

## Determinación de las zonas de protección sanitaria, comparación de los métodos de la NC 1192:2017 y el WhAEM, caso de estudio fuentes de abasto de San José de las Lajas

**Roxana Aymeé Luis Winograd**

E-MAIL: roxluis87@gmail.com

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), Cuba.

**Dianet Valladares Hernández**

E-MAIL: dianetvalladares@gmail.com

Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), Cuba.

### RESUMEN

En Cuba la Oficina Nacional de Normalización estableció un procedimiento de cálculo para la delimitación de las zonas de protección sanitarias (ZPS), vigente en la NC 1192: 2017. Además de este procedimiento, existen modelos matemáticos que son aplicados en todo el mundo como es el caso del modelo matemático utilizando el programa WhAEM. Estos dos métodos fueron aplicados en cuatro de las fuentes de abasto de San José de las Lajas. Arrojando como resultado que los dos métodos presentan resultados favorables, con una relación entre ellos de un 99% de precisión, por lo que se justifica la utilización del programa WhAEM, en las zonas donde no se cuente con todos los datos hidrogeológicos necesarios para la utilización de la NC 1192: 2017. Lo cual garantiza que todos los pozos de abasto cuenten con la determinación de ZPS.

**PALABRAS CLAVES:** contaminantes, calidad del agua, WhAEM

Determination of the sanitary protection zone, comparison of the NC1192:2017 and WhAEM methods, case study of supply sources in San Jose de la Lajas.

### ABSTRACT

In Cuba the National Office of Normalization established a calculation procedure for the delimitation of the sanitary protection areas (ZPS), effective in the NC 1192: 2017, besides this procedure mathematical models that are applied in the entire world exist like it is the case of the mathematical pattern using the program WhAEM. These two methods were applied in four of the sources of supply of San José de las Lajas. Throwing as a result that the two methods present favorable results with a relationship among the two methods of 99% of precision, for what is justified the use of the program WhAEM, in the areas where it is not had all the data necessary hydrogeological for the use of the NC 1192: 2017. That which guarantees that all the supply wells have the determination of ZPS.

**KEYWORDS:** polluting, water quality, WhAEM

## 01 INTRODUCCIÓN

La calidad del agua subterránea no es más que la cantidad y naturaleza de las distintas materias que se le han incorporado durante el contacto con los terrenos por donde circula. El conocimiento de estos elementos permitirá concretar las posibilidades de su utilización con propósitos industriales, de regadío, consumo humano y demás, ya que el tipo de uso es el que determina los requisitos de calidad exigidos en cada caso y los análisis necesarios, ya sean químicos, físicos o bacteriológicos. El agua subterránea puede dañarse de forma directa cuando la sustancia contaminante se introduce directamente en el acuífero por el vertido de aguas en pozos negros o de forma indirecta a causa de la extracción de agua de un pozo o del drenaje de la zona (Pérez, 1982).

Las fuentes de contaminación son las continuas actividades del hombre sobre el medio ambiente, algunas de estas fuentes son: las aguas residuales domésticas vertidas en fosas sépticas o pozos negros y las fugas de los sistemas de alcantarillado originados por la vida del hombre en comunidad, la contaminación por la actividad agrícola con la utilización de insecticidas, fungicidas entre otros, ya que son nocivos para el hombre y los animales, también la producida por las industrias como metales pesados, sustancias inorgánicas y orgánicas. El control de la contaminación debe comenzar por someter a tratamiento adecuado las aguas residuales domésticas e industriales que pueden afectar tanto las aguas superficiales como las subterráneas, y por tomar diversas medidas preventivas para evitar la contaminación originada por otras fuentes. Las medidas preventivas pueden ir desde la prohibición, regulación u ordenamiento de señaladas actividades en zonas determinadas y el establecimiento de medidas de seguridad sobre actividades potencialmente nocivas hasta la creación de redes de detección de las posibles sustancias contaminantes. Para que todas las medidas de protección sean efectivas debe existir un detallado conocimiento de las características hidrogeológicas del acuífero y un sistema adecuado de control de la calidad del agua (Pérez, 1982).

