

UNIVERSIDAD CENTRAL MARTA ABREU DE LAS VILLAS

FACULTAD DE CONSTRUCCIONES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



Trabajo de Diploma

**Título: Procedimiento de Identificación de Contaminantes en Cuencas
Hidrogeológicas**

Autor: Lisardo Manuel González Saavedra

Tutores: MSc. Dianeya Morales Arboláez

MSc. Luis Beatón Rodríguez

-2015-

PENSAMIENTO

La ciencia es la más alta realización de un país,
porque la nación impulsa el progreso del pensamiento y la inteligencia.

Louis Pasteur

DEDICATORIA

A mis padres que son mi razón de ser, por poner siempre mi educación por encima
de todo.

A mi hermano por estar desde el inicio hasta el fin de mi carrera para apoyarme en
todo.

A mi novia por dar alegría infinita a mi
vida.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, a mi hermano Juanfe, a mi novia Katherine por su amor y porque gracias a ellos hoy hago realidad uno de mis sueños.

A mis tutores, Dianeya y Luis Beatón por su orientación, y apoyo incondicional.

A mis profesores que han contribuido a mi formación profesional.

A mis compañeros de estudio.

A todas las personas que me han apoyado y de alguna manera han contribuido a mi formación intelectual, profesional y humana.

RESUMEN

El problema de la contaminación en las cuencas hidrogeológicas se hace muy frecuente en estos tiempos, debido a la diversidad de contaminantes que existen en la actualidad, y al derrame inadecuado de los desechos líquidos y sólidos en el medio ambiente.

En el presente trabajo se hace un estudio del procedimiento para la identificación de contaminantes en cuencas hidrogeológicas.

La Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de la provincia de Villa Clara no cuenta con este procedimiento por lo que este se hace muy útil para este trabajo.

La aplicación del procedimiento se aprecia en el ejemplo de estudio Cuenca VC I-I Dolores Chiqui Gómez, mediante el cual se refleja la importancia de evitar la contaminación en esta región.

Se realiza un estudio económico que evalúa el costo con la aplicación del procedimiento, y los diferentes costos que se pueden ocasionar sin el uso práctico de este procedimiento.

ABSTRACT

The problem of the contamination in the basins hidrogeologics becomes very frequent in these times, due to the diversity of pollutants that they exist at the present time, and to the unsuitable leak of the liquid waste and solids in the environment.

Presently work is made a study of the procedure for the identification of pollutants in basins hidrogeologics.

The Provincial Delegation of Hydraulic Resources of the county of Villa Clara doesn't have this procedure for that he becomes very useful for this work.

The application of the procedure is appreciated in the study example Cuenca VC I-I Dolores Chiqui Gómez, by means of which is reflected the importance of avoiding the contamination in this region.

He is carried out an economic study that evaluates the cost with the application of the procedure, and the different costs that can be caused without the practical use of this procedure.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. Contaminación de Cuencas Hidrogeológicas.....	5
1.1 El agua subterránea	5
1.1.1 Comportamiento del agua subterránea a nivel mundial.....	5
1.1.2 El agua subterránea en Cuba.....	7
1.2 Principales problemas de contaminación en aguas subterráneas.....	8
1.2.1 Problemas de contaminación del agua subterránea a nivel mundial.....	9
1.2.2 Principales problemas en Cuba	10
1.3 Tipos de contaminantes	12
1.4 Calidad de las aguas y problemas de contaminación.....	13
1.4.1 Tipos de contaminación según el contaminante	18
1.5 Distribución de agua en el suelo y subsuelo	22
1.6 Identificación de contaminantes en Cuencas Hidrogeológicas.	24
1.7 Consecuencia de la contaminación hidrogeológica en el Medio Ambiente	26
CAPÍTULO 2. Propuesta de un procedimiento para la Identificación de Contaminantes en una Cuenca Hidrogeológica.	31
2.1 Caracterización de contaminantes en Cuenca Hidrogeológica.....	31
2.2 Intrusión salina.....	32
2.3 Principios de transporte de los contaminantes en el subsuelo.....	34

2.4	Vulnerabilidad de la contaminación de las cuencas hidrogeológicas	37
2.5	Obtención de los índices de calidad del agua (ICA)	42
2.6	Procedimiento de Identificación de contaminantes en Cuenca Hidrogeológica	44
CAPÍTULO 3. Identificación de Contaminantes en Cuenca Hidrogeológica VC-1		
“Dolores–Sagua la Chica”		50
3.1	Bloque VC-I-1 “Dolores-Chiqui Gómez”	51
3.2	Procedimiento de Identificación de Contaminantes en el Bloque VC-I-1 “Dolores-Chiqui Gómez”	54
3.3	Identificación de Contaminantes sin la aplicación del procedimiento.	63
3.4	Valoración económica	66
CONCLUSIONES		79
RECOMENDACIONES		81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		82
ANEXOS		83

INTRODUCCIÓN

El agua es vital, eso lo comprendió el hombre desde los inicios de la civilización humana. Sin embargo, a lo largo de las primeras etapas del desarrollo humano, aunque el hombre no desarrolló actividades conservacionistas del medio ambiente, la dinámica de la producción y el consumo era sumamente reducido, prácticamente de subsistencia, por lo que podemos decir que existía inconscientemente, algo parecido a lo que hoy llamamos sostenibilidad, se vivía en armonía con la naturaleza.

Con el tiempo y el desarrollo de esas mismas comunidades aumentó el consumo de agua, y por consiguiente aumentó la contaminación de las mismas.

La contaminación producto de las actividades humanas hacia el recurso hídrico no es un problema moderno. Lo que ha cambiado a lo largo de la historia es la magnitud de los vertidos, la ocupación del espacio y los usos del recurso.

Las actividades humanas provocan gran cantidad de desechos y perturbaciones en el ciclo hidrológico y la circulación de las aguas. El resultado es, con frecuencia, una contaminación de las aguas, unas veces de forma depurable pero otras prácticamente irreversibles.

El agua superficial por estar en contacto inmediato con los residuos o desechos ve alterada su situación original casi de forma rápida; en cambio la contaminación del agua subterránea no será de la misma manera, debido a que entre el nivel de saturación de los materiales que conforman un acuífero y la superficie del terreno, se presentan materiales que limitan o retardan el paso de los fluidos, lo cual retrasa y en ocasiones impiden el paso de los contaminantes.

Esta aparente ventaja que tiene el agua subterránea sobre la superficial para preservar su calidad ante el ingreso de contaminantes, se convierte en una situación problemática al momento en que la contaminación llega a un acuífero, debido a que es mucho más complicado restablecer las condiciones originales de calidad del agua en el subsuelo, que en un cuerpo de agua superficial.

Nuestro planeta está compuesto por más del 70% de su superficie por agua, de la cual solo disponemos limitada y fija un total de 1,356 millones de km³.

En el presente trabajo se estudia el caso de la contaminación de la cuenca hidrogeológica VC-1 Dolores-Sagua la Chica perteneciente a la provincia de Villa Clara, que es la de mayor volumen de recursos hídricos tanto naturales como potencialmente explotables en la provincia, abastece numerosos e importantes usuarios: poblaciones como Remedios, Caibarién, Zulueta; el polo turístico de la Cayería Nordeste de Villa Clara; sistemas de riego de planes agrícolas, etcétera. Las aguas subterráneas constituyen, prácticamente, la única fuente de abasto existente en todo el territorio que abarca dicha cuenca. Esta cuenca es de gran importancia económica y social para el país debido a los sitios que abastece la misma.

En las cuencas hidrogeológicas se puede producir la contaminación por diferentes formas, ya sea por la acción del hombre, o como en un proceso natural del medio ambiente, de cualquiera de estas formas que se produzcan es importante identificar la contaminación, para lo cual se requiere un procedimiento a seguir.

Problema:

No se cuenta con un procedimiento de trabajo para identificar contaminantes en cuencas hidrogeológicas en la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de Villa Clara; lo cual puede producir una identificación incorrecta de los contaminantes en la región y provocar una mala ejecución de las actividades en secuencia inadecuada causando aumento en el costo del proceso.

Hipótesis:

Si se logra establecer un procedimiento para identificar las fuentes contaminantes en una cuenca hidrogeológica empleando los datos existentes que serán organizados, mediante los pasos que se incluyan en un procedimiento, se podrá dar respuesta a la problemática planteada.

En el presente trabajo se propone como objetivo general:

Realizar un procedimiento para identificar los contaminantes que se pueden generar en las cuencas hidrogeológicas para evitar plan de medidas inadecuadas en el cuidado y preservación de las aguas subterráneas evitando la contaminación de estas.

Y como objetivos específicos:

- Abordar la teoría relacionada con la acción de contaminantes en cuencas hidrogeológicas.
- Revisar la vulnerabilidad de contaminación en cuencas hidrogeológicas.
- Conocer los impactos ambientales generados por la contaminación en cuencas hidrogeológicas.
- Realizar análisis económico para la aplicación del procedimiento.

