

Carga contaminante dispuesta en cuenca Ariguanabo, provincia Artemisa, Cuba

Bárbara Liz Miravet Sánchez

correo electrónico: liz@inel.cu

INEL, Unión Nacional Eléctrica, La Habana, Cuba

Artículo Original

Alberto E. García Rivero

correo electrónico: alberto.kike2014@gmail.com

Universidad de La Habana, Cuba

Eduardo Salinas Chávez

correo electrónico: esalinas@geo.uh.cu

Universidad de La Habana, Cuba

Resumen

En la cuenca Ariguanabo fueron identificados y caracterizados 88 focos contaminantes (66 son asentamientos poblacionales, 14 asociados a los centros de cría porcina y ocho son centros de producción y servicio) que en su gran mayoría no tienen tratamiento de ninguna naturaleza. Los valores de la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), el fósforo total (Pt) y los sólidos totales (ST) de los 14 focos muestreados, rebasan con creces los límites establecidos en la NC-27-2012. El aporte contaminante fundamental lo tienen los 66 asentamientos poblacionales con un predominio en la DBO₅, la DQO, el nitrógeno total (Nt) y el Pt, aunque la producción porcina con solo 14 focos contabilizados es la responsable del 46 % de la DBO₅, el 38 % de la DQO y más del 95 % de los ST y las grasas. El riesgo de contaminación de las aguas subterráneas es muy alto, máxime cuando el mayor número de focos (61%) se ubican en áreas del acuífero con grado de vulnerabilidad intrínseca entre alto y extremadamente alto y el valor de la carga contaminante dispuesta en la cuenca se ha venido incrementando en los últimos años.

Palabras clave: Ariguanabo, carga contaminante, DBO₅, focos de contaminación

Recibido: 12 de noviembre del 2015 Aprobado: 6 de junio del 2016

INTRODUCCIÓN

Las aguas terrestres están integradas por las aguas superficiales (ríos, lagos, pantanos, entre otros) y las subterráneas. La contaminación del agua debe entenderse como un concepto relativo, asociado a las características físicas, químicas y biológicas que impiden o dificultan su uso según las aplicaciones a las que vaya destinada. Por su origen, la contaminación puede clasificarse en dos tipos: natural y artificial.

Los principales problemas de contaminación de las aguas subterráneas consisten en la presencia de especies químicas de naturaleza orgánica o inorgánica disueltas en el agua y en la acumulación de dichos compuestos sobre la matriz sólida de los acuíferos.

El concepto de vulnerabilidad de las aguas a la contaminación fue históricamente desarrollado para las aguas subterráneas, dada la mayor complejidad que tiene el hecho de estimar con qué grado un cuerpo de agua subterráneo puede ser contaminado ante la presencia de un vertimiento en el espacio y el tiempo. Para la protección de los recursos hídricos en las zonas cársicas es necesario ubicar las zonas más sensibles, vulnerables a la contaminación y las zonas cuya protección natural las hace menos vulnerables. Es de destacar la gran importancia que tiene el suelo, si existe, para la efectiva protección de las aguas subterráneas, debido a los procesos bio-geoquímicos y de filtración que en él tienen lugar [1].

Para referirse al término vulnerabilidad, es imprescindible diferenciar entre vulnerabilidad intrínseca y vulnerabilidad específica. El primero es 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, mientras que el segundo está en dependencia de las características específicas de la sustancia o sustancias que constituyen la contaminación [2].

Cualquier centro de producción o servicio que genere residuales que alteren (aun potencialmente) la calidad natural del agua debe ser considerado como una *fuentes contaminante* (FuC). Asociados a las FuC se encuentran los *focos contaminantes* (FoC) que no son más que el primer objeto hídrico receptor de la materia degradante que libera dicha FuC, o sea, el FoC es el lugar de vertimiento más cercano a la FuC, que cumpla naturalmente con la misión de recibir y transportar los residuales utilizando el mismo espacio físico, por los que es conducida el agua de escorrentía, ya se trate de una corriente fluvial, un embalse o un acuífero.

Al analizar el concepto de carga contaminante se está apuntando a la masa de contaminante por unidad de tiempo que es vertida por una corriente residual y que comúnmente se expresa en t/año, t/día o kg/día. Esta puede ser medida a partir de la determinación del caudal del residual y las concentraciones de las sustancias contaminante o estimada a partir de índices de carga contaminante por cada actividad.

La cuenca hidrográfica Ariguanabo limita al norte con la divisoria superficial principal de las aguas en el tramo comprendido entre la porción más oriental de la mesa de Anafe y el sector más occidental de las Alturas de Bejucal. Por el sur, la divisoria de sus aguas es difícil de identificar debido al predominio de las formaciones cársticas, aunque por estudios hidrogeológicos y de escurrimiento realizados con anterioridad ha sido posible determinar su límite con cuenca Sur. La cuenca mantiene comunicación subterránea con la cuenca hidrográfica Almendares-Vento, a partir de la existencia de un parteaguas subterráneo móvil entre ambas cuencas. Esta cuenca tiene una extensión superficial de 192,18 km². (figura 1).