La provincia Mayabeque cuenta con varios focos de contaminación provenientes de centrales azucareros, fábricas de plásticos, pintura, además de las mismas comunidades; los cuales presentan solución para el residual que originan, mientras que otros no. San José de las Lajas es la capital de la provincia Mayabeque, situado en la parte centro norte de la provincia, con una extensión superficial de 592,67 km<sup>2</sup> y un total de aproximadamente 80 960 habitantes que son abastecidos de agua potable por un total de 12 pozos de abastos localizados en el territorio. Conocer la influencia o no de focos contaminantes en cada fuente de abasto es fundamental para garantizar la calidad del preciado líquido. Para determinar las ZPS, se seleccionaron dos métodos la NC 1192:2017 y el modelo matemático WhAEM, los cuales se aplicarán en tres pozos del área de estudio, con el objetivo de poder determinar si existe correlación entre estos dos métodos y poder aplicar el modelo matemático en los pozos que no cuenten con todos los datos hidrogeológicos necesarios para aplicar la NC 1192: 2017.

## 02 REFERENTES TEÓRICOS

El agua subterránea tiene la capacidad de recargarse y reponerse. Esto puede ocurrir naturalmente cuando la lluvia y la nieve derretida se filtran por las grietas y hendiduras debajo de la superficie de la tierra, o artificialmente cuando las personas toman medidas para restaurar los niveles de agua subterránea redirigiendo el agua para que sea reabsorbida por el suelo a través de canales, cuencas o estanques (Hermann y Prunes, 2022).

La extracción de las aguas subterráneas está siendo superior a la de su reposición, razón por la que se hace obligatorio visibilizar la importancia del recurso hídrico y desarrollar procesos y medidas de monitoreo, revisión y seguimiento para gestionar la extracción del recurso. Algunas medidas pueden ser (Pérez, 1982):

- Establecer perímetros de protección.
- Ubicar correctamente los vertederos de residuos sólidos y desagües.
- Desarrollar sistemas sostenibles para eliminar los compuestos líquidos contaminantes que ya están dentro de las zonas de los acuíferos.
- Mejorar los sistemas de riego y fertilización.

## CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

El problema de la contaminación de las aguas es conocido desde la antigüedad. Con el incremento de la población y el surgimiento de la actividad industrial la polución de ríos, lagos y aguas subterráneas aumenta constantemente. La Organización Mundial de la Salud define la contaminación de las aguas dulces de la siguiente manera:

"Debe considerarse que un agua está contaminada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones a una u otra o al conjunto de utilidades a las que se hubiera destinado en su estado natural".

Siempre hay contaminación natural originada por restos de animales, vegetales, minerales y sustancias gaseosas que se disuelven cuando los cuerpos de agua atraviesan diferentes terrenos (Rodríguez et al., 2011).

Los materiales orgánicos, mediante procesos biológicos naturales de biodegradación en los que intervienen descomponedores acuáticos (bacterias y hongos), son degradados a sustancias más sencillas. En estos procesos es fundamental la cantidad de oxígeno disuelto en el agua porque los descomponedores lo necesitan para vivir y para producir la biodegradación (Ramírez, 2007).

La contaminación del agua causada por las actividades del hombre es un fenómeno ambiental de importancia. Los procesos de producción industrial requieren la utilización de grandes volúmenes de agua para la transformación de materias primas, siendo los efluentes de dichos procesos productivos, vertidos en los cauces naturales de agua (ríos, lagos) con desechos contaminantes. La contaminación del agua se produce a través de la introducción directa o indirecta en los cauces o acuíferos de sustancias sólidas, líquidas, gaseosas, así como de energía calórica, entre otras. Esta contaminación es causante de daños en los organismos vivos del medio acuático y representa, además, un peligro para la salud de las personas y de los animales.

Las fuentes de contaminación pueden ser naturales y antropogénicas, dentro de estas últimas están las industriales, los vertidos urbanos, las procedentes de la navegación y de actividades agrícolas y ganaderas, siendo de mayor importancia para este trabajo las industriales y las urbanas.

La calidad del agua subterránea tiene gran importancia ya que esta agua constituye una fuente de abastecimiento en el mundo, de rápida utilización y relativamente de bajos costos (Pérez, 1982), por lo que es importante que tenga un seguimiento ya que es un recurso renovable y limitado. Se abastece tanto a la población como a la industria y el regadío, y cada una de estas actividades determina el requisito de calidad exigido por las normas de calidad establecidas para dicho uso.

Para proteger la calidad del agua se determinan las zonas de protección sanitarias, que no son más que los territorios creados alrededor de las fuentes de abasto para preservar la calidad de las mismas. Estas se dividen en 3 zonas: la zona I es un área cercada alrededor del pozo de abasto y donde existen

mayores restricciones; en la zona II no se recomienda la existencia de algún tipo de desechos peligrosos, productos de industrias o actividades agrícolas; y en la zona III se comienzan a permitir algunas actividades siempre que se cumplan las medidas pertinentes. Dichas zonas alejadas de empresas industriales y de áreas residuales para proteger la salud de las zonas adyacentes, proporcionando un área para la disposición segura de desechos industriales peligrosos, ajustando sus concentraciones a la normativa higiénica vigente, para proteger las reservas y mantener una adecuada calidad del agua.

