

ARTÍCULO CIENTÍFICO / RESEARCH ARTICLE

**Evaluación de la vulnerabilidad del
acuífero Morroa a contaminación por
plaguicidas aplicando la metodología
DRASTIC**

Vulnerability assessment to pesticides
contamination via DRASTIC method
in the Morroa aquifer

Vicente Vergara Flórez*
Guillermo Gutiérrez Ribon**
Humberto Flórez Ramos***

* Msc. en Ciencias Ambientales del Sistema de Universidades Estatales del Caribe Colombiano (SUE-Caribe). Docente Facultad de Ingeniería, Universidad de Sucre, Sincelejo (Colombia). viceunisucra@yahoo.com

** Msc. en Ingeniería Ambiental. Decano de la Facultad de Ingeniería Universidad de Sucre. guillermo.gutierrez@unisucra.edu.co

*** Especialista en Medio Ambiente Geoinformática, Profesional Universitario de la Corporación Autónoma Regional del Departamento de Sucre (Carsucra). hnfllorezramos@yahoo.com

Correspondencia: Universidad de Sucre, carrera 28 N° 5-267, Sincelejo (Colombia).

Resumen

En este trabajo fueron elaborados los Mapas de Vulnerabilidad Intrínseca y Específica a plaguicidas del acuífero Morroa mediante el sistema paramétrico DRASTIC. Para su elaboración se definió la geometría del sistema basándose en las variables del método, a través del *software Arcgis 9.2*. Los valores superiores obtenidos por zonas fueron los de Índice General de Vulnerabilidad Específica a plaguicidas, con resultados comprendidos entre 89 y 179 (de unos posibles 26 a 256), dividido en 5 intervalos de vulnerabilidad en su área continua, que corresponde al 91.2% del total, así: 0.6% Insignificante, 10.7% Muy Baja, 50.6% Baja, 21.9% Moderada y el 7.4% presenta una Vulnerabilidad Alta. Estos resultados constituyen una base de gestión ambiental y un punto de partida para investigaciones encaminadas a la protección del acuífero contra la contaminación por plaguicidas y demás sustancias de especial cuidado ambiental.

Palabras clave: Acuífero Morroa, contaminación, DRASTIC, plaguicidas, vulnerabilidad.

Abstract

In this work the intrinsic and Specific vulnerability maps of pesticides of Morroa aquifer were developed by DRASTIC Parametric system. Its development was to define the geometry of the system and is compiled on the basis of variables method, through the Software Arcgis 9.2.

The higher values were obtained per areas were from the General Index of Specific Vulnerability to pesticides, with results between 89 and 179 (from a possible 26 to 256), divided into 5 intervals of vulnerability in its continuous area that corresponds to 91.2% of total: 0.6% Insignificant, 10.7% Very Low, Low 50.6%, 21.9% moderate and 7.4% has a High Vulnerability. These results provide a basis for environmental management and a starting point for research aimed at protecting the Aquifer from contamination by pesticides and other substances for environmental care.

Keywords: Morroa aquifer, contamination, DRASTIC, pesticides, vulnerability.

Fecha de recepción: 19 de febrero de 2009
Fecha de aceptación: 27 de mayo de 2009

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas son un recurso importante que amerita cuidado, y en los últimos años el reto pasó de propender por una sostenibilidad en cuanto a su cantidad a la gestión de su calidad; esto principalmente por el incremento de actividades antrópicas sobre sus áreas de recarga, especialmente por prácticas agrícolas fundamentadas en el uso de agroquímicos [1]. Existen reportes de índole mundial, como los de Garrido et al. [2], quienes determinaron altas concentraciones de triazinas, organofosforados e incluso

organoclorados en los acuíferos de Cataluña; de igual manera, Martínez et al. [3] establecieron la presencia de pesticidas como malatión, endosulfan y clorpirifus en concentraciones que superan los 42,89 ($\mu\text{g}/\text{L}$) en aguas subterráneas de las principales áreas agrícolas de la provincia de Almería. Por su parte, en América Latina, Loewy [4] encontró un comportamiento estacional de la presencia de pesticidas organofosforados y metil azinfos en el acuífero del alto valle del río Negro y Neuquén en Argentina. En nuestro país, más específicamente en la región Caribe, han sido reportados estos contaminantes en aguas superficiales; por ejemplo, en el río Ranchería, en el departamento de La Guajira, fueron determinados 28 compuestos organoclorados, 22 organofosforados y 11 carbamatos en muestras de agua y sedimento [5].

