

Artículo científico

Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero del valle de Sébaco, Nicaragua ante la contaminación mediante el uso del método DRASTIC.

Roxana Martínez Izaguirre

MSc. Recursos hidráulicos, ERIS, USAC, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: izaguirrez2003@hotmail.com

Recibido 25 de julio de 2017 Aceptado 11 de agosto de 2017

Resumen:

El presente artículo trata sobre la vulnerabilidad ante la contaminación del acuífero del valle de Sébaco, Nicaragua con un área de estudio de 263 km², por medio del método DRASTIC creado por la Agencia de Protección ambiental de los Estados Unidos (Aller et al., 1987). El método DRASTIC, es una herramienta que nos permite realizar mapas de vulnerabilidad para identificar qué áreas del acuífero son susceptibles a la contaminación o pueden ser afectadas negativamente por un contaminante sin importar el tipo de agente. Este método depende de siete parámetros hidrogeológicos descritos a continuación; 1) *Profundidad del agua subterránea*, con rangos que oscilan entre los 3 – 30 metros. 2) *recarga neta*, donde la recarga promedio anual proveniente de las lluvias es del orden de los 70 mm. 3 y 4) *medio del acuífero y el impacto de zona vadosa*, de la geología presente en el acuífero, así como datos de registros litológicos. 5) *tipo de suelo*, con vertisoles en un área 209.7 km², 79.7 % de la superficie del acuífero. 6) *pendiente topográfica que provienen* 5 – 80 % y 7) *la conductividad hidráulica donde*, el rango que mayor predomina en el acuífero es la conductividad entre 10-30 m/día.

Con base al análisis de la información obtenida, las variables evaluadas estas fueron reclasificadas según la metodología DRASTIC, estableciéndose los rangos de vulnerabilidad alta, moderada y baja ante la contaminación, predominando en general en el acuífero del valle de Sébaco una vulnerabilidad moderada ante la contaminación de 138 km², 52 % de la superficie del acuífero, localizado en la parte central del valle. La baja vulnerabilidad ante la contaminación del acuífero se sitúa en la parte Nor-oeste y Nor-este, correspondiente a 49 km², 19 % de la superficie del acuífero. La zona de alta vulnerabilidad ante la contaminación, con 76 km², 29 % de la superficie del acuífero localizado al Sur- este y en los extremos.

Palabras clave: Recarga neta, medio del acuífero, zona vadosa, atenuación, degradación, infiltración.

Abstract

This article deals with the vulnerability to contamination of the Sébaco valley aquifer, Nicaragua with a study area of 263 km², using the DRASTIC method created by the United States Environmental Protection Agency (Aller et al., 1987). The DRASTIC method is a tool that allows us to make maps of vulnerability to identify which areas of the aquifer are susceptible to contamination or can be adversely affected by a contaminant regardless of the type of agent. This method depends on seven hydrogeological parameters described below; 1) Depth of groundwater, with ranges ranging from 3 - 30 meters. 2) net recharge, where the average annual recharge from the rains is of the order of 70 mm. 3 and 4) mean of the aquifer and the impact of vadose zone, of the geology present in the aquifer, as well as data of lithological records. 5) type of soil, with vertisols in an area 209.7 km², 79.7% of the surface of the aquifer. 6) topographic slope coming from 5 – 80 % and 7) hydraulic conductivity where the predominant range in the aquifer is the conductivity between 10-30 m / day.

Based on the analysis of the obtained information, the variables evaluated were reclassified according to the DRASTIC methodology, establishing the ranges of high, moderate and low vulnerability to pollution, with a moderate vulnerability to pollution in the aquifer of the Sébaco valley of 138 km², 52 % of the surface of the aquifer, located in the central part of the valley. The low vulnerability to contamination of the aquifer lies in the Northwest and Nor-east, corresponding to 49 km², 19 % of the surface of the aquifer. The zone of high vulnerability to pollution, with 76 km², 29 % of the surface of the aquifer located to the south-east and at the ends of the aquifer.

Keywords: Net recharge, aquifer medium, vadose zone, attenuation, degradation, infiltration.

Introducción

Los recursos hídricos del valle de Sébaco, se encuentran sometidos a un proceso de degradación progresivo que arriesga la disponibilidad futura del agua para usos vitales de la población. Se deben adoptar a corto plazo las medidas y disposiciones necesarias para garantizar la preservación de las fuentes de agua.