### MARCO LEGISLATIVO

La Oficina Nacional de Normalización (NC) es el Organismo Nacional Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización. La NC 1192: 2017 establece el procedimiento de cálculo para la determinación de la zona de protección sanitaria, sustituyendo la NC 93-01-209: 1990 y ajustada al nuevo formato establecido por la NC. La norma es aplicable a todas las fuentes de abasto de aguas subterráneas, que sean estudiadas por el sistema del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), o por cualquier otra organización privada o del Estado que le sea otorgada esta responsabilidad. La misma no se aplica en aquellos pozos de uso doméstico, donde no se requiera permiso de extracción. El usuario es el encargado de velar por la calidad del agua del pozo a través del Ministerio de Salud Pública.

## 03 MATERIALES Y MÉTODOS

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA

San José de las Lajas es la capital de la provincia Mayabeque, situada en la parte centro norte, con una extensión superficial de 592,67 km<sup>2</sup>, limita al norte con la provincia de La Habana y el municipio de Jaruco, al sur con los municipios Güines, Melena del Sur y Batabanó, al este con los municipios Madruga y Güines, y al oeste con los municipios Bejucal y Quivicán. La llanura donde se encuentra dicho territorio limita al norte con las alturas Habana-Matanzas y al sur con las de Bejucal-Madruga-Limonar. Geológicamente el área de estudio está caracterizada por la presencia de rocas la Formación Colón la cual está caracterizada por margas calcáreas biógenas, calizas arcillosas biógenas, calizas biógeno-detríticas y eventualmente lentes de arena. Su color varía entre mostaza en las porciones más alteradas, a crema amarillento en profundidad. El espesor total de la formación puede alcanzar unos 80 metros. Descansa discordante sobre las rocas más antiguas y a su vez, está cubierta concordante por la Formación Güines y eventualmente por la Formación Cojímar, como ocurre al Norte de Limonar. Esta formación es acuífera y todos los pozos del área de estudio se localizan en ella.

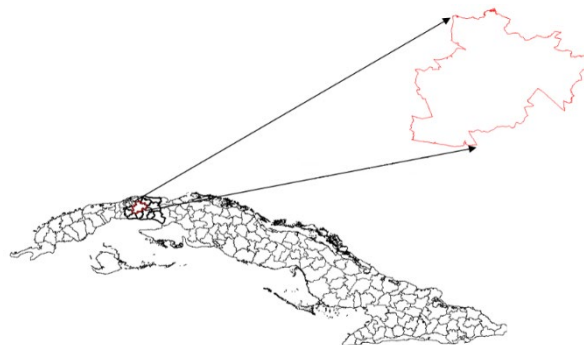


Figura 1. San José de las Lajas.

Los tres pozos de abasto seleccionados para establecer la comparación entre los métodos para determinar la ZPS, pertenecen al INRH, los cuales están distribuidos en la zona cabecera del municipio San José de las Lajas. El objetivo fundamental de estos pozos es abastecer tanto a la población como a las principales industrias del área. En la Tabla 1 se puede observar el nombre de las fuentes y su ubicación geográfica, pudiéndose observar en la figura 2:

Tabla 1 Fuentes de abasto.

No	Localidad o Poblado	Cuenca	Nombre de la estación	Coordenadas	
				Norte	Este
1	San José de Las Lajas (Consejo Popular Norte)	HAV-2	Ac. San José de Las Lajas No. 1	350 250	382 720
2	San José de las Lajas	HMJ-1	Ac. Las Parcelas	348 080	383 810
3	Pastorita y Vostok	HAV-2	Ac. Gran Panel	350 600	381 230

