



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



INFORME REFERATIVO
En opción al título de Ingeniero Hidráulico



*TÍTULO: PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN
DE LAS FUENTES DE ABASTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL
ACUÍFERO HOLGUÍN.*

Diplomante: José Manuel Martínez García

*Tutores: MSc. Ing. Alain Paneque Martínez
Ing. Jorge Bosch Ortiz*

Santiago de Cuba, Julio 2020

"Año 62 de la Revolución"

Dedicatoria:

Este trabajo de diploma está dedicado a las personas más importantes en mi vida:

A mis padres José M. Martínez y Madeleyne García los cuales han ayudado incondicionalmente a terminar mis estudios y formarme como un profesional a mi padrastro Ronny Gonzales que ha sido un segundo padre para mí.

A mis abuelos José Martínez y Adaris Céspedes por brindarme su confianza en todo momento he inculcarme una buena educación en el transcurso de mi vida para poder formarme como humano y profesional.

A mis hermanos Manuel José Martínez y Karla del Pilar por estar siempre presente cuando los necesité, por su preocupación hacia mis estudios y tener plena confianza en mí.

A mis abuelos Elidio García y Nilsa Hernández y mis tías y primos por estar presentes de una forma u otra han estado pendiente siempre y en cada uno de los momentos del transcurso de mi carrera universitaria.

Agradecimientos:

Agradezco a mis tutores Jorge Bosch Ortiz y Alain Paneque Martínez por su apoyo y dedicación a tiempo completo al trabajo de diploma.

A todos los profesores que de una manera u otra ayudaron a formarme académicamente para convertirme en un profesional.

A toda mi familia que me apoyo y me aconsejaron y estuvieron presente en todo momento enseñándome el camino correcto en todo momento.

A mis amigos Navarrete, William, Jay y en especial a Surelis Cambar, que de una forma u otra, siempre se mantuvieron incondicionalmente en los momentos más difíciles de convivencia y estudios demostrándome una gran amistad y comprensión.

Resumen

Las cuencas hidrográficas además de ser los territorios donde se verifica el ciclo hidrológico, son espacios geográficos que presentan una determinada disponibilidad de recursos renovables y no renovables; así mismo son los territorios más apropiados para llevar a cabo la gestión y estudio integral de los recursos hídricos de una región, debe presentar además un plan de manejo ambiental que de manera detallada, establece las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles efectos o impactos ambientales negativos causados en desarrollo de un proyecto, obra o actividad. Tomando como punto de partida esto, la presente investigación se propuso como objetivo general, realizar la propuesta de un plan de manejo ambiental de las aguas subterráneas del acuífero de la ciudad de Holguín. Este estudio se llevó a cabo a partir de la evaluación de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de finales del año 2019 brindados por el laboratorio provincial de calidad del agua “ENAST” de la ciudad de Holguín. Los resultados fundamentales obtenidos fueron: la caracterización físico-geográfica y socio-económica del acuífero Holguín, la caracterización de los recursos hídricos subterráneos de la zona, la identificación y evaluación de los principales problemas que afectan las aguas subterráneas de dicho acuífero y una propuesta de un plan ambiental para el mejoramiento de la calidad del agua subterránea en la zona de estudio. Esta investigación servirá como base imprescindible para el futuro obtener una Gestión Integral de los recursos hídricos y el manejo integral de la cuenca.

Summary

The basins hidrográficas besides being the territories where the hydrological cycle is verified, they are geographical spaces that present a renewable and nonrenewable certain availability of resources; likewise they are the most appropriate territories to carry out the administration and integral study of the resources hídricos of a region, it should also present a plan of environmental handling that in a detailed way, it establishes the stocks that they are required to prevent, to mitigate, to control, to compensate and to correct the possible goods or impacts environmental negatives caused in development of a project, it works or activity. Taking as starting point this, the present investigation intended as general objective, to carry out the proposal of a plan of environmental handling of the underground waters of the aquifer of the city of Holguín. This study was carried out starting from the evaluation of the physiochemical and bacteriological analyses of final of the year 2019 toasted by the provincial laboratory of quality of the water "ENAST" of the city of Holguín. The obtained fundamental results were: the physical-geographical and socio-economic characterization of the aquifer Holguín, the characterization of the resources underground hydric of the area, the identification and evaluation of the main problems that affect the underground waters of this aquifer and a proposal of an environmental plan for the improvement of the quality of the underground water in the study area. This investigation will serve like indispensable base for the future to obtain an Integral Administration of the resources hydric and the integral handling of the basin.

Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
<u>DESARROLLO.....</u>	<u>6</u>
CAPITULO I: REVISION BIBLIOGRAFICA DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SU CALIDAD.....	6
1.1 Introducción a la Gestión Ambiental de las aguas subterráneas.....	6
1.2 Evolución y conceptualización de la Gestión ambiental de las aguas subterráneas.....	7
1.3 Aguas subterráneas. Importancia, uso y protección.....	9
1.3.1 Importancia de las aguas subterráneas.....	10
1.3.2 Uso y explotación de las aguas subterráneas como fuente de abasto.....	11
1.4 Calidad de las aguas.....	13
1.4.1 Control de la calidad de las aguas en las fuentes de abasto de agua subterránea en el mundo.....	15
1.4.2 Resultados y Control de la calidad de las aguas en las fuentes de abasto de agua subterránea en Cuba y Holguín.....	16
<u>2.0 CAPÍTULO II: PLAN DE MANEJO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....</u>	<u>19</u>
2.1 Ubicación geográfica y clima.....	20
2.2 Desarrollo industrial y agrícola.....	21
2.3 Hidrogeología.....	21
2.3.1 Análisis de las características de las aguas subterráneas en la zona de estudio....	21
<u>2.4 Resultados de la evaluación de la calidad de las aguas.....</u>	<u>26</u>
CONCLUSIONES.....	29
RECOMENDACIONES.....	30
BIBLIOGRAFÍA.....	31

INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso imprescindible para la vida. El 70% de la superficie terrestre está cubierta por agua, de la cual sólo el 2,5% de la misma es agua dulce. De este reducido porcentaje, escasamente el 1% del total del agua del planeta puede ser utilizado por los seres vivos.

El agua subterránea, en particular, es uno de los recursos naturales más valiosos, ya que muchas de las áreas urbanas y rurales de los países dependen de este recurso. Según el Doctor en Ciencias del Medio Ambiente por la Universidad de Málaga Alberto Jiménez, de los 37 millones de km³ de agua dulce estimados en la Tierra, alrededor del 22% existe como agua subterránea, lo cual constituye aproximadamente el 97% del agua dulce en estado líquido disponible para el uso humano.

El agua subterránea es un recurso natural reconocida como fuente de abasto económica y segura de agua potable, tanto en el medio urbano como en el medio rural. A pesar de ello frecuentemente no se le ha dado la importancia y el significado que tiene para el bienestar del ser humano y de muchos ecosistemas. A escala mundial, los acuíferos están experimentando una creciente amenaza de contaminación causada por la urbanización, el desarrollo industrial y las actividades agrícolas entre otras. Por lo que es de gran necesidad llevar a cabo acciones prácticas destinadas a proteger la calidad natural del agua subterránea.

De hecho, se requieren medidas de protección especiales para todos los pozos (tanto públicos como privados) cuya función es la de proveer agua potable o con calidad equivalente, ello incluiría aquellos utilizados para el procesamiento de alimentos y bebidas, pues recurrir a procesos de tratamiento para alcanzar estos fines (más allá de la desinfección preventiva), debería considerarse como medida de último recurso, si consideramos su complejidad técnica y elevado costo, además de la carga operativa que ello implica.

Muy a menudo, en el pasado los recursos hídricos subterráneos han sido en efecto abandonados a su suerte. Con frecuencia, quienes dependen de estos recursos para el suministro de agua potable no han adoptado ninguna acción significativa para

asegurar la calidad natural del agua, ni han realizado esfuerzos adecuados para evaluar los peligros potenciales de contaminación. Tales evaluaciones son necesarias para proveer una apreciación más clara de las acciones que se requieren para proteger la calidad del agua subterránea contra el deterioro.

