

Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en la ciudad de Yopal, Casanare

Vulnerability of the groundwater contamination in the city of Yopal, Casanare

Sergio Andrés Peña Perea¹, Viviana Rosas Martínez², Yeison Leandro Pedraza Cárdenas³
^{1, 2, 3} *Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Fundación Universitaria de San Gil-UNISANGIL, Sede Yopal, Yopal, Colombia*
 terranare@unisngil.edu.co,
 spena@unisangil.edu.co

Resumen— Se evalúa para la ciudad de Yopal, la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas, una de las fuentes de abastecimiento en el municipio.

El método está basado en la utilización de tres parámetros, la naturaleza de las formaciones geológicas, la distancia al agua y la condición natural de los acuíferos.

La investigación evidenció que la mayoría de acuíferos en la ciudad son alta y extremadamente vulnerables a la contaminación.

Frente al futuro abastecimiento de agua subterránea en el sistema de acueducto, es necesario, determinar el riesgo de contaminación y proponer a futuro, una red de monitoreo de calidad de agua.

Palabras clave— Acuífero, vulnerabilidad, contaminación, Yopal, Casanare.

Abstract— Is evaluated for the city of Yopal, vulnerability to contamination of groundwater, one of the sources of supply in the municipality.

The method is based on the use of three parameters, the nature of the geological formations, the distance to the water and the natural condition of the aquifers.

The investigation showed that most aquifers in the city are high and extremely vulnerable to contamination.

Facing the future supply of groundwater in the water system, it is necessary to determine the risk of contamination and propose a future, a network of water quality monitoring.

Key words— Acuifer, vulnerability, contamination, Yopal, Casanare.

I. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Yopal, en Casanare, posee un área de 2595 Km² en su jurisdicción y se encuentra ubicada al noreste del departamento. Posee unas características geográficas únicas, dado que se presentan tres diferentes zonas geográficas: montaña, piedemonte y sabana. Esta característica, dota a la ciudad de una riqueza geológica e hidrológica, donde la oferta de recursos hídricos se presta para el desarrollo económico y de las comunidades

Se presenta un estudio de caso específico para la ciudad de Yopal. El estudio parte de la necesidad de verificar el grado de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas, fuente de abastecimiento individual y de algunas actividades industriales y comerciales en el municipio, además de ser una alternativa de futuro abastecimiento para la ciudad, dadas las condiciones actuales de emergencia sanitaria por falta de agua potable.

Actualmente, el agua es concesionada según la normatividad vigente, pero los estudios exploratorios carecen de una muy buena evaluación de la cantidad y la calidad del agua, los acuíferos están siendo utilizados sin la más mínima protección a la contaminación, y existen diferentes actividades que puedan estar contaminando las aguas subterráneas.

Una vez evaluados los parámetros, y se realizan los análisis de la información, se muestran los resultados a través de un mapa de vulnerabilidad del municipio, en este se presentan los índices de vulnerabilidad de la zona a través de una escala de colores definidas para tal fin.

II. METODOLOGÍA

La vulnerabilidad es definida como “una propiedad intrínseca del sistema de agua subterránea que depende de la sensibilidad del mismo a los impactos humanos y/o naturales”[1]. Hacia 1991 se establece que la “vulnerabilidad” del acuífero a la contaminación, representa su sensibilidad para ser adversamente afectado por una carga contaminante impuesta” [2].

Los métodos utilizados en la evaluación de la vulnerabilidad natural e intrínseca de las aguas subterráneas a la contaminación, tienen en cuenta datos relacionados con la naturaleza litológica presente en las zonas evaluadas, profundidades tanto de las napas freáticas como de las capas acuíferas confinadas, cantidad de recarga de los acuíferos, la topografía, la composición de los suelos, las características propias de la dinámica hidráulica en las formaciones y parámetros físicos relacionados con la naturaleza geológica de la zona [3].

En el caso de estudio, se utiliza el Método de Indexación de Parámetros G.O.D planteado por Stephen Foster y Ricardo Hirata hacia el año de 1991.

El método contempla el uso de las variables estratégicas G, definida como la ocurrencia del agua subterránea, O, referente a la Naturaleza Litológica de las formaciones geológicas y D, a la distancia al agua subterránea, ver Fig 1.

