

## **Pasivos Ambientales Mineros y aguas subterráneas en la provincia de Matanzas. Estudio de caso. Cantera Vizcaya**

Reynaldo Iván Fuentes-Sardiña <sup>\*(1)</sup>, Manuel A. Iturralde-Vinent <sup>(2)</sup> y Arlene Hernández-Álvarez <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>*Empresa de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería, San Vicente final s/n, Pueblo Nuevo, Matanzas, Cuba.*

<sup>(2)</sup>*Museo Nacional de Historia Natural, Plaza de Armas, La Habana, Cuba.*

Email: [produccion@eipi.mtz.hidro.cu](mailto:produccion@eipi.mtz.hidro.cu), [maiv\\_cu@yahoo.com](mailto:maiv_cu@yahoo.com), [arlene@uebcolon.hidro.cu](mailto:arlene@uebcolon.hidro.cu)

Recibido: mayo 17, 2013	Aceptado: junio 28, 2013
-------------------------	--------------------------

### **Resumen**

En la fuente de abasto "Juan Trujillo", perteneciente al acueducto de la ciudad de Colón en la provincia de Matanzas han sido identificados elementos contaminantes, que inciden en que el agua de la misma, corra el riesgo de no ser apta para el consumo humano. El objetivo que persigue la investigación es demostrar como la fuente de la contaminación proviene de una cantera abandonada de materiales para la construcción, en la que están al descubierto las aguas subterráneas, y esto unido a un mal uso asignado posteriormente a la oquedad, ha ocasionado que este Pasivo Ambiental Minero (PAM), constituya en la actualidad un foco de contaminación. Para lograr los resultados fueron ejecutadas un grupo de acciones entre las que destacan dos perforaciones, ubicadas en la dirección del flujo de las aguas subterráneas, en las cuales fueron tomadas muestras de agua para análisis de la calidad de las mismas.

**Palabras clave:** Pasivos Ambientales Mineros (PAM), Acuíferos, Contaminación

## **Environmental passive Miners and underground waters in the county of Matanzas. Study of case. Vizcaya quarry.**

### **Abstract**

In the supply source "Juan Trujillo", belonging to the aqueduct of Colón city in the county of Matanzas polluting elements have been identified, that they impact in that the water of the same one, run the risk of not being capable for the human consumption. The objective that pursues the investigation is to demonstrate as the source of the contamination it comes from an abandoned quarry of materials for the construction, in the one that they are to the overdraft the underground waters and this together to a wrong use assigned later on to the hollow, it has caused that this Environmental Passive Miner (PAM), constitute a focus of contamination at the present time. To achieve the results they were executed a group of actions among those that highlight two perforations, located in the address of the flow of the underground waters, in which samples of water were taken for analysis of the quality of the same ones.

**Key Words:** Environmental Passive Miners (PAM), Aquifer, Contamination

### **1. Introducción**

Cuando alguien se acerca a una gran ciudad, a menudo, antes de ver los altos edificios o el trazado urbano, se entera de su proximidad por la profusión de tajos y cicatrices que dislocan el paisaje aquí y allá, en los pies de monte, en las laderas de los cerros, cerca de los cursos de los ríos. Por todas partes donde los materiales eran adecuados, se han excavado extensas áreas, removiendo importantes volúmenes de suelos y rocas para la construcción de las ciudades y para el aprovechamiento industrial (Fernández Artigas 2004).

Como resultado de la explotación de estos materiales quedan espacios, generalmente en forma de huecos u oquedades, degradados en mayor o menor medida, en los que las actividades mineras han cesado y hoy se encuentran en franco abandono, sin que se hayan ejecutado en las mismas medidas de restauración. Estos constituyen las canteras abandonadas de materiales para la construcción.

A partir de los años 2008–2009, se ha comenzado a manejar un nuevo concepto para estos espacios, introducido por un colectivo de autores miembros de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI) (Adasme Aguilera et al 2009), y se define como: Pasivos Ambientales Mineros,

*Reynaldo Iván Fuentes-Sardiña\* Empresa de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería, Pueblo Nuevo, Matanzas, Cuba. Email: [produccion@eipi.mtz.hidro.cu](mailto:produccion@eipi.mtz.hidro.cu)*

conocido también por sus siglas como PAM. Estos constituyen todos los elementos, tales como instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral que, estando en la actualidad en entornos de minas abandonadas o paralizadas, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud y seguridad de la población, para la biodiversidad y para el medio ambiente.

