

Potencial de carga contaminante en sector hidrogeológico de la provincia Ciego de Ávila

MSc. Yamilé Jiménez Peña¹

e-mail: yamile@cibacav.cu

MSc. Vania Mireya Vidal Olivera²

e-mail: vania@cibacav.cu

MSc. Rafael González-Abreu Fernández³

e-mail: eahcav@hidro.cu

MSc. Levis A Valdés González⁴

e-mail: levis@cibacav.cu

Lic. Marisleys Castro Carrillo⁵

e-mail: marisleys@cibacav.cu

^{1,2,4,5} Centro de Investigaciones en Bioalimentos (CIBA), Morón. Ciego de Ávila.

³ Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Ciego de Ávila (EAH CA), Ciego de Ávila.

RESUMEN

Las aguas subterráneas presentan una permanente amenaza de contaminación ocasionada por acciones antrópicas, tales como el desarrollo urbano o las actividades industriales, mineras o agrícolas, constituyendo esto un riesgo para el ecosistema y la salud si se considera al recurso subterráneo como proveedor de agua para consumo humano. Es por ello que, en este estudio, se aplicó el método POSH, herramienta que permitió identificar las fuentes contaminantes enmarcadas en el sector hidrogeológico CA-I-5, las actividades que más inciden con fuentes contaminantes de interés para la protección del acuífero unido a la clasificación y estimación de la carga contaminante al subsuelo; aspectos que constituyen un paso fundamental en los programas de evaluación de peligro de contaminación y protección de la calidad de las aguas subterráneas en la provincia avileña.

Palabras clave: acción antrópica, aguas subterráneas, contaminación, método POSH.

Potential pollution load in hydrogeological sector in Ciego de Avila

ABSTRACT

Groundwaters are subjected to a continuous threat of pollution from anthropogenic action, such as urban development, agricultural, industrial, mining activities and others which constitutes a risk to the ecosystem and even human health if considered the underground water resource as a supplier for human consumption. That is why in this study the POSH method was applied, a tool which identifies pollution sources framed in the hydrogeological sector CA-I-5, the activities that most influence with polluting sources of interest for the protection of the aquifer together with the classification and estimation of subsurface contaminant load, both of which are a key step in risk assessment programs of pollution and protecting the quality of groundwater in Ciego de Avila province.

Keywords: human action, groundwater, pollution, POSH method.

INTRODUCCIÓN

La importancia del agua subterránea es incuestionable, ya que abarca casi 95 % de los recursos útiles del agua dulce proporcionando, en la mayoría de los países, más de la mitad del agua de abastecimiento humano y desempeñando un importante papel en el mantenimiento de la humedad del suelo, el caudal de los ríos y las zonas húmedas (Garfias et al. 2002), (González et al. 2006), (Helga et al. 2014).

La contaminación de las aguas subterráneas se detecta más difícilmente que en las aguas superficiales siendo, además, mucho más persistente y difícil de corregir. Varias son las causas potenciales de deterioro de la calidad de un acuífero, pero las más importantes están relacionadas con las actividades antrópicas, ya que éstas son generadoras de carga contaminante al subsuelo. Se debe señalar que las actividades de mayor potencial de generación de contaminantes están asociadas con la utilización o manejo de compuestos de gran toxicidad (pesticidas, fertilizantes y productos químicos) muy persistentes y de gran movilidad en los acuíferos. Por otro lado, las cargas hidráulicas impuestas como lagunas de irrigación, en el caso de actividades agrícolas, también constituyen un foco importante de contaminación (Foster et al. 1998), (González et al. 2006), (Jiménez 2008), (Oliveira y Guimarães 2010).

La revisión general de incidentes de contaminación de agua subterránea conocidos conduce a las siguientes observaciones importantes, las cuales son de relevancia a pesar del hecho que la mayoría de los trabajos publicados se refiere a los países más industrializados y pueden no ser representativos de aquellos en vías de desarrollo económico (Foster et al. 2002):

- Gran cantidad de actividades antrópicas son potencialmente capaces de generar importantes cargas contaminantes, aunque sólo algunas son generalmente responsables de la mayoría de los casos importantes de contaminación del agua subterránea (tabla 1).
- La intensidad de la contaminación de un acuífero no es normalmente una función directa del tamaño de la actividad potencialmente contaminante en la superficie del terreno suprayacente. Muchas veces pequeñas actividades (tales como talleres mecánicos) pueden causar gran impacto en la calidad del agua subterránea.
- Las industrias más grandes y sofisticadas generalmente ejercen un mayor control y monitoreo en la manipulación y disposición de sustancias químicas y efluentes para evitar los problemas fuera de las instalaciones debido a la inadecuada disposición de los efluentes o derrames accidentales de los productos químicos almacenados.
- Debido a las condiciones económicas inestables que suelen padecer los pequeños emprendimientos industriales, es relativamente común su apertura y cierre en cortos períodos de tiempo, lo que dificulta la identificación y control de la contaminación del agua subterránea y puede ser causa de una herencia de terrenos contaminados.
- La cantidad de sustancias potencialmente contaminantes utilizadas en la industria no mantiene una relación directa con su ocurrencia como contaminantes en el agua subterránea, más bien el factor clave es la movilidad y persistencia de las especies contaminantes en el subsuelo.
- Cantidades relativamente pequeñas de compuestos químicos más tóxicos y persistentes son capaces de generar grandes cargas de contaminación en el agua subterránea, particularmente en sistemas acuíferos caracterizados por grandes velocidades de flujo del agua subterránea.
- La naturaleza de las actividades contaminantes (particularmente en términos de tipo e intensidad del contaminante) puede, en algunos casos, ejercer una importantísima influencia en el impacto sobre la calidad del agua subterránea independientemente de la vulnerabilidad del acuífero.