Para ello, se propone las siguientes interrogantes científicas:

- ¿Cuál es la situación actual en los conocimientos acerca de la identificación de contaminantes en cuencas hidrogeológicas?
- ¿Cómo evaluar la efectividad del procedimiento propuesto a través de datos existentes?

El informe se compone de una introducción. En la misma se refleja el estado del arte del tema en cuestión, la importancia y la necesidad del estudio, la situación problemática que dio origen al mismo, así como los objetivos perseguidos las interrogantes científicas formuladas en la búsqueda de la solución del problema. A continuación se presenta el capítulo 1 para abordar la teoría de la identificación de contaminantes en cuencas hidrogeológicas, como fundamentación teórica del tema. Luego, en el capítulo 2 se evidencia el procedimiento a seguir para la identificación de contaminantes para dicha cuenca y posteriormente en el capítulo 3 se procede a analizar los resultados obtenidos de la aplicación de dicho procedimiento en el bloque VC-I-1 de la cuenca hidrogeológica VC-I Dolores-Sagua la Chica buscando corroborar o no lo enunciado teóricamente en el capítulo anterior. Finalmente se arriba a conclusiones y recomendaciones como fruto del trabajo investigativo realizado.

CAPÍTULO 1. Contaminación de Cuencas Hidrogeológicas

1.1 El agua subterránea

Distribución del agua subterránea

El agua es un recurso renovable que cubre más del 70 % de la superficie terrestre, en un volumen estimado de 1 400 millones de km³, de los cuales el 97,5 % se encuentra en los mares y océanos, es decir, que es salada y el 2,5 % es dulce. De esta agua dulce el 79 % se encuentra en los casquetes polares, un 20 % es subterránea y solo un 1 % es de fácil acceso sobre la superficie de las tierras emergidas. (Rodríguez Córdova, 2002).

1.1.1 Comportamiento del agua subterránea a nivel mundial

Uso doméstico del agua subterránea

América del Norte y México

Muchas personas en América del Norte asocian el agua dulce con imágenes del correr de un río y lagos destellantes. Sin embargo, la realidad es que la mayoría del agua dulce líquida del mundo 97% según algunos cálculos no es visible, sino que yace en el subsuelo en los acuíferos (Sampat, 2000, Monroe y Wicander, 1994).

Parte de este agua subterránea fría, limpia y en lento movimiento es un legado del pasado y se ha almacenado en los acuíferos por hasta 10,000 años (Environment Canadá, 1999). La abundancia del agua varía con amplitud en América del Norte. Canadá, por ejemplo, es relativamente rico: posee alrededor de 9% del agua dulce accesible y renovable del orbe. La gran mayoría de ésta es subterránea, cuyo volumen se calcula en 37 veces más grande que el del agua de los lagos y ríos del país.

A la luz de los patrones de asentamiento casi todos los canadienses viven en una estrecha banda en la parte sur del país, mientras que muchos de los ríos fluyen hacia el norte rumbo al Ártico, 90% de la población tiene acceso a sólo 40% del agua (Labelle and Forge, 2001)

Recursos renovables de Agua Dulce

Tabla 1.1: Recursos renovables de Agua Dulce.

LUGAR	Km ³ / años
Canadá	2.849,5
Estados Unidos	2.459,1
México	359,5
América del Norte	5.668,1

Como se aprecia en el cuadro que continuación se detalla, alrededor de 198 millones de habitantes de América del Norte dependen de las aguas subterráneas para beber, lavar, retirar los residuos y otros usos domésticos. Más de un cuarto de los residentes de Canadá, la mitad de los de E.U.A y dos tercios de los de México usan agua subterránea para usos domésticos.

Tabla 1.2: Población que depende del agua subterránea para uso doméstico.

País	Población dependiente de agua subterránea (millones)	Porcentaje de la población total
Canadá	7.9	27%
Estados Unidos	130	50%
México	60	66%

En EU y en México la mayoría del agua subterránea que se extrae se emplea en el sector agrícola para irrigación y para abrevar al ganado. En Canadá, el uso

doméstico rivaliza con el agrícola en importancia. Fuente: World Water Vision, 1999 con base en varias fuentes.

1.1.2 El agua subterránea en Cuba

Conociendo que Cuba es una isla de pequeña extensión, rodeada de agua y con pocos ríos caudalosos, con las precipitaciones como única fuente de alimentación al manto, y por su característica de ser un país con gran empleo de la agricultura, el agua subterránea tiene vital importancia.

El agua subterránea en Cuba se caracteriza por manifestarse en volúmenes considerables; por la facilidad de captación de la misma debido a su poca profundidad y por la calidad, lo que la hace apta para múltiples usos y exigencias. (Espinosa, 2006)

En Cuba existen aproximadamente 165 unidades hidrogeológicas principales (cuencas, tramos y zonas) y de ellas unas 80 de gran envergadura. La inmensa mayoría de estas unidades son del tipo de acuífero libre, cárnicos y de llanuras; más del 80 % en cuencas abiertas, con drenaje al mar, por lo que presentan el peligro de la intrusión marina, fenómeno difundido en una parte importante de estas cuencas. (Mapa Hidrogeológico Nacional, Flores et al., 2000).

La distribución de estos recursos no es igual en todo el territorio nacional. Así la zona occidental (Pinar del Río, Artemisa y Mayabeque, Ciudad de La Habana, Isla de la Juventud, Matanzas) es la que presenta un mayor volumen de aguas subterráneas (50 % de los recursos potenciales totales subterráneos y 60 % de los recursos disponibles evaluados). Hay provincias completas que dependen prácticamente del agua subterránea exclusivamente como Matanzas, Ciego de Ávila, y gran parte de La Habana y Ciudad de La Habana. (Mapa Hidrogeológico Nacional, Flores et al., 2000).

Sin embargo la mayor parte de las provincias orientales y algunas centrales, tienen su principal recurso en las aguas superficiales, aunque en algunos casos ambos recursos, superficiales y subterráneos, tienen un amplio aprovechamiento. La región

central, desde Villa Clara hasta Camagüey, presenta el 28 % y 34 % de los recursos subterráneos totales y disponibles, respectivamente, quedando para la región oriental el 22 % y 6 %, respectivamente. (Almeida, 2013)

Distribución en Villa Clara:

En la provincia de Villa Clara los Recursos Hídricos Potenciales (RHP) ascienden a 2,677 km³, de ellos 1,950 km³ corresponden a aguas superficiales en 20 cuencas hidrográficas y 0,726 km³ a subterráneas en 13 cuencas hidrogeológicas. Por otra parte, los Recursos Hídricos Aprovechables RHA se evalúan en el orden de 1,728 km³, de ellos 1,241 km³ corresponden a aguas superficiales y 0,487 a aguas subterráneas (Balance Hídrico 2008, EAH Empresa de Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos de Villa Clara).

1.2 Principales problemas de contaminación en aguas subterráneas

Los principales problemas de contaminación de las aguas subterráneas consisten en la presencia de especies químicas de naturaleza orgánica o inorgánica disueltas en el agua y en la acumulación de dichos compuestos sobre la matriz sólida de los acuíferos. El origen de la contaminación de las aguas subterráneas se encuentra en algunos procesos naturales (mineralización por lixiviación, concentración por evapotranspiración) y especialmente, en la actividad humana a través de la construcción de fosas sépticas. Además del uso exhaustivo de productos químicos, con la consiguiente descarga, intencionada o accidental, de sustancias contaminantes. Paralelamente, la contaminación de las aguas superficiales puede provocar una transferencia de agentes contaminantes hacia las aguas subterráneas, ya sea por los procesos de infiltración natural o por los de infiltración forzada por la extracción de aguas subterráneas. (Monerris, 2010)

Otro problema asociado a la contaminación de las aguas subterráneas se encuentra en la dificultad para localizar las fuentes de contaminación. Ello se debe, en primer lugar, a que la contaminación tiene lugar a nivel subterráneo y no se detecta hasta que alcanza algún pozo de extracción que, además, puede estar situado a gran distancia de la zona de entrada de contaminantes al acuífero. (Valdés, 2003)

Otro ejemplo de contaminación es el uso de plaguicidas en la agricultura. Por otro lado, la mayoría de los contaminantes más frecuentemente encontrados en las aguas subterráneas son incoloros, inodoros y estando en niveles bajos de concentración, no apareciendo signos alarmantes de polución (color, olor, presencia de peces muertos, etc.) como ocurre en muchas ocasiones en las aguas superficiales. Mención aparte merecen los problemas de salinización de acuíferos. La contaminación del agua subterránea puede permanecer por largos períodos de tiempo. Esto se debe a la baja tasa de renovación y largo tiempo de residencia, ya que al agua subterránea no se le puede aplicar fácilmente procesos artificiales de depuración como los que se pueden aplicar a los depósitos superficiales, por su difícil acceso (Mouriño, 2001). Actualmente, los contaminantes del agua subterránea que más preocupan son los compuestos orgánicos industriales, como disolventes, pesticidas, pinturas, barnices, o los combustibles como la gasolina. En cuanto a los abonos químicos minerales, los nitratos son los que generan mayor preocupación.