El propósito del presente artículo es determinar la vulnerabilidad intrínseca ante la contaminación que sirva de base para la formulación de un mapa en donde se integre toda la información del acuífero para localizar las zonas más susceptibles ante la contaminación mediante el método DRASTIC, a partir de siete parámetros hidrogeológicos evaluados, con los resultados se puede generar decisiones, en función de la protección y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico. El valle de Sébaco, es parte de las zonas de mayor desarrollo agrícola del país, donde, actualmente se produce arroz y hortalizas, y se utiliza el agua del acuífero de los dos ríos Viejo y Grande de Matagalpa.

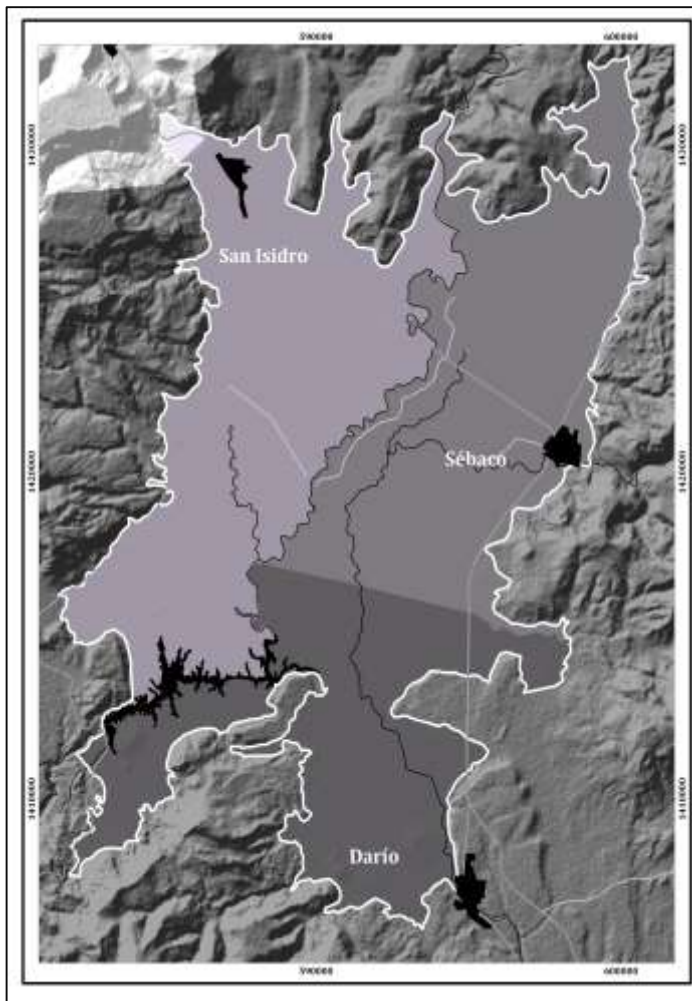
En el presente artículo, muestra un análisis de la susceptibilidad del acuífero a la acción de una carga contaminante permanente tal como: la disposición de desechos como la materia orgánica, metales traza, detergentes, etc. Presenta una vulnerabilidad moderada ante la contaminación de 138 km² del acuífero que pertenece al 52 %, localizado en la parte central del valle, una baja vulnerabilidad ante la contaminación del acuífero en la parte Nor-oeste y Nor-este, correspondiente al 49 km², que pertenece al 19 %. Una alta vulnerabilidad ante la contaminación, de 76 km², que pertenece al 29 %, en zonas con baja pendiente y con bajo grado de atenuación ante un contaminante.

Descripción del área de estudio

El acuífero del valle de Sébaco cubre una extensión aproximada 263.33 km² y se localiza entre las coordenadas UTM-1432679 N; 600088 E, y 140800 N, 582692 E, donde se localizan tres municipios de los cuales el 34.22 % del territorio pertenece al municipio de Sébaco, el 38.24 %, al municipio de San Isidro y el 27.07 % al municipio de Ciudad Darío. La localización política administrativa ubica a estos tres municipios en el departamento de Matagalpa. En menor proporción en el territorio se localiza el municipio la Trinidad con el 0.47 %, perteneciente al departamento de Estelí, como muestra la figura 1.