Tabla 1. Resumen de actividades potencialmente generadoras de una carga contaminante al subsuelo (Foster and Hirata 1988)

Actividad	Características de la carga contaminante				
	Categoría de distribución		Principales tipos de contaminantes	Sobrecarga hidráulica	Aplicada debajo de la capa de suelo
				(+Indica que aumenta la importancia)	
Desarrollo Urbano					
Saneariamiento sin red de alcantarillado	u/r	P-D	n f o t	+	+
Cloacas con fugas (a)	u	P-L	o f n t	+	
Lagunas de oxidación de aguas residuales (a)	u/r	P	o f n t	++	+
Descarga de aguas residuales en el suelo(a)	u/r	P-D	n s o f t	+	
Aguas residuales en ríos influentes (a)	u/r	P-L	n o f t	++	++
Lixiviación de rellenos/vertederos de basura	u/r	P	o s h t		+
Tanques de almacenamiento de combustible	u/r	P-D	t		
Sumideros de drenaje de las carreteras	u/r	P-D	s t	+	++
Producción Industrial					
Tanques/ Tuberías con fugas (b)	u	P-D	t h		
Derrames accidentales	u	P-D	t h	+	
Aguas de proceso/ lagunas de efluentes	u	P	t o h s	++	+
Descarga de efluentes en el suelo	u	P-D	t o h s	+	
Descarga hacia ríos influentes	u	P-L	t o h s	++	++
Vertederos con residuos con lixiviación	u/r	P	o h s t		
Sumideros de drenaje	u/r	P	t h	++	++
Precipitación aérea de sustancias	u/r	D	s t		
Producción agrícola (c)					
i) Cultivo del suelo					
Con agroquímicos	r	D	n t		
y con irrigación	r	D	n t s	+	
con lodos/lodos provenientes de agua residual	r	D	n t s o		
bajo riego con aguas residuales	r	D	n t o s f	+	
ii) Cría de ganado/ procesos de cosecha					
lagunas de efluentes	r	P	f o n t	++	+
descarga de efluentes en el suelo	r	P-D	n s o f t		
descarga hacia ríos influentes	r	P-L	o n f t	++	++
Extracción minera					
Alteración del régimen hidráulico	r/u	P-D	s h		
Descarga de aguas de drenaje	r/u	P-D	h s	++	++
Aguas de proceso/ lagunas de lodos	r/u	P	h s	+	+
Vertederos con residuos con lixiviación	r/u	P	s h		
Leyenda: n: compuestos de nutrientes; f: patógenos fecales; o: carga orgánica general; s: salinidad; h: metales pesados; t: micro-organismos tóxicos; P: Puntual, D: Difusa, L: Lineal, u: urbano; r: rural, (a): puede incluir componentes industriales, (b) puede ocurrir también en áreas no industriales, (c): la intensificación representa el mayor peligro de contaminación.					

De esta forma, el inventario y clasificación sistemáticos de fuentes de contaminación potencial constituyen un paso fundamental en los programas de evaluación de peligro de contaminación y protección de la calidad de las aguas subterráneas. Por lo antes expuesto, este trabajo tiene como *objetivo*: identificar las fuentes potencialmente contaminantes enmarcadas en el sector hidrogeológico CA-I-5, cuenca Morón, con el propósito de desarrollar estrategias de protección de la calidad de las aguas subterráneas.

ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se enmarca en el sector hidrogeológico CA I-5 de la cuenca geológica Morón, en la provincia Ciego de Ávila. Ocupa un área de 219,0 km² desde el parteaguas central hasta los límites del Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila, colindando con los sectores CA-I-4 y CA-I-6 respectivamente. Este sector hidrogeológico tiene para proteger 70,6 hm³ de recurso hídrico dinámico y 52,9 hm³ de recurso explotable (figura 1), donde se ubican varias fuentes importantes de abastecimiento humano en el territorio avileño.



Figura 1. Ubicación geográfica del sector hidrogeológico CA-I-5

INVENTARIO DE FUENTES CONTAMINANTES

Cargas contaminantes

El diseño del inventario de fuentes potencialmente contaminantes comprendió la identificación, localización espacial y la caracterización sistemática de todas las fuentes asociadas con las diferentes actividades antropógenas desarrolladas en el área de estudio, junto con la obtención de información sobre su evolución histórica donde fue apropiado y posible. Esta información sirvió de base para la evaluación de cuáles actividades tienen el mayor potencial de generación de cargas contaminantes peligrosas para el subsuelo.

El proceso de inventario se realizó mediante la aplicación de encuestas básicas que contempló una lista de preguntas y respuestas estandarizadas que tuvieron como base criterios claramente definidos, mensurables y reproducibles tales como: descripción del sistema de tratamiento, disposición final de efluentes de procesos, cantidad de agua utilizada en la actividad, pozos propios o estatales, entre otros, de modo que sean capaces de generar un conjunto de datos razonablemente homogéneos. Además se efectuaron verificaciones in situ con vista a evaluar la veracidad de la información brindada.