Desde la cumbre de Río de Janeiro en el año 1992 hasta nuestros días, el mundo ha sido testigo de un intenso repuntar en la conciencia ambiental manifestada en la proliferación de grupos organizacionales de toda índole, la creación de instituciones públicas y privadas dedicadas al tema, la celebración de múltiples conferencias, talleres, reuniones y la aprobación de cientos de leyes y reglamentos en todo el mundo e incluso de diversos convenios ambientales internacionales (CITMA, 2002). Sin embargo, lamentablemente es también en esta etapa donde se han incrementado todas las tendencias negativas al medioambiente, en especial, las guerras constituyen un ejemplo muy claro de maltrato al ambiente y a la especie humana.

Las cuencas hidrográficas en todo el mundo son áreas muy vulnerables a estos problemas y es ahí donde el hombre ha desarrollado su vida durante miles de años, sin tener en cuenta muchas veces su responsabilidad sobre el cuidado y la protección de las mismas (Valdivia et al., 2004).

Los problemas ambientales requieren un enfoque global para su solución donde, además de la tecnología, se tenga en cuenta el aspecto social mediante una transformación real de las aptitudes, actitudes y comportamiento, de los actores sociales. Es un proceso lento y largo, en tanto que la degradación avanza de forma rápida y con dimensión global, que implique la aplicación de estrategias encaminadas a minimizar o erradicarlos. Por ello, es necesario contar con mecanismos que enfrenten las situaciones abordadas, con una estrecha relación entre economía y Medio-Ambiente. (Valdivia et al., 2004).

Cuba no está ajena a todo este proceso que internacionalmente se desarrolla. Muestra de ello es la labor del Estado en las acciones realizadas al respecto, a lo largo de más de cinco décadas. Tal es el caso de la implementación de la Ley 81 sobre el Medio Ambiente que plantea, en el artículo 110: “La gestión ambiental en las cuencas hidrográficas se realizará de conformidad con la legislación vigente y se

basará en un manejo integral que asegure que las actividades económicas y sociales se efectúen a partir de una adecuada protección y uso racional de los recursos naturales y el medioambiente”.

La cuenca, sus recursos naturales¹ y sus habitantes poseen condiciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales que les confieren características distintivas. Este es un aspecto importantísimo a tener en cuenta a la hora de tomar cualquier acción a favor de la protección de las aguas subterráneas.

Según señala Fernández (2014), las cuencas hidrográficas dado su carácter sistémico constituyen el escenario recomendable para llevar a cabo la gestión ambiental de las aguas subterráneas. De tal forma que las aguas subterráneas no se pueden tratar como un elemento aislado en la naturaleza.

Las aguas subterráneas contenidas en el acuífero Holguín, se encuentran distribuidas en la cuenca hidrográfica del mismo nombre. Esta es una cuenca densamente poblada, que abarca casi la totalidad del Municipio cabecera de la provincia de igual nombre, con una extensión territorial de 655.9 Km² y una población aproximada de 344 428 habitantes.

Dada la insuficiente garantía de abasto de agua de fuentes superficiales y la carencia de agua potable para el consumo humano, los pobladores de la zona residencial de dicho municipio, consumen agua de pozos vinculados al acueducto de la ciudad de Holguín. Sin embargo se han observado irregularidades en la composición química y bacteriológica² que inciden directamente en la garantía de la calidad de esta agua y que atentan contra la salud y el bienestar de la población. Esta problemática es muestra de la insuficiente gestión ambiental de las aguas subterráneas, manifestada a través de:

- La falta de control de los focos contaminantes que inciden directamente y afectan a los pozos.
- La indisciplina social, dada la proliferación de micro vertederos

¹ Las aguas subterráneas constituyen uno de los recursos naturales del subsistema físico de las cuencas hidrográficas

² Presencia de microorganismos patógenos (coliformes fecales y E. Cooli), cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales.

- Insuficiencias en las zonas de protección sanitaria de los pozos
- Desconocimiento de la población sobre el uso y cuidado del agua, dada la proliferación de enfermedades transmitidas por el agua.

Teniendo en cuenta el impacto social que está ocasionando la creciente escasez de agua con calidad, se plantea como **problema científico** a resolver en esta investigación: *la insuficiente gestión ambiental de las aguas subterráneas del acuífero Holguín incide en la protección de las fuentes de abasto y atenta contra la calidad de las mismas.*

Siendo el **objeto de estudio** *la gestión ambiental de las aguas subterráneas*. En correspondencia con el problema expuesto se propone como **objetivo general**: *desarrollar una propuesta de Plan de Manejo Ambiental con vistas a mejorar la protección de las fuentes de abasto y mitigar los efectos negativos sobre la calidad del agua subterránea.*

Para guiar la investigación se plantean los siguientes **objetivos específicos**:

1. Elaborar el marco teórico-práctico referencial de la investigación sobre bases conceptuales, enfoques y tendencias actuales relacionadas con la gestión ambiental de las aguas subterráneas y su calidad.
2. Diagnosticar el estado ambiental de las fuentes de abasto de aguas subterráneas del acuífero Holguín.
3. Diseñar una propuesta de Plan de Manejo para la gestión de las aguas subterráneas del acuífero Holguín

Se define como **campo de acción**: la calidad de las aguas de las fuentes de abasto subterráneas del acuífero Holguín. Para dar solución al problema científico se plantea la **hipótesis de investigación** siguiente: Si se desarrolla un plan de manejo ambiental del acuífero Holguín, se contribuirá a la protección del acuífero y a la mejora de la calidad de las aguas de las fuentes de abasto subterránea.

El aporte de la investigación se sustenta en la elaboración de un plan de manejo ambiental con el objetivo fundamental de viabilizar y brindar un orden de ejecución de acciones que favorezcan la gestión ambiental de las aguas subterráneas en el acuífero Holguín y contribuir a la protección y al uso racional de este recurso.

Para ello se estructuró este informe referativo en dos capítulos los cuales son: Capítulo I: Marco Teórico-Práctico Referencial de la Investigación sobre la gestión ambiental de las aguas subterráneas y su calidad y el Capítulo II que aborda una sección de propuesta del Plan de manejo de las aguas subterráneas en la ciudad de Holguín.

DESARROLLO

CAPITULO I: REVISION BIBLIOGRAFICA DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE LA GESTIÓN AMBIENTAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SU CALIDAD

1.1 Introducción a la Gestión Ambiental de las aguas subterráneas.

En el presente capítulo se aborda una fundamentación teórica de los orígenes y planteamientos básicos de la Gestión Ambiental, sus conceptos, principios, instrumentos y estado actual en nuestro país, sus logros, metas, objetivos, componentes del sistema de gestión ambiental, la gestión en cuencas hidrográficas, la planificación en cuencas hidrográficas, que servirá de marco teórico para la propuesta de un “Plan de Manejo Ambiental para la protección de las aguas subterráneas del acuífero Holguín”, es importante precisar que para abordar el tema de la gestión de cuencas hidrográficas es necesario incursionar en la gestión ambiental en el sentido amplio por ser precedente, más abarcadora e integrada, dado que la gestión de cuenca es un tipo particular de gestión ambiental. El hilo conductor para la construcción del marco teórico práctico referencial se llevó a cabo según se muestra a continuación:

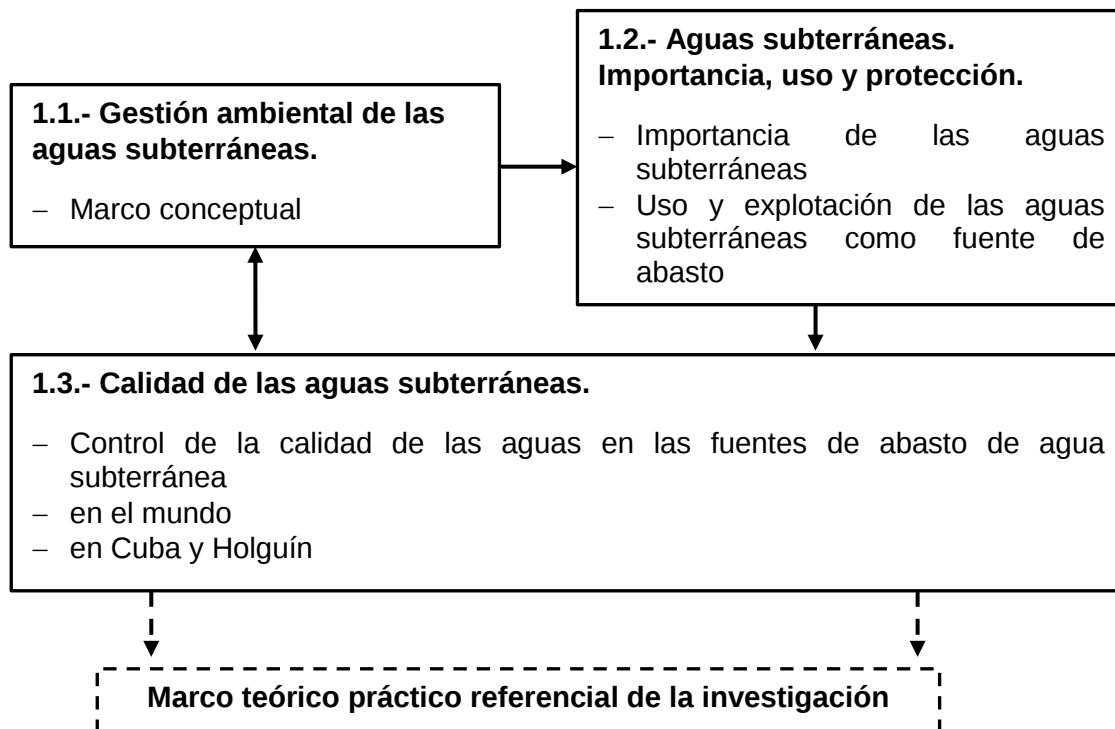


Fig. # 1 Esquema del marco teórico práctico referencial.

1.2 Evolución y conceptualización de la Gestión ambiental de las aguas subterráneas.

La gestión ambiental es un proceso que está orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, entendido éste “como aquel que le permite al hombre el desenvolvimiento de sus potencialidades y su patrimonio biofísico y cultural y, garantizando su permanencia en el tiempo y en el espacio”.

La gestión ambiental, según la Ley no 81/97 de la República de Cuba en el artículo 8 define también como, “el conjunto de actividades, mecanismos, acciones e instrumentos, dirigidos a garantizar la administración y uso racional de los recursos naturales mediante la conservación, mejoramiento, rehabilitación y monitoreo del medio ambiente y el control de la actividad del hombre en esta esfera. La gestión ambiental aplica la política ambiental establecida mediante un enfoque multidisciplinario, teniendo en cuenta el acervo cultural, la experiencia nacional acumulada y la participación ciudadana”.

El agua es un recurso imprescindible para la vida en el planeta Tierra, además de formar parte importante de todos los organismos, es indispensable para realizar las actividades antropogénicas, se utiliza principalmente en el sector agrícola, público e industrial. Su uso deteriora su calidad, y en algunos casos, provoca contaminación de cuerpos de agua superficiales, mantos freáticos y suelo. La gestión del agua en zonas urbanas representa un desafío a nivel mundial y nacional, es un recurso estratégico para este siglo y debe ser administrado con inteligencia y visión estratégica para lograr maximizar las posibilidades de desarrollo de las sociedades, su calidad de vida y la productividad de sus economías.

La gestión del agua en zonas urbanas representa uno de los mayores desafíos en la actualidad. Como ha sido documentado desde el año 2008 más de la mitad de población mundial reside en las ciudades y se pronostica que para el año 2030 la población urbana alcanzará los 5,000 millones de habitantes (UNFPA, 2004). Por lo tanto, el enorme reto que representa el suministro adecuado de agua potable, el saneamiento y la conservación ambiental, en condiciones climáticas cada vez más

extremas, ha llevado a la sociedad a explorar nuevos enfoques y estrategias en la gestión del agua.

En la búsqueda de estos planteamientos que brinden soluciones a un amplio rango de objetivos, aunque a veces contradictorios, ha surgido la gestión integrada de recursos hídricos, (GIRH), que se ha perfilado como uno de los enfoques más aceptados a nivel mundial en los últimos años (Andrade, 2004).

La GIRH promueve una visión holística del agua para encontrar soluciones integrales al suministro, la calidad, el control de inundaciones, la conservación de ecosistemas acuáticos, la solución de conflictos entre usuarios y diversos usos (GWP y TAC 2000). No obstante, a pesar del amplio reconocimiento de este enfoque, existen diversos obstáculos que han impedido su implementación efectiva, entre los que destaca la falta de herramientas que permitan establecer metas claras y evaluar el progreso de las acciones (Pahl-Wostl et al., 2005).

En Cuba, las aguas subterráneas ocupan el 31% del volumen total del agua que se consume anualmente para satisfacer necesidades de la actividad económica y social (CITMA, 2001). Estas estadísticas reflejan la importancia de proteger este recurso vital.

En los últimos años ha sido creciente la preocupación de la sociedad ante la degradación de la calidad de los recursos hídricos subterráneos. Cada vez existe mayor conciencia sobre la necesidad de desarrollar una gestión ambientalmente segura de las aguas subterráneas.

Según (Herráiz, 2016) la explotación de las aguas subterráneas requieren inversiones sumamente pequeñas si se comparan con las de las aguas superficiales. Su coste es casi siempre mucho menor que el del agua proporcionada por presas y canales, que suele estar fuertemente subvencionada. Esto ha sido el motor fundamental del aumento del aprovechamiento de las aguas subterráneas. Su costo reducido ha inducido un aumento de las extracciones que en algunos casos han producido problemas de bajada de niveles, disminución de caudales de

ríos, desecación de zonas húmedas y subsidencias del terreno, pero en general han producido beneficios importantes.

El empleo de las aguas subterráneas ha sido muy positivo, ya que ha contribuido por una parte a reducir de modo muy significativo la escasez de alimentos y, por otra parte, ha facilitado el suministro de agua potable a centenares de millones de seres humanos, tanto en las zonas rurales y económicamente deprimidas, como en países altamente industrializados.

El hecho de que en aquellos lugares en que existe agua subterránea, es relativamente fácil captarla sin recurrir a la realización de obras costosas y de un largo período de ejecución, ha provocado que, en general, haya habido una tendencia a aprovechar en mayor proporción los recursos de agua subterráneas para el abastecimiento de las poblaciones y la agricultura (Fernández & Du Mortier, 2012). En investigaciones realizadas por Fernández (2014) se analiza a profundidad el concepto de gestión ambiental de las aguas subterráneas. Tomando como punto de partida estos análisis se asume para el propósito de la presente investigación la definición conceptual propuesta por esta autora, la que plantea que la gestión ambiental de las aguas subterráneas son *“las acciones, mecanismos e instrumentos ejecutados por organismos competentes en conjunto con la participación ciudadana para conservación, protección y mejoramiento del recurso agua subterránea con vistas a garantizar su uso racional y sostenible, a través de una integralidad física, administrativa, tecnológica y social”*. (Fernández, 2014).

1.3 Aguas subterráneas. Importancia, uso y protección.

El agua es un recurso socioeconómico escaso y vital. La creciente demanda de agua para fines tanto domésticos como industriales amenaza la sostenibilidad de las aguas subterráneas, y afecta a la agricultura, la silvicultura, la industria y el agua potable. Es esencial que los recursos hídricos sean gestionados de manera estratégica y sostenible.

El agua subterránea es la principal fuente de agua potable para la mitad de la población mundial. Es importante que los países en desarrollo puedan proteger y optimizar los recursos de agua subterránea que tengan, por limitados que estos

sean. El agua subterránea que ha resultado contaminada a consecuencia de actividades relacionadas con el uso de la tierra afecta a la salud pública y al medio ambiente. La industria es la mayor fuente de contaminación del agua en los países en desarrollo. Las escorrentías, especialmente el agua de las inundaciones, son otro importante agente contaminante debido a las muchas sustancias diferentes que, a través de ellas, llegan a los sistemas de agua dulce.

1.3.1 Importancia de las aguas subterráneas

En los últimos años se han podido presenciar ciertas evidencias del cambio climático y de sus impactos en los recursos hídricos. Estos impactos modifican el escurrimiento superficial y la recarga de los acuíferos. Las aguas subterráneas son una fuente crítica de agua potable para casi la mitad de la población mundial, además de suplir necesidades de irrigación en la agricultura. Por otro lado, éstas son también importantes para el sostenimiento de corrientes, lagos, humedales y otros ecosistemas asociados.