1.1. Área de estudio

El acuífero Morroa es la fuente más importante de abastecimiento de agua y desarrollo humano para las comunidades de los municipios que lo circunscriben, como Sampués, Sincelejo, Corozal, Morroa, Los Palmitos y Ovejas, en el departamento de Sucre, Sahagún y Chinú, en Córdoba, y El Carmen de Bolívar, en el departamento Bolívar. La zona de estudio comprende 526.9 Km^2 y se localiza en la parte central del departamento de Sucre, al noroccidente de Colombia, más exactamente, entre las coordenadas planas, proyección transversal *Mercator elipsoide Hayford*, origen Bogotá: $X_1=1.500.000$, $X_2=1.540.000$, $Y_1=846.000$, $Y_2=880.000$ [6], como se observa en la figura 1.

Climatología

El clima de esta zona está clasificado como de sabana tropical o bosque seco tropical (bs- T), con influencia de los vientos alisios del noreste, que predominan durante algunos meses, los cuales determinan variaciones de humedad relativa y de precipitaciones; la humedad relativa media anual de la zona es de un 78% y alcanza un valor máximo de 83% en octubre y un valor mínimo de 71% en enero. Desde el punto de vista de temperatura, los climas sucreños son casi uniformemente cálidos; la temperatura media fluctúa entre los 26.5 y 28.5 $^{\circ}\text{C}$, la máxima es de 37.4 $^{\circ}\text{C}$ en marzo y la mínima de 18.5 $^{\circ}\text{C}$ en enero. Se presentan dos estaciones: una seca, con altas temperaturas y alta evapotranspiración, que se extiende desde diciembre hasta mediados de abril, y otra de lluvia, desde mediados de abril hasta

500 m [10]. La Corporación Autónoma Regional del departamento de Sucre (CARSUCRE), a partir de estudios de FINAGUAS en 2001, dividió el acuífero de Morroa en cuatro grupos principales: Formación Morroa areno-conglomerática, Formación Morroa arenosa, Formación Morroa areno-arcillosa y Formación Morroa arcillosa [11].

1.2. Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Morroa

Por varias décadas, la comunidad sucreña ha venido realizando un sinnúmero de labores propias del quehacer humano en el área de recarga del acuífero, entre ellas, el empleo masivo de plaguicidas para el control de plagas en cultivos, especialmente maíz, yuca, ñame, algodón y tabaco [12]; en consecuencia, las aguas en mención están expuestas a contaminación por agroquímicos, pero se desconocía la vulnerabilidad del acuífero a este tipo de sustancias tóxicas; por lo que esta investigación tuvo como objeto evaluar, mediante el método DRASTIC, su vulnerabilidad a la contaminación por plaguicidas. Para hacer referencia a este término es necesario, en primera medida, diferenciar entre *vulnerabilidad intrínseca* y *vulnerabilidad específica*. El primer concepto indica la susceptibilidad del agua subterránea a ser contaminada frente a los contaminantes generados por actividades humanas en función de las características físicas, geológicas, hidrológicas e hidrogeológicas de un área, independientemente del tipo de contaminante [13]-[14]. La vulnerabilidad específica, por su parte, es la susceptibilidad del agua subterránea frente a un contaminante particular o a un grupo de contaminantes, tomando en cuenta las propiedades de éstos y su relación con los diversos componentes de la vulnerabilidad intrínseca [14]-[15]. En este trabajo el grupo de contaminantes son los plaguicidas.

Método DRASTIC

Es importante resaltar que para la determinación de la vulnerabilidad de acuíferos han sido creadas varias metodologías, por ejemplo, GOD, EPIK, AVI, SINTACS y DRASTIC [16]; esta última la más aceptada para trabajos de investigación, en relación con las tres primeras, por considerar mayor número de variables, lo que hace que los resultados obtenidos sean más confiables [17]. Aunque SINTACS involucre los mismos parámetros [18], para este estudio fueron determinadas las vulnerabilidades, intrínseca y específica, mediante la metodología DRASTIC, debido a que tiene establecidas

ponderaciones diferentes para el caso específico de plaguicidas, como se observa en la tabla 1. La metodología fue desarrollada por la United States Environmental Protection Agency (EPA) en 1988 [19] y consiste en un sistema paramétrico de evaluación que incluye siete características fundamentales, a las que asigna valores, y un multiplicador (peso según su importancia). Posee tres supuestos importantes: el contaminante es introducido sobre la superficie de la tierra, el contaminante es trasladado al agua subterránea por precipitación y el contaminante es móvil en el agua. Con estas premisas, el índice de vulnerabilidad (Iv) es calculado mediante: $(Iv) = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$, donde los subíndices R y W significan factor de clasificación y factor de ponderación respectivamente.