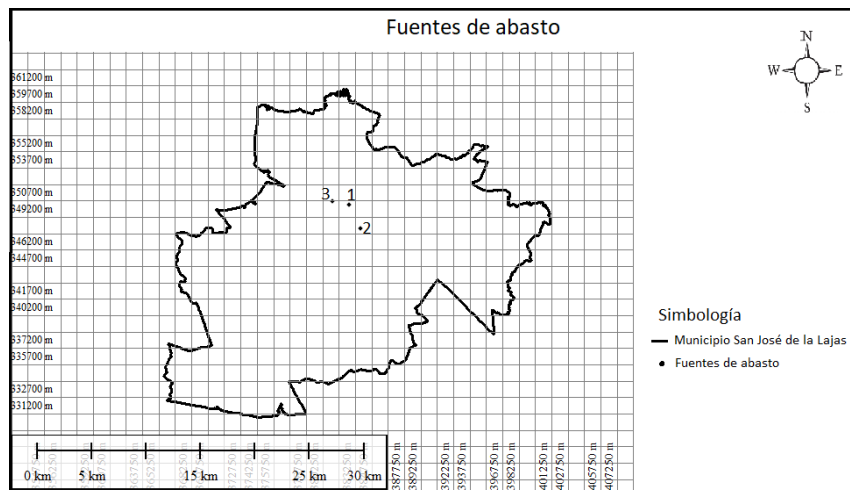


Figura 2 Ubicación de los pozos de abasto.

### PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO POR LA NC: 1192: 2017.

Para determinar la ZPS por la NC 1192: 2017 es necesario conocer y determinar un grupo de parámetros que posteriormente serán necesarios para establecer la representación de la zona. Los valores de la velocidad en la dirección principal del flujo hacia el pozo ( $U_x$ ), se obtiene por la ecuación 1 mientras que el gradiente natural será determinado por la ecuación 2.

$$U_x = I_0 * kd \quad (1)$$

Donde,  $I_0$ : Gradiente natural

$$I_0 = \frac{\Delta h}{L} \quad (2)$$

$\Delta h$ : Diferencia de altura entre las líneas equipotenciales (m).

$L$ : Distancia entre las líneas equipotenciales con respecto a cada pozo (m).

$kd$ : Conductividad hidráulica (m/s).

$$k_d = \frac{T}{h_0} \quad (3)$$

$T$ : Transmisividad hidráulica del acuífero (m/s).

$h_0$ : Espesor saturado.

$$h_0 = \text{profundidad total} - NE \quad (4)$$

$NE$ : Nivel estático.

El punto de estancamiento ( $X_0$ ) se determina por la ecuación:

$$X_0 = -\frac{Q}{2\pi * k_d * h_0 * I_0} \quad (5)$$

Donde,

$Q$ : Caudal de extracción de la fuente (m<sup>3</sup>/s).

La máxima extensión horizontal ( $Y$ ) se obtiene mediante la ecuación:

$$Y = \pm \frac{Q}{2k_d * h_0 * I_0} \quad (6)$$

La distancia de protección sanitaria ( $DPS$ ) se calcula mediante la ecuación:

$$DPS = \sqrt{\frac{Q}{\pi * h_0 * \mu}} * t_d + X_p^2 \quad (7)$$

Donde,

$\mu$ : Coeficiente de almacenamiento, cuyo valor se obtiene según la formación geológica donde se encuentra la fuente de abasto. En este caso es igual a 0,02, ya que los tres pozos se encuentran en la formación Colón.

$t_d$ : Tiempo de supervivencia de la bacteria ( $d$ ), toma valores entre los 50 y los 75 días.

$X_p$ : Punto de estancamiento ( $X_0$ ).

El ancho de la zona II de protección a la distancia  $DPS$  ( $D_{II}$ )

$$D_{II} = \frac{1}{3} DPS \quad (8)$$

Luego de calcular  $X_0$ ,  $Y$ ,  $DPS$  y  $D_{II}$ , estos valores se multiplican por un factor de seguridad, en este caso 1,3, para estar del lado de la seguridad.

## PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA ZPS POR EL MODELO MATEMÁTICO WHAEM

El WhAEM (Haitjema and Kraemer, 2018) es un modelo numérico utilizado para la evaluación y gestión del riesgo ambiental de sustancias químicas; se utiliza para calcular la dispersión de dichas sustancias en la atmósfera y determinar los niveles de exposición a los que están expuestos los seres humanos y el medio ambiente. Para calcular las zonas de protección sanitarias el WhAEM utiliza un enfoque de protección por capas, el cual consiste en tres capas de protección diseñadas para proporcionar diferentes niveles de protección para diferentes grupos de población.

La primera capa es la zona de exclusión, que está destinada a proteger las fuentes de extracción de la contaminación. Esta zona se basa en el peligro para la vida y la salud de las sustancias químicas, generalmente estará en un radio de 30 a 100 metros desde el lugar de contaminación.

La segunda capa es la zona de protección inmediata. Esta zona está diseñada para proteger la fuente de abasto de niveles peligrosos de las sustancias químicas. Esta zona se basa en los criterios de toxicidad aguda y en general engloba un área de 100 a 500 metros alrededor de la contaminación.

La tercera capa es la zona de protección a largo plazo. Esta zona está destinada a proteger el pozo de niveles bajos de sustancias químicas. Esta zona se basa en criterios de toxicidad crónica y puede extenderse hasta varios kilómetros desde la contaminación.