Características de la carga contaminante del subsuelo

El procedimiento utilizado para conocer la carga contaminante derivada de las actividades inventariadas, consiste en estimar el peligro potencial de contaminación que representa cada fuente contaminante para las aguas subterráneas. Se utilizó la metodología desarrollada por Foster et al. (2002), quienes plantean que desde un punto de vista teórico, la carga contaminante al subsuelo generada por una actividad antrópica dependerá de las características siguientes:

- Clase del contaminante involucrado, definido por su persistencia probable en el ambiente subterráneo y por su coeficiente de retardo relacionado con el flujo de agua subterránea.
- Intensidad de la contaminación, definida por la concentración probable del contaminante en el efluente o lixiviado, en relación con los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la calidad de agua potable y por la proporción de la recarga del acuífero involucrada en el proceso de contaminación.
- El modo en que el contaminante es descargado al subsuelo, definido por la carga hidráulica (incremento sobre la tasa de recarga natural o sobrecarga hidráulica) asociada con la descarga del contaminante y la profundidad debajo de la superficie del terreno en la cual el efluente o lixiviado contaminado que ingresa es descargado o generado, la duración de aplicación de la carga contaminante, definida por la probabilidad de descarga del contaminante al subsuelo (ya sea intencional, incidental o accidentalmente) y por el período durante el cual la carga contaminante será aplicada.

CLASIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DEL SUBSUELO

Ocurrencia espacial y temporal

Para la clasificación de las actividades potencialmente contaminantes en el sector hidrogeológico CA-I-5 se tuvo en cuenta su distribución espacial que proveerá una impresión directa y visual del tipo de peligro de contaminación del agua subterránea que ellas plantean y las medidas de control que pueden requerirse según Hirata (2002) y Johansson and Hirata (2001):

Fuentes de contaminación difusa: no generan una contaminación del agua subterránea claramente definida sino que normalmente impactan en un área.

Fuentes de contaminación puntual: normalmente producen una contaminación claramente definida y más concentrada, las cuales facilitan su identificación (y en algunos casos el control).

Otra consideración importante es si la generación de la carga contaminante al subsuelo es una parte inevitable o integral del diseño de una actividad antrópica (por ejemplo como es el caso de

tanques sépticos) o si la carga es generada incidental o accidentalmente. (Johansson and Hirata 2001)

Otra manera útil de clasificar las actividades contaminantes fue a partir de la base de su perspectiva histórica, que también ejerce una mayor influencia en el procedimiento para su control:

Fuentes pasadas (o heredadas) de contaminación: donde los procesos contaminantes o la actividad completa cesó algunos años (o décadas) anteriores al momento del inventario pero aún existe peligro de generación de carga contaminante al subsuelo por el lixiviado de los terrenos contaminados.

Fuentes existentes de contaminación: las que continúan siendo activas en el área de inventario.

Fuentes potenciales futuras de contaminación: relacionadas con actividades identificadas en la etapa de planificación.

Caracterización de la carga contaminante

Para la evaluación de la carga contaminante se aplicó el método POSH (Pollutant Origin Surcharge Hydraulic) creado por Foster and Hirata (1988) y revisado por Foster et al. (2002). Con la aplicación del método se pudo clasificar la carga contaminante que es vertida al sector CA-I-5 en dos características fácilmente estimables: el origen del contaminante (Pollutant Origin), traducido en la posibilidad de presencia de una sustancia contaminante del agua subterránea de acuerdo con el tipo de actividad y su sobrecarga hidráulica (surcharge hydraulic) que se estima sobre la base del uso del agua en la actividad relacionada.

Teniendo en cuenta algunos datos de interés como densidad poblacional (Censo 2014), cobertura de tratamiento de residuales, estado del sistema de tratamiento aplicado, cantidad y tipo de productos químicos empleados, tipo de suelo, etc., este método permitió calificar las fuentes en tres niveles cualitativos de “potencial de generación de una carga contaminante al subsuelo” (tabla 2 y tabla 3).

Tabla 2. Clasificación y categorización de fuentes difusas de contaminación de acuerdo con el método POSH (Foster et al. 2002)

Potencial de carga contaminante al subsuelo	Fuente de contaminación	
	Saneamiento in situ	Prácticas agrícolas
Elevado	cobertura del servicio de cloacas menor que 25% y densidad poblacional de 100 personas/ha	cultivos comerciales intensivos y la mayoría de los monocultivos en suelos bien drenados en climas húmedos o con baja eficiencia de riego, pastoreo intensivo sobre praderas altamente fertilizadas
Moderado	intermedio entre elevado y reducido	
Reducido	cobertura del servicio de cloacas mayor que 75% y densidad poblacional de 50 personas/ha	rotación de cultivos tradicionales, pastoreo extensivo, sistemas de granjas ecológicas, cultivos bajo riego de alta eficiencia en áreas áridas

Tabla 3. Clasificación y categorización de fuentes puntuales de contaminación de acuerdo con el método POSH (Foster et al. 2002)

Potencial de carga contaminante al subsuelo	Fuente de contaminación				
	disposición de residuos	sitios industriales*	lagunas de efluentes	urbanas varias	exploración minera y petrolera
Elevado	residuos de industria tipo3, residuos de origen desconocidos	industria tipo3,cualquier actividad que maneje> 100kg de sustancias químicas	todas las industrias tipo 3, cualquier efluente excepto aguas residuales residenciales si el área> 5ha		operación de campos de petróleo, minas metalíferas
Moderado	precipitación >500mm/a con residuos industriales/industriales de tipo1/agroindustriales y todos los otros casos	industrias tipo 2	aguas residuales residenciales si el área> 5ha, otros casos que no figuran arriba o abajo	gasolineras, rutas con tráfico regular de sustancias químicas peligrosas	algunas minas/canteras de materiales inertes
Reducido	precipitación <500mm/a con residuos industriales/industriales de tipo1/agroindustriales	industrias tipo 1	efluente residencial, urbano mezclado, agroindustrial, minero no metalífero si el área < 1 ha	cementerios	
<p>* los terrenos contaminados por industrias abandonadas deberían tener las mismas categorías que las propias industrias: industrias tipo1 : carpintería , fábrica de alimentos y bebidas, destilería de alcohol y azúcar, procesamiento de materiales no metálicos industria tipo 2: fábricas de cauchos, pulpa y papel, textiles , artículos eléctricos, fertilizantes , detergentes y jabones industria tipo3: talleres mecánicos , refinerías de gas y petróleo, manufacturas de pesticidas , plásticos, productos farmacéuticos y químicos, curtidurías, fábricas de artículos electrónicos, procesamiento de metal</p>					