Este método provee una forma simple de asignar la susceptibilidad de ciertas áreas a la contaminación. Los factores de clasificación se establecen del 1 al 10, mientras que los factores de ponderación varían según el factor implicado entre 1 y 5. Los factores más importantes son la profundidad del nivel de agua, el tipo de suelo y el impacto de la zona no saturada. Además, los factores de ponderación cambian cuando se trata de agentes contaminantes plaguicidas, como ya se mencionó. Estas diferencias son establecidas debido a que los pesticidas resultan menos volátiles y más persistentes en el ambiente. En la tabla 1 se observan las siete variables con sus respectivos factores de ponderación (W) de acuerdo con el tipo de vulnerabilidad, con los cuales a partir del remplazo de los diferentes valores en la fórmula de Iv son obtenidos los puntajes de índice de vulnerabilidad por zona y se clasifican según la tabla 2 [17].

Tabla 1

Peso de cada variable según su importancia de acuerdo con DRASTIC

PARÁMETROS	Peso (W) General	Peso (W) Pesticidas
D- Deep Water (Profundidad del acuífero) (m)	5	5
R- Recharge Net (Recarga Neta) (mm/año)	4	4
A- Aquifer media (Tipo de Acuífero)	3	3
S- Soil Media (Tipo de Suelo)	2	5
T- Topography (Topografía, Pendiente) (%)	1	3
I- Impact of Vadose Zone (Impacto de la Zona Vadosa)	5	4
C- Conductivity, Hydraulic (Conductividad Hidráulica del Acuífero) (m/día)	3	2

Tabla 2
 Grado de vulnerabilidad de acuerdo con el puntaje

Puntaje	Grado de Vulnerabilidad
<100	Vulnerabilidad Insignificante
101-119	Vulnerabilidad Muy baja
120-139	Vulnerabilidad Baja
140-159	Vulnerabilidad Moderada
160-179	Vulnerabilidad Alta
180-199	Vulnerabilidad Muy Alta
>200	Vulnerabilidad Extrema

2. METODOLOGÍA

La información concerniente a las siete variables que requiere la metodología DRASTIC se obtuvo del acuerdo con el procedimiento que se describe a continuación: Del inventario de pozos del área de estudio disponible en CARSUCRE se obtuvieron las coordenadas planas en X y Y y las profundidades del agua con relación al nivel estático; de Buitrago et al. [20] se obtuvieron las recargas por zona del acuífero; en cuanto a la zona vadosa y al tipo de acuífero, fueron extraídos del más reciente trabajo realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi con el auspicio de la Gobernación del departamento de Sucre [8]; los tipos de suelo fueron obtenidos de Cárdenas et al. [21] en complemento con el IGAC [8]; las pendientes se obtuvieron de la cartografía digital IGAC [22], específicamente de las curvas de nivel, con ayuda de la herramienta *Arcgis 9.2* [23], y las conductividades hidráulicas de los diferentes pozos se obtuvieron a partir de Buitrago et al. [20] Pacheco et al. [24] – De Vivero et al. [25], así mismo de pruebas de bombeo realizadas por empresas prestadoras del servicio de agua y consultores en general, y avaladas por dicha corporación autónoma para expedición de la licencia de explotación de pozos, con base en las cuales se determinaron los valores para esta variable mediante el *software Aquifer Test v.4.0*.