En Matanzas existen 377 canteras de materiales para la construcción. De estas, 250 se encuentran en franco abandono y constituyen por tanto PAM, lo cual representa que por cada cantera que se explota actualmente en la provincia, existen dos abandonadas, sin que se hayan realizado en ellas acciones de restauración (Fuentes Sardiña 2013). En el 18 % de las mismas aflora el agua subterránea, en mayor o menor parte del área ocupada por estas, o sea, que sus niveles de fondo en esas zonas han ido más allá de los límites y regulaciones permisibles y constituyen heridas abiertas en el recurso agua subterránea

En ocho de estas canteras en las que aflora el agua subterránea, existen en sus cercanías, aguas abajo, o sea, en la dirección del flujo, pozos que son utilizados como fuente de abasto de poblaciones. Por lo antes expuesto el objetivo general de la investigación, es demostrar a través de un estudio de caso el peligro que representan para las aguas subterráneas, los PAM de materiales para la construcción en la provincia de Matanzas, a partir de ejemplificar, como en algunos sitios en que los niveles de piso de las canteras son muy bajos, estos pueden volverse puntos de recarga subterránea, incorporándose al flujo subterráneo aguas superficiales contaminadas, inutilizando de este modo fuentes de abasto de agua a la población, provocado por la contaminación de los acuíferos, a partir de un uso inadecuado dado al PAM.

Se demuestra analíticamente como el agua presente en el fondo de la cantera Vizcaya es un agua de origen subterráneo, con contenidos elevados de contaminación bacteriológica y mezclada con aguas de lluvia y de escorrentía superficial.

Los resultados obtenidos constituyen un instrumento para el accionar del gobierno territorial, a partir de dotar a los mismos con resultados concretos que demuestran el deterioro de las condiciones ambientales en las áreas periféricas a estos espacios, así como establecer prioridades para llevar a cabo eficientemente una gestión ambiental, social y económica a escala local y despertar una comprensión adecuada sobre los peligros que para el recurso agua subterránea representan los PAM en cuyos fondos afloran las aguas subterráneas, así como la necesidad de evaluar correctamente y con apego a la legislación ambiental existente cualquier cambio de uso que se desee realizar a estas oquedades.

## 2. Materiales y Métodos

Los métodos utilizados en la investigación fueron la observación y la medición para la obtención de los datos, comenzando por una etapa inicial de acumulación y elaboración de datos empíricos.

### 2.1 Ubicación del caso de estudio

El PAM de materiales para la construcción Vizcaya, se encuentra ubicado en la parte Noreste del Municipio de Colón, provincia de Matanzas, Cuba (Fig.1), y a menos de 300 metros de este se ubica el pozo denominado Juan Trujillo, perteneciente al acueducto de esta urbe citadina.

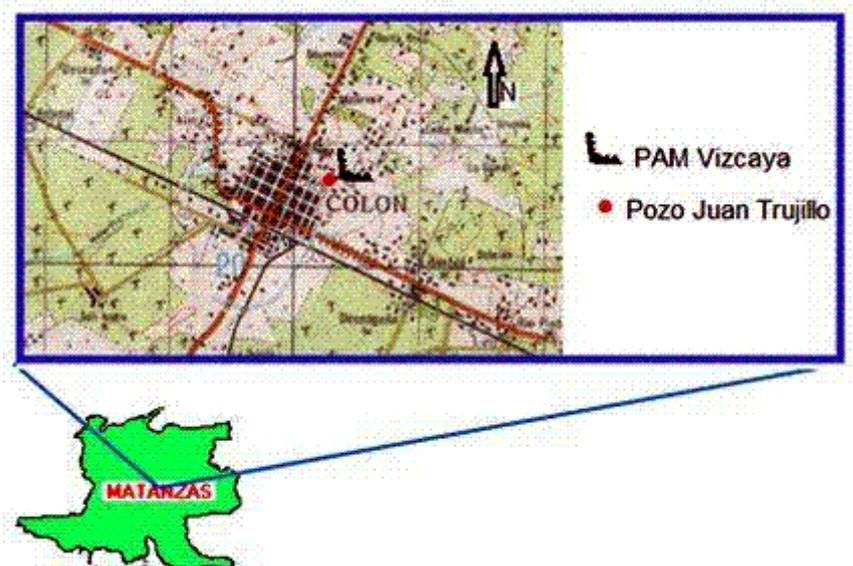


Fig.1 Ubicación del área de estudio

### **2.1.1 Geología**

En la zona donde se encuentra ubicado el PAM, están presentes los sedimentos de la Formación Colón, del Oligoceno – Mioceno Inferior (c/n Pg<sup>3</sup>-N<sub>1</sub><sup>1</sup>) representada por calizas margosas, suaves, deleznales y de baja permeabilidad, de color variable entre el blanco, crema y el amarillento (Brödermann 1945). A poca distancia de este, en la zona donde está ubicada la fuente de abasto aparecen los sedimentos de la Formación Güines (Humboldt 1826) del Mioceno Inferior a Medio, la cual contacta discordantemente con la Formación Colón. Además en las cotas actuales de fondo donde se abandonaron los bancos de explotación afloran capas de caliza de mayor dureza, fosilíferas y con desarrollo de algunos fenómenos cársticos.