El flujo subterráneo en acuíferos poco profundos forma parte del ciclo hidrológico, y resulta afectado por la variabilidad y el cambio climático por efecto de procesos de recarga y por la intervención humana en numerosos lugares. Los niveles subterráneos de numerosos acuíferos del mundo han experimentado una tendencia decreciente durante los últimos años, aunque ello se debe, por lo general, al bombeo de agua subterránea a un mayor ritmo que la recarga, y no a una disminución freática relacionada con el clima.

Los impactos directos del cambio climático sobre los procesos naturales pueden ser exacerbados por las actividades humanas. La extracción en exceso de aguas subterráneas, por ejemplo, podrían ser necesitadas en áreas donde hayan recursos hídricos contaminados o insostenibles causado por sequías o inundaciones. Los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos subterráneos están, por lo tanto, vinculados a otros cambios globales que incluyen el crecimiento poblacional, la urbanización, el cambio en el uso de la tierra, que se juntan a otras tendencias socio-económicas y políticas. La respuesta de estas aguas subterráneas a los mencionados cambios globales es una compleja función que depende de la

variabilidad del cambio climático, la topografía, las características propias de los acuíferos, la dinámica de la vegetación, y de la actividad humana.

1.3.2 Uso y explotación de las aguas subterráneas como fuente de abasto.

El 28 de julio de 2010, la asamblea general de las naciones unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que el agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos.

El uso del agua es el factor de relación entre el hombre y el agua. El agua es fundamental para la supervivencia humana, y su preservación depende de su uso racional.

Aunque los usos a que se destina el agua cambian en función del país, la agricultura es la actividad de mayor consumo. En promedio global, el 73% del agua extraída de la tierra se destina a ese propósito.

Regulaciones para la explotación de las aguas.

En Cuba las aguas subterráneas se distribuyen en 167 cuencas, zonas y tramos hidrogeológicos importantes, totalizando un área acuífera efectiva de aproximadamente 37.000 Km², lo que equivale al 32% del territorio nacional. Casi todas las cuencas subterráneas son libres y abiertas al mar, siendo su principal y casi única fuente de alimentación las precipitaciones pluviales, lo que indica la importancia de la correcta explotación y observación sistemática del régimen de las mismas.

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos es el organismo rector del agua en Cuba, y desde 2017 el país cuenta con una Ley de las Aguas Terrestres que regula todo lo referente con el uso y protección de este recurso.

Protección de las aguas.

El concepto de "gestión ambiental del agua" se refiere a un criterio de organización del recurso y de su protección. Ahora bien, debido a que población y el agua aprovechable se hallan irregularmente distribuidas, la disponibilidad local de agua

varía de modo notable. Los balances entre evaporación y precipitación realizados país por país dividen el mundo entre países ricos y países pobres en agua. Islandia, por ejemplo, tiene un exceso de precipitación que suministra 68.500 metros cúbicos de agua por persona y año. En el otro extremo, los habitantes de ciertos lugares de África del norte, no tienen ningún acceso al agua dulce natural y dependen de la desalinización del agua del mar. Además, las tasas de consumo por persona difieren de un país a otro: el estadounidense medio consume más de 70 veces la cantidad de agua al año que uno de Ghana en África.

1.4 Calidad de las aguas.

La contaminación del agua se define en general como el proceso de degradación o deterioro de la calidad natural como resultado de la actividad humana y con ello, cada una de las actividades antrópicas se considera una fuente potencial de producir contaminación.

La calidad del agua subterránea responde a una serie de parámetros físicos, como temperatura, densidad y conductividad eléctrica; químicos, es decir, sustancias disueltas que se han incorporado al agua a través de procesos naturales, éstas por lo general son inorgánicas y están en estado iónico, DQO y DBO, pH, alcalinidad, dureza y materia orgánica. Entre las sustancias inorgánicas disueltas en las aguas subterráneas se encuentran los iones mayoritarios (cloruros, sulfatos, nitratos, bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio y potasio), iones minoritarios y elementos traza, además de virus, bacterias, algas, hongos y protozoos. En Cuba la norma cubana NC 1021-2014 HIGIENE COMUNAL — FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA — CALIDAD Y PROTECCIÓN SANITARIA, establece los requisitos sanitarios de los sistemas de abastecimiento público de agua desde la captación del agua en la fuente de abasto hasta su almacenamiento y distribución y se aplica a todos aquellos sistemas que sean administrados por cualquier entidad con fines de producción de agua potable, así como en los proyectos de nuevas obras, remodelaciones y ampliaciones.

La falta de agua potable y de saneamiento básico constituye la segunda causa de morbilidad y mortalidad en los menores de cinco años en la región de Latinoamérica

y son los factores de riesgo más importantes de contagio con enfermedades asociadas al ambiente. (OPS; 2011)

El saneamiento básico es el conjunto de acciones de más bajo costo para eliminar higiénicamente las excretas y las aguas residuales y tener un medio ambiente limpio y sano tanto en la vivienda como en las proximidades de los habitantes. La combinación del abastecimiento de agua potable salubre y el saneamiento higiénico es la condición previa para obtener resultados satisfactorios para la salud de la población. (OMS 2016)

Las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua para el consumo humano tienen una gran repercusión en la salud de las personas, pues se estima que en el mundo un elevado por ciento de las enfermedades se debe a la contaminación con el agua no potable. (ONU 2016)

La calidad del agua potable es una cuestión que preocupa a todos los países del mundo, tanto en desarrollo como desarrollados, por la importancia que tiene para la salud de la población. (OPS 2016 Nota descriptiva N°391)

La organización mundial de la salud (OMS) ha elaborado guías internacionales relativas a la calidad del agua y a la salud de las personas en las que se basan los reglamentos y las normas de los países de todo el mundo para garantizar así la calidad del agua potable.

En Cuba se implementa un sistema de vigilancia y control para asegurar que el agua llegue a los hogares con la calidad necesaria. Durante años se han realizado investigaciones que apoyan este sistema de vigilancia y que permiten identificar las áreas de mayor riesgo sanitario y los lugares de menor acceso al agua potable, analizar las posibles consecuencias para la salud de la población y estudiar las enfermedades causadas por la contaminación hídrica, entre otros aspectos encaminados a garantizar la mejor calidad de vida de la población.

No obstante, la importancia del agua para la vida, las cifras en torno a la escasez, mala gestión y mala calidad del recurso hídrico son alarmantes. Algunos datos: más de dos mil millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable; más

de cuatro mil millones y medio de personas carecen de acceso a servicios de saneamiento; cerca de medio millón de niños y niñas menores de cinco años mueren cada año a consecuencia de enfermedades relacionadas con el agua; la escasez de agua ya afecta a cuatro de cada diez personas; y el 8% de las aguas residuales regresan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas. (Organización Mundial de la Salud (2017): 2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro)

1.4.1 Control de la calidad de las aguas en las fuentes de abasto de agua subterránea en el mundo.

La instauración y operación de redes nacionales de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas apoya de manera eficaz el manejo sustentable de la calidad de las aguas subterráneas, proporciona información valiosa para la evaluación del estado actual y los pronósticos en cuanto a la calidad de las aguas subterráneas y ayuda a esclarecer y analizar los alcances en tiempo y espacio de los procesos naturales y el impacto humano sobre los sistemas de aguas subterráneas. Los mapas hidro-químicos que describen los tipos de productos químicos que existen en las aguas subterráneas y su calidad son instrumentos útiles para propósitos de normatividad y manejo, y ayudan a que los responsables de planeación tomen decisiones informadas y ambientalmente compatibles con respecto a la protección de las aguas subterráneas y la conservación de su calidad.

Según la ONU en los ODS al 2030, en el caso de las aguas subterráneas, la detección de la contaminación y la evaluación de sus efectos presentan mayor dificultad que en las superficiales. Mientras en éstas la identificación de la fuente de contaminación y su control es más fácil, en un acuífero los problemas en la calidad del agua suelen detectarse cuando la contaminación ha afectado ya a amplias zonas del mismo. Por eso es tan importante realizar una protección adecuada de los acuíferos.