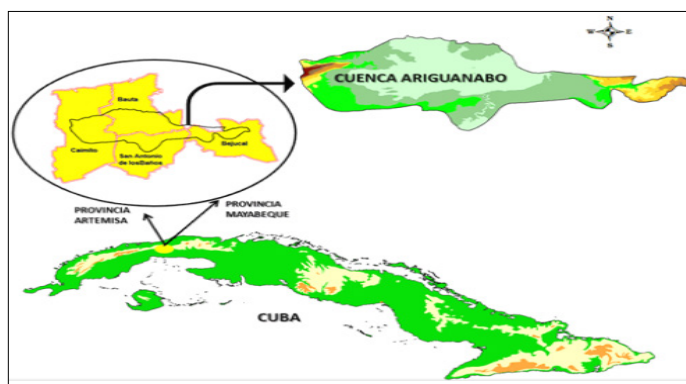


Fig. 1. Ubicación de la cuenca Ariguanabo.

Dicha cuenca ha sido seleccionada para este estudio por constituir una de las principales fuentes de abasto de agua potable y de uso agropecuario para las referidas provincias. La situación ambiental es compleja, debido a la contaminación de sus aguas por el vertimiento de residuales líquidos y sólidos de origen urbano, agropecuario y en menor medida industrial, deficientemente tratados o sin tratamiento alguno, manejo inadecuado de los residuos sólidos y deforestación, además de problemas con la degradación de los suelos y la correspondiente pérdida de fertilidad.

En la actualidad no se conoce con exactitud cuáles son los principales focos de contaminación, su ubicación exacta y la carga que cada uno de ellos dispone hacia cuenca Ariguanabo y el riesgo que representa para la calidad de las aguas, de ahí que el objetivo fundamental de esta investigación sea la actualización de los principales focos de contaminación de las aguas terrestres de la cuenca Ariguanabo, la estimación de la carga contaminante que en ella se dispone y su jerarquización en función del grado de vulnerabilidad del acuífero.

El predominio del carso en la cuenca Ariguanabo le imprime características muy especiales, tales como una gran homogeneidad en cuanto a la naturaleza de las rocas presentes y un pobre y casi inexistente desarrollo de la red fluvial, solo representada por los ríos Ariguanabo y Govea y una serie de cañadas asociadas a las Alturas de Bejucal, así como un alto grado de vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas.

En este tipo de cuenca la infiltración de nitratos al agua subterránea es un proceso complejo que depende del uso y características del suelo, la carga de nitrógeno presente en el mismo producto fundamentalmente de la fertilización, las zonas de recarga de agua subterránea y la profundidad a la cual se encuentra [3]. De igual forma, la contaminación del agua por materia orgánica es generada por residuales de tipo doméstico, de actividades pecuarias y por vertidos agrícolas e industriales. La materia orgánica puede cambiar las características organolépticas del agua y propiciar el desarrollo de microorganismos patógenos o implicar la presencia de materia no biodegradable [4].

Según Díaz Duque [5], refiriéndose al país, la reducción de la contaminación en los cuerpos de agua es una tarea de primera prioridad. A pesar de los esfuerzos realizados no se ha logrado reducir los caudales de aguas residuales procedentes de los asentamientos poblacionales, a cuyas redes de alcantarillado se conectan también algunas industrias, laboratorios y otras entidades productoras de bienes y servicios con no pocos volúmenes de sustancias tóxicas y peligrosas. La elevada presión productiva en relación con los alimentos ha provocado la comisión de graves errores por obviar las reglamentaciones regulatorias vigentes, como lo ocurrido en la importante cuenca Ariguanabo en el 2007, a causa de los agresivos residuales porcinos. El incremento del volumen de tratamiento de las aguas residuales urbanas antes de su incorporación a los cuerpos de agua debe tener una

mayor respuesta. Las entidades identificadas como grandes contaminadoras deben pagar por el daño que sistemáticamente ocasionan y cubrir los costos de la descontaminación, con independencia del cumplimiento de otras obligaciones establecidas en la legislación ambiental del país. El principio de que “el que contamina, paga”, no debe excluirse en la práctica ambiental cubana.

El presente estudio reviste vital importancia, por tratarse de preservar la calidad de un recurso tan valioso como el agua, que en tiempos actuales de variabilidad y cambio climático se encuentra amenazado por una serie de recurrentes períodos de sequía como el que aún atraviesa el país finalizando el año 2015.

La investigación ha tenido limitantes, la fundamental, ha sido no haber realizado un mayor número de recorridos de campo, que hubiesen permitido incorporar un gran número de instalaciones de cría porcina de dimensiones medias y pequeñas, pertenecientes fundamentalmente al sector privado y cooperativo, que no se encuentran debidamente registradas, pero que sin lugar a dudas contribuyen significativamente al incremento de la carga contaminante que recibe la cuenca Ariguanabo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para dar cumplimiento al objetivo fundamental del trabajo se desarrollaron una serie de tareas que incluyeron una amplia revisión de la información existente, recorridos de campo para ubicar, caracterizar y muestrear los focos, el tratamiento de toda la información sobre una implementación del Sistema de Información Geográfica en la versión 9.3 de ArcGis y la interpretación de los resultados.