El acuífero valle de Sébaco se sitúa en la Región Central de Nicaragua, hidrográficamente se ubica entre la cuenca 55 del río Grande de Matagalpa y la cuenca 69 río San Juan, estas últimas por sus características geomorfológicas de área semiplana a totalmente plana las convierten en zona de inundación en periodos de lluvias excesivas y de acumulación de altos volúmenes de sedimentos.

Figura 1: Ubicación del acuífero del valle de Sébaco



Fuente: edición propia con base a información de INETER (2004).

Antecedentes

Nicaragua, de acuerdo a su potencial es un país con vocación y dependencia económica del desarrollo agropecuario, forestal y pesca, sectores que tienen dependencia de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Sumado a esto se debe señalar la creciente demanda y calidad del agua para consumo

humano, debido al crecimiento de la población; y otros sectores de la economía nacional tales como el industrial y el riego (MARENA, 2003).

Para el presente artículo se evaluó la vulnerabilidad intrínseca del acuífero del valle de Sébaco con base a la información hidrogeológica disponible, en el estudio: Criterios hidrogeológicos para la formulación del plan de gestión en el acuífero del valle de Sébaco elaborado por Flores Meza (2004), así como la información del estudio sobre la calidad del agua y peligro de contaminación de los pozos de abastecimiento público, ríos Viejo y Grande de Matagalpa en el valle de Sébaco elaborado por González Tapia (2004).

Para la obtención de datos se realizó monitoreo de los pozos, específicamente el levantamiento de los niveles estáticos (NEA) en el mes de abril del 2017, pruebas de infiltración para la obtención de datos de la recarga hídrica por precipitación por medio del balance hídrico de suelo propuesto por Schosinsky y Losilla (2000), así también se obtuvo datos meteorológicos proporcionados por la unidad de meteorología del Instituto Nicaragüense de estudios Territoriales (INETER, 2017).

Por otro lado, para la obtención de la información en el presente artículo se observó los tipos de contaminantes que afectan el acuífero tales como; disposición inadecuada de envases de agroquímicos, ya que estos son fuente de contaminación por los residuos que todavía están presentes y que constituyen un serio problema para la salud humana y ambiental.

Tomando en cuenta el deterioro ambiental que nuestro país sufre y en particular el daño que se ha provocado a los recursos hídricos, tanto los que se localizan en la superficie como aquellos que se encuentran de forma subterránea; nace la necesidad de realizar este tipo de investigaciones sobre la vulnerabilidad de los acuíferos ante la contaminación; ya se antropogénica o natural con el objetivo de tomar decisiones para su protección.

La vulnerabilidad se define generalmente como la sensibilidad de un acuífero a ser afectado negativamente por un contaminante, se refiere a la probabilidad de que las aguas subterráneas en un acuífero se contaminen en concentraciones que suponen un riesgo para la salud humana o para el ambiente (Hallaq, A. and B. Elaiash, 2012).

Metodología

Debido a que el acuífero del valle Sébaco, disponía de la información necesaria para aplicar el método y

porque en este régimen se llevan a cabo actividades antrópicas que pueden deteriorar la calidad natural de las aguas, es necesario establecer mapas de vulnerabilidad por medio del método DRASTIC. Este método se aplica independientemente del contaminante potencial. La metodología DRASTIC desarrollada por ALLER *et al* 1987, debido a sus características es considerada la más usada en el mundo.

El modelo DRASTIC utiliza siete parámetros hidrogeológicos en la determinación de la vulnerabilidad y permite evaluar la susceptibilidad de un sitio a la acción de una carga contaminante permanente. Los parámetros independientes requeridos son los que conforman su acrónimo:

- **Depth:** profundidad del agua subterránea
- **Recharge:** recarga neta
- **Aquifer:** medio del acuífero
- **Soil:** medio de suelo
- **Topography:** pendiente topográfica
- **Impact of the zone vadose:** impacto a la zona vadosa
- **Conductivity hydraulic:** conductividad hidráulica

Estos parámetros no se consideran estacionarios, ya que, algunos de ellos varían con el tiempo como es el caso de la profundidad del nivel estático, la recarga neta y otros, como el tipo de acuífero y la zona vadosa; que dependen de la velocidad con la que evoluciona el nivel estático (Ramos, 2007).