El monitoreo del agua subterránea es fundamentalmente diferente al monitoreo del agua superficial y necesita una estrategia diferente.

La amplia experiencia con la directiva marco del agua de la unión europea-caracterización del estado de la calidad del agua subterránea y los estudios nacionales sobre la calidad del agua subterránea del United States Geological Survey (Servicio Geológico de los Estados Unidos; USGS) ilustran claramente que la interpretación confiable del estado del agua subterránea y de las tendencias requiere de estudios intensivos y periódicos sobre una base sistemática, acuífero por acuífero, con datos de apoyo sobre las presiones antrópicas y la dinámica del acuífero, además del monitoreo regular y a largo plazo de unas pocas estaciones de monitoreo seleccionadas para mejorar la interpretación.

1.4.2 Resultados y Control de la calidad de las aguas en las fuentes de abasto de agua subterránea en Cuba y Holguín.

Un informe emitido por los Ministerios de Salud Pública y el entonces Instituto de Hidro-economía en marzo 1987 denominado “El problema de los nitratos en las aguas subterráneas de Cuba”, La Habana 1987, consideró que en las cuencas o las fuentes de abastecimiento de agua de casi todas las provincias existía afectación por nitratos y que las provincias con mayor afectación en relación con la contaminación por este elemento en fuentes de abasto de aguas subterráneas eran Camagüey, Las Tunas y en menor grado Cienfuegos y Holguín(Cañas P.R., 1992).

Los resultados señalaban un incremento paulatino de la concentración de los nitratos en fuentes de abastecimiento de agua que alcanzaban niveles superiores a la norma de concentración máxima permisible para Cuba que es de 45 mg/l.

(Cabrera MJ, 1998), plantea que la intoxicación por sustancias metahemoglobinizantes en Cuba, al referirse a los lactantes, es la fuente fundamental de intoxicación en esta edad por el agua contaminada por materia fecal, los fertilizantes, los plaguicidas y los alimentos (fórmula basal de carne conservada inadecuadamente).

En la actualidad en la mayor reserva de agua potable subterránea de Santiago de Cuba. Los cursos de aguas de la cuenca se utilizan como desagüe de desechos de la actividad humana doméstica, industrial, agrícola y ganadera. Existen 117 focos de

contaminación de diversas instituciones estatales, además de los numerosos asentamientos humanos que vierten aguas albañales y desechos de todo tipo al cauce de la cuenca. A pesar de la evidente contaminación, las aguas del río San Juan son utilizadas para el regadío de cultivos (Naranjo, (2005)).

Calidad del agua subterránea en la provincia de Holguín.

Para conocer la calidad de las fuentes de agua subterránea los especialistas realizan diferentes muestreos a partir de estudios hidro-químicos verticales efectuándoseles análisis físico –químico de los mismos con el apoyo del laboratorio de la Unidad Empresarial de Base (U.E.B) de Análisis y Servicios Técnicos de Holguín (ENAST).

Los resultados se obtienen de los pozos de mayor importancia, ya que por cuestiones económicas, resultaría muy encarecido el proceso de realizarle estudios a todos los pozos particulares o estatales existentes en la provincia.

Los resultados se alcanzan a partir de estudios de las muestras, estas son tomadas de manera mensual en función de obtener correlaciones numéricas que sirvan de base al estudio hidrogeológico del manto subterráneo dando valores de volumen, mientras que por otro lado se le realiza a la mayoría de los pozos el mismo estudio de manera semestral, los cuales indican la calidad de los mismos.

A pesar de la gran variabilidad de los elementos presentes en el agua subterránea y de la de sus concentraciones éstos han sido clasificados completando algunos de los requerimientos de la Norma Cubana NC-1021 del 2014 sobre Higiene comunal-fuente de abastecimiento de agua-calidad y protección sanitaria la misma contiene un grupo de requisitos sanitarios para declarar un agua potable, en las pruebas efectuadas se analiza solamente una parte de todas las determinaciones que contiene la norma ya que alguna se dejaron de realizar debido al alto valor monetario que implicaban y porque en el registro histórico que poseía la delegación provincial se mantenían constantes los valores de muchas de estas determinaciones. Por lo que se decidió continuar realizando los análisis a la que más variaciones poseían.

De manera general se obtuvieron los siguientes resultados:

- Las clasificaciones hidro-químicas de las aguas de mayor predominancia en el territorio fueron Bicarbonatadas Magnésica para un 15%, Cloruradas Sódica para un 10.4%.
- Las aguas subterráneas se ven afectadas principalmente por los Nitritos y la Salinidad.
- La situación de las ZPS de los pozos de abasto a población (INRH y pozos propios) y de las franjas forestales para la protección de los embalses, fundamentalmente de aquellos destinados al abasto para el consumo humano no cumplen con la NC 1192-2017 DETERMINACION DE LAS ZONAS DE PROTECCION SANITARIAS EN FUENTES DE ABASTO DE AGUAS SUBTERRANEAS debido fundamentalmente a:
 - Existencias de cercados perimetrales que no cumplen al 100 % con lo establecido (cercas de cardonas, de alambre de púa, etc.)
 - Fuentes sin posibilidades de establecer las ZPS por estar ubicadas colindantes con viviendas particulares, al lado de caminos, en zonas de inundaciones de ríos, etc.
 - Presencia de corraletas y animales pastando en las ZPS.

Por lo general los estudios realizados en el período 2005-2019 reportaron afectaciones de nitratos, nitritos, sales solubles totales y coliformes por encima de las normas en las fuentes de abasto a la población según los resultados del laboratorio de la empresa nacional de análisis y servicios técnicos del INRH certificada con la norma NC ISO: 2008.

CAPÍTULO II: PLAN DE MANEJO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se denomina plan de manejo ambiental al plan que, de manera detallada, establece las acciones que requieren para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles efectos o impactos ambientales negativos causados en desarrollo de un proyecto, obra o actividad; incluye también los planes de seguimiento, evaluación, monitoreo y los de contingencia. El contenido del plan puede estar reglamentado en forma diferente en cada país. Es además el plan operativo que contempla la ejecución de prácticas ambientales elaboración de medidas de mitigación, prevención de riesgos, de contingencias y de implementación de sistemas de información ambiental para el desarrollo de las unidades operativas o proyectos a fin de cumplir con la legislación ambiental y garantizar que se alcancen estándares que se establezcan.

Es necesario aclarar que debido a la situación epidemiológica que atravesó el país en los últimos meses, solo se pudo trabajar en el recurso agua, haciendo énfasis en las aguas subterráneas de los puntos más representativos en el municipio de Holguín.

En la zona residencial del municipio de Holguín, provincia de Holguín, los pobladores consumen agua de pozos vinculados al acueducto de la ciudad de Holguín, las aguas de estos pozos pueden estar contaminadas por elementos químicos y microorganismos patógenos como los Coliformes fecales y E. Cooli., representando un riesgo para la salud de bebés, niños pequeños y personas adultas con sistema inmunológico comprometido.

Holguín es el Municipio cabecera de la provincia de igual nombre, con una extensión territorial de 655.9 km² limita al norte con los municipios Gibara y Rafael Freyre, al sur con Cacocum y Báguanos, al este con los municipios Báguanos y Rafael Freyre al oeste con el municipio Calixto García y una población aproximadamente de 344 428 habitantes, que abarca repartos, zonas urbanas y rurales.

Los microbios que provocan enfermedades (patógenas) y están presentes en las heces, causan diarreas, cólicos, náuseas, cefaleas u otros síntomas, representando

un riesgo para la salud de bebés, niños pequeños y personas adultas con sistema inmunológico comprometido. Debido a la diversidad de usos del agua y a la cantidad y variedad de sus contaminantes, los criterios de calidad actuales necesitan un número muy alto de parámetros analíticos.

Teniendo en cuenta el impacto social que está teniendo la creciente escasez de agua y la discutible calidad de esta en muchos casos, se hace necesario el estudio físico químico y bacteriológico de las aguas destinadas al consumo humano.