Identificación, cartografía y caracterización de las fuentes y focos de contaminación

Para la ejecución del trabajo fue consultada la *Metodología simplificada para el diagnóstico y la gestión de las cuencas hidrográficas*, del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) del 2006 [6] y se partió del inventario de focos y fuentes contaminantes de las direcciones del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) y del INRH de la provincia de Artemisa, diseñándose de acuerdo con los recorridos de transporte establecidos, lo cual permitió corroborar el estado de la información de partida y adicionar nuevos focos a dicho inventario. Para la cartografía fueron empleadas imágenes GeoEye, con un metro de resolución, debidamente georreferenciadas de los años 2013 y 2014. Se realizó el levantamiento de campo con un sistema de posicionamiento global (GPS) marca Garmin, para obtener las coordenadas de los puntos de muestreo con no más de cinco metros de error.

Cálculo de la carga contaminante sobre la base del mapa de vulnerabilidad

Con el objetivo de que fueran incluidos la mayoría de los focos que están presentes en la cuenca y que pueden potencialmente afectar las aguas subterráneas al límite

superficial de la misma, se le adicionó el del acuífero Ariguanabo, de manera tal, que todo residual que se vierta directamente sobre el área que ocupa el acuífero o en áreas donde la dirección del escurrimiento superficial lo incorpore al mismo, quede registrado.

Una vez establecidas las principales fuentes de contaminación y atendiendo a las capacidades de laboratorio con que se contó se seleccionaron 14 focos que fueron muestreados siguiendo la metodología del Instituto Cubano de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ICIDCA) [7].

La metodología del Centro de Inspección, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA) [8], fue la que se aplicó para el cálculo de la carga contaminante, utilizándose los datos resultantes de la caracterización que se efectuó en los 14 focos seleccionados para el muestreo y el resto de los focos identificados en toda la cuenca. La expresión general para la determinación de la carga contaminante para residuales líquidos cuando se realiza su muestreo en un punto podría ser la siguiente:

$$\text{Carga contaminante (kg/d)} = \text{Caudal (L/d)} \cdot$$

$$\cdot \text{Concentración de la sustancia contaminante (kg/L)}$$

Las evaluaciones aproximadas se concentraron fundamentalmente en la determinación de los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales (ST), sólidos suspendidos (SS), sólidos disueltos (SD), sólidos sedimentables, nitrógeno total (Nt) y fósforo total (Pt).

Fue creada una tabla Excel que permitió calcular para todos los focos contaminantes su contribución en cuanto a carga contaminante aportada al medio natural. Los cálculos fueron realizados tomando en cuenta los lineamientos establecidos por el CIGEA en la Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante de 1998 y que se resume en la tablas 1, 2 y 3.

Tabla 1 Indicadores para la actividad porcina por animal equivalente (100 kg)	
Indicador	Cerdo equivalente
DBO_5	0,968
DQO	2,005
Nt	0,074
Pt	0,036
ST	0,58
Grasas	0,139
Consumo de agua	50 L/animal/piso convencional 30 L/animal/piso ranurado
Tipo de cría porcina	Peso Promedio (kg)
Ceba	41,5
Crías	3,75
Preceba	14,75
Verracos	120,0
Reproductoras	95,0
Cochinatas	52,50

Fuente: Bases de cálculo para el diseño de tratamiento de residuales porcinos, Empresa Hidráulica Habana (EHH) y Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC), 1989. Consultado en [6].

Con la información de la carga contaminante para cada foco se procedió al análisis de su distribución espacial en correspondencia con las zonas delimitadas en el mapa de vulnerabilidad intrínseca del acuífero, así como los aportes de cada uno de los municipios y de los diferentes orígenes. Para esto se prepararon diferentes mapas a partir de la interpolación de la información por punto por el método del *Spline*, el cual es muy útil cuando las variaciones espaciales de los valores interpolados deben ser de forma transicional.

Tabla 2 Indicadores del consumo de agua para las actividades sociales		
Instalaciones	Límites de consumo	Unidad de consumo
Aeropuertos	8 a 15	L/pasajero
Garages	30 a 80	L/carro fregado/d
Hoteles	0,8 a 1,2	m ³ /habitación/d
Oficinas	20 a 45	L/empleador/d
Restaurantes	8 a 18	L/comensal/d
Hospitales	400 a 900	L/cama/d
Prisiones	150 a 250	L/preso/d
Escuelas	50 a 80	L/alumno/d
Habitante	150 a 200	L/habitante/d

Fuente: Contribuciones per cápitas de materia orgánica biodegradable, Centro de Investigaciones de Recursos Hidráulicos (CIRH), 1990. Consultado en [6].

Tabla 3 Contribuciones per capitas de materia orgánica biodegradable para residuales domésticos		
Indicador	g/hab/d	Valor recomendado
DBO ₅	30 a 45	42
DQO	80 a 120	100
Nt	1,5 a 2,2	2
Pt	0,5 a 1,0	0,8

Fuente: Contribuciones per cápitas de materia orgánica biodegradable, CIRH, 1990. Consultado en [6].