1.2.1 Problemas de contaminación del agua subterránea a nivel mundial

Existen problemas de contaminación de las aguas subterráneas a nivel mundial que muestran gran repercusión en el medio.

Estos problemas de contaminación se encuentran en diferentes países, aunque los más vulnerables son los países subdesarrollados, debido a su baja posibilidad económica de enfrentar los problemas de contaminación que se producen, aunque los desarrollados no escapan de esta tragedia.

En España:

En España el agua es de origen subterráneo. Con ella se atiende a las necesidades de más de un tercio de la población y se riega algo menos que un tercio de la superficie total regada. En las zonas más secas es la fuente fundamental de agua, mientras que en zonas más húmedas, como Galicia, es un recurso complementario.

Las contaminaciones puntuales no son un grave problema, exceptuando algunas zonas muy concretas en núcleos industriales o junto a grandes poblaciones.

El problema más preocupante es el de los altos niveles de concentración de nitratos en algunos depósitos de aguas subterráneas.

El otro proceso preocupante es el de entrada de agua salada en los acuíferos, este problema es especialmente acuciante en la zona mediterránea, en acuíferos cercanos a la costa. Estos acuíferos limitan con aguas subterráneas salinas, situadas bajo el mar, y cuando se retira demasiada agua dulce de ellos, la interface se desplaza, penetrando el agua salina en zonas en las que sólo había agua dulce hasta entonces.

Otro ejemplo de la contaminación en aguas subterráneas, es el que se presenta en el bajo valle del Ganges. Allí se da un caso grave de contaminación por arsénico que está causando la intoxicación crónica a decenas de millones de personas, irremediable hasta ahora.

América del Norte:

En Estados Unidos se ha tornado en un problema a lo largo de la costa del Atlántico, de Cape Cod a Miami (NCR, 2000). Una vez contaminados con agua salada, los acuíferos no se pueden usar con fines de agua potable o irrigación y permanecerán salobres durante un tiempo largo.

1.2.2 Principales problemas en Cuba

Los principales problemas de contaminación de las aguas subterráneas en nuestro país se producen en la región urbana, debido a que se originan mayores cantidades de desechos por consumo de la población.

Sagua la Chica, Cuenca Hidrogeológica VC-I-1 “Dolores-Chiqui Gómez”:

Desde principios de la década de los años 80 se detectó un aumento en la salinidad (contenido de sales solubles totales —SST) de las aguas subterráneas captadas para abasto a la ciudad de Caibarién, fenómeno que tuvo su causa en la violación de los parámetros de explotación recomendados.

La dureza (contenido de iones de Ca y Mg, expresado en me/l) de las aguas subterráneas difundidas en este tramo presenta gran variabilidad en su valor y

distribución espacial: las aguas ligeramente duras (de 3 a 6 me/l) ocupan la mayor parte meridional y puntos aislados.

Caso cuenca sur de la Habana:

El acuífero de la cuenca Costera Sur, está conformado por calizas de diferente composición y distintos grados de carsificación, así como por areniscas calcáreas y conglomerados.

Las aguas dulces se encuentran estrechamente relacionadas con las aguas altamente mineralizadas. Esta zona de contacto se profundiza desde la costa hacia el norte, estando más cerca de los niveles de bombeo en la parte central de Cuenca Sur, en la cual se extiende la cuña salina hasta 14 km de la costa.

Es una cuenca cársica de llanura, con espesor hasta 200 m, con cobertura de suelos ferralíticos muy permeables y con la característica peculiar de no tener una red definida de drenaje superficial, por lo que toda el agua que cae en ella, en términos generales, se infiltra o se evapotranspira. (Valdés, 2011)

UEB: Azucarero Heriberto Duquesne, Derivados Heriberto Duquesne, Productores Heriberto Duquesne y Derivados Chiquitico Fabregat.

La situación de los efectos de descargas de aguas residuales a los ríos "Guaní" y "Managüimba" generadas por la destilería, central azucarero e integral porcino "Heriberto Duquesne", entidades productivas de la Empresa Azucarera Villa Clara de AZCUBA que a partir de su reestructuración están estructuradas como Unidades Empresariales de Base (UEB) "Central Azucarero Heriberto Duquesne", "Derivados Heriberto Duquesne", "Atención a Productores Heriberto Duquesne" y "Derivados Chiquitico Fabregat".

El ingenio genera diariamente 174 m³ de aguas residuales industrial y 1.38 m³ de aguas ácidas en cada ciclo de limpieza (que se realiza cada 12 días) y la destilería 800 m³ de vinazas. Cabe destacar que se ha trabajado en los últimos años en la disminución de la carga contaminante generada por ambos procesos, pero aún es insuficiente. (Fuentes, 2013).

1.3 Tipos de contaminantes

En estos tipos de contaminantes se encuentran divididos según su composición como se describen:

- Contaminantes químicos
- Contaminantes radioactivos

Contaminantes químicos:

Se incluye en este grupo una extensa gama de elementos orgánicos e inorgánicos que sería imposible tratar de describir en el marco de este trabajo. Se consideran únicamente los más comunes señalando, a la vez, su entidad e importancia relativa, de una forma somera.

Iones normales: Comprende este grupo los iones Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} y los que se podrían denominar "parámetros derivados" a saber: residuo seco (conductividad) y dureza.

Iones nitrogenados: De los tres iones nitrogenados más frecuentes en las aguas subterráneas, amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-), los dos primeros son muy inestables en el agua natural y tienden a oxidarse y pasar a nitrato forma en que suele encontrarse el nitrógeno en el agua. Los límites máximos permitidos para estos iones en aguas destinadas a la bebida son 50 mg/l para el NO_3^- 0.1 mg/l para el NO_2^- y 0.5 mg/l para el NH.

En aguas subterráneas captadas en pozos o manantiales la presencia de NH_4^+ : y NO_2^- es relativamente frecuente, o de este último solamente. Por otra parte un agua de un acuífero que contenga sólo NO_3^- , puede llegar a adquirir NO_2^- , e incluso NH_4^+ , por la acción de bacterias reductoras.

En un agua subterránea natural, no contaminada puede existir materia orgánica en concentraciones similares o superiores a 5 mg/l de O_2 , como consecuencia de arrastres de sustancias orgánicas naturales (humus. etc.), por el agua de infiltración.

Metales pesados: Se incluyen bajo esta denominación los iones metálicos que aunque suelen aparecer como trazas en las aguas subterráneas naturales, pueden ser indicio fundado de contaminación cuando sus concentraciones son normalmente altas, se incluye dentro de este grupo los siguientes: Al. Cu. Zn. Pb. Se. As. Cr. Fe. Mn.

Compuestos tóxicos y trazadores: Dentro de este grupo se incluye una gran variedad de sustancias desde cianuros hasta ciertos pesticidas (organoclorados como: Endrin lindane. etc.), y otras como ciertos detergentes que, sin ser peligrosos a bajas concentraciones pueden ser indicadores de contaminación.

Contaminantes radiactivos:

El vertido seguro de residuos radiactivos en emplazamientos definitivos es uno de los mayores retos planteados a la sociedad actual.

A pesar del cuidadoso control de las sustancias radioactivas y de lo esporádico del vertido accidental de las mismas el riesgo de contaminación por estas sustancias no es despreciable aunque no sea grande.

De los seis radionucleidos que presentan elevada toxicidad movilidad y período radiactivo cinco se producen en procesos de generación de energía nuclear, y pueden llegar a los acuíferos por almacenamiento inadecuado o por escapes accidentales en la manipulación de residuos radiactivos. El ^{226}Ra se incorpora frecuentemente a las aguas subterráneas a partir de los procesos de extracción de uranio. (Sanchez, 2009)

1.4 Calidad de las aguas y problemas de contaminación

Calidad del Agua:

El agua subterránea tiende a ser dulce y potable, pues la circulación subterránea tiende a depurar el agua de partículas y microorganismos contaminantes, antes de rechazar un agua subterránea con trazas de NH_4^+ o NO_3^- ; es preciso analizar las posibles causas de su presencia y determinar la existencia o no de vertidos próximos al sondeo de captación.