El inventario arrojó un total de 104 fuentes contaminantes, distribuidas en toda el área de estudio, incidiendo en tres municipios de la provincia (Ciego de Ávila, Ciro Redondo y Morón). La figura 2 evidencia que estas fuentes están muy cerca de la red hidrográfica y fuentes de abastos, las cuales pueden verse afectada en corto y mediano periodo de tiempo, si se tiene en cuenta el origen de las fuentes contaminantes y el inadecuado o nulo tratamiento que presentan las aguas residuales derivadas de la mayoría de estos procesos productivos, según se pudo constatar en las visitas. Todo ello puede contribuir al deterioro de la calidad de las aguas subterráneas en este sector hidrogeológico que se explotan con varios fines, destacándose el de abasto de agua para consumo humano.

La tabla 4 evidencia que de los seis grupos de actividades desarrollados dentro del sector CA-I-5, los más representativos son el de urbanización con el 36 %, que incluye fuentes contaminantes asociadas con asentamientos humanos, centros de salud, centros educacionales y otros; la actividad agropecuaria con el 34 %, destacándose las fuentes asociadas con la producción porcina a pequeña y mediana escala unida a las prácticas agrícolas en menor

proporción y el 24 % correspondiente al desarrollo industrial, en la que se destacan las producciones de mermelada de frutas y conservas a través de las mini industrias existentes en la zona, además de otras producciones de alimentos y bebidas a escala industrial (figura 3). Todo ello indica que el sector hidrogeológico CA-I-5 constituye un área de estricto control y seguimiento por parte de los decisores de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico (EAH) y el CITMA del territorio, por los daños y consecuencias que este fenómeno puede provocar. Si se añade a esta situación la sequía que está confrontando la provincia donde este sector es uno de los más afectados, se hace evidente que la calidad de las aguas subterráneas está en grave peligro.

Tabla 4. Resumen de las fuentes contaminantes por tipo de actividad en el sector CA-I-5

Actividad	Fuentes contaminantes	Cantidad	Principales contaminantes
Desarrollo Urbano	Asentamientos en zonas urbanas	8	n,f,o
	Asentamientos en zonas sub urbanas	7	n,f,o
	Asentamientos en zonas rurales	14	n,f,o
	Hospitales	2	n,f,o,t,h
	Centros educacionales	6	n,f,o
	Unidad Militar	1	n,f,o,t,h
Industrial	Fábricas de alimentos (industrias tipo1)	15	n,o,t
	Fábricas de bebidas (industrias tipo1)	1	n,o,t
	Talleres mecánicos (industrias tipo3)	2	n,o,t,h
	Lavanderías (industrias tipo2)	2	n,f,o,t,h,s
	Industria Azucarera (industria tipo1)	1	n,o,t,h
	Industria Alevinaje	1	n,o,t,h
	Grupos electrógenos	1	t,h
	Planta asfalto	1	t,h
Exploración petrolera	Operación de campos de petróleo (industria tipo3)	1	t,h
Agropecuaria	Crianza de ganado porcino (productores)	28	n,f,o,t,h
	Empresa avícola	1	n,f,o,t,s
	Prácticas agrícolas	4	n,o,t,h,s
	Centro de investigación	1	n,f,o,t,h
Urbanas varias	Cementerios	2	f
	Gasolineras	3	t,h
	Nave de ómnibus	1	t,h
Disposición de residuos	Vertederos	1	n, o, t, h
Total		104	

En la figura 4, figura 5 y figura 6 se muestra el porcentaje de las fuentes contaminantes según las actividades más representativas dentro del área de estudio. Las de mayor incidencia dentro del sector urbano son los asentamientos humanos en zonas rurales, urbanas y suburbanas con el 37 %, 21 % y 18 % respectivamente; en el caso del sector agropecuario prevalece con un 82 % la crianza de cerdos a través de productores pertenecientes a CCSF con o sin convenio con la

empresa porcina del territorio y en el caso del sector industrial las fuentes de mayor impacto están asociadas con las fábricas de alimentos con el 63 %, clasificadas por el método POSH como industrias de tipo 1 destacándose entre ellas las mini-industrias.