2.1 Ubicación geográfica y clima.

La zona estudiada está delimitada en el este de la ciudad de Holguín, Se ubica en la hoja cartográfica: 4978-IV (Holguín), a escala 1: 50 000. Los límites del área de estudio: Están determinados por los siguientes puntos:

Tabla N° 1: Coordenadas del área de los trabajos.

Punto	X	Y
1	564 321.06	251 891.86
2	564 321.06	245 059.63
3	560 011.74	245 077.83
4	559 995.80	251 948.63

La cuenca donde está situada la ciudad de Holguín se enmarca en el clima tropical húmedo de sabana donde se destacan 2 períodos, uno húmedo de noviembre a abril con promedio de precipitaciones de 800 mm y un período seco de mayo a octubre con precipitaciones que alcanzan valores de 400 mm como promedio.

2.2 Desarrollo industrial y agrícola.

Las mayores industrias de Holguín no están comprendidas en el estudio ya que están fuera del centro poblacional comprendido dentro de la circunvalación. El desarrollo agrícola en esta zona es muy limitado, consiste principalmente en organopónicos y áreas de frutales, hacia la periferia de la ciudad. La capa vegetal es poco potente y hay predominio de matorrales, con algunos pastizales y pocos árboles de gran envergadura.

2.3 Hidrogeología.

La zona de estudio se encuentra sobre la región hidrogeológica Maniabón y según investigaciones hidrogeológicas realizadas en la zona (Peña, 2005), las rocas presentes en el área presentan cierta acuosidad, están constituidas por micro gabros que en la parte superior del corte aparecen fracturados y fisurados, pero a medida que se profundizan son menos agrietados. Son rocas de poca permeabilidad (8.26 m/día) con transmisibilidad (86.80 m²/día) y un coeficiente de almacenamiento de 0.141. Es característica la presencia de pozos con caudales entre 1L/s y 3 L/s que ocasionalmente alcanzan 15 L/s.

Según información extraída de la tesis de maestría realizada por la Licenciada en Geografía Haymée Borjas García en el año 2006 "Gestión Ambiental de la Micro cuenca del Río Jigüe" en la que se realizó un diagnóstico ambiental muy detallado de esta micro cuenca, encargado por la DPRH Holguín, tenemos que: En las Aguas Subterráneas: Los pozos se caracterizan generalmente por tener caudales por debajo de los 5 L/s, característica de los pozos en la provincia Holguín por ser pobres en recursos subterráneos.

En sentido general la calidad del agua presenta una gran contaminación, Los elementos contaminantes que se evidencian en las aguas son: Nitritos (NO₂), Nitratos (NO₃), Amoníaco y Bacilos Coli, teniendo como agentes contaminadores la materia fecal procedente de fosas y letrinas.

2.3.1 Análisis de las características de las aguas subterráneas en la zona de estudio.

Una vez analizado el área objeto de estudio, se procedió al análisis de las principales características de los pozos seleccionados:

1. Sistema de Bombeo “Pipeo Pedro Díaz Coello”. Pozo-101

Pozo de abasto a la población, situado en el Reparto “Pedro Díaz Coello”, en el que se encuentra el punto de pipeo más importante del acueducto de Holguín, tanto por el volumen como por la calidad del agua que se entrega, razón por la que es muy importante hacer todo lo que sea necesario para preservar esta calidad. Sin embargo en esta estación de bombeo no se cumple con las zonas de protección sanitaria establecidas por la NC: 93-01-2019, ya que no está debidamente cercada la zona I de régimen estricto, el tránsito de vehículos y de personas es constante a su alrededor, se observan micro-vertederos cercanos.



Foto # 1. Pozo 101.

2. Sistema de Bombeo Pipeo 18 Plantas. Pozo -571

Pozo de abasto a la población, situado en el reparto Plaza de la Revolución, donde se encuentra otro punto de pipeo importante del acueducto de Holguín, por el volumen y por la calidad del agua que se entrega, razón por la que es necesario realizar acciones urgentes para preservar esta calidad. En esta estación de bombeo no se cumple con las zonas de protección sanitaria establecidas por la NC 93 01 209, ya que aunque está cercada la Zona I (de régimen estricto), el tránsito de

vehículos y de personas es constante en su interior. Se observan focos de vectores y micro-vertederos aledaños a la cerca perimetral. Además hay salideros en los tanques y tuberías de agua que abastecen a las pipas, lo que favorece que por los mismos puedan entrar bacterias que contaminen el agua.



Foto # 2. Pozo 571

3. Sistema de Bombeo Acueducto Viviendas Piedra Blanca. Pozo 627.

Perteneciente al acueducto municipal de la ciudad de Holguín, el cual está ubicado en el reparto “Piedra Blanca” y abastece a un tanque elevado tipo hongo “GT-350” de 300m³ de capacidad que le da agua a los edificios multifamiliares existentes en este reparto. Según refiere su delegado este barrio tiene buenas condiciones desde el punto de vista habitacional, tiene alcantarillado, recogida sistemática de la basura, no hay focos contaminantes visibles, buena cooperación y organización de los vecinos. Sin embargo, la calidad del agua del pozo no es buena pues tiene una elevada salinidad, dureza total alta y nitratos también por encima de los tenores máximos establecidos en la norma de agua potable vigente.



Foto # 3. Pozo 627.

N°	Fecha	Punto de muestreo	CE $\mu S/cm$	pH U	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	SST mg/l
1	28/3/19	H19 P-101 P.D. Coello	1033	8.0	26	0.01	28	0	512	82	32	89	54	1	-
1a	11/04/19	H19 P-101 P.D. Coello	1082	7.5	4	0.01	44	0	512	92	38	89	52	1	-
2	21/06/19	H47 P-627 Viv. P. Blanca	1380	7.1	56	0.00	85	0	525	177	24	122	108	2	1093
2a	27/06/19	H47 P-627 Viv. P. Blanca	1642	7.0	-	0.01	-	0	586	191	38	137	72	4	-
3	28/03/19	H29 P-571 Edif18 Plantas	478	8.0	19	0.01	26	0	518	82	36	79	72	2	-
3a	11/04/19	H29 P-571 Edif18 Plantas	969	7.2	16	0.01	29	0	438	106	40	72	80	1	-

Tabla # 1. Resultados de las pruebas de laboratorio para la calidad del agua. Pozo 1

	Fecha	Punto de muestreo	Tu NTU	Color UC	DT CaCO ₃ mg/l	NH ₄ Mg/l	SDT Mg/l	CT NMP/100ml	CF NMP/100ml	DQO Mg/l	DBO ₅ Mg/l	PO ₄ Mg/l	O ₂ Dis Mg/l
1	28/3/19	H19 P-101 P.D. Coello	1	5	450	0.01	987	30	30	-	-	-	-
1a	11/04/19	H19 P-101 P.D. Coello	2	5	452	0.01	891	2	2	-	-	-	-
2	21/06/19	H47 P-627 Viv. P. Blanca	2	5	570	0.01	1639	30	2	-	-	-	-
2a	27/06/19	H47 P-627 Viv. P. Blanca	1	-	665	-	1449	-	-	-	-	-	-
3	28/03/19	H29 P-571 Edif18 Plantas	2	5	405	0.01	935	2	2	-	-	-	-
3a	11/04/19	H29 P-571 Edif18 Plantas	2	5	-	0.01	421	140	80	-	-	-	-

Tabla # 2. Resultados de las pruebas de laboratorio para la calidad del agua. Pozo 2

Es decir que en general, en las instalaciones del acueducto municipal visitadas, se han detectado violaciones en cuanto al cumplimiento con las zonas de protección sanitaria de los pozos de explotación (en especial con la zona I), pues hay tránsito de personas dentro del área de régimen estricto, lo que representa un peligro para la calidad del agua de los mismos y pone en riesgo la explotación futura de estos acuíferos. Además dentro de la Zona II, se observan micro-vertederos, focos de vectores y depósitos de basura que deben ser eliminados o retirados de la misma. En el caso del Pozo P-627 el cercado presenta deficiencias en la puerta que permite la entrada de animales dentro de la Zona I.

Propuestas de medidas para mitigar la contaminación de estos puntos.