Realización de mapas

Los mapas de distribución espacial de la vulnerabilidad DRASTIC fueron realizados mediante *Arcgis 9.2* [23], a partir los datos obtenidos de cada

una de las variables. Las capas necesarias para aplicar el método fueron generadas en formato Raster, con un tamaño de pixel de 90 metros por lado. Se procedió de la siguiente manera:

- Los valores puntuales de fenómenos continuos como los niveles estáticos fueron interpolados con objeto de generar una superficie continua del fenómeno respetivo.
- La hidrogeología correspondiente al acuífero Morroa se encontraba como una capa vector y fue transformada a Raster para poder realizar el álgebra de mapas.
- Todas las capas de información fueron reclasificadas según los intervalos que sugiere DRASTIC. Esta operación consiste en transformar los valores originales de cada variable a valores que van de 1 a 10, donde 1 significa que es menos susceptible al fenómeno en cuestión y 10, más susceptible, como se había mencionado.
- Teniendo todas la variables reclasificadas y en formato Raster se procedió a realizar el algebra de mapas. Los sistemas de información geográfica SIG son muy importantes en este paso, ya que brindan la posibilidad de sumar todas las capas y que cada una sea multiplicada por su respectivo factor de ponderación; para eso fue utilizada la extensión *Spatial Analyst* de *Arcgis 9.2* [23].

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La población de puntos de agua correspondientes al inventario de CARSUCRE es de 165, y en una muestra de 96 se determinaron profundidades entre 0.42 y 188 m, donde derivan factores de clasificación (R) comprendidos entre 10 y 1 respectivamente; las recargas reportaron un valor mínimo de 46 y un máximo de 199 mm/año para factores (R) de 1 a 8. En lo que respecta a la zona vadosa y al tipo de acuífero, se reportan areniscas masivas, areniscas calcáreas y areniscas calcáreas poco consolidadas, lo que arroja un (R) de 6; los tipos de suelo generaron valores de (R) comprendidos entre 2.5 y 9; las pendientes oscilan entre 0 y 79.6%, lo que concibe factores (R) de 10 a 1, y en cuanto conductividad hidráulica, los valores estuvieron comprendidos entre 0.027 y 14.4 m/d, que determinan factores (R) de 1 a 6.

El área total de estudio calculada fue de 52,694 ha, y sobre esta extensión la distribución espacial de los Índices de Vulnerabilidad Intrínseca proyectó

un entorno numérico de 80 a 147, entre 23 a 226 de valores extremos posibles, dividido en 4 intervalos (Vulnerabilidad Insignificante, Muy Baja, Baja y Moderada, según la tabla 2). Como puede observarse en la tabla 3, que muestra el porcentaje de área que corresponde a cada índice de vulnerabilidad y refleja que el mayor porcentaje de extensión geográfica presenta una vulnerabilidad intrínseca muy baja, en contraposición a un porcentaje de área mínima con vulnerabilidad moderada.

Tabla 3
 Resultados de la Vulnerabilidad Intrínseca

Grado de Vulnerabilidad	Área (ha)	(%) del Área Total
Vulnerabilidad insignificante	13315,6	25,3
Vulnerabilidad muy baja	27321,3	51,8
Vulnerabilidad baja	7321,6	13,9
Vulnerabilidad moderada	77,0	0,1
Discontinuidad del acuífero	4658,6	8,8
Total Área Continua	48035,4	91,2

Tabla 4
 Resultados de la Vulnerabilidad Específica

Grado de Vulnerabilidad	Área (ha)	(%) del Área Total
Vulnerabilidad insignificante	290,0	0,6
Vulnerabilidad muy baja	5614,1	10,7
Vulnerabilidad baja	26662,0	50,6
Vulnerabilidad moderada	11552,2	21,9
Vulnerabilidad alta	3917,2	7,4
Discontinuidad del acuífero	4658,6	8,8
Total Área Continua	48035,4	91,2

Por otro lado, la distribución espacial de los índices de vulnerabilidad específica a plaguicidas generó un entorno numérico de 89 a 179, entre 26 a 256 de valores extremos posibles, y los intervalos fueron 5 (Vulnerabilidad Insignificante, Muy Baja, Baja, Moderada y Alta), distribuidos como puede verse en la

tabla 4, en la que aparece un mayor porcentaje de área con una vulnerabilidad específica baja y un porcentaje de 7.4% de la extensión geográfica total presenta vulnerabilidad alta.

Geográficamente, estos resultados se pueden ver simultáneamente en la figuras 2 y 3, donde puede evidenciarse que el acuífero presenta Vulnerabilidad Alta a plaguicidas en un área de 3917.2 ha, que corresponde al 7,4% de la extensión total, y ésta se halla distribuida en zonas rurales pertenecientes a los municipios de Sampués y Sincelejo, donde todavía se utilizan agroquímicos con relativa frecuencia.