RESULTADOS

Identificación, cartografía y caracterización de las fuentes y focos de contaminación

Fueron identificadas un total de 88 focos, de ellos 66 asociados a los asentamientos poblacionales u otras entidades como escuelas internas y semiinternas así como campamentos, 14 relacionados con centros e instalaciones dedicadas a la producción porcina y los 8 restantes son centros productivos o de servicios (figura 2).

En sentido general se pudo apreciar que la gran mayoría de los residuales aportados por los diferentes focos de contaminación carecen de tratamiento o los sistemas existentes no funcionan adecuadamente. Haciendo un recuento de los focos y fuentes visitados se puede resumir, que en sentido general, los sistemas de tratamiento compuestos por lagunas de oxidación presentes en algunos asentamientos, centros de producción porcina y agropecuaria se encuentran fuera de funcionamiento o

el mismo es deficiente. En la mayoría de los casos los residuales no llegan a estas lagunas por la destrucción de los conductos encargados de su transporte y porque estas, al no recibir el mantenimiento adecuado, se han colmatado de sedimentos y vegetación, restringiendo al mínimo su área útil o desapareciendo totalmente. Esta situación está presente en casi todas las antiguas escuelas en el campo o de carácter interno, que aún siguen funcionando como escuelas o han sido reconvertidas en centros penitenciarios.

De forma similar otras instalaciones agropecuarias, fundamentalmente de producción porcina, carecen de sistemas de tratamiento efectivo, tal es el caso de importantes centros porcinos (CP) en el municipio Caimito, donde por ejemplo, un CP con un total aproximado 3 000 animales, de ellos 500 puercas paridoras opera desde el 1982, donde fue diseñado con un sistema de cuatro lagunas de oxidación y en la actualidad dos están totalmente fuera de operación y las dos restantes no realizan la función para lo que fueron diseñadas, por estar parcialmente colmatada de sólidos y llegarle un porcentaje muy bajo de los residuales que se generan.

En todos los municipios existe un número importante de convenios de cría porcina en el sector estatal, cooperativo y privado, cuyas instalaciones de tratamiento en la mayoría de los casos son inexistentes o muy rudimentarias, lo cual unido a un gran descontrol de las autoridades pertinentes desde el inicio del proceso de otorgamiento del permiso y su seguimiento y la dispersión geográfica de las mismas, hacen que en la actualidad constituyan importantes focos de contaminación deficientemente controlados y valorados.

Otros centros de producción y servicios como un combinado cárnico con una matanza diaria de aproximadamente 300 puercos, vierte sólidos y líquidos con una alta concentración de grasas y sangre sin ningún tratamiento previo a su laguna de oxidación que se encuentra muy deteriorada y no cumple con su cometido de oxidación de la materia orgánica dispuesta, propiciando la infiltración de estos residuales al acuífero.

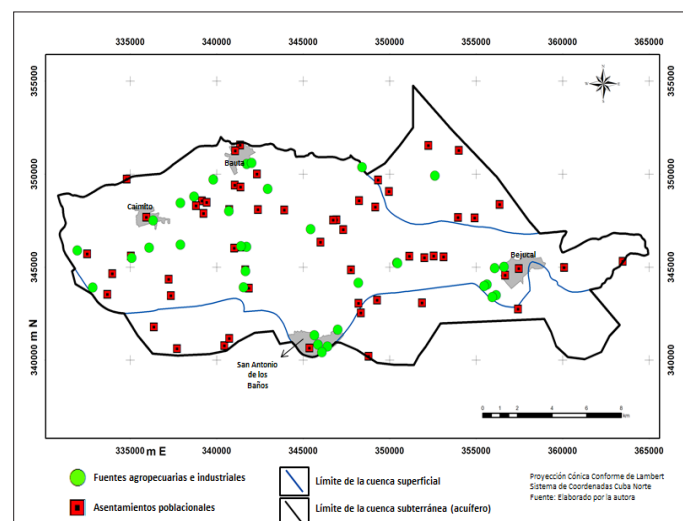


Fig. 2. Ubicación de los focos de contaminación identificados en cuenca Ariguanabo.

El gran número de asentamientos poblacionales urbanos y rurales ubicados encima del acuífero y de la cuenca superficial no tratan sus aguas residuales, tal es el caso de los cascos urbanos de Bauta, Caimito, San Antonio de los Baños y Bejucal. Este último contó hace algunos años con una buena planta de tratamiento de sus aguas residuales, pero desde hace cinco años la misma dejó de funcionar y en la actualidad está en un estado de total abandono, lo cual hace que estas aguas residuales de origen fundamentalmente doméstico, se incorporen a la zona más productiva del acuífero a través del río Govea, lo cual constituye un grave peligro de contaminación a la batería de pozos de abasto allí ubicados.