### **2.1.2 Características hidrogeológicas**

El área de estudio está situada en el Tramo de cuenca hidrogeológica M-III-3. El manto acuífero está desarrollado en las calizas detriticas y algo cavernosas de la formación Güines, es libre, estando su espesor en esta zona entre los 20.00 m y los 30.00 m. La profundidad de los niveles de las aguas subterráneas, tomados en el mes de febrero del año 2012 (Según datos suministrados por la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Matanzas) están entre los 19.44 m en calas aledañas y los 18.69 m en la fuente de abasto Juan Trujillo. Las cotas piezométricas están en el orden de los 41.95 m y los 36.80 m respectivamente, el gradiente hidráulico natural es del orden de  $1 \times 10^{-2}$  y la dirección del flujo de las aguas subterráneas es hacia el suroeste.

### **2.2 Trabajos realizados**

Durante el proceso de investigación fueron perforadas dos calas con recuperación de testigo, de 25 m de profundidad cada una (Fig.2). Una de ellas, próxima a la cantera en estudio (cala 1) y la otra, próxima al pozo del acueducto (cala 2). De ambas calas se confeccionaron las columnas litológicas y el perfil hidrogeológico.



**Fig.2 Máquina perforadora utilizada y recuperación de testigos de perforación**

Se seleccionaron además, dos puntos de muestreo en la cantera, uno denominado cantera I, en la parte Oeste de esta y otro denominado cantera II, ubicado en la zona Este. Estos dos puntos se muestrearon simultáneamente con las dos calas perforadas y el pozo del acueducto.

Partiendo de los muestreos realizados, se confeccionaron gráficos de Stiff, Sholler y Piper Hill, para demostrar la procedencia de las aguas, mediante la composición hidroquímica de las mismas.

### **3. Resultados y discusión**

La extracción de un recurso natural no renovable constituye el mayor efecto ambiental de la minería. Las acciones de la actividad de cantería causan impacto en varios elementos del entorno, dentro de los que pueden citarse: La eliminación de las capas superiores de suelo, contaminación de suelos aledaños por fuertes partículas de polvo que viajan y cubren o se mezclan con estos, el paisaje siempre resultará modificado y alterado por esta actividad, entre otros.

Como elemento adicional se tiene, que una vez que estos espacios han sido abandonados por la actividad minera, con sus consiguientes problemas ambientales, los mismos generalmente son ocupados progresivamente y de forma desordenada, haciendo uso de estos, cuyas posibilidades de gestión y sustentabilidad son extremadamente inciertas y que solo pueden incrementar las afectaciones medio ambientales iniciales e incluso exacerbar los problemas ambientales generados por la actividad minera.

Este representa sin dudas el caso de estudio, donde en el PAM Vizcaya fue tomada la decisión de utilizarlo como receptor de los desechos sólidos de la ciudad de Colón, sin tener en cuenta las particularidades del mismo, sin la realización de los necesarios estudios ingenieros previos al cambio de uso del espacio y lejos del apego a la legislación vigente aplicable tanto ambiental como referida al cambio de uso del espacio (Fig.3).



Fig.3 Secuencia de imágenes del PAM Vizcaya y el nuevo uso dado a la oquedad.

El área además forma parte de la zona de crecimiento urbano de dicha ciudad, lo que convierte al PAM en un lugar indeseable desde el punto de vista estético, así como un foco contaminante debido al constante vertimiento de residuales, que han ido descomponiéndose paulatinamente, unido a la presencia constante de agua en su interior, todo esto ha provocado la presencia de malos olores, la proliferación de vectores que representan un peligro para la salud del propio vecindario y sus alrededores. Sin embargo, lo más significativo de esta problemática resulta la existencia a 300 metros, de una fuente de abasto de agua a la ciudad de Colón, conocida como Juan Trujillo, la cual bombea 330 días al año, con un período restringido de explotación de 10 horas diarias, aportando a la red de distribución de la población 83 m<sup>3</sup>/h.

Esta fuente ha mostrado en los últimos años un incremento de los niveles de nitratos y la disminución del oxígeno disuelto, lo anterior marcado a partir del periodo en el que se tomo la decisión de utilizar el PAM Vizcaya como receptor de los desechos sólidos Fig.4.