Cada una de estas variables está dividida en una serie de intervalos, a los cuales se le asigna una puntuación que varía entre 1 y 10, siendo el valor 10 el de máxima vulnerabilidad. La puntuación correspondiente a cada variable se multiplica por un factor de ponderación, de grado de importancia comprendido entre 1 y 5, como muestra la tabla 1. El índice de vulnerabilidad obtenido es el resultado de sumar los productos de los diferentes parámetros por su índice de ponderación a como se refleja en la ecuación del método DRASTIC.

$DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw =$ Índice de vulnerabilidad. Siendo "r" el valor obtenido para cada parámetro y "w" el índice de ponderación.

Tabla 1: Ponderaciones según el método DRASTIC

Parámetro	DRASTIC
D Profundidad del agua subterránea	5
R Recarga neta	4
A Medio del acuífero	3
S Medio del suelo	5
T Topografía	3
I Impacto de zona vadosa	4
C Conductividad hidráulica	2

Fuente: Aller et al. 1987

Los distintos pasos metodológicos seguidos en el presente artículo han sido: recopilación de información, así como trabajo en campo aplicado al método DRASTIC de la siguiente manera:

La profundidad del agua (D): para la determinación del nivel del agua subterránea se utilizó la información de pozos medidos *in situ* en abril del 2017, así como la recopilación de información de mediciones realizadas en otros estudios para la comparación de niveles.

Recarga neta (R): sProceso que en el largo plazo el lecho de un río o canal o la planicie de inundación desciende su elevación a causa de la remoción del material del lecho por los caudales del río .e consideró diversas variables que influyen en la recarga; como la precipitación mensual, capacidad de infiltración de los suelos, cobertura vegetal, profundidad de raíces, evapotranspiración real y pendiente del terreno, de igual manera se realizaron nueve pruebas para determinar la capacidad de infiltración del acuífero, por medio del permeámetro de Guelph, que determinar la tasa o velocidad de infiltración presente en el suelo, útil para la estimación de la recarga potencial propuesto por (Schosinsky & Losilla, 2000).

Medio del acuífero (A): se refiere a la clasificación por medio de la formación litológica del acuífero. Este se caracterizó por medio del mapa geológico minero 1: 500.000, INETER, (1995).

El medio del suelo (S): este parámetro se obtuvo por medio del mapa de suelos en el marco del programa regional REDD CCAD GIZ a escala 1: 750.000,

elaborado en INETER en la unidad de suelos, dirección general de ordenamiento territorial en colaboración conjunta con la Universidad Nacional Agraria (UNA).

Topografía (T): este parámetro se determinó por medio del software ArcGis 10.3, a partir del modelo digital del terreno (DEM).

Impacto de la zona vadosa (I): al igual que el parámetro del medio del acuífero, se realizó con apoyo del mapa geológico del área de estudio y con la elaboración de los perfiles hidrogeológicos en el estudio de Flores Meza (2004).

Conductividad hidráulica (C): es la propiedad que tiene un medio poroso y/o fracturado, en permitir la circulación del agua a través de sí, por unidad de tiempo y bajo un gradiente hidráulico determinado. La condición que controla la conductividad hidráulica, es el grado de interconexiones entre los espacios vacíos en el medio acuífero, ya sea de porosidad primaria o secundaria. Esta información fue sustraída de las conductividades hidráulicas del estudio de Flores Meza, (2004), y se toman como valores medios de las unidades hidro estratigráficas del acuífero.

Resultados

Evaluación de los parámetros hidrogeológicos

Profundidad de agua (D): esta se determinó mediante las mediciones de los pozos en el mes de abril del 2017, tal cual contiene la profundidad del agua subterránea con respecto al nivel del terreno. Los niveles monitoreados oscilan desde los 3 m – 31 m de profundidad, se obtuvieron cinco rangos de profundidad y un valor de calificación en dependencia de la escala de profundidad que varía desde 1 a 7, y un peso de 5 de acuerdo a la metodología DRASTIC, como muestra la tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de la profundidad del agua

Clasificación variable "D"	
Escala de Profundidad(m)	Calificación
3– 10	7
11 -17	5
18-23	3

Clasificación variable "D"	
Escala de Profundidad(m)	Calificación
24-31	2
>35	1

Recarga neta (R):

La recarga directa del acuífero se determinó por el método del balance hídrico de suelos, el cual considera varios factores como; la precipitación, la evapotranspiración, pendiente topográfica, textura de los suelos, capacidad de infiltración y la profundidad de raíces de los cultivos.

