de los parámetros de la metodología DRASTIC generando un mapa de vulnerabilidad general el cual especifica que 32,543031 km² del área total presenta una vulnerabilidad moderada y 20,88695 km² presenta una vulnerabilidad alta.

Referencias

- Vargas, M. C. (2010). *Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos a la contaminación*. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial Viceministerio de Ambiente. Colombia.
- Calderón, H. J. R., Avellaneda, Q. L. S. (2013). *Inventario y seguimiento de la calidad del agua subterránea de aljibes y pozos en las veredas El Abra, El Rojo y Cetime - Municipio de Cota Cundinamarca, mediante la creación de una plataforma de información geográfica en el programa ArcGis*. Taller de servicio Municipal, Universidad de la Salle, Cundinamarca, Bogota.
- Ortiz, A. R. (1996). *Glosario Geohidrológico*. Universitaria Potosima.
- INGEOMINAS. (1989). *Mapa del Neógeno - Cuaternario de la sabana de Bogotá - Cuenca alta del río Bogotá. Mapa, Cundinamarca, Bogotá*. Recuperado en Febrero de 2015.
- Bradbury, K R; Dripps, C; C, Hankley; M P, Anderson; K W, Potter. (2000). *Refinement of Two Methods for Estimation of Groundwater Recharge Rates*. Final project report to the Wisconsin Department of Natural Resources.
- Lobo-Guerrero, A. (1992). *Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana*. Sociedad Colombiana de Ingenieros, Cundinamarca, Bogotá D.C. Recuperado el 20 de Febrero de 2015.
- CIDERTER SAS. (2009). Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT), pp. 39-42.
- Vélez, O. M. (2014). Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de

acuíferos. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

9. Montaña, J., Gagliardi, S., Vidal, H., Montaña, M., Lucena, R. (2004). Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero mercedes en el área metropolitana de la ciudad de Paysandú - comparación de los métodos GOD y DRASTIC. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*, pp. 35-45.