Es importante mencionar que estos resultados no son absolutos, sobre todo considerando la intensificación de los cambios climáticos en los últimos años, que modifican el régimen pluviométrico, por lo cual generan lluvias de mayor intensidad [26]-[27], que cambiarían, a su vez, los resultados de la variable Recarga Neta, de gran ponderación en el método DRASTIC [17]-[18]; así las cosas, estas precipitaciones dan origen a grandes escorrentías y menores infiltraciones, lo que disminuiría los valores para esta variable [28]- [29].

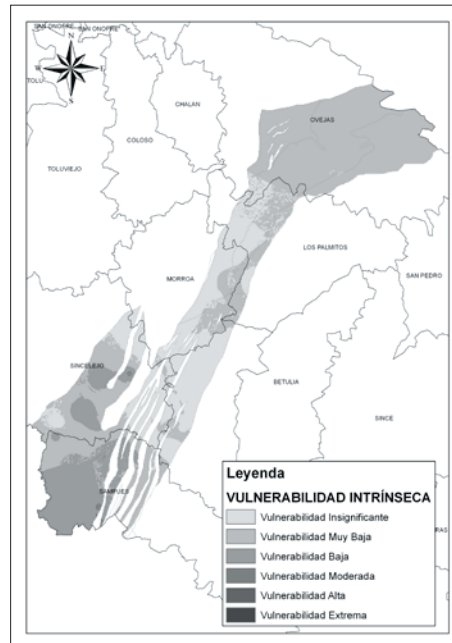


Figura 2. Mapa de vulnerabilidad intrínseca del acuífero Morroa

Así mismo, las zonas con mayor índice de vulnerabilidad a plaguicidas corresponden a los municipios Sampués y Sincelejo en menor extensión, lo que permite afirmar que éstas son de especial cuidado para ejercer control y realizar estudios de investigación que permitan evaluar consecuencias de plaguicidas sobre el área de recarga del acuífero Morroa.

Referencias

- [1] H. Hiscock, *Hydrogeology. Principles and practice*, Malden. Oxford, Carlton: Blackwell Publishing, 2005, p. 389.
- [2] T. Garrido et al., "Análisis de la presencia de plaguicidas en diversos acuíferos de Cataluña", *Memorias de las Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente*, 1998.
- [3] J.L. Martínez, M.J. González, A. Belmonte y A. Garrido, "Estudio de la Contaminación por pesticidas en aguas ambientales de la Provincia de Almería," *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, vol.13, N° 3, pp. 30-38, 2004.
- [4] R. Loewy, *Plaguicidas en aguas subterráneas del Alto Valle del río Negro y Neuquén*. Tesis de Maestría en Ciencias Químicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Camahue, Buenos Aires, 2000.
- [5] I. Aranza y J. Pérez, "Efecto de los plaguicidas en la calidad del agua en la cuenca media del río Ranchería, La Guajira (Colombia)", *Revista científica Ciencia e Ingeniería Aplicada*, vol. 1, N° 1, pp. 23-38, 2006.
- [6] CARSUCRE, *Revista Proyecto de Protección Integral de Aguas Subterráneas (PPIAS)*. Sincelejo (Colombia): Carsucre, 2005, pp. 8-16.
- [7] Y. Abreu y M. Díaz, *Determinación de la geometría del acuífero Morroa y localización de futuras zonas de posible exploración y explotación del acuífero, mediante el uso de líneas sísmicas y pozos de petróleo*. Sincelejo (Colombia): CARSUCRE-Aguas de la Sabana, 2004.
- [8] IGAC, *Sucre: Características geográficas*. Bogotá (Colombia): Igac, 2003, pp. 59-70.
- [9] CARSUCRE, *Zonificación Ambiental*, vol. 1. Sincelejo (Colombia): Carsucre, 1999, pp. 5-31.
- [10] G. Rodríguez, *Estudio hidrogeológico del acuífero de Morroa*. Bogotá (Colombia): Ingeominas, 1993, pp. 12-33.
- [11] CARSUCRE y FINAGUAS, *Sistema de Información para la Gestión del Recurso hídrico en el acuífero de Morroa (SIGAS)*. Sincelejo (Colombia): Carsucre, 2001, pp. 100.
- [12] V. Vergara, M. Cárdenas y R. Sierra, *Evaluación de impactos ambientales por uso de agroquímicos en áreas de recarga del acuífero formación Morroa, trabajo de grado de Ingeniería Agrícola*, Universidad de Sucre, 2006.