El agua es un sistema de cierta complejidad, no homogéneo, que puede estar constituido por una fase acuosa, una gaseosa y una o más fases sólidas (Fagundo – 2004). En sus orígenes el agua es pura, prácticamente destilada, sin contenido apreciable de sustancias extrañas ni microorganismos, aun cuando le faltan elementos que son requeridos en un agua apta para beber. En los diferentes procesos del ciclo hidrológico en la atmósfera, el suelo y las corrientes de aguas superficiales y subterráneas se le incorporan elementos (materia orgánica, excretas humanas o de animales, residuos industriales, etc.) y microorganismos indeseables que pueden alterar sus características y deteriorar su calidad. (Baez, 2014)

Según Conesa, (1995) calidad natural del agua es el conjunto de características físico químicas y biológicas que presenta el agua en su estado natural, en ríos, lagos, manantiales, subsuelo o el mar. Se han establecido criterios según sus usos; sea potable, doméstico, urbano, industrial, agrícola, ganadero; según la utilización de cursos de agua, en el baño, la pesca, navegación, recepción de efluentes residuales y según el soporte de las especies.

La calidad del agua no es, pues, un término absoluto, es algo que siempre se expresa en relación con su uso o actividad a que está destinada, calidad de beber, para el riego etc. La calidad del agua es identificada con su estado natural y la pérdida de calidad vendría medida por la distancia a este estado. La alteración de la calidad natural del agua puede impedir que sea adecuada para un uso determinado (Ayers y Westcot., 1985). Resulta imposible controlar periódicamente la presencia de cada organismo patógeno en las aguas destinadas al consumo humano. Por ello se recurre a la determinación del contenido en el agua de algunos grupos característicos de las aguas fecales para deducir de su presencia la de otros organismos patógenos asociados. (Mata, 2009)

Por lo común su calidad se juzga como el grado en el que el agua se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos que fija el usuario. La calidad no es tan fácil de medir como la cantidad de agua en virtud de las múltiples pruebas que se necesitan para verificar que se alcanzan estos estándares (Henry; Heinke., 1999).

Para la determinación de la calidad del agua es usual evaluarla a partir de parámetros físico químicos y bacteriológicos, por comparación con criterios definidos como estándares, de acuerdo al uso destinado (Dinius, 1987). Es este el criterio asumido en el presente trabajo, por considerarlo como el más objetivo por su enfoque causa-efecto. Controlar la calidad de las aguas subterráneas es más caro y difícil que hacerlo con las superficiales.

Las actividades humanas producen gran cantidad de desechos y provocan perturbaciones en el ciclo hidrogeológico y en la circulación de las aguas. El resultado es con frecuencia una contaminación de las mismas, unas veces de forma reparable y otras veces prácticamente irreversible.

En la actualidad se considera un agua contaminada aquella que ha sido afectada por la acción del hombre en tal magnitud, que sobrepasa los valores máximos permisibles de las concentraciones establecidas por los patrones nacionales o internacionales, para los diferentes usos del agua.

Los principales factores que afectan la calidad de las aguas son los siguientes:

- El incremento de la práctica de verter los residuos domésticos o industriales directamente en el terreno.
- El uso indiscriminado de fertilizantes y su almacenamiento inadecuado.
- La sobreexplotación de los recursos y reservas hídricas naturales.
- Accidentes ocurridos en el terreno y en las propias captaciones de agua subterránea que permiten la entrada de contaminantes.

Calidad de las fuentes de aguas.

Para evaluar la calidad de las **aguas subterráneas** se seleccionan los siguientes parámetros: caracteres organolépticos (Color), características físico químicas (pH, Dureza Total, CE, DQO, Cloruros), compuestos no deseados (Nitratos), caracteres microbiológicos (Coliformes Totales y Fecales).

Los parámetros seleccionados para evaluar las **aguas superficiales** son: caracteres organolépticos (Turbidez), características físico químicas (pH, CE, Cl,

OD, DBO₅), compuestos no deseados (N-NH₄, P-PO₄) y caracteres microbiológicos (CT).

Calidad del agua para consumo humano.

Los parámetros de calidad de agua para consumo humano han sido precisados en la mayoría de los países del mundo, además desde el año 1963 la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1963) estableció las pautas en cuanto a la calidad y aún son utilizadas estas normativas íntegramente en los países subdesarrollados. Cada país ha establecido los rangos en base a las necesidades y calidad de las fuentes de agua, pero en el marco de las propuestas por la OMS.

En Cuba están implementadas las Normas Cubanas: NC 10-21: 2014 Higiene Comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria y la NC 827: 2012 Agua potable y Requisitos Sanitarios, que establecen los parámetros deseables y admisibles de calidad para su utilización en el suministro, presentado en los (Ver anexo 1 tabla 1 y anexo 2 tabla 1).

Calidad del agua para riego agrícola

La calidad del agua para el riego ha sido objeto de estudio y preocupación de diferentes autores debido a las consecuencias prácticas negativas que se derivan por el uso de aguas impropias, especialmente cuando no se toman las medidas de manejo oportunas. Las aguas empleadas para el riego rara vez presentan efectos negativos inmediatos, sin embargo con el paso del tiempo los iones contenidos en ella puede acumularse en el suelo hasta alcanzar concentraciones capaces de afectar sus características físico químicas, y en consecuencia, el desarrollo de los cultivos que crecen en él. (Fleites, 2006)

Según Adairov, y colaboradores (1985) la calidad del agua para riego adquiere mayor importancia en las zonas áridas y semiáridas del mundo, donde la salinidad constituye el principal factor limitante de la fertilización de los suelos y de la productividad de los cultivos.

La salinización de los suelos agrícolas como consecuencia de la práctica de riego constituye uno de los ejemplos más antiguos de contaminación del suelo, en

contraste con otras formas de salinización que tienen lugar en condiciones naturales. La degradación de los suelos por la salinización implica una disminución de su capacidad productiva, pérdida de recursos, descenso en el valor del suelo, una reducción de la población animal y vegetal (Pérez, 2003).

Diversos métodos para clasificar las aguas para el riego fueron publicados alrededor de los años 50 por diversos autores (Wilcox, 1948, Erton, 1950, Thome y Thome, 1951, Grenc, 1953), sin embargo, es indudable que el más ampliamente utilizado ha sido el propuesto por el Laboratorio de Salinidad de E.U. en Riverside (California), publicado en Handbook No 60 del Departamento de Salinidad de los Estados Unidos (Richard, 1954), en el que se sistematizaron por primera vez los conocimientos métodos y técnicas relativas a la salinidad del agua para riego.

Índices de Calidad del Agua.

Entre los indicadores ambientales se encuentran los **Índices de Calidad del Agua (ICA)**, que permiten identificar el grado de deterioro o mejora de un cuerpo de agua y proporcionan un valor global del comportamiento de valores reales de una serie de parámetros. (Mata, 2015)

Se clasifica el cuerpo del agua según el valor del ICA

Tabla 1.3 Clasificación de las aguas para Consumo Humano

CLASE	CALIFICACIÓN CUERPO DE AGUA	RANGO DE VALOR DEL ICA
1	Excelente Calidad	90 – 100
2	Aceptable Calidad	80 - 90
3	Ligeramente Contaminada	70 – 80
4	Contaminada	60 – 70
5	Altamente Contaminada	< 60

Tabla 1.4 Clasificación de las aguas para uso Agrícola

CLASE	CALIFICACIÓN CUERPO DE AGUA	RANGO DE VALORES (ICA)	NIVEL DE TOLERANCIA
1	Excelente Calidad	90 -100	Para todo tipo de cultivo
2	Aceptable Calidad	70 - 90	Tratamiento menor
3	Ligeramente Contaminada	70 - 50	La mayoría de los cultivos
4	Contaminada	50 - 40	Cultivos Específicos
5	Altamente Contaminada	< 40	Inaceptable

1.4.1 Tipos de contaminación según el contaminante

Resulta difícil realizar una clasificación homogénea de los eventuales contaminantes de las aguas subterráneas tanto por su diversidad, naturaleza y comportamiento como por la importancia de cada uno y de sus efectos o riesgos derivados de su presencia en el agua.

De forma muy general existen dos tipos de contaminantes lo cuales producen diferentes tipos de contaminación.