La variación en los valores de la recarga depende principalmente de la capacidad de infiltración de los suelos y del grado de compactación de los mismos. De acuerdo al balance hídrico realizado en este estudio la recarga promedio anual proveniente de las lluvias en el valle es del orden de los 70 mm equivalente a 18 Mm³/año.

Los suelos arcillosos cubren la mayor parte del área con 210 km², y una recarga de 52 mm, como se refleja en la tabla 3. Las mayores recargas se generan en las cercanías de los pies de montaña y el lecho del río debido a materiales franco arenosos.

Tabla 3: Clasificación de la Recarga

Clasificación variable "R"			
Escala de Recarga	Calificación	Peso	Valor Numérico DRASTIC (VND)
0-50	1	4	4
50-100	3	4	12
100-150	6	4	24

Medio del acuífero (A):

El material geológico predominante es el cuaternario aluvial el que cubre alrededor del 95.1 % (241 km²) de toda el área de estudio. Este tipo de material está compuesto por texturas: arcillas, arenas finas, arenas

de grano fino, arcillas y arenas de grano grueso y arcillas arenosas, con valores DRASTIC de 7 y 9 como muestra la tabla 4.

Tabla 4: Medio del acuífero

Clasificación Variable (Tr)			
Escala (%)	Calificación	Peso	VND
0 – 5	10	1	10
5-7	8	1	8
7-12	5	1	5
12-31	2	1	2
31 -41,> 80	1	1	1

Medio del suelo (S):

Los suelos con mayor extensión son los vertisoles con un 209.7 km². 79.7 % del área de estudio y una calificación DRASTIC de 5, este tipo de medio está conformado por textura muy fina que actúa como una capa impermeable. Esta característica hace que el transporte de contaminantes desde la superficie del suelo hacia el manto acuífero sea más lento (Rahman 2008).

Los suelos molisoles, representan en el área de estudio el 10.3 % (27.19 km²), con una calificación DRASTIC de 7, seguido de los suelos inceptisoles con el 5.9 % (15.61 km²) y una clasificación DRASTIC de 8. En menor proporción lo suelos alfisoles y entisoles con el 0.5 % y 3.5 %, con una calificación DRASTIC de 9 y 7, como se observa en la tabla 5. En cuanto al tipo de suelo este influye en el desplazamiento vertical del contaminante hacia el acuífero.

Tabla 5: Clasificación del tipo de suelo

Tipo de Suelo	Materiales en Área de Estudio	Calificación	Peso	VND
Vertisol	Franco arcillosos arenosos aluviales	5	2	10

Tipo de Suelo	Materiales en Área de Estudio	Calificación	Peso	VND
Entisoles	Arcilloso	6	2	12
Mollisol	Franco arcilloso con grava	7	2	14
Alfisoles	Arenosa	9	2	18
Inceptisol	Franco arenoso a arcilloso	8	2	16

Topografía (T):

La pendiente influye en el tiempo de permanencia del agua sobre la superficie del suelo, lo que permite la infiltración del contaminante hasta el acuífero. Las pendientes menores favorecen la potencial contaminación, porque habría mayor infiltración a causa del bajo escurrimiento superficial. Utilizando el mapa geomorfológico del terreno se obtuvieron cinco rangos de pendientes, en la tabla 6, se definen a continuación.

Tabla 6: Clasificación de la variable Topográfica

Clasificación Variable (Tr)			
Escala (%)	Calificación	Peso	VND
0 – 5	10	1	10
5-7	8	1	8
7-12	5	1	5
12-31	2	1	2
31 -41,> 80	1	1	1

Impacto de la zona vadosa (I):

El parámetro de la zona no saturada influye en los procesos de atenuación en la trayectoria del agua hacia la zona saturada. Para obtener este parámetro se utilizó los perfiles hidrogeológicos del estudio de Flores Meza (2004), donde se analizó el medio existente entre la superficie y el nivel estático del agua (NEA), se estableció un promedio ponderado según el tipo de

material en cada capa y su respectivo índice DRASTIC, tabla 7.