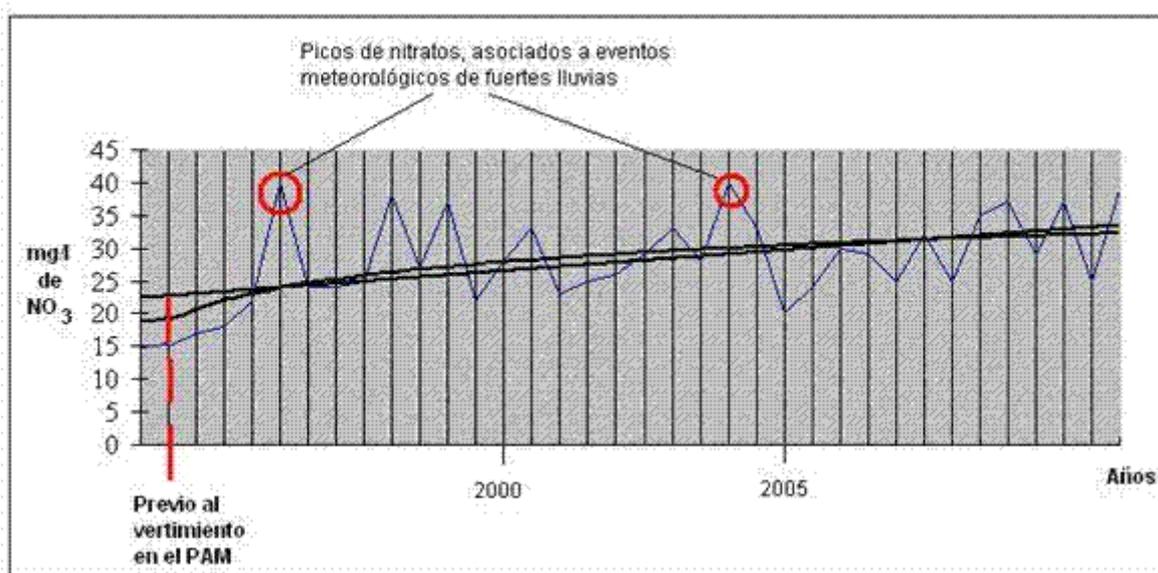


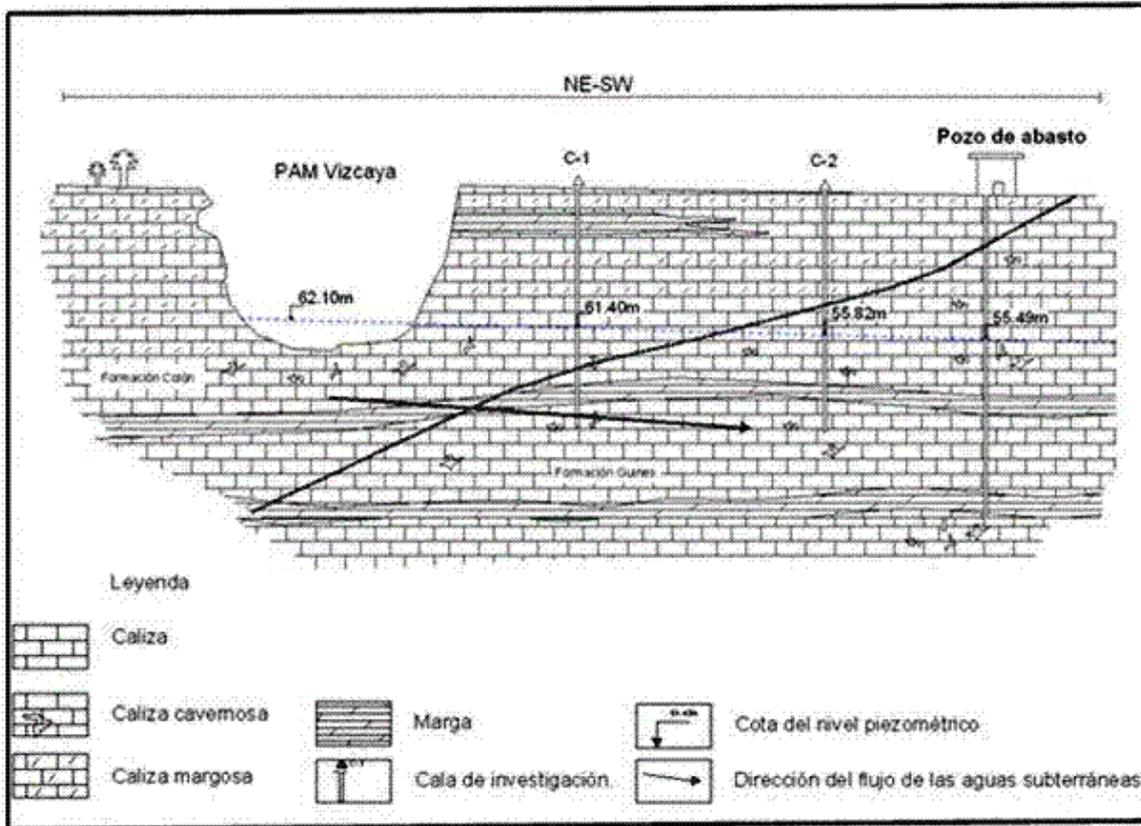
Fig.4 Variación de las concentraciones de nitratos en el pozo de abasto Juan Trujillo.