### Mapas de la base

El WhAEM (Haitjema and Kraemer, 2018) se apoya de varios mapas ráster y gráficos de vectores, que sirven de base para que fluyan los modelos de agua subterránea. Todos los mapas deben ser georreferenciados, es decir, que deben contener la información de las coordenadas en UTM, y puede ser NAD 27 o NAD 83, en este caso se empleó NAD 27.

### Parámetros acuíferos

WhAEM le exige al usuario que especifique cuatro parámetros acuíferos regionales que se hacen pulsando en la opción *Model setting*, tal como muestra la figura 3.

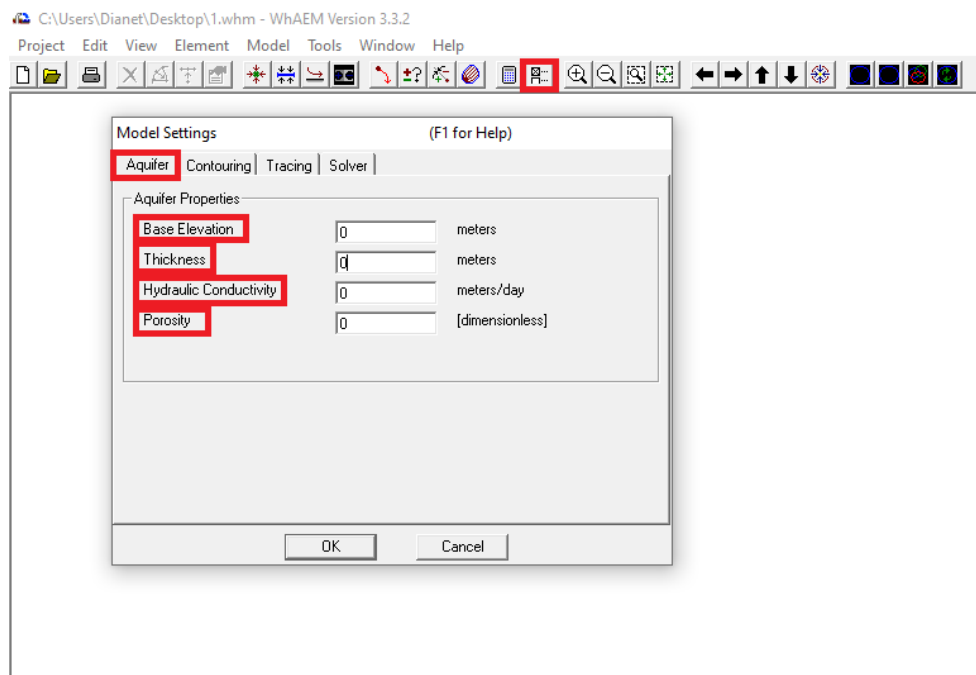


Figura 3. Configuración del acuífero.

La elevación base, en pies o metros con respecto al nivel del mar. La base acuífera puede ser una capa de arcilla o superficie de la piedra que normalmente no es una superficie horizontal perfecta, es importante que esta base acuífera no sea más alta que el nivel de agua más bajo.

El espesor del acuífero es el espesor real del material del acuífero sobre el fondo de la base acuífera, sin tener en cuenta cuanto se satura. Si usted quiere asegurar que fluyan las condiciones a lo largo del dominio, sin tener en cuenta la elevación del agua subterránea, se deben poner un valor alto en el espesor del acuífero, lo suficientemente grande para asegurar que la elevación de la base más el espesor del acuífero estén sobre la masa de agua.



La conductividad hidráulica es el valor regional. Se puede seleccionar una conductividad hidráulica diferente localmente definiendo uno o más dominios.

La porosidad en WhAEM es una porosidad eficaz que es el valor regional. Se puede seleccionar una porosidad diferente localmente definiendo uno o más dominios, el valor de la porosidad se usa para rastrear el camino del agua subterránea.

### Flujo uniforme

La opción del flujo uniforme (ver figura 4) permite planear el flujo regional sin la introducción de rasgos de agua de superficie en el modelo. Esta opción no debe usarse en la combinación con otros elementos analíticos, exceptuando los pozos, para que las zonas de protección sean generadas. El flujo uniforme está calculado basado en una pendiente hidráulica especificada y las propiedades regionales del acuífero.