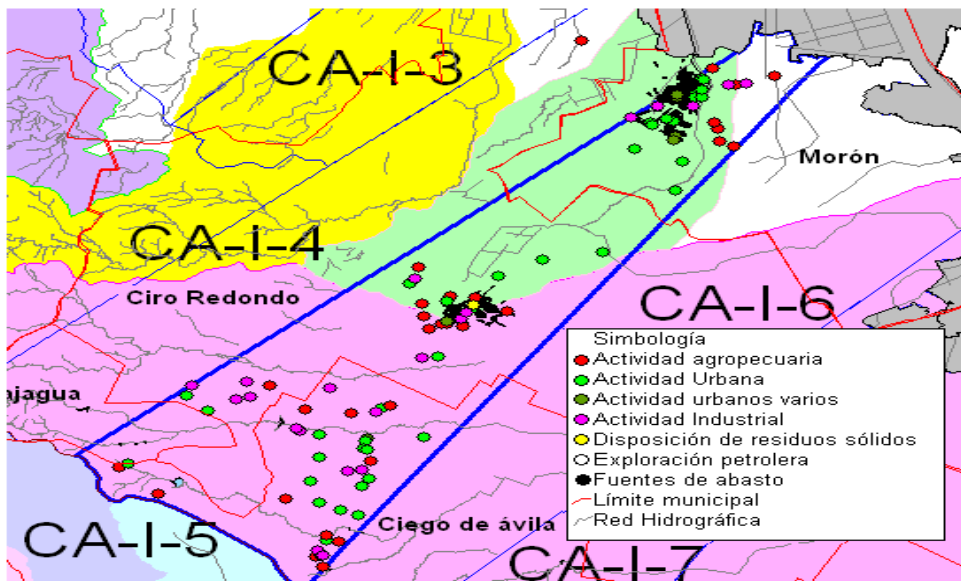


Figura 2. Ubicación geográfica de las fuentes contaminantes inventariadas en el sector CA-I-5

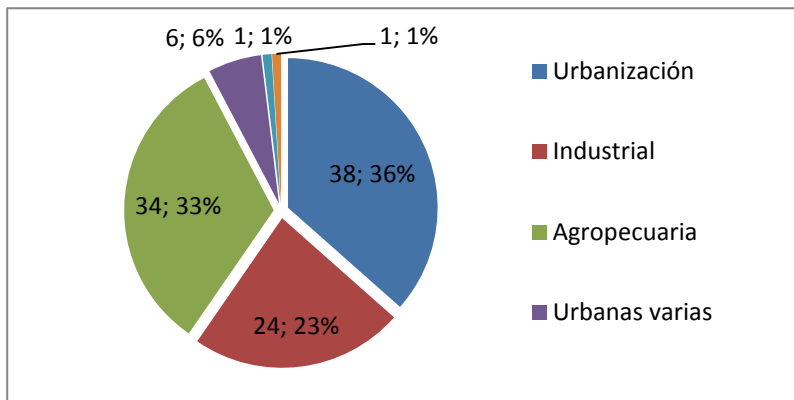


Figura 3. Fuentes contaminantes según actividades desarrolladas en el sector CA-I-5

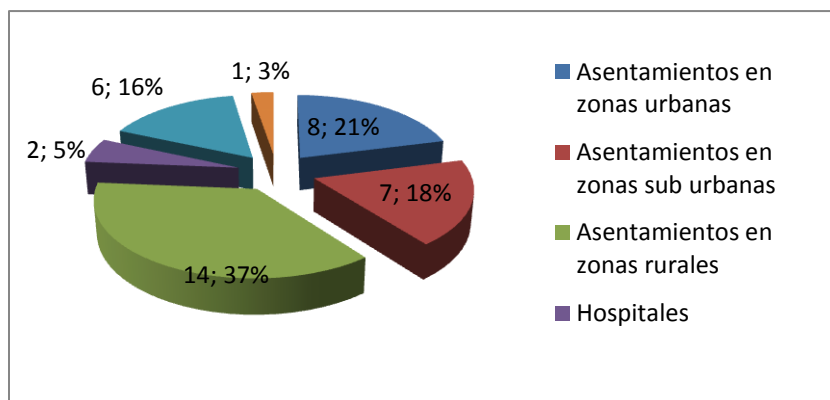


Figura 4. Porcentaje del desarrollo urbano identificado en el área de estudio

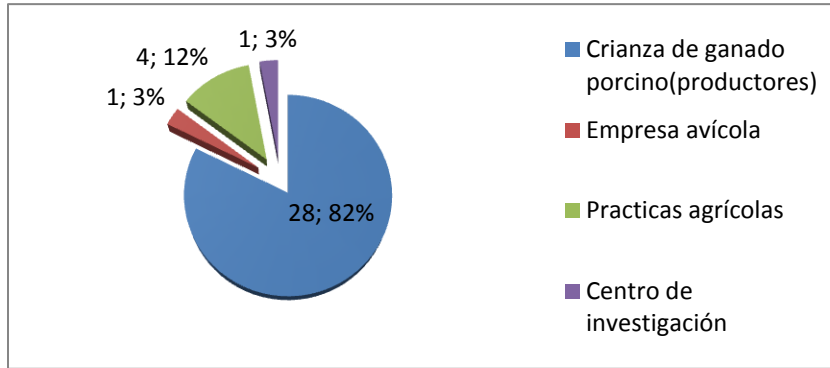


Figura 5. Porcentaje de la producción agropecuaria identificada en el área de estudio

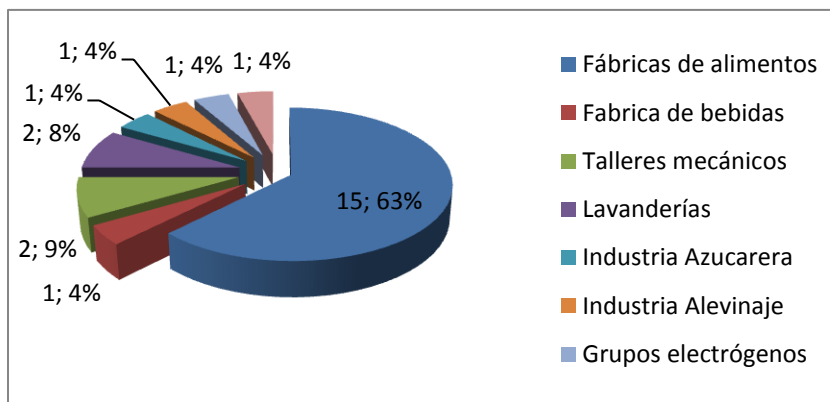


Figura 6. Porcentaje de sectores industriales identificados en el área de estudio