Si bien el no tratamiento de los residuales líquidos de las poblaciones residentes en los asentamientos poblacionales de la Cuenca, constituyen por sí mismos un grave problema, el hecho de la convivencia de la población con la cría de ganado porcino incrementa el volumen y agresividad de estos residuales y complica muchísimo el tratamiento potencial de los mismos, dada la situación que en los sectores de los asentamientos donde hay sistema de alcantarillado, este colecta de forma conjunta tanto las aguas pluviales como albañales.

En la periferia de muchos de estos asentamientos proliferan los vertederos informales y los de carácter municipal, en los primeros prima el desorden y se encuentran en los más disímiles lugares, cercanos a un pozo de abasto o a una escuela, con la consiguiente escorrentía y/o infiltración de los lixiviados de los residuos dispuestos. En el caso de los segundos, no siempre han tenido una buena ubicación (tratando de lograr la mayor cercanía a las fuentes de los residuos por los problemas de transporte y/o aprovechando un espacio que por un problema coyuntural, ha quedado sin uso) y el manejo y disposición final de los residuos sólidos dista de ser el adecuado, bien por falta del equipamiento y/o la falta de disciplina tecnológica y exigencia de las autoridades correspondientes, lo cual hace que estos vertederos se conviertan en grandes y peligrosas fuentes de contaminación de las aguas y los suelos sobre los cuales se asientan y de su área de influencia.

Las aguas del río Ariguanabo, la mayor corriente superficial de la cuenca también es objeto de contaminación por el vertimiento directo o indirecto de aguas residuales de diferentes instalaciones industriales y de servicios como mataderos, hoteles, centros de recreación, de salud y del sector residencial, los cuales no cuentan con un tratamiento adecuado de sus residuales y en gran medida van a para directamente al río.

Los principales focos de contaminación de las aguas terrestres en la cuenca son biodegradables, con la excepción de una laguna de oxidación de un centro que desde enero del 2013 recibió un considerable aporte de diésel proveniente de un accidente en la planta y más de las dos terceras partes de la laguna en superficie

se encuentra aún cubierta por hidrocarburo. Si ocurren precipitaciones prolongadas o de gran intensidad las aguas de reboce de esta laguna podrían ir a parar al río Govea, debido a la proximidad de su cauce y este mover los hidrocarburos hasta el área de la batería de pozos ubicada en la antigua laguna Ariguanabo, causando daños irreparables en estas importantes fuentes de abasto a la población.

Cálculo de la carga contaminante sobre la base del mapa de vulnerabilidad

A continuación se presentan los resultados de la caracterización de las fuentes contaminantes que fueron muestreadas y analizadas en el Laboratorio de Aguas y Aguas Residuales del ICIDCA, donde se le determinó pH, conductividad eléctrica (CE), DQO, DBO₅, Nt, Pt y ST (tabla 4). Como se puede apreciar en los 14 focos muestreados y caracterizados los valores de DQO, DBO₅, P y ST rebasan con creces los límites máximos permisibles promedios (LMPP) para las descargas de aguas residuales en cuerpos de tipo B según la NC-27-2012 [9], lo mismo sucede para el pH en dos de los focos. Esto evidencia la inexistencia o mal funcionamiento de los sistemas de tratamiento instalados y avala el hecho de utilizar para el cálculo de la carga contaminante aproximada de todos los focos los lineamientos establecidos por el CIGEA en el 1998.

De igual forma, para el cálculo de la carga contaminante de todos los focos restantes se aplicó la metodología propuesta por el CIGEA, 1998. En la tabla 5 se resume el cálculo de la carga contaminante de los diferentes focos atendiendo a sus orígenes, donde el aporte de fundamental lo tienen los 66 asentamientos poblacionales con un predominio en la DBO₅ y la DQO, aunque la producción porcina con solo 14 focos contabilizados es la responsable del 46 % de la DBO₅, el 38 % de la DQO y más del 95 % de los ST y las grasas. A nivel de cuenca existe un balance entre la DBO₅ aportada por la cría porcina y los asentamientos poblacionales y un predominio de la DQO de los asentamientos. En el caso del resto de los parámetros la actividad porcina aporta la gran mayoría de la carga.

De acuerdo con los aportes de DBO₅, DQO, Nt, Pt, ST y grasas, es Bauta el municipio de mayor incidencia, seguido por San Antonio de los Baños, Caimito, Bejucal y con mucho menor aporte Boyeros (tabla 6). De igual forma, también es Bauta el que más focos presenta con 31, seguido por San Antonio de los Baños con 28, Caimito con 14, Bejucal con nueve y Boyeros con seis. Los focos de los asentamientos poblacionales entre Bauta y San Antonio de los Baños representa el 67 % de toda la cuenca, los cuales aportan alrededor del 31 % de toda la DBO₅ que se vierte a la cuenca.