A pesar de lo evidente de la situación problema y sus causas fue necesario demostrar que el agua presente en el fondo del PAM es subterránea y que los síntomas de contaminación de la fuente de abasto son consecuencia

de la descomposición y contaminación presente en este, que al estar aguas arriba en la dirección del flujo propiciaron efectos indeseados en las aguas del pozo de abasto.

### 3.1. Relación hidráulica entre el PAM y el pozo de abasto.

El corte litológico del área de estudio es homogéneo y coincide con el descrito en las perforaciones, el mismo está compuesto en lo fundamental por rocas de una limitada permeabilidad, alternándose estratos de caliza porosa, calizas margosas y margas, lo que le confiere una limitada capacidad acuífera a la zona, pero donde evidentemente existe una comunicación desde el área de la cantera hasta el pozo del acueducto (Fig.5).



**Fig.5 Perfil hidrogeológico esquemático a través de las calas de estudio y el pozo de abasto.**

Como puede observarse existe una relación hidráulica directa entre el PAM y el pozo de abasto, a partir, de la diferencia de las cotas absolutas del nivel de las aguas subterráneas. La yacencia de las aguas subterráneas en la zona de las canteras se ubica en las cotas 62.10 y 54.09 msnm, mientras que en la zona del pozo se encuentra sobre los 55.49 msnm. La dirección del flujo de las aguas subterráneas va desde las canteras hacia la cuenca que alimenta la fuente de abasto.

De lo anterior se infiere que por la relación hidráulica y la dirección del flujo del agua subterránea, estas fluyen de la zona de la cantera hacia la zona del abasto, por lo que esta última corre evidentemente el riesgo de contaminarse por el proceso de infiltración. Lo anterior no excluye la posibilidad de que entre la cantera y el pozo existan alternancias de fronteras de mayor y menor permeabilidad, lo cual dificulte el intercambio directo del agua y le imprima cierta independencia hidráulica en su comportamiento a ambas áreas.

### 3.2. Características de las aguas.

Determinar el origen del agua que aparece en el fondo de la cantera fue otro de los retos de la investigación, por cuanto de no ser subterránea pondría en dudas el origen del incremento de los elementos trazas de contaminación en el pozo de abasto Juan Trujillo

En su composición, el agua que se encuentra en la oquedad pudiera estar formada por:

1.- Agua lluvia: Presenta por las características propias de su recorrido materias sólidas, gases y partículas inorgánicas disueltas, lo que unido al bajo pH se convierten en agresivas por naturaleza. Esta se encuentra presente por tratarse el PAM de un área abierta expuesta a la acción de los agentes atmosféricos.

2.- Agua de escurrimiento superficial: Aparece frecuentemente después de las lluvias, llevando consigo el arrastre de partículas sólidas, disueltas y en suspensión, así como materia orgánica que se encuentran en el suelo, producto de la actividad socio - económica del hombre, en este caso también se observa la presencia de

escurrimiento de aguas procedentes de las actividades urbanas y domésticas . Este tipo también está presente por encontrarse el PAM en un área de cotas absolutas más bajas que las de las zonas circundantes, lo cual propicia que los escurrimientos lleguen con facilidad al mismo.

3.- Agua Subterránea: El agua subterránea está presente en formaciones geológicas permeables conocidas como acuíferos. A partir de la observación de agua en la cantera, después de largos períodos de sequía, es una evidencia de que las mismas pudieran estar asociadas a aguas subterráneas y estaría directamente vinculada al indiscriminado proceso de extracción de material, donde las excavaciones no obedecieron a un proyecto de explotación que tuviera en cuenta la diversidad de factores y condiciones naturales de la formaciones geológicas presentes en el área y llegaron hasta profundidades por debajo del nivel freático. De esta manera en la composición actual de las aguas en el fondo del PAM también pudieran encontrarse las aguas subterráneas presentes en la zona.

4.- Una mezcla en la que intervienen en mayor o menor grado los tipos anteriores

Para el esclarecimiento del origen de las aguas presentes en el PAM, fueron muestreadas y analizadas las aguas presentes en cada uno de los puntos de muestreo diseñados, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla I.** Valores medios de la composición hidroquímica de los puntos muestreados.