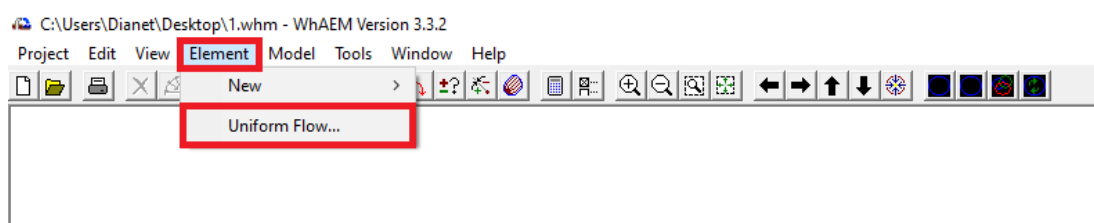


Figura 4. Configuración de la opción Flujo uniforme.

### Pozos

Para crear un pozo se pulsa la opción *Add well* en el menú (ver figura 5), se ubica en cualquier zona y se mostrarán las opciones donde se puede ajustar la ubicación del pozo reemplazando las coordenadas en la caja de datos, luego se teclea el caudal bombeado en la caja de descarga y el radio dicho pozo (nunca usar comas en los datos numéricos).

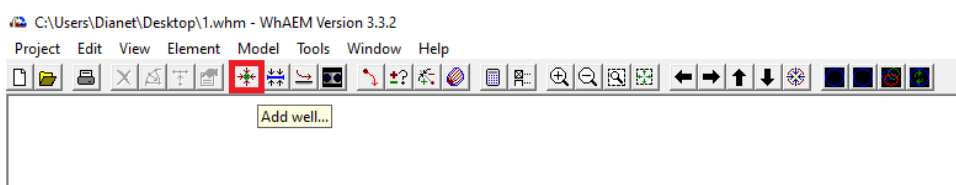


Figura 5. Opción Adicionar pozo.

### Solver

Se pulsa el botón *Run!* (ver figura 6), aparece una caja negra con algunos indicadores del proceso de la solución. Cuando el solver se hace, el mapa reaparece con una cubierta de contornos (líneas azules) y la zona de protección representadas.

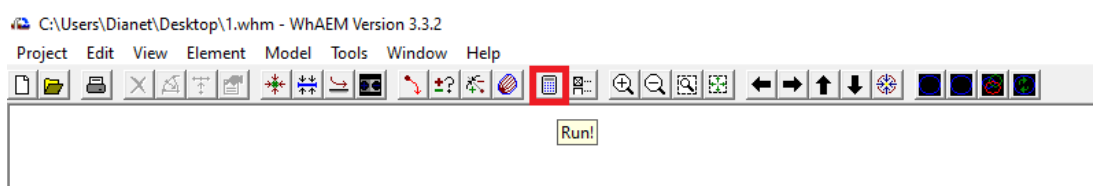


Figura 6. Opción Run.



## 04 RESULTADOS

La metodología descrita fue aplicada en los tres pozos de abasto del municipio San José de las Lajas, los datos iniciales de cada uno de los pozos: caudal, profundidad total y nivel estático se muestran en la tabla 2. Mientras que en la tabla 3 se muestran los parámetros calculados, para determinar el punto de estancamiento ( $X_o$ ), de la máxima extensión horizontal ( $Y$ ), de la distancia de protección sanitaria ( $DPS$ ) y del ancho de la misma ( $D_{II}$ ) los cuales aparecen representados en la tabla 4, junto con los parámetros recalculados por el factor de seguridad que según la NC 1192:2017 es 1/3 de los valores obtenidos.

Tabla 2 Datos iniciales de los pozos.

No. Pozo	Q (m <sup>3</sup> /d)	Profundidad total (m)	N.E.(m)
1	25	61	35,64
2	90	61	23
3	25	38	12,3

Tabla 3. Parámetros para el cálculo de  $X_o$ ,  $Y$ ,  $W$ ,  $DPS$  y  $D_{II}$  según la norma cubana.

No. Pozo	Ho (m)	T (m/s)	Kd (m/d)	$\Delta h$ (m)	L (m)	lo (adim)	Ux (m/d)
1	25,36	100	3,9432	20	15267	0,0013	0,0051
2	38	100	2,6316	20	6932	0,0029	0,0076
3	25,7	100	3,8911	20	16213	0,0012	0,0047

Tabla 4.  $X_o$ ,  $Y$ ,  $W$ ,  $DPS$  y  $D_{II}$  calculados y multiplicados por el factor seguridad 1.3 según la norma cubana