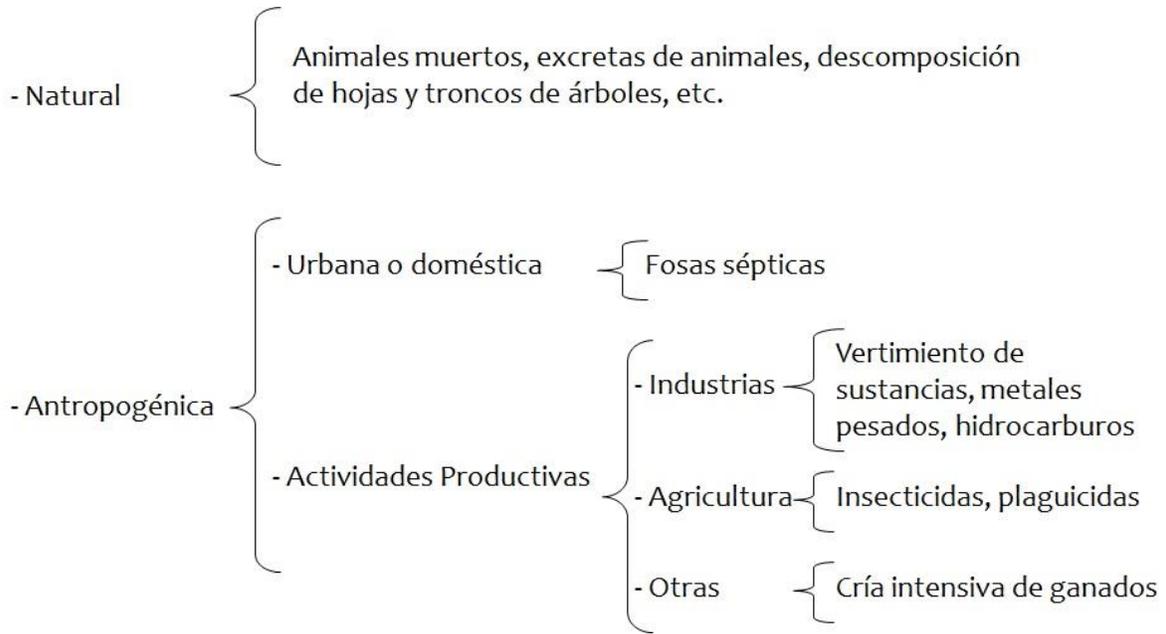


Figura 1: Clasificación de Contaminantes.

Natural: el agua subterránea contiene algunas impurezas, incluso si no queda afectado por actividades humanas. Los tipos y concentraciones de impurezas naturales dependen de la naturaleza del material geológico a partir del cual se mueve el agua subterránea, y la calidad del agua de reposición. El agua subterránea que se mueve a través de rocas y suelos sedimentarios puede sucederse en grandes cantidades materiales y compuestos como el magnesio, calcio y cloruros. Algunos acuíferos tienen altas concentraciones naturales de constituyentes disueltos como arsénico, boro y selenio. El efecto de estas fuentes naturales de contaminación en la calidad del agua subterránea depende el tipo de contaminante y su concentración.

Doméstica: los sistemas de aguas residenciales puede ser una fuente de gran cantidad de contaminantes como bacterias, virus, nitratos, materia orgánica y residuos humanos. Los pozos de inyección usados para disposición de aguas residuales domésticas (sistemas sépticos, letrinas, pozos de drenaje para la recogida de aguas de lluvia, pozos de recarga de aguas subterránea) son de una preocupación particular para la calidad de las aguas subterráneas si se localizan cerca de los pozos que alimentan las aguas de uso para beber.

El almacenamiento y disposición inadecuado de químicos domésticos como pinturas, detergentes sintéticos, aceites solventes, medicinas, desinfectantes, químicos de piscinas, pesticidas, baterías, combustibles de gasolina y diesel puede provocar la contaminación de las aguas subterráneas. Cuando se tiran en la basura doméstica, los productos acabaran en las aguas subterráneas debido a los basureros municipales que no están equipados para el manejo de materiales peligrosos. De manera similar, los residuos que se echan o entierran en el suelo pueden contaminar el suelo y penetrar a las aguas subterráneas.

Agrícola: Se puede observar un factor que contribuye de forma decisiva al proceso de contaminación de las aguas subterráneas, y es el empleo de forma creciente de los fertilizantes artificiales, a base de Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Estos abonos artificiales producen fundamentalmente la contaminación por nitratos, pues los fosfatos son en general poco solubles y el potasio utilizado en forma química adecuada, tiende a ser fijado por el terreno, si está bien dosificado. El uso directo de fertilizantes inorgánico incrementa el contenido de sales solubles disueltas en el suelo.

Un segundo aspecto relacionado con la contaminación por actividades agrícolas, está dado por el uso en las zonas cultivadas de pesticidas, (herbicidas, insecticidas, plaguicidas, etc.), que pueden constituir un problema muy grave y permanente, máxime en esta zona donde predominan los cultivos de hortalizas y leguminosas que requieren el uso frecuente de los mismos.

Un tercer aspecto de la contaminación por actividades agrícolas en la zona puede tener su origen en los regadíos, por la concentración de sales del agua de riego que se infiltra. Este aspecto toma mayor importancia en las zonas mal drenadas.

Industrial: La fabricación y servicios industriales tienen altas demandas de agua de enfriamiento, aguas de proceso y agua con fines de limpieza. La contaminación de las aguas subterráneas ocurre cuando el agua usada se devuelve al ciclo hidrológico.

Las actividades económicas modernas requieren del transporte y almacenamiento de materiales usados en la fabricación, proceso y construcción. En el camino de

transporte, parte de este material puede perderse por derrames, fugas o manejo inadecuado. La disposición de residuos asociados con las actividades arriba mencionadas es otra fuente de contaminación de las aguas subterráneas.

Muchas instalaciones generalmente, son dependientes de depósitos estrechos de aguas subterráneas. Pueden utilizar letrinas o agujeros secos, o enviarlas a aguas subterráneas y tanques sépticos. Cualquiera de estas formas de disposición puede dar lugar a la contaminación de las aguas subterráneas destinadas a consumo. Los agujeros secos y letrinas generan residuos que van directos al suelo. Los sistemas sépticos no pueden tratar los residuos industriales, algunos residuos y aguas residuales de industrias y empresas como estaciones de servicios de automóviles, limpiadores en seco, componentes eléctricos o fabricantes de máquinas, foto procesadores, y fabricantes de planchas de metal, pueden generar residuos altamente contaminantes y tóxicos. Otras fuentes de contaminación industrial incluye la limpieza de tanques o equipos de spray en campo abierto, disposición de residuos en sistemas sépticos y pozos secos, almacenamiento de materiales peligrosos en lugares no protegidos o en lugares sin caminos para drenajes o lugares de recogida o retención. Los tanques de almacenamiento tanto subterráneo como superficial de productos del petróleo, ácidos, solventes y químicos pueden provocar fugas debido a la corrosión, defectos e instalación inadecuada o fallo mecánico de tuberías y acoples. La minería de minerales combustibles y no combustibles puede crear oportunidades para la contaminación de las aguas subterráneas. Los problemas derivan del propio proceso de minería, disposición de residuos, y procesamiento de menas y los residuos que esto genera. (Andrés Navarro, 1996)

La contaminación de acuíferos depende en gran medida de factores locales, por lo que estos estudios requieren de un buen conocimiento de la zona. En la región bajo estudio las principales fuentes contaminantes han sido provocadas por el desarrollo industrial y económico, que han causado el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas para los diferentes usos.

Ganadería.

Es una contaminación principalmente orgánica y biológica, con matices muy similares a la contaminación por actividades domésticas, pero con frecuencia más concentrada e intensa, en especial en las granjas intensivas. Bajo este concepto las purinas de las granjas porcinas son un grave problema, en cambio la contaminación por granjas avícolas es proporcionalmente menos intensa.

A continuación la Tabla 1.5 presenta una identificación de los principales organismos contaminantes de la provincia de Villa Clara.

Tabla 1.5: Focos Contaminantes de Villa Clara. (Inventario de Fuentes Contaminantes, Delegación Provincial de Recursos Hídricos, VC, 2015).

ORGANISMOS	Total de focos contaminantes	Evaluación de la calidad del tratamiento			Fecha de Entrega
		Bueno	Regular	Malo	
OLPP	441	1	321	119	
MINAG	419	17	396	18	15/4/2015
INRH	51	13	20	18	
MINFAR	42	4	37	1	
MINAL	37	5	18	14	10/4/2015
AZCUBA	38	2	18	15	3/4/2015
MINSAP	25	3	8	13	10/4/2015
MINED	15	2	11	4	10/4/2015
IACC	2	2			10/4/2015
MINTUR	14	6	7	3	10/4/2015
MININT	9				10/4/2015

1.5 Distribución de agua en el suelo y subsuelo

A mayor o menor profundidad, todos los materiales de la corteza terrestre son normalmente porosos, y pueden dar lugar a la formación de acuíferos. La calidad del acuífero depende de su capacidad para almacenar y transmitir agua. Uno de excelente calidad es el formado por arena y grava, por ejemplo. Cuando la superficie superior de la zona saturada se mueve libremente sin encontrar impedimentos físicos (por ejemplo estratos de menor permeabilidad) el acuífero se denomina libre o freático, en contraposición a los confinados.

Las aguas subterráneas pueden, eventualmente, desembocar en corrientes superficiales tales como arroyos o lagos, mientras que, durante su traslado

subterráneo, pueden tropezar con zonas que impiden su paso, denominados acuitardos o estratos cerrados, como por ejemplo los estratos arcillosos.