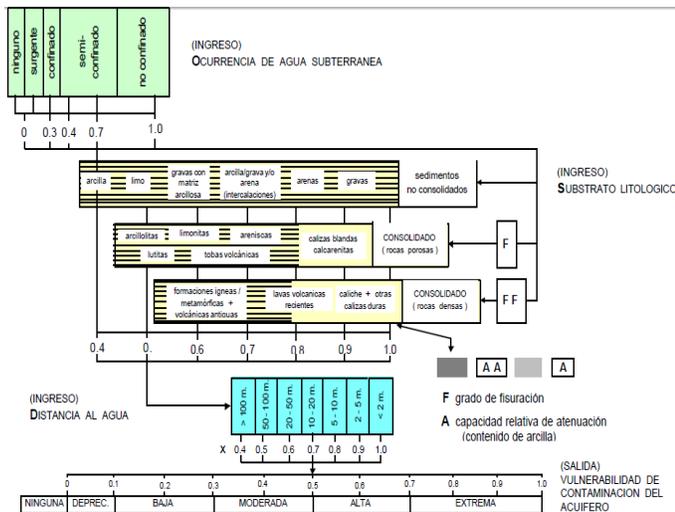


Fig 1. Matriz de evaluación de parámetros G.O.D. Foster y Hirata 1991.

Este método permite establecer mediante rangos de valores que van de Cero (0) a Uno (1), la vulnerabilidad a la contaminación de cada formación geológica. Al final se multiplican los tres valores para finalmente definir el índice de vulnerabilidad, que para el proyecto realizado en Yopal,

se establecieron 5 rangos de valores, que van desde una vulnerabilidad muy baja, hasta vulnerabilidad extrema.

Finalmente, en el plano de vulnerabilidad, se representan por medio de colores, cada uno de los rangos de vulnerabilidad establecidos en cada zona, según los valores del índice de vulnerabilidad. La representación de mapas de vulnerabilidad como medida de protección para las aguas subterráneas es tenida en cuenta a nivel mundial [4].

Este método establece la vulnerabilidad del acuífero, como una función de la inaccesibilidad de la zona saturada, desde el punto de vista hidráulico a la penetración de contaminantes y la capacidad de atenuación de los estratos encima de la zona saturada como resultado de su retención física y la reacción química con los contaminantes [5]

III. RESULTADOS

En la ciudad de Yopal, se presentan diecisiete (17) Formaciones geológicas. Para efectos de aplicación del método GOD se analizaron tres (3) acuíferos potencialmente productores y siete (7) formaciones rocosas permeables de baja productividad, coincidiendo con los conos aluviales de los ríos Cravo Sur, Charte y Tocaría y con la zona de recarga que se encuentra en el sinclinal de Zapatosa. Las demás formaciones geológicas, no se pueden tomar como acuíferos porque se encuentran sobre un anticlinal y son áreas muy pequeñas de poco espesor, además que los materiales sedimentarios presentes tienen baja permeabilidad y porosidad, lo cual hace que la filtración de agua sea limitada.

Para la cartografía final, se tiene en cuenta una serie de colores para identificar las zonas con baja a extrema vulnerabilidad. Se escogen los colores verde (vulnerabilidad muy baja), azul (vulnerabilidad baja), amarillo (vulnerabilidad media), naranja (vulnerabilidad alta) y rojo (vulnerabilidad extrema), para identificar los diferentes rangos de calificación, como lo muestra la Figura 2.

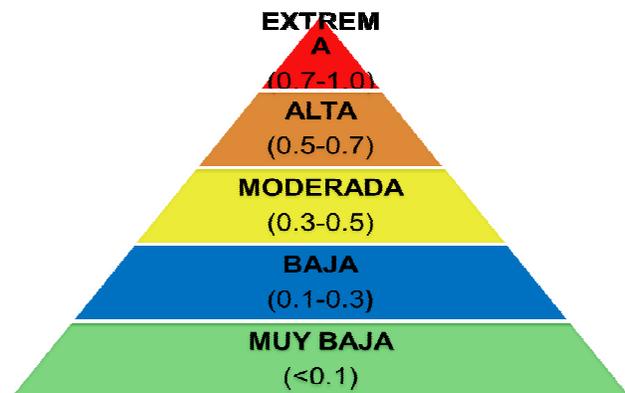


Fig. 2. Colores definidos para los rangos de vulnerabilidad.

Para la calificación de la vulnerabilidad, se generaron una serie de cuadros, en los cuales, se definen las calificaciones de cada parámetro evaluado, como se muestra a continuación.