El municipio Ciego de Ávila es el que más incide en el sector objeto de estudio, con 43 fuentes potencialmente contaminantes, representando el 41 % del total (figura 7). En este municipio se encuentran ubicadas el 75 % de las industrias inventariadas siendo consideradas todas de gran importancia para el territorio. Esto ha permitido ir desarrollando algunas propuestas de control y seguimiento para las fuentes inventariadas, que en su conjunto aportan un mayor grado de contaminación hacia el acuífero

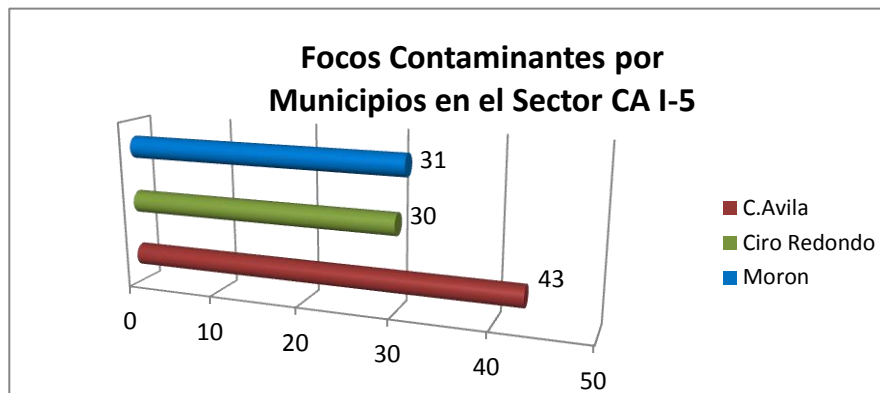


Figura 7. Focos contaminantes por municipio enmarcados en el sector CA-I-5

En otro orden de análisis se tuvieron en cuenta los sistemas de tratamiento aplicados para la depuración de las aguas residuales derivadas de cada una de las fuentes inventariadas.

En sentido general se puede comentar que el 79 % de las fuentes asociadas con el sector urbano, principalmente asentamientos en zonas suburbanas y rurales, aplican saneamiento in situ (fosas sépticas y letrinas). El 74 % de las fuentes vinculadas con la actividad industrial implementan lagunas de estabilización y 26 % no aplica ningún sistema. En el caso de la actividad agropecuaria el 81 % de sus fuentes aplican lagunas de estabilización y el 13 % tecnología de digestión anaerobia. Los sistemas de tratamiento aplicados en su mayoría presentan serios problemas de funcionamiento y mantenimiento, aspecto importante a tener en cuenta en la estrategia para la protección del acuífero, pues el no control y seguimiento de estas acciones contribuirán con la generación de altas cargas contaminantes hacia los cuerpos de aguas subterráneos.

CLASIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DEL SUBSUELO

Una vez inventariadas las fuentes potencialmente contaminantes del área de estudio se procedió a la clasificación y estimación de la carga contaminante al subsuelo que se halla asociada con estas fuentes.

De las 104 fuentes contaminantes inventariadas en el área de estudio, 69 que representan el 66 % del total, se clasifican como fuentes contaminantes puntuales, pues producen plumas claramente definidas y más concentradas, las cuales facilitan su identificación y en algunos casos el control. El resto, 34 %, corresponde con fuentes de contaminación difusa, pues no generan plumas de contaminación del agua subterránea claramente definidas sino que normalmente impactan en un área (figura 8).

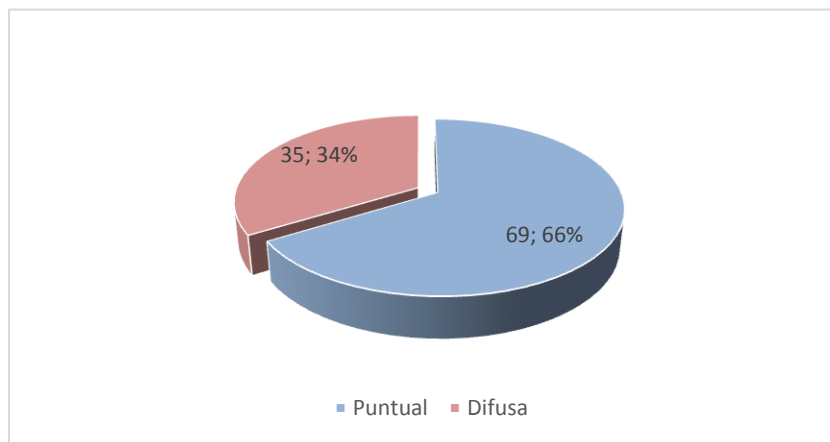


Figura 8. Distribución espacial de las fuentes de contaminación

Fuentes de contaminación difusas

Áreas residenciales suburbanas y rurales sin servicio de alcantarillado

El rápido crecimiento de la población en estas áreas objeto de estudio (21 asentamientos con un total de 6503 habitantes al cierre del 2014 que representa el 26 % del total de habitantes en el sector) ha aplicado en grandes áreas dependientes sistemas in situ a través de letrinas (2077) para su saneamiento. Tales sistemas funcionan por la percolación del efluente líquido hacia el

subsuelo y en perfiles de suelo permeables esto resulta en la recarga del acuífero. La fracción sólida debería ser periódicamente removida y dispuesta fuera de las viviendas, pero en muchos casos permanece en el suelo y es lixiviada progresivamente por infiltración de agua de lluvia y otros fluidos. A este fenómeno se unen los residuos provenientes de 1142 fosas sépticas ubicadas en las zonas suburbanas que no cuentan con conectividad con el alcantarillado municipal.