Para resolver estos problemas es necesario llevar a cabo entre otras las siguientes acciones:

- Realizar los trabajos necesarios para impedir el acceso de animales y de personas ajenas al trabajo de la Estación de Bombeo, dentro de la Zona I de las tres fuentes objeto de esta evaluación.
- Eliminar Micro-vertedero aledaño al Pozo P-101.
- Retirar Depósito de Basura cercano al P-571, así como eliminar salideros y charcos de agua existentes al lado de la cerca perimetral de la instalación.
- Reparar los Tanques de llenado de los carros cisternas de los Pozos 101 y 571, que presentan salideros.

2.4 Resultados de la evaluación de la calidad de las aguas.

Para la realización de esta evaluación se tomaron en cuenta los resultados de los ensayos físicos, químicos y bacteriológicos del muestreo de la red de calidad de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico en el período enero 2016 – enero 2019, cuyos resultados son entregados por el laboratorio de la ENAST en Holguín.

Punto de monitoreo: Pozo 101 “Pedro Díaz Coello”.

El análisis histórico del Pozo-101 PDC refleja que el mismo ha sido monitoreado desde enero de 2010 a enero de 2019 en 111 ocasiones, en las cuales se ha enmarcado dentro de la norma cubana de agua potable NC 827 del 2012 en los

parámetros: PH; nitratos; nitritos que han tenido siempre durante el período analizado un valor dentro de la norma (que es de 0,03) excepto en 31 muestras (el mayor valor de 0,85 mg/l en enero de 2015); sales solubles totales y sólidos disueltos totales muestran que este pozo siempre se ha mantenido con aguas clasificadas como dulces; cloruros, al igual que los sulfatos, siempre se han mantenido con valores de medios a bajos.

Sin embargo la dureza total (como carbonato de calcio) se ha mantenido en un rango entre 235 y 673 mg/l, pero en 28 ocasiones con valores por encima de la norma (400 mg/l); Coliformes totales mantienen valores bajos (entre 2 y 14 unidades en 100 ml) excepto en 2 muestreos que han arrojado 1100 y 1600 unidades entre agosto y noviembre de 2019 respectivamente.

En el monitoreo realizado en julio de 2019 para evaluar la presencia de metales pesados en este pozo, los contenidos obtenidos fueron de: cadmio 0,008 mg/l (algo por encima de lo permisible que es de 0,005 mg/l); cobre 0,02 mg/l (por debajo de 2 mg/l que es el lmp según norma); níquel 0,02 mg/l (en el lmp que es 0,02 mg/l según norma) ; plomo 0,04 mg/l (por debajo de 0,05 mg/l que es el lmp según norma) y zinc 0,02 mg/l (por debajo de 5 mg/l que es el lmp según la norma de agua potable).o sea, sólo el cadmio ha presentado una ligera desviación.

Punto de monitoreo: Pozo 571 (18 Plantas).

El análisis histórico del Pozo-571 (18 Plantas) refleja que el mismo ha sido monitoreado desde enero de 2015 a enero de 2019 en 114 ocasiones y los siguientes parámetros: ph; nitratos; nitritos han tenido siempre durante el período analizado un valor dentro de la norma (que es de 0,03) excepto en 26 muestras (el mayor valor de 0,89 mg/l en enero de 2014); sales solubles totales y sólidos disueltos totales muestran que siempre las aguas clasificaron como dulces; cloruros y sulfatos siempre se han mantenido con valores bajos; sin embargo en el caso de la dureza total (como carbonato de calcio) se han obtenido en 16 muestreos valores por encima de la norma (400 mg/l); coliformes totales se han mantenido con valores permisibles, excepto en 3 ocasiones (agosto 2013 y febrero 2014 con 1600 unidades en 100 ml y en mayo 2015 con 350 unidades).

En un monitoreo realizado en junio de 2019 para evaluar la presencia de metales pesados en este pozo, los contenidos obtenidos fueron de: cadmio 0,008 mg/l (algo por encima de lo permisible que es de 0,005 mg/l); cobre 0,02 mg/l (por debajo de 2 mg/l que es el Imp según norma); níquel 0,02 mg/l (en el Imp que es 0,02 mg/l según norma) ; plomo 0,04 mg/l (por debajo de 0,05 mg/l que es el Imp según norma) y zinc 0,36 mg/l (muy por encima de 5 mg/l que es el LMP según la norma de agua potable).

Punto de monitoreo: Pozo 627 (acueducto viviendas Piedra Blanca).

El análisis histórico del Pozo-627 (Acueducto Viviendas Piedra Blanca) refleja que el mismo ha sido monitoreado desde hace un tiempo, en 13 ocasiones, en los siguientes parámetros: potencial de hidrógeno (ph); nitratos siempre se han mantenido fuera de los valores permisibles para el consumo del agua por la población, pues en una sola ocasión se obtuvo un valor de 3 mg/l (en junio de 2015); cloruros en todos los monitoreos realizados han estado por debajo de 250 mg/l que es el Imp; sulfatos están en un rango entre 37 mg/l y 124 mg/l bastante por debajo del LMP, que es de 400 mg/l.

En el caso de los nitritos durante el período analizado sólo 2 veces han tenido su valor dentro de la norma (que es de 0,03) en junio de 2010 con 0 mg/l y en junio de 2016 con 0,01 mg/l, o sea, en todos los demás muestreos el agua ha resultado estar contaminada, con rangos de nitritos entre 0,014 (julio de 2007) y 0,72 (junio de 2015); sales solubles totales muestran sólo un valor de 838 mg/l en junio de 2019 dentro de lo permisible que es de 1000 mg/l, manteniéndose este pozo siempre con rangos entre 1093 mg/l y 1291 mg/l, o sea, aguas clasificadas como salobres, no aptas para consumo humano.

Dureza total (como carbonato de calcio) se han obtenido en 3 muestreos realizados valores por encima de la norma (rango 450 mg/l - 570 mg/l); Coliformes Totales alternan entre valores bajos solo en 2 ocasiones se obtienen valores por encima de la norma (500 y 1600 unidades en 100 ml).

En un monitoreo realizado en octubre de 2019 para evaluar la presencia de metales pesados en este pozo, los contenidos obtenidos fueron de: cadmio 0,008 mg/l (algo

por encima de lo permisible que es de 0,005 mg/l); cobre 0,04 mg/l (por debajo de 2 mg/l que es el Imp según norma); níquel 0,02 mg/l (en el Imp que es 0,02 mg/l según norma) ; plomo 0,06 mg/l (por encima de 0,05 mg/l que es el Imp según norma) y zinc 0,8 mg/l (por debajo de 5 mg/l que es el Imp según la norma de agua potable). El cadmio ha presentado una ligera desviación y el plomo tiende a incrementar con respecto al anterior muestreo de metales realizado en junio 2017.

Teniendo en cuenta el análisis físico químico y bacteriológico de las aguas subterráneas de cada punto estudiado y que según el concepto de que el agua potable es el agua que por cumplir con los requisitos físicos, químicos y microbiológicos establecidos en las normas de calidad de agua vigentes puede ser utilizada para el consumo humano, los resultados de los mismos arrojan que hay una tendencia a la contaminación fecal en algunos meses del año así como la dureza total que ha experimentado un incremento sustancial hasta finales del 2019. Las aguas subterráneas de este acuífero en su mayoría clasifican como aguas salobres no aptas para el consumo humano. Debajo se muestran los resultados más representativos de algunos parámetros de las aguas subterráneas del acuífero estudiado.