GEOLOGIA		PARAMETRO	TIPO DE ACUIFERO	OCURRENCIA DEL AGUA SUBTERRANEA
Areniscas de las Juntas	Kial	G: Grado de confinamiento hidráulico	No Confinado	1,0
Une	Kiu		No Confinado	1,0
Chipaque	Ksc		Ninguno	0,0
Palmichal	Ktp		No Confinado	1,0
Arcillas del Limbo	Tal		Ninguno	0,0
Arenisca del Limbo	Tarl		No Confinado	1,0
San Fernando	Tsf		Ninguno	0,0
Conjunto Inferior de la Formacion Diablo	Tdi		No Confinado	1,0
Conjunto Superior de la Formacion Diablo	Tds		No Confinado	1,0
Caja	Tc		Semi-Confinado	0,7
La Cometa	Qlco		Ninguno	0,0
Terrazas Altas del Bordo Llanero	Qt3		Ninguno	0,0
Terrazas Altas del Llano	Qt2		No Confinado	1,0
Terrazas Bajas del Llano	Qt1		No Confinado	1,0
Terrazas Intermontanas	Qtr		Ninguno	0,0
Conos Aluviales	Qcn		Ninguno	0,0
	Qal		No Confinado	1,0

Cuadro 1. Cuadro de evaluación parámetro G.

Como se muestra en el Cuadro 1, Se evalúa el grado de confinamiento de cero (0) a uno (1), mostrando en el cuadro, que las formaciones geológicas no se encuentran muy consolidadas, la mayoría presenta un grado alto de no confinamiento. Siguiendo el método, se evalúa el parámetro O, según se puede ver en el Cuadro 2.

GEOLOGIA	PARAMETRO	LITOLOGIA	SUBSTRATO LITOLÓGICO
Areniscas de las Juntas	Kial	Areniscas con intercalaciones de lutitas	0,8
Une	Kiu	Areniscas con intercalaciones de lutitas	0,8
Chipaque	Ksc	Lutitas con intercalaciones de limolitas	0,5
Palmichal	Ktp	Arenas con intercalaciones de limolitas	0,8
Arcillas del Limbo	Tal	Arcillas con intercalaciones de lutitas	0,4
Arenisca del Limbo	Tarl	Areniscas con intercalaciones de lutitas	0,7
San Fernando	Tsf	Arcillas y arcillolitas con intercalaciones de areniscas	0,4
Conjunto Inferior de la F. Diablo	Tdi	Areniscas con intercalaciones de limolitas	0,7
Conjunto Superior de la F. Diablo	Tds	Areniscas con intercalaciones de limolitas	0,7
Caja	Tc	Arcillas limolitas y arcillolitas	0,4
La Cometa	Qlco	Conglomerado grueso poco compacto	0,7
Terrazas Altas del Bordo Llanero	Qt3	Gravas, arenas y lodos	0,7
Terrazas Altas del Llano	Qt2	Gravas con presencia de arena gruesa y arcilla	0,7
Terrazas Bajas del Llano	Qt1	Arenas finas con contenidos de grava	0,8
Terrazas Intermontanas	Qtr	Gravas, arenas y lodos	0,8
Conos Aluviales	Qcn	Gravas, arenas y lodos	0,8
	Qal	Gravas, arenas y bloques	0,8

Cuadro 2. Cuadro de evaluación parámetro O.

En el cuadro No. 2 se puede ver la conformación y naturaleza litológica de cada formación geológica, cada una con su valor respectivo.

GEOLOGIA		PARAMETRO	DISTANCIA AL NIVEL DE AGUA SUBTERRANEA (M)	NIVEL DE AGUA SUBTERRANEA
Areniscas de las Juntas	Kial	D: Distancia al nivel del agua subterránea (no confinados) o al techo del acuífero (confinado)	20	0,6
Une	Kiu		20	0,6
Chipaque	Ksc		0	0,0
Palmichal	Ktp		20	0,6
Arcillas del Limbo	Tal		0	0,0
Arenisca del Limbo	Tarl		20	0,6
San Fernando	Tsf		15	0,7
Conjunto Inferior de la Formacion Diablo	Tdi		8	0,8
Conjunto Superior de la Formacion Diablo	Tds		8	0,8
Caja	Tc		100	0,4
La Cometa	Qlco		0	0,0
Terrazas Altas del Bordo Llanero	Qt3		0	0,0
Terrazas Altas del Llano	Qt2		4	0,9
Terrazas Bajas del Llano	Qt1		2	0,9
Terrazas Intermontanas	Qtr		0	0,0
Conos Aluviales	Qcn		0	0,0
	Qal		1	1,0

Cuadro 3. Cuadro de evaluación parámetro D

La información de la distancia al agua, fue proporcionada por la Firma FUNAMBIENTE, donde se tienen las distancias de succión de los pozos construidos en la zona de estudio.