Carga contaminante dispuesta en cuenca Ariguanabo, provincia Artemisa, Cuba

Tabla 4 Caracterización de focos contaminantes seleccionados										
	Puntos de muestreo	coordenadas		pH	CE uS/cm	DQO mg/L	DBO ₅ mg/L	N mg/L	P mg/L	ST mg/L
		X	Y							
1	Registro a 500 m de la laguna del poblado BIOCEN	355520	344830	7,52	781	4,998	1,000	5	15,09	2,555
2	Río Govea, puente carretera Bejucal-San Antonio	352540	346730	7,61	906	4,641	926	0	16,34	2,205
3	Salida de planta de tratamiento de residuales Matadero de Aves	348191	344144	7,60	795	3,570	714	3	14,63	3,100
4	Salida de la laguna de oxidación del hotel Las Yagrumas	347003	341634	7,21	416	2,499	417	5	14,63	2,690
5	Zanja hacia la Cueva del Cholo	346407	340732	7,20	940	5,355	1,071	1	15,30	2,535
6	Salida de la laguna de oxidación del poblado 17 de Abril	344480	340070	7,07	780	1,428	333	5	14,89	2,713
7	Rebozo del registro en las márgenes del río Ariguanabo	345649	341330	7,40	770	3,570	714	0	13,54	2,820
8	Río Ariguanabo (antiguo embarcadero de la Quintica)	346380	341590	7,04	620	3,927	1,047	7	14,32	385
9	Salida laguna de oxidación Escuela Camilitos de Caimito	332504	344975	7,10	353	2,499	750	0	11,46	2,490
10	Zanja colectora de residuales en Caimito	347502	336326	7,08	726	9,996	2,667	3	14,00	2,495
11	Salida de la laguna del Pueblo Textil	341660	344779	9,23	201	9,996	2,667	3	14,00	2,495
12	Registro de zanja de residuales en el patio de Pasteurizadora Balkan	348000	340700	9,23	201	23,562	8,594	8	14,94	3,120
13	Salida de la primera laguna de oxidación Matadero San Pedrito	345427	347033	7,40	1480	14,994	5,000	0	14,21	2,335
14	Zanja colectora de residuales del asentamiento las Margaritas	347460	346880	7,06	474	14,994	4.500	0	15,46	2,220

Los valores en negrita sobrepasan los LMPP para las descargas de aguas residuales en cuerpos de tipo B según la NC-27-2012.

Tabla 5 Origen de la carga contaminante de cuenca Ariguanabo													
Origen de la carga contaminante	Total de puntos	DBO ₅ t/año	%	DQO t/año	%	Nt t/año	%	Pt t/año	%	ST t/año	%	Grasas t/año	%
Asentamientos	66	1524	49,8	4011	51,6	72	6,6	32	3,8				
Porcino	14	1418	46,4	2937	37,8	108	9,9	53	6,3	850	96,7	1669	99,1
Otros	8	117	3,8	826	10,6	916	83,5	752	89,9	29	3,3	16	0,9
totales	88	3059	100,0	7774	100,0	1097	100,0	837	100,0	879	100,0	1685	100,0

Tabla 6 Contribución de cada municipio en la carga dispuesta en cuenca Ariguanabo														
Municipio	Origen de la carga contaminante	Total de puntos	DBO ₅ t/año	%	DQO t/año	%	Nt t/año	%	Pt t/año	%	ST t/año	%	Grasas t/año	%
Caimito	Asentamientos	12	243	30	641	36	12	21	5	20				
	Porcino	2	560	70	1161	64	43	79	21	80	336	100	659	100
	subtotal	14	804	26	1801	23	54	5	26	3	336	38	659	39
Bauta	Asentamientos	23	452	43	1189	42	21	3	10	2				
	Porcino	4	521	50	1078	38	40	6	19	4	312	91	612	98
	Otros	4	80	8	561	20	613	91	505	95	29	9	16	3
	subtotal	31	1052	34	2828	36	674	62	534	64	341	39	628	37
S.A. Baños	Asentamientos	21	502	79	1322	76	24	7	11	4				
	Porcino	5	117	19	243	14	9	3	4	2	70	100	138	100
	Otros	2	15	2	167	10	300	90	240	94				
	subtotal	28	635	21	1732	22	333	30	255	31	70	8	138	8
Bejucal	Asentamientos	6	247	56	649	59	12	43	5	29				
	Porcino	2	176	40	364	33	13	49	7	37	105	100	207	100
	Otros	1	17	4	85	8	2	8	6	34				
	subtotal	9	439	14	1098	14	27	3	18	2	105	12	207	12
Boyerros	Asentamientos	4	80	62	211	67	4	51	2	49				
	Porcino	1	44	34	91	29	3	46	2	48	26	100	52	100
	Otros	1	5	4	13	4	0	3	0	3				
	subtotal	6	129	4	314	4	7	1	3	0	26	3	52	3

En cuanto a la distribución espacial de la carga contaminante con respecto a la vulnerabilidad intrínseca del acuífero, es posible apreciar que el mayor número de focos se ubican en áreas con grado de vulnerabilidad entre alta y extremadamente alta, con una contribución de carga contaminantes del 84% de la DBO₅, 82 % de la DQO y de más del 91% de las grasas, los ST, el Nt y el Pt (tabla 7 y figura 3).