Tabla 7: Impacto de la zona Vadosa

Área de estudio	Calificación	Peso	VND
Arcillas	4	5	20
Arena y Grava	10	5	50

Conductividad hidráulica (C):

Los valores de conductividad hidráulica para el acuífero, se adquirieron a través de la revisión de información secundaria, especialmente del estudio de Flores Mesa (2004), donde realizó una zonificación por rangos en los valores cuyas unidades se expresan en m/día. Debido a que la conductividad hidráulica del área de estudio está dada por la textura de los suelos presentes en la misma, el 79.7 % del área de estudio dispone de suelos, que en algún horizonte poseen texturas finas, las cuales por naturaleza tienen valores bajos de conductividad hidráulica, por lo que el rango que mayor predomina en el área son las conductividades de 10 - 30 m/día, como muestra la tabla 8.

Tabla 8: Conductividad Hidráulica

Clasificación Variable (C)			
Escala (m/día)	Calificación	Peso	VND
1-10	2	3	6
1-50	7	3	21
10-20	3	3	9
10-30	4	3	12
30-50	8	3	24
50-120	10	3	30

Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos, por medio de las siete variables evaluadas, estas fueron reclasificada según la metodología DRASTIC, para la asignación de

un valor correspondiente, predominando una moderada vulnerabilidad ante la con 138 km² que pertenece al 52 % de la superficie del acuífero, localizado en la parte central del valle. La baja vulnerabilidad del acuífero ante la contaminación se sitúa en la parte Nor-oeste del acuífero y Nor-este, correspondiente al 49 km², 19 % y La zona de alta vulnerabilidad, con 76 km², 29 %. Por lo tanto, la ecuación del método DRASTIC, permitió obtener valores de vulnerabilidad que oscilan desde 70 a 166 como índice DRASTIC, tabla 9.

Tabla 9: Apreciación cualitativa y cuantitativa de la vulnerabilidad




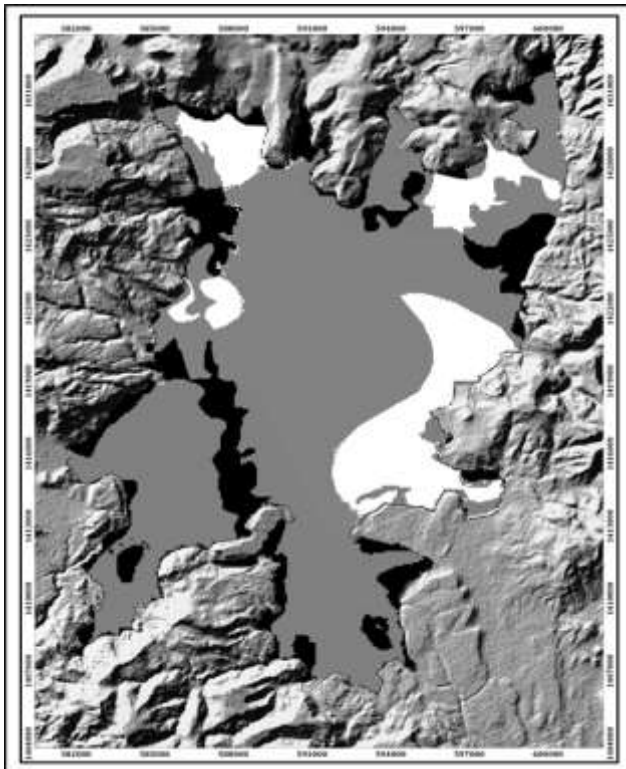
Apreciación Cualitativa		índice DRASTIC (Cuantitativa)
Alta vulnerabilidad		121 a 166
Moderada vulnerabilidad		99-120
Baja vulnerabilidad		70 a 98

Figura 4. Representación de vulnerabilidad



Con base a los resultados obtenidos por medio de la metodología DRASTIC, para evaluar la vulnerabilidad

ante la contaminación, en el acuífero del valle de Sébaco predomina una moderada vulnerabilidad ante la contaminación en el acuífero debido a que la permeabilidad en el acuífero es moderada, permitiendo el paso a contaminantes móviles y persistentes en un mediano plazo.

La baja vulnerabilidad en el acuífero es debido a que en esta área se caracteriza por aquellas zonas de alta

profundidad del agua, con material geológico en la zona vadosa compuesto por arcillas y arenas gravosas poco permeables. Según SUWaR-NICARAGUA, (2000), la gran profundidad de las aguas subterráneas, la presencia de material litológico como elemento atenuante de la carga contaminante, baja conductividad hidráulica, altas pendientes topográficas y gruesos espesores de suelo, contribuyen positivamente a la atenuación de la posible carga de contaminación.