Finalmente se presenta un cuadro final de cálculo para definir el índice de vulnerabilidad, como lo define el método, Ver Cuadro 4.

GEOLOGIA		PARAMETRO DE EVALUACION				INDICE DE VULNERABILIDAD
		G	O	D	RESULTADO	
Areniscas de las Juntas	Kial	1,0	0,8	0,6	0,5	
Une	Kiu	1,0	0,8	0,6	0,5	
Chipaque	Ksc	0,0	0,5	0,0	0,0	
Palmichal	Ktp	1,0	0,8	0,6	0,5	
Arcillas del Limbo	Tal	0,0	0,4	0,0	0,0	
Arenisca del Limbo	Tarl	1,0	0,7	0,6	0,4	
San Fernando	Tsf	0,0	0,4	0,7	0,0	
Conjunto Inferior de la Formacion Diablo	Tdi	1,0	0,7	0,8	0,6	
Conjunto Superior de la Formacion Diablo	Tds	1,0	0,7	0,6	0,6	
Caja	Tc	0,7	0,4	0,4	0,1	
La Cometa	Qlco	0,0	0,7	0,0	0,0	
Terrazas Altas del Bordo Llanero	Qt3	0,0	0,7	0,0	0,0	
Terrazas Altas del Llano	Qt2	1,0	0,7	0,9	0,6	
Terrazas Bajas del Llano	Qt1	1,0	0,7	0,9	0,6	
Terrazas Intermontanas	Qtr	0,0	0,6	0,0	0,0	
Conos Aluviales	Qcn	0,0	0,8	0,0	0,0	
	Qal	1,0	0,8	1,0	0,8	

Cuadro 4. Matriz de cálculo del índice de vulnerabilidad

El municipio de Yopal se encuentra asentado sobre dos grandes formaciones geológicas del cuaternario Qt1 y Qt2, “Terrazas altas y bajas del llano”, que muestran una vulnerabilidad alta a la contaminación de las aguas subterráneas, que es en la zona donde se ubican la mayor cantidad de pozos profundos, 344 hasta el año 2010, y es el área con la mayor representatividad en extensión.

Los conos aluviales, formaciones geológicas que presentan una alta vulnerabilidad a la contaminación, son las formaciones donde se ubican los ríos, donde se presume, hay conexión hidráulica directa con los acuíferos, pero se afirmará en tanto no se tenga una red de monitoreo de calidad de aguas subterráneas. El mapa de vulnerabilidad se muestra en la Figura 3.

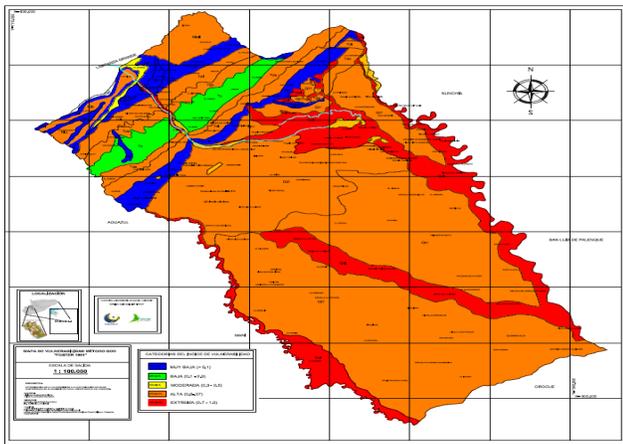


Fig. 3 Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en el municipio de Yopal.

La aplicación final del estudio, y específicamente, el mapa de vulnerabilidad se debe utilizar como una herramienta en la planificación y gestión del territorio, con el fin de proteger los acuíferos ante eventos de contaminación. Para un futuro abastecimiento de agua en la ciudad, hay que tener en cuenta que las aguas subterráneas son susceptibles a ser contaminadas.

IV. CONCLUSIONES

El método utilizado es de gran ayuda, cuando no existen muchos datos hidrogeológicos, y las características dinámicas e hidráulicas de cada formación geológica.

Se puede definir, mediante la figura 3, que los acuíferos del cuaternario y el terciario, presentan una vulnerabilidad entre alta a extrema.