Puntos de muestreo	Conductividad (µS/cm)	pH	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	Cl (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	NO <sub>3</sub> (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na+K (mg/l)
Cala 1	814	7.06	392	48	19	48	109	22	22
Cala 2	984	6.86	394	57	23	35	113	28	23
Punto: Cantera I	1008	6.74	451	72	11	70	125	21	37
Punto: Cantera II	1024	7.28	467	90	5	82	117	23	60
Pozo: Juan Trujillo	814	7.04	372	53	28	33	127	14	28
Agua de lluvia	69	6.95	26	7	3	1	11	2	2

Mediante la representación gráfica de los análisis químicos se realizan comparaciones y para esta investigación fueron utilizados cuatro tipos de gráficos: La representación triangular de Piper Hill, el diagrama de Schoeller, el diagrama múltiple vertical de Stiff y el circular con concentración.

Comenzando por el de Piper Hill podemos decir que el agua de las calas, el acueducto y la cantera son del mismo tipo, no coincidiendo con el agua lluvia, todas se encuentran dentro de la denominación de aguas meteóricas recientes.

De acuerdo a los gráficos de Stiff (Fig.6), todas las aguas son del tipo bicarbonatadas cálcicas manteniendo todos los gráficos la misma configuración.

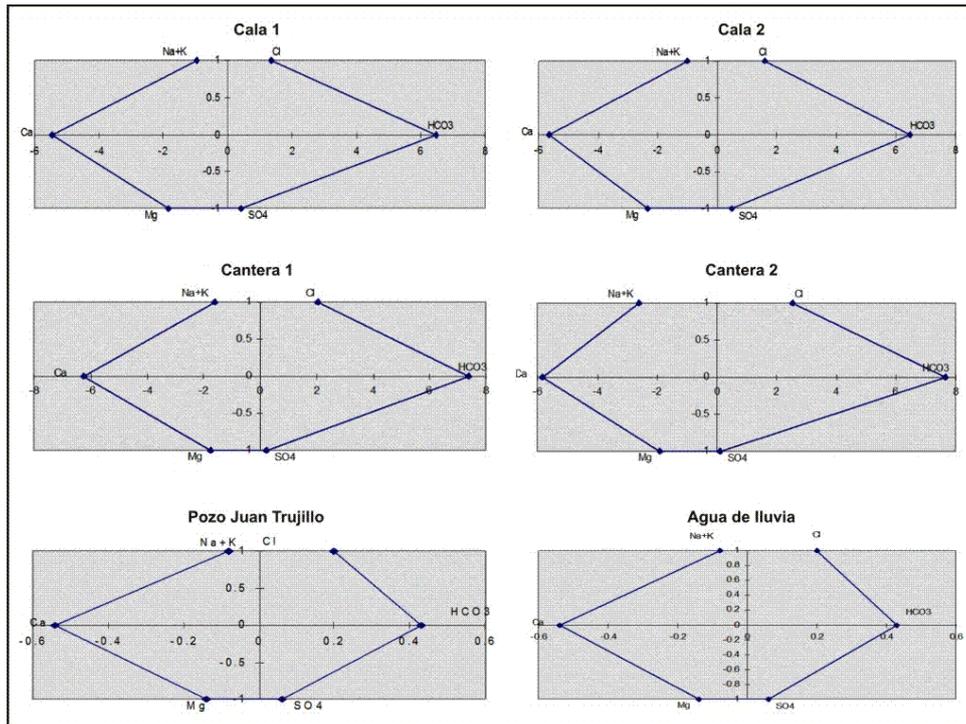


Fig.6 Gráficos de Stiff

Por todo lo expuesto, es evidente que las aguas presentes en las canteras, son aguas de origen subterráneo aunque con mezcla de aguas superficiales y de lluvia por ser el PAM una excavación minera a cielo abierto.

### 3.3. Análisis de la contaminación

La presencia de concentraciones de nutrientes tales como el fósforo y nitrógeno en las aguas de la cantera, puede evidenciarse por la abundante vegetación típica, que aflora en la superficie como es el caso de la *Lemna minor*, perteneciente al grupo de las *Lemnáceas*, que solo habitan en aguas con altos contenidos de nutrientes como los mencionados. También se aprecia abundante *Nymphaes alba*, pertenecientes a las *Ninfáceas*, conocidas popularmente como Malanguetas.

La tabla II muestra los valores medios de los elementos contaminantes presentes en los diferentes puntos de muestreo de la zona de estudio, de estos puede significarse el hecho de que los contenidos de los elementos contaminantes no son elevados aunque si agresivos, además que los elementos contaminantes existentes en las aguas de la cantera se encuentran también en las calas de observación ubicadas de forma intermedia entre la cantera y el pozo de abasto.