- [13] D. Daly et al., "Main concepts of the "European Approach" for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping", *Hydrogeology Journal*, vol. 10, N° 2, pp. 340-345, 2002.
- [14] L. Ríos y M. Vélez, "Vulnerabilidad a la contaminación, zona sur acuífero del Valle del Cauca (Colombia)", *Boletín de Ciencias de la Tierra*, vol. 1, N° 23, pp. 69-84, 2008.
- [15] I. Morell y J. Tuñón, "Vulnerabilidad de acuíferos costeros en el área Mediterránea," presentado en el taller: *Protección de acuíferos frente a la contaminación metodológica*, Toluca (México), junio, 2001.
- [16] S. Foster, R. Hirata, D. Gomes, M. D'Elia y M. Paris, *Protección de la calidad del agua subterránea, guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales*. Washington: World Bank, 2003, pp. 17-58.
- [17] J.M. Xavier, S. Gagliardi, H. Vidal, M. Montañoy L.R. Da Lucena, "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*, vol. 1, N° 4, pp. 35-45, 2004.
- [18] F. Nicoletti y R. Spandre, "Valoración del Riesgo de Contaminación de las aguas subterráneas por nitratos mediante el uso de los modelos paramétricos DRASTIC y SINTACS," *Ingeniería del Agua*, vol. 3, N° 4, pp. 7-24, 1996.
- [19] EPA, *A review of methods for assessing the sensitivity of aquifers to pesticide contamination. Preliminary document*. Washington: EPA, 1, 1991, pp. 1-21.
- [20] J. Buitrago y L. Donado, Evaluación de las condiciones de explotación del agua subterránea en la zona de recarga del acuífero Morroa, departamento de Sucre y Córdoba (Colombia), trabajo de grado, Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2000.
- [21] L. Cárdenas y W. Medrano, Variabilidad espacial aproximada de algunas propiedades químicas y texturales de suelos del departamento de Sucre, trabajo de grado de Ingeniería Agrícola, Universidad de Sucre, Sincelejo (Colombia), 2007.
- [22] IGAC, *Carta de Suelos del departamento de Sucre*. Bogotá (Colombia): IGAC, 1998.
- [23] J. McKoy, K. Johnston, S. Kopp, B. Borup, J. Willison y B. Payne, *ArcGis 9. Using ArcGis Spatial Analyst*, 2001.
- [24] D. Pacheco y P. Villegas, Caracterización hidráulica del acuífero Morroa a través de pruebas de bombeo, trabajo de grado, Ingeniería Civil, Universidad de Sucre, Sincelejo (Colombia), 2003.
- [25] J. De vivero y C. Montoya, Elaboración de la red de flujo del acuífero Morroa en el Sector Sincelejo, Corozal y Morroa, trabajo de grado, Ingeniería Civil, Universidad de Sucre, Sincelejo (Colombia), 2004.
- [26] H. Gitay, A. Suárez, R. Watson y D. Dokken, *Documento Técnico V del IPCC, Cambio climático y Biodiversidad*, Washington (EE.UU.): IPCC, 2002, p. 12.

- [27] J. L. Fuentes, *Iniciación a la Meteorología y la Climatología*. Madrid: Mundi-Prensa, 2000, pp. 187-207.
- [28] A. Cerdá y H. Laveé, Escorrentía y erosión a lo largo de un gradiente climático - altitudinal efecto por el pastoreo en el desierto de Judea, *Cuadernos Geográficos*, vol. 1, N° 29, pp. 27-50, 1999.
- [29] F. J. Aparicio, *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México D.F.: Limusa, 2004, pp. 177-200.
- [30] R. Pérez y J. Pacheco, Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación de nitratos en el Estado de Yucatán, *Ingeniería*, vol. 1, N° 8, pp. 33-42, 2004.
- [31] M. Martínez, P. Delgado y V. Fabregat, "Aplicación del Método DRASTIC para la evaluación del riesgo de afección a las aguas subterráneas por una obra lineal," presentado en Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente, 1998.