Las formaciones geológicas que deben tratarse con más atención, son aquellas del período cuaternario Qt1 y Qt2, formaciones acuíferas que han sido utilizadas como abastecimiento individual mediante pozos profundos en fincas y algunas actividades industriales y de abastecimiento en algunas zonas fuera del perímetro urbano de la ciudad.

Es importante definir en la planeación del territorio el uso de las zonas con alta y extrema vulnerabilidad, pues dependiendo de la carga contaminante al subsuelo que generen dichas actividades, pueden generar a futuro, o estar ocasionando contaminación de las aguas subterráneas.

Los valores de calificación de parámetros de cada formación en cada cuadro, obedecen al análisis de información suministrada por diferentes trabajos realizados en el municipio e información suministrada por profesionales expertos geólogos que trabajan en la zona de estudio, y quizá, los valores en los parámetros G y D merecen ser analizados con mayor detenimiento, pues se suele ser un poco subjetivo a la hora de dar un puntaje.

En ocasiones, los sistemas de puntuaciones, diseñados por estos métodos, son laxos y están abiertos a la selección de distintas opciones por parte del investigador en el momento de la aplicación, lo que genera una nueva fuente de variabilidad en los resultados finales [6].

La importancia de los estudios de vulnerabilidad a la contaminación del recurso subterráneo radica en que son herramientas a ser utilizadas para la gestión y el aprovechamiento de los recursos hídricos y ser un conocimiento útil en la toma de decisiones.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen la participación en el proyecto de los Ingenieros William Mariño y Alirio Acevedo, geólogos de profesión, con amplia trayectoria y manejo del tema en el departamento de Casanare, quienes aportaron significativamente al desarrollo de la investigación.

También se expresa un agradecimiento al Director del Área Técnica de la empresa de Acueducto y alcantarillado de Yopal, Ingeniero Edwin Miranda, por sus aportes e interés en la investigación realizada y la voluntad de seguir colaborando en una siguiente etapa.

REFERENCIAS

- [1] VRBA, J; A, ZAPOROZEC (Ed.). Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH. Vol. 16: 1-131. Verlag Heinz Heise. Hannover. 1994.
- [2] FOSTER, Stephen; HIRATA, Ricardo. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Una metodología basada en datos existentes. CEPIS: 1-1. Lima. 1991.
- [3] AUGÉ, M. Vulnerabilidad de Acuíferos. Revista Latinoamericana de Hidrogeología, n.4, p.85-103, 2004.
- [4] VALCARCE, O.R.; CARRASCO, P.H.; JIMÉNEZ, H.S. "Aplicación de la metodología GOD modificada, para el estudio de la vulnerabilidad del acuífero cástico cuenca sur de la Habana". Taller: Protección de acuíferos frente a la contaminación metodológica, Toluca, México, 2001.
- [5] AGÜERO, V.J; PUJOL M. R. Análisis de vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica. Proyecto de Graduación. (En red), 2002. Disponible en: http://gis.esri.com/library/userconf/latinproc00/costa_rica/analisis_vulnerabilidad/vulnerabilidad_acuiferoscr.htm

[6] PERLES, M. J.; VÍAS, J. M. “Problemas asociados a la cartografía de riesgo como instrumento para la ordenación”. Actas del XVII Congreso de Geógrafos Españoles, Oviedo, AGE, pp 194-198, 2001.

Fuentes bibliográficas no citadas:

[1] AQUAMINAS LTDA. Estudio Hidrogeológico para definir el posible abastecimiento con agua subterránea para el Acueducto del Municipio de Yopal. Yopal, Casanare. Octubre de 2002.

[2] CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE LA ORINOQUIA – CORPORINOQUIA. Municipio de Yopal. Plan de Ordenamiento Territorial (POT). Banco Datos. Yopal, Casanare. Junio de 2000.

[3] GLORIA ISABEL PÁEZ ORTEGON. Determinación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en el valle geográfico del río Cauca-Colombia. [En línea]. Valle del Cauca, Cali. 2000. [Consultado el 16 de Abril de 2011] Disponible en:
<http://www.cvc.gov.co/vsm38cvc/data/RecursoHidrico/documentos/subteranea/VULNERABILIDAD.pdf>

[4] GESTIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN COLOMBIA. [En línea]. Bogotá, D.C.- Colombia. 2005. [consultado el 18 de mayo de 2011] Disponible en:
http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/20_Gestion_Agua_Subteranea_en_Colombia.pdf