Si las propiedades del suelo no varían según su posición en el estrato, el mismo se dice que es homogéneo. Además, si las características del suelo no varían con la orientación, el suelo se dice isótropo. Considérese un macizo de terreno con características homogéneas (granulometría uniforme) e isotrópicas (permeabilidad uniforme) que tiene como base un substrato horizontal impermeable, al cual se le hace caer agua en forma de gotas distribuidas uniformemente sobre la superficie. Esta se infiltrará por la masa arenosa, alcanzará el fondo impermeable y comenzará a saturar el medio de abajo hacia arriba. Cuando cesa la recarga, quedan definidas dos zonas

Zona saturada: los poros están saturados de agua, la cual está sometida a una carga hidrostática de presión. Superiormente está limitada por la superficie freática.

Zona de aireación o no saturada: es el estrato superior, con los poros sólo parcialmente ocupados por agua. Esta zona puede dividirse en tres franjas:

- Franja de humedad del suelo: el techo lo constituye la superficie del suelo. Está sometida a la evapotranspiración. Aunque el espesor lo determinan el clima y la cobertura vegetal, en términos medios, rara vez alcanza los 3 metros.
- Franja intermedia o de retención: el agua en esta zona no presenta ningún vínculo hidráulico con las capas inferiores. Su espesor medio va de los 0,6 a 2 m., pudiendo alcanzar 10 o 20 m, o faltar completamente.
- Franja capilar: El espesor depende de las características geológicas de los materiales. El agua puede elevarse por encima de la altura piezométrica, manteniéndose en equilibrio en los intersticios de la roca por acción de la tensión superficial. La figura 2 esquematiza la distribución de agua en el suelo y subsuelo. Es importante destacar que, habitualmente, los materiales del suelo son heterogéneos y anisótropos. (Menéndez, 2010)

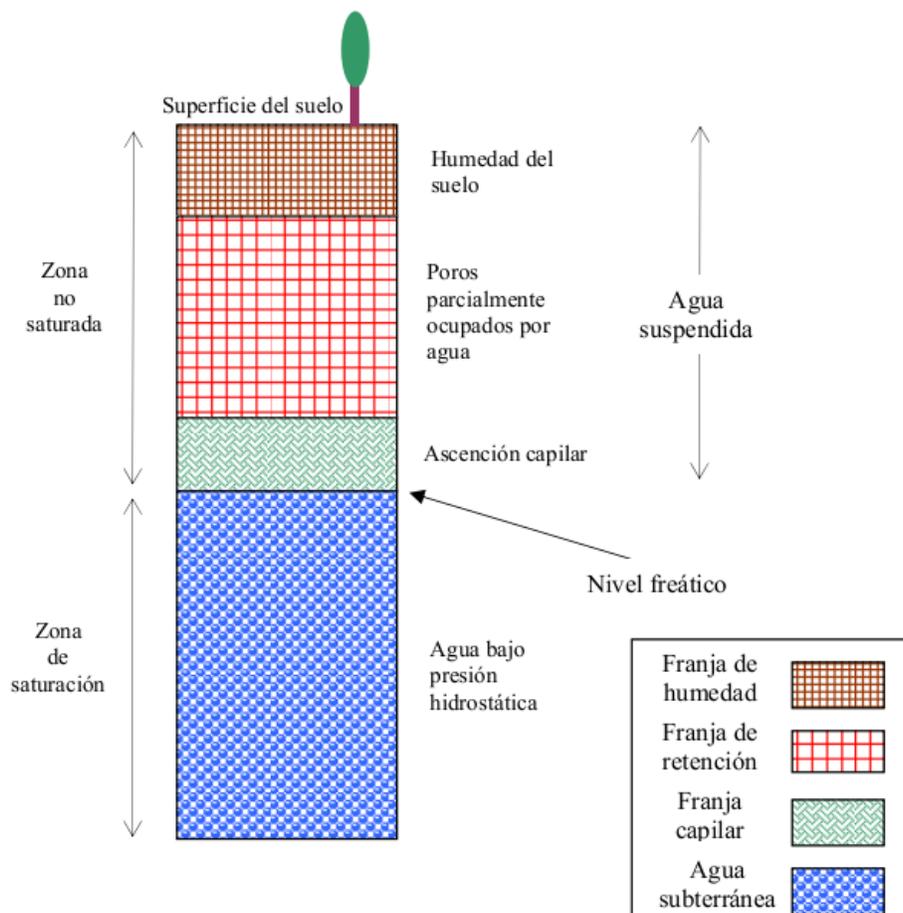


Figura 2: Distribución del agua en el suelo y el subsuelo.

1.6 Identificación de contaminantes en Cuencas Hidrogeológicas.

En la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos de la provincia de Villa Clara el patrón de trabajo para identificar contaminantes en las cuencas hidrogeológicas es el siguiente.

1- Los resultados del monitoreo realizado en cada período son entregados al Especialista que atiende esta actividad en la Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos (DPRH) y a la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico (EAH) con los siguientes requisitos:

- a. En el modelo de información establecido.
- b. En el modelo debe aparecer el resultado de todas las determinaciones analíticas solicitadas para cada estación de la Red de Monitoreo de Calidad de las

Aguas (REDCAL), expresadas en sus unidades correspondientes o, la causa de la no realización del análisis solicitado.

c. Es responsabilidad del personal del laboratorio realizar los ensayos restablecidos para cada uso del agua, teniendo en cuenta la Tarea Técnica que se entrega en cada período.

d. Los análisis de carbonato, bicarbonato, nitrato, sulfato, cloruro, calcio, magnesio, sodio y potasio deben reportarse en meq/L y en mg/L. Es responsabilidad del personal del Laboratorio realizar la validación de los datos (balance de iones y cationes), antes de entregar los resultados a la DPRH y EAH.

e. Las muestras no se podrán desechar hasta tanto la Especialista de la Subdelegación Técnica que atiende Calidad del Agua no haya confirmado que los datos están correctos.

f. Los resultados de las estaciones deben estar debidamente identificados y deben contener la fecha de toma de la muestra.

g. Los modelos deben estar firmados por el especialista de control de la calidad del laboratorio, el cual debe revisar la confiabilidad de los mismos y de la Directora de la UEB "ENAST".

El resultado de las determinaciones analíticas de todas las estaciones de monitoreo establecidas en la Red-Cal le serán entregados a los Especialistas de la Subdelegación Técnica de la DPRH y al de la Dirección Técnica de la EAH que atiende la actividad, dentro de los 10 días naturales siguientes a la fecha de entrada de las muestras. (REDCAL- 2015 DPRH).

2- Una vez detectado alguna irregularidad en dichas pruebas visitan el lugar a través de una inspección técnica los Especialistas de la Subdelegación Técnica de la DPRH y de la Dirección Técnica de la EAH.

En dicha inspección se controla la calidad de las aguas tomando muestras de la misma y verificando el estado técnico de los equipos de tratamiento de residuales.

Luego se trata de identificar el problema, definir su magnitud e impacto en el medio ambiente.

3- El inspector estatal realiza una serie de visitas para orientar y verificar que se cumpla lo que establecen las leyes y normativas.

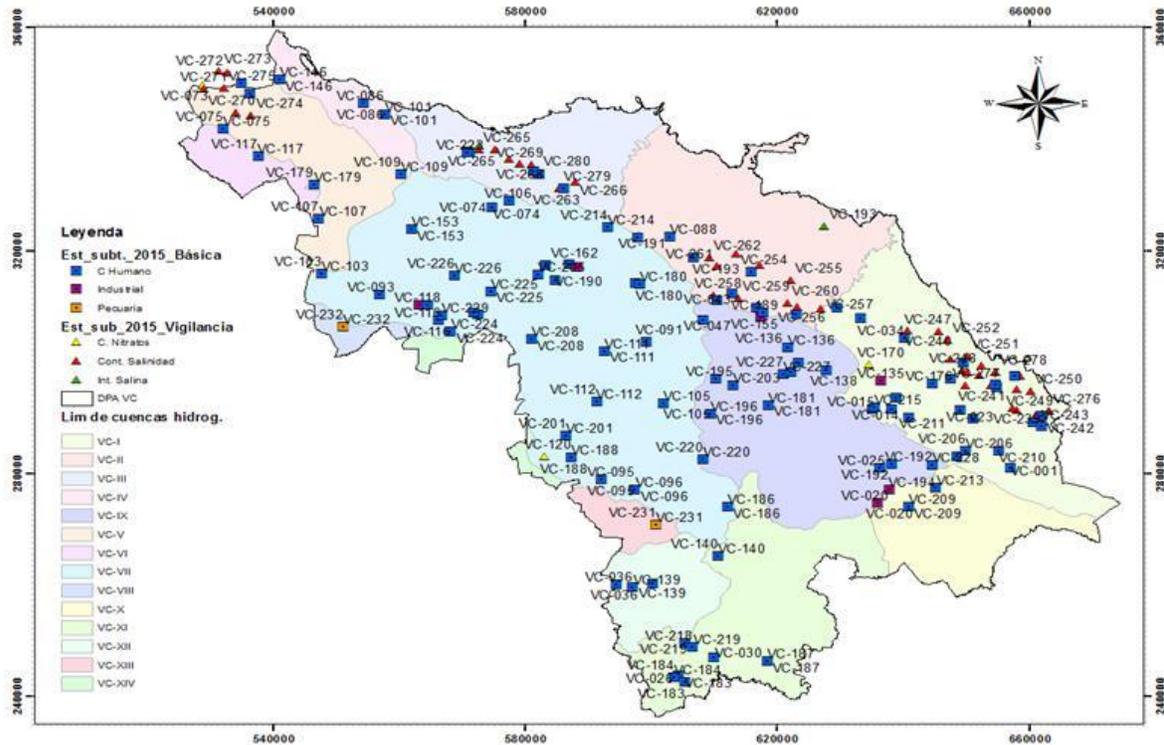


Figura 3: Mapa de estaciones subterráneas Básicas y de Vigilancia por Cuencas Hidrogeológicas en Villa Clara (Memoria Red de Monitoreo de Calidad de las Aguas REDCAL-2015)