Tabla II. Valores medios de los elementos contaminantes presentes en los diferentes puntos de muestreo.

Puntos de muestreo	NO <sub>3</sub> (mg/l)	NO <sub>2</sub> (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	PO <sub>4</sub> (mg/l)	DQO (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	O <sub>2</sub> Disuelto (mg/l)
Cala 1	48	0.36	1.16	2.55	11.87	-	-	2.29
Cala 2	35	0.39	0.10	0.25	5.40	-	-	1.01
Punto: Cantera I	70	0.33	2.00	1.92	39.00	241	0	1.49
Punto: Cantera II	82	0.02	1.63	1.66	38.00	113	0	1.20
Pozo: Juan Trujillo	33	0	0	0	0.28	-	-	2.27

En el pozo Juan Trujillo no se presentan aun concentraciones de elementos contaminantes en valores que consideren la no aptitud de estas aguas para el consumo humano, sin embargo, las concentraciones de nitratos ha crecido de forma paulatina desde los 15 mg/l que constituía su línea base para este elemento, hasta los actuales 33 mg/l, a partir del vertimiento en el PAM, llegando a alcanzar picos de 40 mg/l asociados a intensas lluvias. Un esquema de la pluma de dispersión de concentraciones de NO<sub>3</sub> muestra, como en la dirección del flujo de las aguas subterráneas, crecen las mismas desde la zona del pozo hacia el PAM (Fig.7). Del análisis de los datos, también puede observarse la existencia de un déficit de oxígeno disuelto.

Al comparar los valores de estos elementos indicadores de contaminación con los límites máximos admisibles que establece la norma cubana NC 827/2012: Agua potable – Requisitos Sanitarios, se aprecia que para el caso del nitrato el valor máximo admisible es de 45 mg/l y para el oxígeno disuelto el límite es 4mg/l

La demanda de oxígeno en las aguas se debe a la presencia en ellas de diferentes tipos de materiales:

a) Materiales orgánicos carbonosos que son aprovechados por los organismos aeróbicos como fuente de nutrientes.

b) Materiales nitrogenados oxidables que se derivan de estos compuestos (nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico) y sirven de nutrientes a bacterias específicas.

c) Ciertos compuestos químicos reductores (hierro ferroso, sulfito y sulfuro) que reaccionan con el oxígeno molecular disuelto en el agua.

Específicamente, la demanda biológica de oxígeno, esta se debe a la primera y segunda clase, no quedando incluida la tercera para la prueba de DBO<sub>5</sub>. En los muestreos realizados a las canteras no existe demanda biológica de oxígeno debido a la falta de microorganismos en las mismas, o sea, no se encuentran en cantidad representativa; por lo que queda demostrado que la contaminación existente es química y los valores bajos de oxígeno en la misma se deben a una oxidación de tipo química.

El caso estudiado constituye un ejemplo real y lamentable del incumplimiento de lo establecido en la Ley de Minas al explotar una cantera sin tener un proyecto de explotación, lo que condicionó que en la misma se profundizara hasta el nivel de alumbramiento de las aguas subterráneas. Posteriormente al no tener un proyecto de restauración, no se realizó la impermeabilización del fondo para evitar la posible contaminación de las aguas subterráneas, y por último, dos soluciones erróneas a dos problemas ambientales: Una, la de rellenar con desechos sólidos domésticos la cantera y la otra, permitir que se convirtiera el PAM en un vertedero municipal.