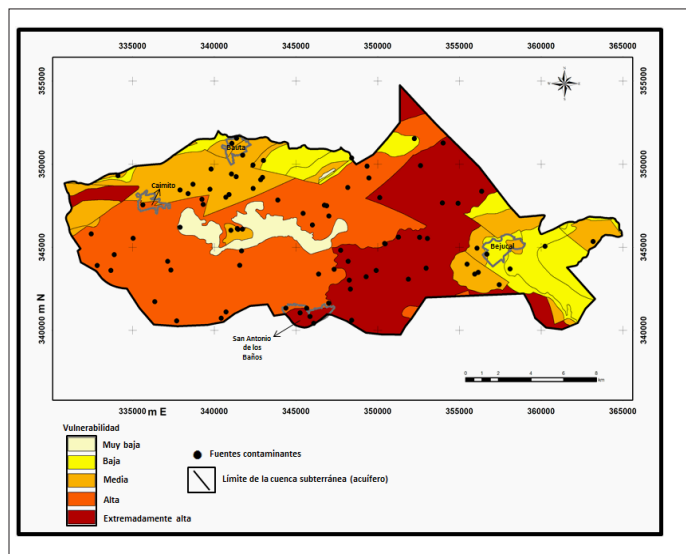


Fig. 3. Distribución de los focos contaminantes en relación con el grado de vulnerabilidad del acuífero.

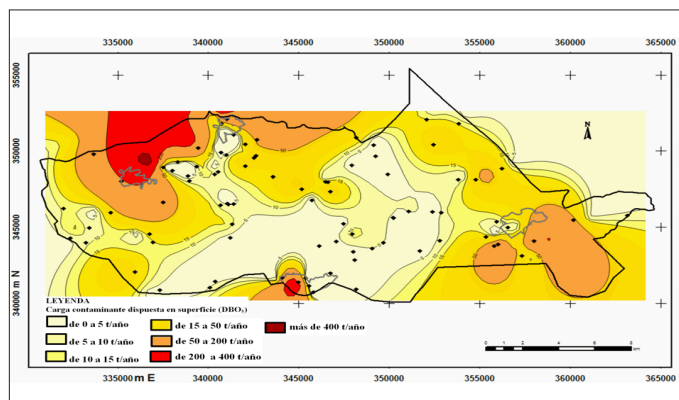


Fig. 4. Comportamiento de la DBO₅ producto del vertimiento de los focos de contaminación.

DISCUSIÓN

Todo lo anteriormente expuesto refuerza el criterio del incremento sostenido que ha tenido la carga contaminante en esta cuenca en las dos últimas décadas producto del crecimiento de la población (asentamientos poblacionales) sin una infraestructura adecuada para el tratamiento y disposición de sus aguas residuales. De igual forma, el incremento de la producción porcina en el sector estatal, cooperativo y privado, no ha tenido una respuesta en cuanto al desarrollo de sistemas de tratamiento anaeróbicos, como los que permiten la obtención de biogás, que tan buenos resultados están teniendo en el oeste de la propia provincia de Artemisa.

Tabla 7

Carga contaminante dispuesta con relación al grado de vulnerabilidad intrínseca del acuífero

Grado de la vulnerabilidad del acuífero	total de puntos	DBO ₅ t/año	%	DQO t/año	%	Nt t/año	%	Pt t/año	%	ST t/año	%	Grasas t/año	%
Baja	3	46	2	101	1	3	0	2	0	22	2	43	3
Media	17	442	14	1301	17	21	2	24	3	56	6	68	4
Alta	44	2295	75	5747	74	1056	96	803	96	731	83	1436	85
Muy alta	24	276	9	625	8	16	1	7	1	70	8	138	8
totales	88	3059		7774		1097		837		879		1685	

Es contrastante como en las áreas de baja vulnerabilidad prácticamente no hay focos de importancia registrados, por lo que parte de la actividad porcina podría desplazarse hacia estos territorios, donde el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas a partir del vertimiento de las aguas residuales es mucho menor, más aún si se instalan o construyen sistemas primarios y secundarios de tratamiento de dichos residuales.

En la figura 4 se muestra, de forma esquemática, el comportamiento espacial de la carga contaminante dispuesta, expresada en t/año de DBO₅. Es apreciable cómo las zonas de máximos valores de la DBO₅ aparecen asociadas a los asentamientos poblacionales de Caimito, San Antonio y Bauta, dado el gran aporte que representa este índice en los residuales de tipo domésticos o albañiles.

Los resultados anteriormente explicados coinciden con lo reportado por la ONEI [10], donde la carga contaminante en la cuenca Ariguanabo, expresada en la DBO₅ creció en un 48,5 % con respecto al año anterior.

El concepto de vulnerabilidad de los acuíferos, aplicado a la contaminación antrópica, es una de las vías más adecuadas para preservar la calidad de los recursos hídricos subterráneos, de ahí que disponer del mapa de vulnerabilidad del acuífero, la ubicación y volumen de carga dispuesta por cada uno de los focos de contaminación en el acuífero es una herramienta de gran valor al trazar las estrategias para la necesaria reducción y posterior eliminación de los residuales vertidos fuera de norma.