Los tipos de contaminantes comúnmente asociados con el saneamiento in situ son los componentes del nitrógeno (inicialmente en la forma amonio pero normalmente oxidado a nitrato), contaminantes microbiológicos (bacterias patógenas, virus y protozoarios) y en algunos casos comunidades de sustancias químicas orgánicas sintéticas.

Uso Agrícola del Suelo

Los principales tipos de suelo identificados en el área son de tipo Ferralítico rojo y Fersialítico pardo rojizo, caracterizados por ser muy productivos, de buen drenaje interno y externo. Algunas prácticas de cultivo agrícola desarrolladas dentro del área de estudio (producciones cítricas, cañeras y producciones varias, las que en su conjunto ocupan más de 4500 ha) ejercen una gran influencia en la calidad del agua de recarga del acuífero y también en la tasa total de recarga en las áreas con riego agrícola. Estas actividades causan una seria contaminación difusa, sobre todo por nutrientes (principalmente nitratos) y a veces por ciertos pesticidas que se utilizan en dichas producciones.

Fuentes de Contaminación Puntual

Actividad industrial

Las actividades industriales desarrolladas en el área de estudio (24) son capaces de generar una seria contaminación del suelo y cargas contaminantes de consideración al subsuelo como resultado del volumen, tipo de productos químicos y residuos que manipulan, lo que se traduce en la emisión de efluentes líquidos y la inadecuada disposición de residuos sólidos. El manejo y descarga de efluentes líquidos es un aspecto que merece atención detallada en relación con la contaminación del agua subterránea.

Diez de las industrias inventariadas en el sector CA-I-5 y que se encuentran ubicadas en las cercanías de los cursos superficiales, realizan a menudo la descarga directa de los efluentes derivados de sus producciones y en otras situaciones la disposición de efluentes se infiltra al subsuelo por el uso de lagunas de estabilización sin impermeabilización para el tratamiento de sus residuales. Tales prácticas presentan siempre un peligro directo o indirecto a la calidad del agua subterránea.

Lagunas de efluentes

En el área de estudio se pudo constatar la implementación de las lagunas de efluentes como tratamiento primario para el 80% de los residuales líquidos derivados de la producción porcina, el 100% de los asociados a las mini industrias y aguas residuales urbanas. Cabe mencionar que estas lagunas no reciben un mantenimiento sistemático, son generalmente poco profundas (menos de 5 m de profundidad), y el 100% de ellas se encuentran sin impermeabilizar, situación que contribuye a la infiltración de los efluentes hacia el subsuelo y con ello la posibilidad de contaminación de los cuerpos de agua subterráneos.

Disposición de residuos sólidos

En el área de estudio existe un vertedero municipal y varios micro-vertederos distribuidos por toda la zona. Se pudo constatar un manejo inadecuado de residuos sólidos urbanos. Merece

destacar que la disposición de estos residuos se realiza principalmente sobre suelos de tipo ferralíticos rojos y fersialíticos pardos rojizos, los cuales se caracterizan por buen drenaje interno y externo, que pueden favorecer la infiltración de los lixiviados derivados de su descomposición, tanto más si se tiene en cuenta que en el año 2014 la precipitación real acumulada fue de 1398 mm, que es el 109 % de la media histórica del año. Toda esta situación contribuye a la contaminación del agua subterránea.

Gasolineras

Los servicupet situados en el área de estudio (4) manipulan grandes volúmenes de hidrocarburos potencialmente contaminantes almacenados en tanques enterrados que no permiten una inspección visual de fugas. La principal fuente de contaminación de suelos y aguas subterráneas se debe a la corrosión de los tanques, por lo que existe una alta probabilidad de que los tanques de más de 20 años de antigüedad estén seriamente corroídos y sujetos a fugas sustanciales, por tanto las gasolineras enclavadas en el área de estudio constituyen una fuente de contaminación a controlar por los daños y consecuencias que se pueden derivar de sus procesos.

Clasificación y categorización de fuentes contaminantes de acuerdo con el método POSH

En la figura 9 se resume el porcentaje del potencial de carga contaminante asignado según Foster et al. (2002) de acuerdo con el tipo de actividad desarrollada en el sector CA-I-5, lo cual demuestra de manera cualitativa que la actividad agropecuaria (97,1 %), la industrial (95,8 %), la exploración petrolera (100 %) y la actividad de desarrollo urbano (60,5 %) pueden generar una elevada carga contaminante hacia el acuífero, lo cual pudiera contribuir con la afectación de la calidad de las aguas subterráneas y con ello la calidad de vida de la población avileña que se beneficia de este recurso para el desarrollo de sus actividades socioeconómicas.