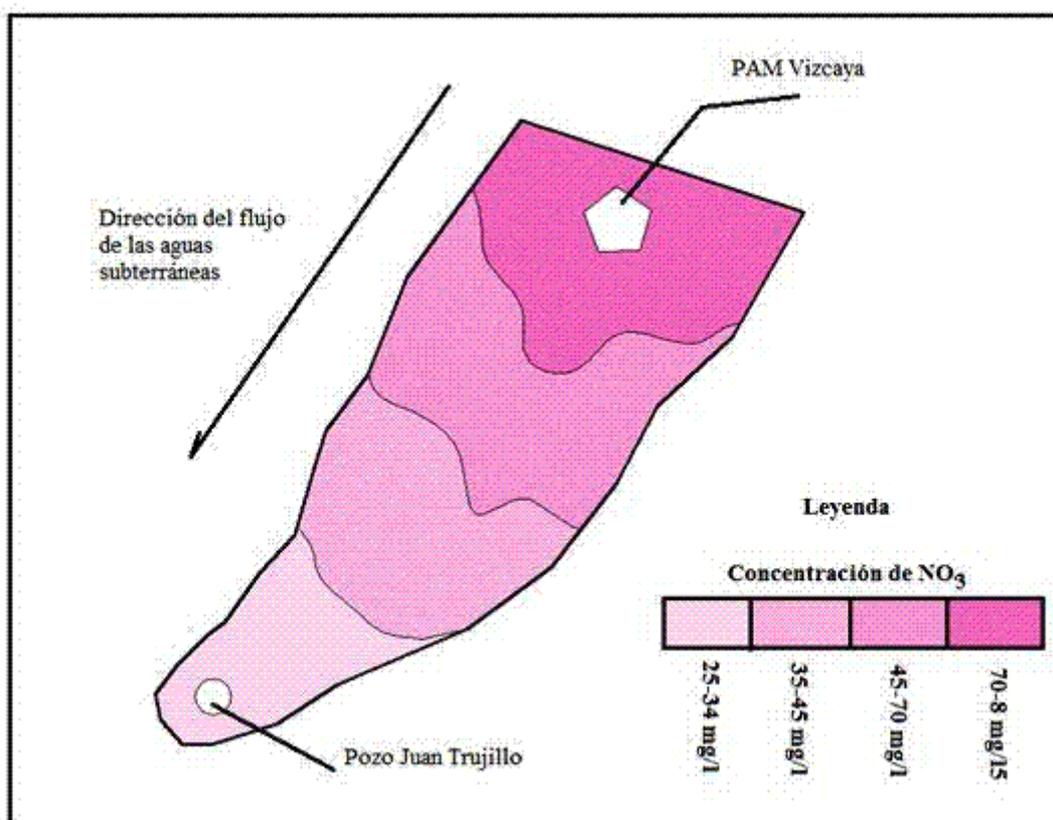


Fig.7 Esquema de la pluma de dispersión de concentraciones de NO<sub>3</sub>.

El caso evidencia además como debido a la proximidad urbana y a la falta de controles, los PAM son utilizados para el vertido de residuos líquidos de fosas sépticas domiciliarias y desechos sólidos urbanos generados por las poblaciones cercanas al área. Este carácter de receptáculo de desechos urbanos que tienen los PAM los transforma en focos de elevada insalubridad para las poblaciones vecinas como en este caso, que además de ser criaderos de insectos, roedores y lugar de merodeo de los animales domésticos que se vuelven

agentes transmisores de organismos patógenos, representa una fuente potencial de contaminación de las aguas subterráneas en la zona, sin descartar la posible inutilización de una fuente de abasto a la población. Esta cantera abandonada también es frecuentada por niños y adultos que se bañan en sus aguas, con riesgos sanitarios y de seguridad inimaginables.

### **Conclusiones**

- La deficiente operatividad en la explotación de una cantera y su abandono sin el cumplimiento de las medidas de restauración que debieron preverse, está generando situaciones críticas, debido a los riesgos ambientales, sanitarios y sociales a ella asociados, exacerbados además por un incorrecto uso asignado al PAM.
- El agua del PAM Vizcaya se encuentra contaminada por residuales albañales y porcinos, además de los desechos sólidos que en él se vierten, y de acuerdo a los análisis realizados estas aguas representan un afloramiento de las aguas subterráneas.
- El agua de las calas perforadas presenta la misma contaminación que las aguas del PAM y de acuerdo a la dirección del flujo de las aguas subterráneas, la fuente de abasto Juan Trujillo corre el riesgo inminente de contaminarse.
- El pozo Juan Trujillo ha mantenido un gradual aumento en los nitratos y pérdida del oxígeno disuelto a partir de que se tomo la decisión de utilizar el PAM Vizcaya como receptor de los desechos sólidos de la ciudad.

### **Recomendaciones**

- Eliminar el vertido de desechos sólidos y otros al PAM.
- Realizar un estudio de factibilidad y proponer un nuevo uso que restaure el área ocupada por el PAM.
- Mantener el monitoreo del pozo Juan Trujillo, estableciendo una vigilancia sobre las principales características físico, químicas y bacteriológicas de sus aguas.

### **Referencias**

- Adasme Aguilera, *et al.* 2009. Pasivos Ambientales Mineros - Manual para el Inventario de Minas Abandonadas o Paralizadas: Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos [En línea], Disponible: <http://www.missap.aytozaragoza.es/.../galacho/plan-especial> [Consultado 8 de octubre de 2012].
- Fernández Artigas, R. 2004. Problemática generada por tajos y canteras [En línea], Disponible: <http://www.men.gon.va/marcolegal/marcolegalminas> [Consultado 15 de marzo de 2012].
- Fuentes Sardiña, R. 2007. Principales impactos ambientales generados por tajos y canteras de materiales para la construcción en la provincia de Matanzas. Tesis (en opción al título académico de Máster en Gestión Ambiental y Protección de los Recursos Naturales). Centro de Estudios de Medio Ambiente y Energía, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.