1.7 Consecuencia de la contaminación hidrogeológica en el Medio Ambiente

Las prácticas orientadas a la protección del medio ambiente han transitado por diferentes estadios, enfoques y tendencias a partir de la segunda mitad del siglo XX. La idea de que los recursos eran infinitos prevaleció durante años en la mentalidad de muchos gobiernos, comerciantes y personas, con las alteraciones provocadas al medio ambiente, esas concepciones fueron cambiando al reconocer e interpretarse los límites de recuperación de los ecosistemas naturales y el medio ambiente en

general. El medio ambiente se consideraba como un gran basurero que admitía todo y de todo, lo ambiental concebido como la interacción entre los sistemas naturales y sociales, definidos como un conjunto de elementos bióticos, abióticos, socioeconómicos y tecnológicos han constituido el soporte vital de la sociedad humana, introduciéndose en todas las esferas de la humanidad. (López, 2000).

Para lograr un desarrollo sustentable, Cuba debe resolver los problemas ambientales existentes; la contaminación ambiental, la degradación de los suelos, la pérdida de la diversidad biológica, el deterioro del saneamiento, entre otros a partir de un proceso inversionista adecuado.

Para lograrlo se debe evitar el vertido de grandes cantidades de nitrógeno reactivo a los suelos y a las aguas que tienen muchas consecuencias nocivas para el medio ambiente. El exceso de fertilizantes no sólo perjudica al suelo y al agua, puesto que el uso creciente de abonos nitrogenados ha contribuido también a enviar más óxido nitroso a la atmósfera.

Al igual que los pesticidas, herbicidas, plaguicidas, e insecticidas de forma general, son muy tóxicos y probablemente acumulativos. Incluso aquellos productos que no sean tóxicos producen malos olores y sabores y un aspecto desagradable, en especial si existen fenoles o aceites pesados.

Impacto Ambiental producido.

De forma muy general podemos mencionar que el impacto ambiental no es más que los efectos de un actuar humano sobre el medio ambiente, no solo de manera negativa, sino también puede ser positiva. Es por esta razón que la evaluación del Impacto Ambiental tiene el propósito primordial de proteger el medio ambiente y, a ese fin, debe valorar y proporcionar la información de los probables efectos ambientales a los encargados de tomar decisiones en forma tal que permita, de ser necesario, aprobar condicionadamente o denegar la ejecución de un proyecto de obra o actividad, estableciendo los procedimientos adecuados a esos fines.

A continuación se describen los principales impactos ambientales.

1. Daño del medio acuático y a los organismos que viven en él.

2. Enfermedades en el ser humano como, cólera, tifus, gastroenteritis, hepatitis, etc.
3. Disminución de rendimientos agrícolas.
4. Calentamiento global.
5. Degradación de los suelos.
6. Zonas de vegetación natural que no soportan la contaminación del agua subterránea.
7. Pérdida de la biodiversidad
8. El agotamiento y contaminación de los recursos hídricos
9. Afecta las condiciones hidrobiológicas de la zona, incidiendo de forma negativa en el desarrollo de la flora y la fauna local, dañando la cadena alimentaria.

Daños en la salud del ser humano debido a la contaminación del agua.

El concepto “seguridad humana” significa disponer de protección frente a los hechos impredecibles que perturban vidas y medios de sustento. Pocos recursos tienen una influencia más importante que el agua en la seguridad humana. Como recurso productivo, el agua es esencial para mantener el medio de sustento de la gente más vulnerable del planeta. Pero el agua también tiene propiedades destructivas, tal como lo demuestran las tormentas y las inundaciones. La seguridad en el acceso al agua como insumo productivo y la protección respecto de las vulnerabilidades asociadas a la incertidumbre relativa a los cursos de agua es una de las claves para el desarrollo humano.

Aguas Subterráneas

Comités de expertos en saneamiento e higiene de la vivienda de la Organización Mundial de la Salud han señalado en múltiples ocasiones la relación entre las grandes epidemias o endemias y la contaminación de los suministros de agua.

La falta de higiene sanitaria y buena calidad de agua potable sigue siendo una amenaza para la salud humana. Las enfermedades transmisibles por el agua

generan patologías que demuestran y evidencian el grado de deterioro de una población, siendo los sectores más afectados aquellos que sufren de pobreza, condiciones habitacionales y de higiene sanitaria deficientes, desnutrición y marginalidad.

El agua para satisfacer distintas necesidades se transforma en un recurso. Sin embargo no todas las personas disponen de él. Existe una estrecha relación entre la posibilidad de abastecimiento y el desarrollo, porque cuanto mayor es el desarrollo, mayor es la capacidad para obtenerla y mayor es la contaminación.

Las enfermedades relacionadas con el uso de agua contaminada pueden dividirse en aquellas causadas por agentes biológicos (organismos patógenos) y las que son producidas por nitratos.

Trasmisión de Organismos Patógenos

Los potenciales patógenos presentes en el agua son bacterias, virus, protozoos, helmintos y otros parásitos. La mayoría de los patógenos que se encuentran en el agua contaminada provienen de heces humanas o animales, no se reproducen en el agua y una vez dentro del organismo, inician una infección en el tracto gastrointestinal luego de ser ingeridas.

Los efectos en la salud de las enfermedades transmisibles por el agua varían en severidad desde una leve gastroenteritis hasta casos graves de disentería, hepatitis, cólera, fiebre tifoidea y diarrea severa.

Las excretas humanas pueden contener hasta cuatro tipos de agentes patógenos: huevos de helmintos, protozoarios, bacterias y virus. Estos organismos generalmente son excretados en grandes cantidades, dependiendo de la edad y el estado de salud del individuo. La materia fecal contiene un promedio de 10⁹ bacterias por gramo (no necesariamente patogénicos) y, en el caso de excretas de individuos infectados, hasta 10⁶ virus por gramo.

Las bacterias y los virus pueden ser transportados a través del efluente que se filtra de los pozos absorbentes a las aguas subterráneas, y si son ingeridos pueden causar infecciones. Sin embargo, los virus y bacterias que son excretados pueden

transmitirse de muchas otras maneras. En general los virus que se excretan tienen bajas dosis infecciosas (menos de 100 organismos), mientras que las dosis infecciosas de bacterias suele ser de 10.000 o más. Las bacterias, sin embargo, a diferencia de los virus, pueden multiplicarse fuera de su ambiente primario. Desde el punto de vista microbiológico, el examen de la calidad sanitaria del agua tiene por objetivo determinar la presencia de ciertos grupos de bacterias, que revelen una contaminación reciente por materia fecal o por materia orgánica.

Conclusiones parciales:

En este capítulo se logró revisar un gran volumen de información relacionada con las formas de contaminación en acuíferos. También se constató en qué forma se distribuía el agua en el subsuelo, así como sus consecuencias para el medio y el hombre una vez contaminada la misma.

CAPÍTULO 2. Propuesta de un procedimiento para la Identificación de Contaminantes en una Cuenca Hidrogeológica.

En el presente capítulo se realiza una investigación acerca de cómo se transportan los contaminantes en el suelo, la contaminación que producen y sus efectos en el medio ambiente, además de las causas que lo originan. También se aborda la problemática de la vulnerabilidad a las contaminaciones a las que se encuentran sometidas las cuencas hidrogeológicas y como parte principal del capítulo se propone un procedimiento para identificar la contaminación en cuencas hidrogeológicas.

2.1 Caracterización de contaminantes en Cuenca Hidrogeológica

Los contaminantes a lo largo de la historia han provocado grandes daños irreparables al medio en que se desarrolla nuestras vidas, al igual que ha afectado de forma irreversible a la naturaleza. Es por ello que una identificación oportuna de dichos contaminantes ayudaría de forma apreciable para mitigar los efectos producidos tanto en cuerpos receptores como en la salud humana.

Indicadores de contaminación hidrogeológica.