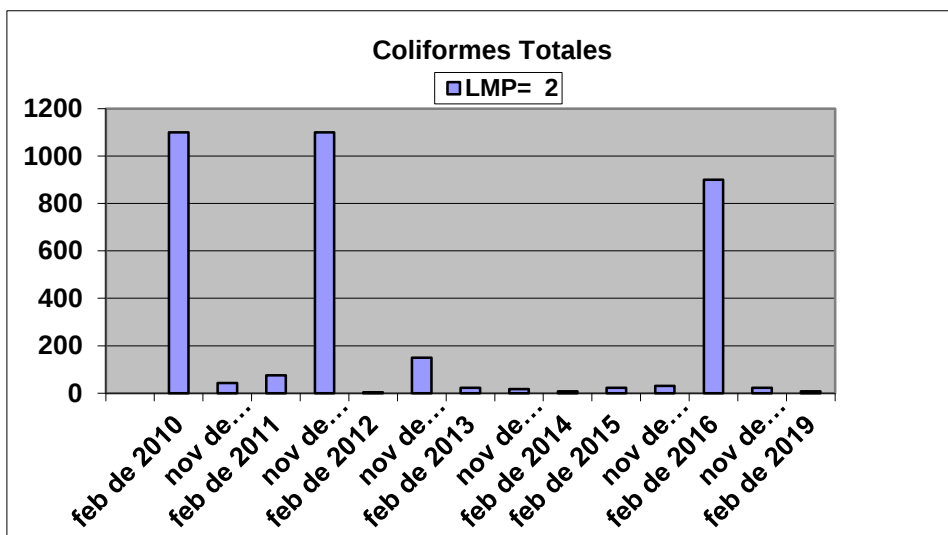


Fig. # 4 Concentración de los Coliformes Totales.

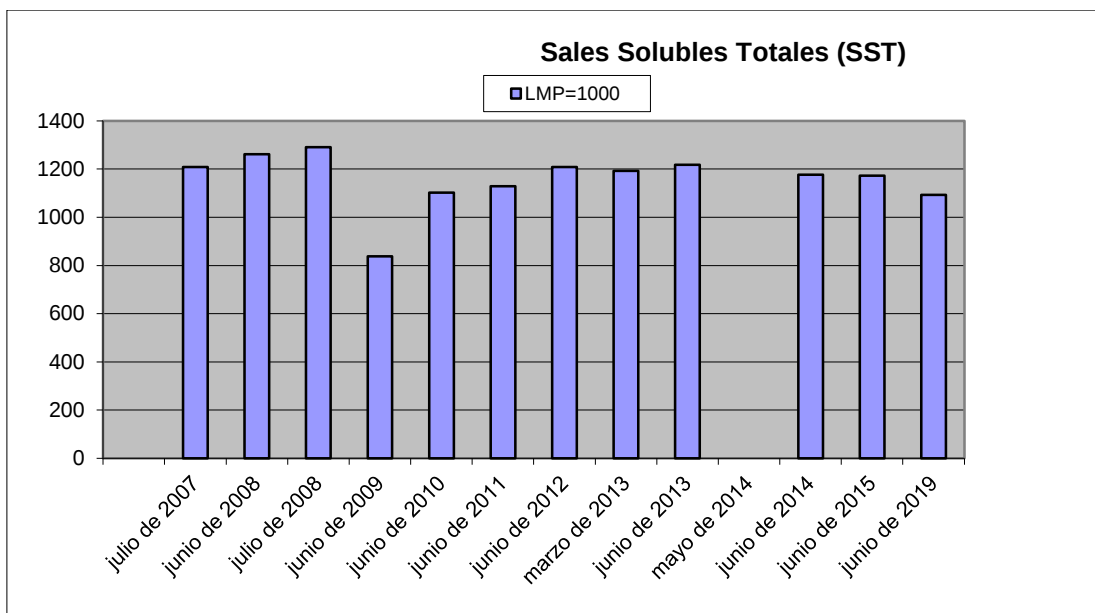


Fig. # 5 Concentración de las Sales solubles totales.

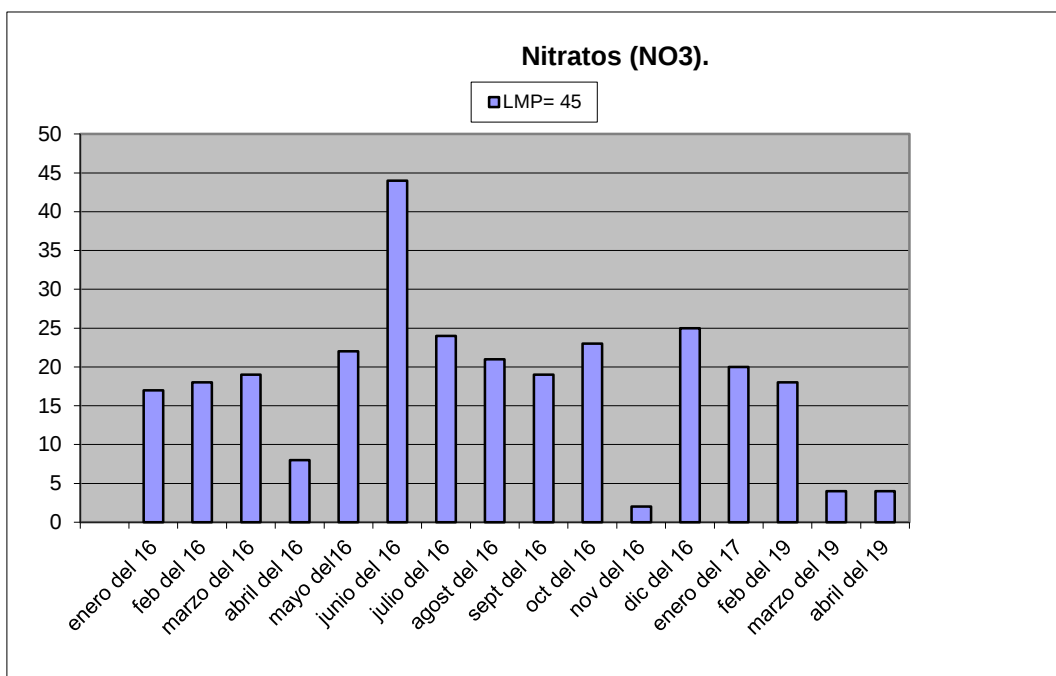


Fig. # 6 Concentración de Nitratos.

CONCLUSIONES

1. Durante los estudios realizados se comprobó que en la ciudad de Holguín existen serios problemas relacionados con la higiene que afecta la calidad de las aguas subterráneas, lo cual requiere de un saneamiento total.
2. Se evaluaron los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos de las aguas subterráneas del acuífero de la ciudad de Holguín.
3. Se proponen medidas para mitigar la contaminación de las aguas subterráneas en los pozos estudiados.
4. Las aguas subterráneas estudiadas en el acuífero de Holguín se clasifican como Bicarbonatadas Magnésica para un 15%, Cloruradas Sódica para un 10.4%.
5. De los elementos químicos determinados por el laboratorio, el nitrito, el NH_4 y la dureza total son los más afectados desde el punto de vista del cumplimiento de la norma.

RECOMENDACIONES.

1. Realizar un efectivo saneamiento ambiental en la ciudad de Holguín eliminando los vertederos y otros focos contaminantes para que se convierta en un lugar higiénico y saludable.
2. Evaluar las medidas propuestas para la confección de un futuro plan ambiental para el mejoramiento de la calidad del agua subterráneas del acuífero estudiado.
3. Continuar el monitoreo de las fuentes subterráneas de abasto a la población de la ciudad de Holguín para dar seguimiento a los problemas planteados.
4. Acometer un proyecto integral de saneamiento de las aguas superficiales que a su vez inciden en el acuífero subterráneo de la ciudad, que debe involucrar a los organismos pertinentes, organizaciones políticas y de masas, así como a la población.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Borjas García, (2006). Gestión Ambiental en la Micro-cuenca del Río Jigüe. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental. Universidad de Holguín.
2. IGP. (1985). Mapa Geológico de Cuba. Instituto de Geología y Paleontología. La Habana.
3. INRH. Política Nacional del Agua. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Cuba. 13 p.
4. Ivonnet Borrero y Pino Santiesteban (2017). Estudio de vulnerabilidad de acuíferos Fábrica de Refrescos de Holguín. Archivo Técnico de Raudal.
5. Ley 81 del Medio Ambiente. En Gaceta Oficial de la República de Cuba. Edición extraordinaria. 11 julio 1997. Asamblea Nacional del Poder Popular. 44 p.
6. NC 827: 2012 Agua potable-Requisitos Sanitarios. Oficina Nacional de Normalización. 12 p.
7. Peña, Damián (2005). Informe de Pozos Ciudad Holguín. DPRH Holguín.
8. Pino Santiesteban y otros (2017). Investigación Hidrogeológica para el Cambio de Tecnología y Ampliación de la Fábrica de Refrescos de Holguín. Archivo Técnico de Raudal.