No. Pozo	Parámetros calculados					Parámetros multiplicados por el factor de seguridad (1,3)				
	$X_o$ (m)	Y (m)	W (m)	DPS (m)	DII (m)	1,3* $X_o$	1,3*Y	1,3*W	1,3*DPS	1,3*DII
1	-30,63	96,16	192,32	1215,47	405,16	-39,82	125,01	250,02	1580,12	526,71
2	-49,42	155,18	310,36	2872,11	957,37	-64,25	201,74	403,48	3733,75	1244,59
3	-33,18	104,17	208,34	1376,35	458,79	-43,14	135,43	270,86	1789,26	596,42

En la tabla 5, se observan las dimensiones  $X_o$ ,  $Y$ ,  $W$ ,  $DPS$  y  $D_{II}$  de las zonas de protección obtenidas tanto por el cálculo mediante la norma cubana vigente en nuestro país, así como los obtenidos mediante el modelo matemático utilizado, donde se observa un coeficiente de correlación de 0,99; con una diferencia entre los dos métodos que van desde los 8m hasta 214 m en la extensión de la  $DPS$ , siendo el modelo WhAEM (Haitjema and Kraemer, 2018) el que se comporta con una variación mayor en los valores con respecto a la NC, como se puede observar en la figura 7, figura 8 y figura 9, donde aparecen representados los dos métodos para los tres pozos estudiados.

Tabla 5 Dimensiones de las zonas de protección sanitarias según ambos métodos

No. Pozo	Norma Cubana (con factor de seguridad)					WhAEM					Coeficiente de correlación
	$X_o$ (m)	Y (m)	W (m)	DPS (m)	DII (m)	$X_o$ (m)	Y (m)	W (m)	DPS (m)	DII (m)	
1	-39,82	125,01	250,02	1580,12	526,71	-51,58	133,35	266,7	1638,7	571,73	0,99
2	-64,25	201,74	403,48	3733,75	1244,59	-68,12	264,53	529,06	3801,64	1030,09	0,99
3	-43,14	135,43	270,86	1789,26	596,42	-68,26	149,21	298,42	1952,77	459,33	0,99

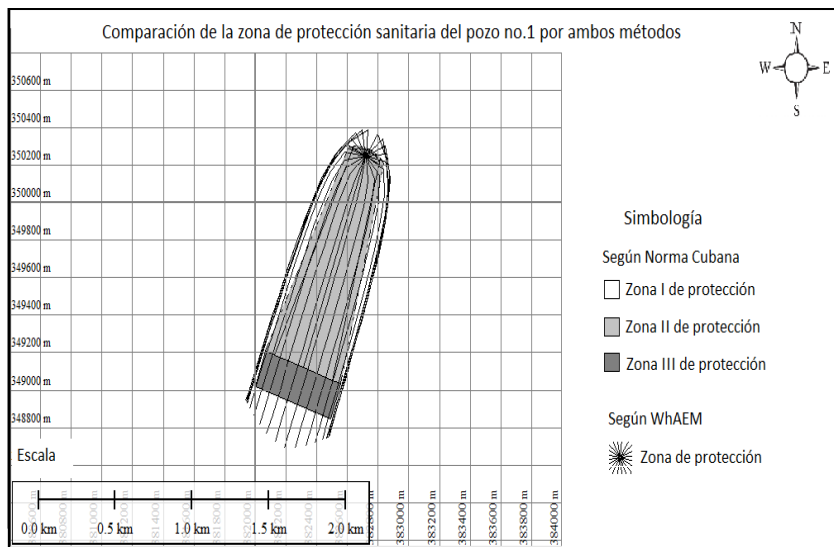


Figura 7. Comparación de las zonas de protección del pozo 1 según ambos métodos.

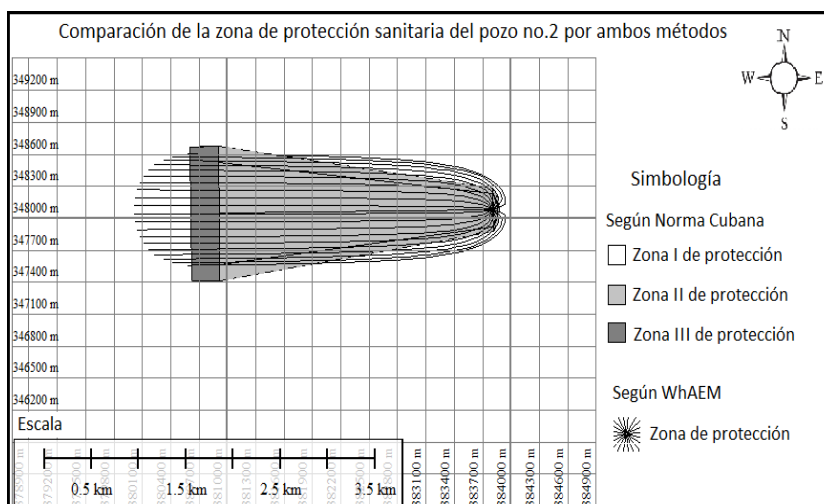


Figura 8. Comparación de las zonas de protección del pozo 2 según ambos métodos.