Con respecto a la contaminación, el caso más preocupante en la cuenca lo constituye los casi 10 m³ de diésel que aún se mantienen cubriendo el espejo de agua

de la laguna de oxidación de una de las instalaciones del municipio Bejucal y que constituyen un peligro latente de contaminación del acuífero ante intensas o prolongadas lluvias.

CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación revelan que el número de focos de contaminación de las aguas terrestres y la carga contaminantes en la cuenca Ariguanabo al cierre del año 2014 ha crecido con respecto al año anterior, siguiendo la preocupante tendencia mantenida en los últimos años, máxime cuando la mayoría de estos focos se encuentran situados en áreas de la cuenca (acuífero) con grados de alto a muy alto de la vulnerabilidad intrínseca debido al predominio del carso.

Los 14 focos muestreados y caracterizados presentan valores de DQO, DBO₅, Pt y ST que rebasan ampliamente los LMPP según lo establecido en la NC-27-2012.

En la gran mayoría de los 88 focos identificados los residuales son vertidos sin ningún tipo de tratamiento o deficientemente tratados, siendo los asentamientos poblacionales, seguidos de las instalaciones de cría porcina los máximos responsables de las altos valores de DBO₅, DQO, N, P, grasas y ST estimados para los mismos.

REFERENCIAS

1. ANTIGÜEDAD, I.; MORALES, T.; URIARTE, J. A. "Los acuíferos kársticos. Casos del país Vasco". *Rev. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2007 (15.3) pp. 325-332. ISSN: 1132-9157.
2. DALY, D.; DASSARGUES, A. *et. al.* "Main concepts of the European Approach to (karst) ground-water vulnerability assessment and mapping", *Hydrogeology Journal*, 2002, vol. 10, núm. 2, pp. 340-345. ISSN: 1431-2174.
3. LMASRI, M. N. "Nitrate contamination of ground-water: A conceptual management framework". *Environ. Impact Asses*, 2007, pp. 220-242. ISSN: 0195-9255.
4. USEPA. "EPA-822R04005. Drinking water standards and health advisories. National Primary Drinking Water Standards". United States Environmental Protection Agency. Washington, D.C., EUA [en línea] 20 pp. [ref. diciembre 2004] Disponible en Web: <http://water.epa.gov/drink/standardsrisk-management.cfm>. [consultado abril, 2015].
5. DÍAZ DUQUE, J. A. "Hacia el uso sostenible del agua en Cuba". En: Sociedad Cubana de Geología. Taller sobre Aguas subterráneas y Contaminación, Memorias del IX Congreso Cubano de Geología. Geología'2011, La Habana, 2011. ISBN: 978-959-7117-30-8.
6. GARCÍA, J. M.; GUTIÉRREZ, J.; CASTRO, V. "Nueva herramienta para evaluar la gestión ambiental integrada en cuencas hidrográficas cubanas: el índice simplificado de gestión en cuencas hidrográficas (IsGC) – 1ra. Etapa". *Voluntad Hidráulica*, 2013, núm. 106, pp. 22-35. ISSN: 1999-2750
7. ICIDCA. "Orientaciones metodológicas para el muestreo de aguas residuales". LAGUAZUR-Laboratorio de aguas y aguas residuales, La Habana, 2011, 13 pp.
8. CIGEA. "Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante". CITMA, La Habana, 1998, 30 pp.
9. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (ONN). "Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. NC-27-2012", La Habana: ONN, 2012, 17 pp.
10. ONEI. "Panorama Ambiental Cuba 2014", La Habana, Cuba, 2014, 57 pp.

AUTORES

Bárbara Liz Miravet Sánchez

Ingeniera Geofísica, Máster en Geofísica Aplicada, Investigadora Agregada, Consultora Ambiental, INEL Unión Nacional Eléctrica, La Habana, Cuba

Alberto E. García Rivero

Licenciado en Geografía, Doctor en Ciencias Geofísicas, Profesor e Investigador Titular, Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana. La Habana, Cuba

Eduardo Salinas Chávez

Licenciado en Geografía, Doctor en Ciencias Geográficas, Profesor Titular, Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba

Volume of Contamination Poured in Ariguanabo Basin, Artemisa Province, Cuba

Abstract

In the Ariguanabo basin were identified and characterized a total of 88 contamination points (66 are populated centers, 14 associated to the centers of breeding of pigs and eight are production and service centers), many of which don't have treatment of their residual waters. The values of the chemical oxygen demand (QOD), the biochemical oxygen demand (BOD_5), the total phosphorus (Pt) and the total solids (TS) of 14 selected point of contamination amply exceed the established limits in the NC-27-2012. The populated centers with the biggest values of BOD_5 , QOD, nitrogen (Nt) and Pt and the breeding of pigs centers responsible for 46 % of DBO_5 , 38 % of DQO and more than 95 % of the TS and grease are the fundamental contribution of contamination in the basin. The risk of contamination of the underground waters is very high, even more when the biggest number of points (61%) is located in areas with high and extremely high grade of intrinsic vulnerability of the aquifer and the volume of contamination in the basin has come increasing in the last years.

Key words: ariguanabo, volume of contamination, BOD_5 , points of contamination