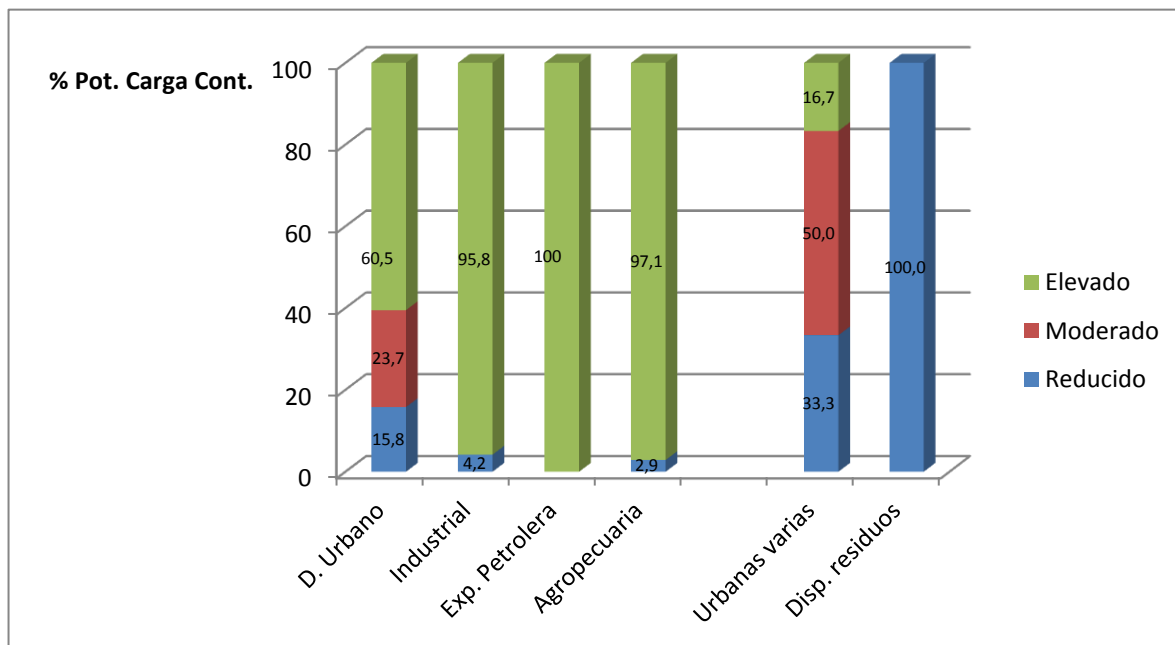


Figura 9. Porcentaje de potencial de carga contaminante de acuerdo con el tipo de actividad contaminante

CONCLUSIONES

- La aplicación del método POSH permitió estimar de forma cualitativa el potencial de carga contaminante para las aguas subterráneas que provocan las seis actividades antropogénicas desarrolladas en el sector hidrogeológico CA-I-5 de la provincia Ciego de Ávila, prevaleciendo en este estudio un potencial *Elevado*.
- Se logró diagnosticar la situación actual relacionada con el saneamiento ambiental en las fuentes inventariadas dentro del sector hidrogeológico CA-I-5, aspecto de gran importancia que incide de forma directa en la definición de estrategias dirigidas a la protección de los acuíferos.
- Este estudio constituye una herramienta de trabajo y un punto de partida para establecer los programas de protección de las aguas subterráneas en el territorio avileño.
- Es recomendable evaluar de manera cuantitativa el potencial de carga contaminante emitida por las fuentes inventariadas en el sector hidrogeológico CA-I-5 con vistas a conocer los volúmenes reales y concentraciones de contaminantes presentes en cada uno de ellos.

REFERENCIAS

- Censo** (2014). “Censo de Población y Vivienda”. Oficina Provincial de Estadísticas. Ciego de Avila.
- Foster S. S. D. and Hirata R.** (1988). “Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data.” WHO-PAHO/ HPE-CEPIS Technical Manual. Red Temática de Ciencias de la Tierra (Tierra), Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) Lima, Perú.
- Foster S. S. D., Lawrence A. R. and Morris B. L.** (1998). “Las aguas subterráneas en el desarrollo urbano: evaluación de las necesidades de gestión y formulación de estrategias.” Documento Técnico No. 390, Banco Mundial, Washington, D.C. (primera impresión en español: noviembre de 2001).
- Foster S. R., Hirata R., Gómez D., Monica D. y Paris M.** (2002). “Protección de la calidad del agua subterránea”. Guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Groundwater Management Advisory Team. Washington, D.C.
- Garfias J., Franco R. and Llanos H.** (2002). “Análisis de vulnerabilidad intrínseca y su adecuación mediante modelo de flujo con trazado de partículas para evaluar vulnerabilidad de acuífero en curso alto del río Lerma. Estado de México”. II Seminario taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación. Caracterización y evaluación. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). Ciudad de La Habana, Cuba.
- González P., López-Vera F., Gómez C. y Lacalle-Pareja B.** (2006). Evaluación del peligro de contaminación de las aguas subterráneas de un municipio residencial (Villanueva de la Cañada, Madrid). Boletín Geológico y Minero, 117(3), 413-422.

Helga S., Fonseca A., Nuñez S. y Gómez A. (2014). “Amenaza de contaminación del agua subterránea en el sector norte del acuífero Barva, Heredia, Costa Rica”. Revista Tecnología y Ciencias del agua, 5(6), versión On-line ISSN 2007-2422, IMTA, México, extraída de: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php/pdf/tca/v5n6/v5n6a7/pdf> en diciembre del 2015.

Hirata R. (2002). “Carga contaminante y peligros a las aguas subterráneas.”, Revista Latino-Americana de Hidrogeología, ISSN: 1676-0999, 2: 81-90, San Pablo, Brasil.

Jiménez M. A. (2008). “La protección del agua subterránea destinada a consumo humano y su integración en la ordenación del territorio”. Aplicación en la Sierra de Cañete (Málaga). Diploma de Estudios Avanzados. Universidad de Granada. Trabajo inédito, 120 pp.

Johansson P. O. y Hirata R. (2001). “Rating of groundwater contamination sources. In: Zaporozec, A. (Ed.) “Groundwater contamination inventory. A methodological guideline”. UNESCO. Paris. p 87-105.

Oliveira A. y Guimarães J. (2010). “Aplicação dos Métodos Drastic e Posh para determinação da Vulnerabilidade e Perigo à Contaminação do Auífero Furnas na Cidade de Rondonópolis-MT”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 15(2), 127-142.