Las zonas de alta vulnerabilidad están constituidas por baja pendiente con depósito de material aluvial con suelos de permeabilidad alta, lo que contribuye a que tengan un bajo grado de atenuación ante un contaminante, zonas donde los perfiles naturales del suelo están compuestos por materiales porosos, permeables, reducido espesor del suelo con alta permeabilidad, escasa profundidad del agua y alto grado de fracturamiento. Estas características facilitan el paso a cualquier tipo de contaminante depositado sobre y debajo de la superficie del suelo en un tiempo corto con respecto a las otras áreas de vulnerabilidad en el acuífero.

Si bien es cierto en el acuífero predomina una moderada vulnerabilidad ante la contaminación es necesario establecer medidas de protección de las fuentes subterráneas. Así como realizar un diagnóstico en el cual se pueda identificar las fuentes de contaminación de aguas subterráneas. Esto con el fin de establecer acciones específicas que contrarresten la contaminación del manto acuífero.

En la metodología DRASTIC se utilizaron los datos más confiables dentro de la información disponible; sin embargo, es recomendable realizar más investigaciones hidrogeológicas que permitan reconocer mejor el comportamiento del acuífero para obtener resultados más preciosos en la planificación y conservación de las aguas subterráneas.

Conclusiones

Según los resultados del método DRASTIC en la zona predomina una moderada vulnerabilidad con 138 km² de la superficie del acuífero equivalente al 52 %, localizado en la parte central del valle. La baja vulnerabilidad con 49 km² equivalente al 19 %, y se localiza en la parte Nor- este y Nor- oeste del acuífero, la alta vulnerabilidad con 76 km² equivalente al 29 % en el acuífero, la cual está en zonas de baja pendiente y material aluvial.

Debido a que el 52% del acuífero representa una moderada vulnerabilidad con un índice cuantitativo DRASTIC con valores de vulnerabilidad de 99 a 120, por lo tanto, es necesario establecer medidas de protección del recurso subterráneo, ya que esto puede representar una amenaza a la calidad del agua.

Esta metodología permitió generar el mapa de vulnerabilidad ante la contaminación en el acuífero de Sébaco, el cual podrá ser utilizado como herramienta para el manejo sustentable de los recursos hídricos subterráneos, para mejor toma de decisiones en un plan de gestión integrada y protección de las aguas subterráneas.

Agradecimientos

Al personal docente y administrativo de Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS- y al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) por el otorgamiento de fondos.

Referencias

- Aller, L. e. (1987). DRASTIC: a Standarized systemfor evaluating groundwater pollution Potential using Hydrogeological Settings.
- Gogu y Dessargues. (2000). GIS-based evaluation of groundwater vulnerability in the Russeifa area, Jordan,. Rev. mex. cienc. Geol. v.23 n.3 México.
- Hallaq, A. and B. Elaiash. (2012). Assessment of aquifer vulnerability to contamination in Khanyounis Governorate, Gaza Strip—Palestine, using the DRASTIC model within GIS environment. Arabian Journal, 5(4): 833-847.
- Izaguirre, R. M. (2017). Evaluación de la vulnerabilidad del acuífero del valle de Sébaco ante la contaminación y sobreexplotación y propuesta de un plan de gestión del recurso hídrico.

J, Vargas. (2002). Manejo integrado de aguas subterráneas: Un reto para el futuro. San José Costa Rica.: EUNED,.

L., A., Bennet, T., & Petty, J. H. (1987). DRASTIC. A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting U.S. . EPA Report 600/2-87-035 Ada, Oklahoma.

Marena. (2003). Estado del ambiente en Nicaragua 2003, segundo informe.

Quezada, Valeria Delgado. (2014). Empleo de isótopos en la evaluación hidrogeológica del acuífero del valle de Sébaco, Nicaragua. Managua: Revista Agua y Conocimiento.

Ramos. (2007). Factores que efectúan la Vulnerabilidad de Sistemas Acuíferos de Salamanca Gto. pp 23-75.

SUWAR-Nicaragua. (2000). Vulnerabilidad hidrogeológica del acuífero de Managua. En U. P. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA).

Información del autor

Ingeniera en sistemas de protección agrícola y forestal. Universidad Nacional Agraria (UNA), 2011.

Maestra en ciencias en recursos hidráulicos, opción gestión Integrada de los recursos Hídricos, de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ciclo 2016-2017