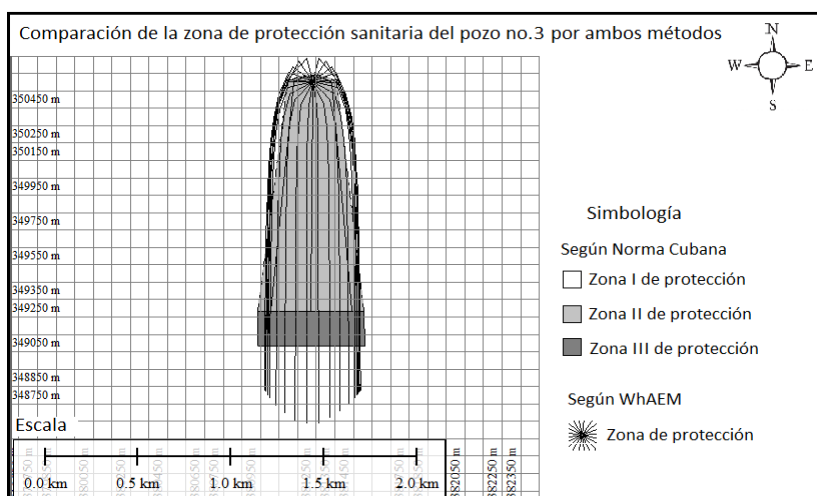


Figura 9. Comparación de las zonas de protección del pozo 3 según ambos métodos.

Los resultados alcanzados por los dos métodos permiten valorar de forma positiva el modelo del WhAEM con respecto a la NC 1192: 2017, lo cual permite que se determine la ZPS, en aquellos pozos

que no se cuente con los datos hidrogeológicos completos, haciendo más fácil la obtención de las diferentes zonas, ya que además de dar valores similares a la NC, el programa nos brinda una salida gráfica.

## 05 CONCLUSIONES

Se pudieron determinar y actualizar las tres zonas de protección sanitarias de las fuentes de abasto de San José por los dos métodos seleccionados, la norma cubana vigente y por el modelo matemático WhAEM. Arrojando una correlación entre los dos métodos del 99%, lo cual significa que se pueden utilizar cualquiera de los dos métodos para determinar la ZPS.

Las zonas de protección sanitarias deben ser actualizadas periódicamente para asegurar que se están tomando en cuenta los últimos descubrimientos en toxicidad y otros factores relevantes.

Ambos métodos tienen sus limitaciones y pueden ser mejorados mediante el uso de datos más precisos y estudios más detallados de los efectos de las sustancias químicas, estos métodos pueden ser complementarios y utilizados en conjunto dependiendo de la situación y el grado de conocimiento sobre los riesgos asociados.

## 06 REFERENCIAS

**Haitjema H. and Kraemer S.** (2018). WhAEM (Nº de versión 3.3.2). Windows. Environmental Protection Agency (EPA). <https://www.epa.gov/ceam/wellhead-analytic-element-model-whaem>

**Pérez Franco D.** (1982). Hidráulica Subterránea. Editorial Científico Técnica, La Habana, Cuba. ISSN:0138-6026

**Ramírez M. F.** (2007). Estudio del proceso de tratamiento químico—Físico de coagulación—Floculación en residuales líquidos. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Tesis de grado en opción al título de Ingeniero Químico. <https://dspace.uclv.edu.cu/xmlui/handle/123456789/1287>.

**Rodríguez R., Torres I., Suárez Y., García O. y Beltrán J.** (2011). Nivel de contaminación por hidrocarburos del petróleo en zonas costeras de Cuba (p.9). <https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/3564/047%20NIVEL%20DE%20CONTAMINACION%3%93N%20POR%20HIDROCARBUROS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

### CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

### CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

**Roxana Aymeé Luis Winograd** <https://orcid.org/0000-0002-4758-4045>

Realizó contribuciones en la interpretación de los datos. Participó en el diseño de la investigación, análisis de los resultados y en la revisión y redacción del artículo.

**Dianet Valladares Hernández** <https://orcid.org/0009-0003-9533-6956>

Trabajó en el procesamiento de los datos, haciendo contribuciones en el análisis e interpretación. Participó en la búsqueda de información y elaboración de los mapas.