1. Malos olores en el suelo, en agua acumulada en este, o en pozos de agua.
2. Incremento de la densidad del agua, superficial o subterránea.
3. Turbiedad del agua subterránea.
4. Suelo erosionado.
5. Falta de vegetación.
6. Fuentes contaminantes próximas a pozos de abasto.

Causas de la contaminación del agua subterránea.

1. Por sustancias naturales presentes en el agua, (partículas sólidas, pólenes, esporas, hojas secas, residuos vegetales, excrementos de animales, etc.)
2. Vertido de aguas residuales mal tratadas.
3. Vertido de desechos sólidos mal ubicados.

4. Vertido de combustible.
5. Empleo de plaguicidas.
6. Uso de herbicidas.
7. Fertilizantes, (genera residuos de: NO_3 , PO_4^{3-})
8. Sobreexplotación de acuíferos.
9. Intrusión salina en acuíferos costeros.

Efectos de la contaminación en cuenca hidrogeológica.

1. Reducción de las disponibilidades de agua potable.
2. Disminución de la capacidad de regadío.
3. Efecto de barrera para animales. Contaminación de los abrevaderos naturales de las especies.
4. Salinización de acuíferos.
5. Posible propagación de enfermedades.
6. Aumento del grado de salinidad de los suelos de la región.

2.2 Intrusión salina

La intrusión salina es el fenómeno originado por el movimiento del agua salada hacia las aguas dulces en el acuífero, produciendo que la interface (zona de mezcla de agua dulce con salada) se desplace hacia el pozo en explotación.

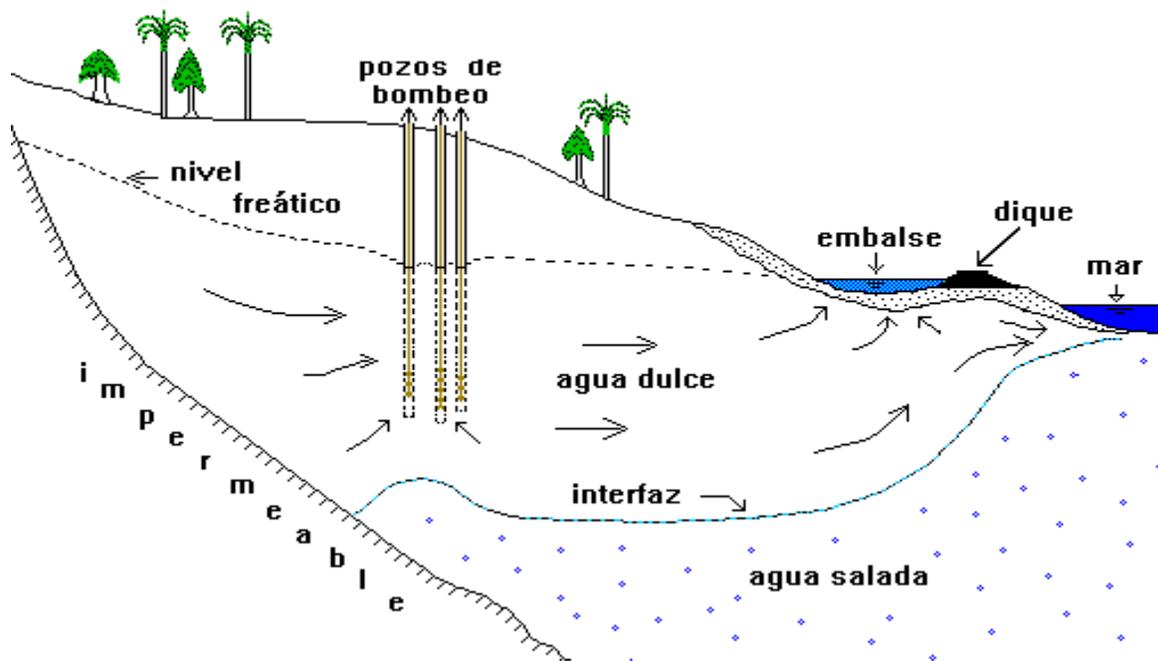


Figura 4 Comportamiento de la intrusión salina en acuíferos costeros

Factores que producen la intrusión salina

- Sobre explotación de las aguas superficiales.
- Sobre explotación de las aguas subterráneas.
- Incremento de los valores de las sales solubles totales debido a la sequía.
- Aumento del nivel del mar.
- Pérdida de manglares costeros que fungen como primera barrera de protección contra el avance del nivel medio del mar.

Principales daños por el avance de la intrusión salina.

- Deterioro progresivo de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la región.

- Avance de la intrusión salina (varios miles de metros), particularmente en el periodo de intensas sequías.
- Provoca el desplazamiento de la interface agua dulce-agua salada.

2.3 Principios de transporte de los contaminantes en el subsuelo

La mayor parte de las aguas subterráneas se mueven desde una zona de recarga (por la que entran al acuífero) hasta la zona de descarga (por la que salen de él) de acuerdo con la ley de Darcy según la cual la velocidad del agua es directamente proporcional a la permeabilidad del acuífero y al gradiente hidráulico. La recarga de los acuíferos se produce directa o indirectamente por infiltración del agua de lluvia y en mucha menor proporción por actividades humanas, riegos, etc. La descarga se produce a través de manantiales ríos y en último término al mar, o a través de bombeos de explotación.

En la zona saturada el agua se mueve preferentemente en sentido horizontal aunque existen situaciones en que se produce un marcado movimiento en la vertical. En la zona no saturada el agua tiende a infiltrarse verticalmente hacia el nivel freático.

Las sustancias disueltas contaminantes o no una vez incorporadas al sistema de flujo del acuífero pueden ser transportadas bien por el propio movimiento del agua o por difusión molecular o por ambos medios simultáneamente.

Cuando son transportadas por el agua en movimiento tienden a moverse en la dirección general del flujo y, si no existen interacciones con el terreno, a una velocidad que es igual a la velocidad media del agua subterránea.

El proceso normalmente incluye la eliminación de microorganismos fecales y la atenuación de diversos compuestos químicos. Sin embargo, cabe señalar, que no todos los perfiles de suelo tienen igual capacidad de procesamiento.

La zona no saturada del suelo está constituida por una compleja disposición de partículas sólidas y poros con cantidades siempre variables de aire y agua. El agua

se desplaza desde puntos de mayor energía hacia los de menor energía potencial. Cuando el suelo está saturado todos los poros se encuentran llenos de agua.

El agua contenida en la zona de saturación es de dos tipos. Una prácticamente inmóvil, está adherida a la superficie de los clastos con una fuerza superior a la de la gravedad, generalmente denominada pelicular. La otra, que se dispone recubriendo a la pelicular, es móvil bajo la acción gravitatoria, por lo que se llama agua gravitacional y dado que es la que se extrae en las obras de captación, resulta la más peligrosa como medio de transporte de eventuales contaminantes.

El desplazamiento de un contaminante en el agua, está controlado por varios factores: la solubilidad, la reactividad con el agua y con el suelo, el tamaño molecular, la relación disolución - precipitación, la permeabilidad y porosidad del medio, la persistencia, la difusión molecular, la dispersión mecánica, etc.

De cualquier manera, la velocidad de propagación no puede ser mayor que la del agua subterránea y el sentido seguirá al del flujo hidráulico. Algunos compuestos altamente solubles y móviles y que no reaccionan con el componente sólido (Cl^- , NO_3^-), se mueven prácticamente a la misma velocidad que el agua y por ello se los emplea como trazadores. Los NO_3^- , sin embargo, pueden ser reducidos por el medio, o por bacterias desnitrificantes que, en el caso de existir, modifican significativamente su concentración.

Transporte y transformación en la zona saturada

Aunque el tipo de contaminante determina en cierta medida el tipo de características de la contaminación las condiciones del flujo subterráneo especialmente en los medios porosos confieren a la contaminación de las aguas subterráneas ciertos rasgos que la diferencia de las aguas superficiales.

Advección, dispersión y difusión

La figura 5 esquematiza un flujo de agua subterráneo que contiene sustancias contaminantes disueltas (solubles). Se pueden distinguir distintos tipos mecánicos de transporte. En primer lugar, la **advección**, que es el transporte de sustancias contaminantes a través del medio poroso a la velocidad media lineal de filtración.

A escala macroscópica, es el medio poroso el que regula la tasa de flujo y su dirección. Sin embargo, a escala microscópica el medio poroso se encuentra compuesto por partículas sólidas discretas y por espacios vacíos. El agua no fluye a través de los espacios vacíos interconectados, sino a su alrededor. Al toparse con las partículas sólidas, el agua debe alterar su curso, repitiendo este proceso millones de veces. El resultado es una mezcla del flujo conocida como **dispersión mecánica**. Su consecuencia más importante es el reparto de sustancias contaminantes hacia lugares que en su ausencia no ocuparían.

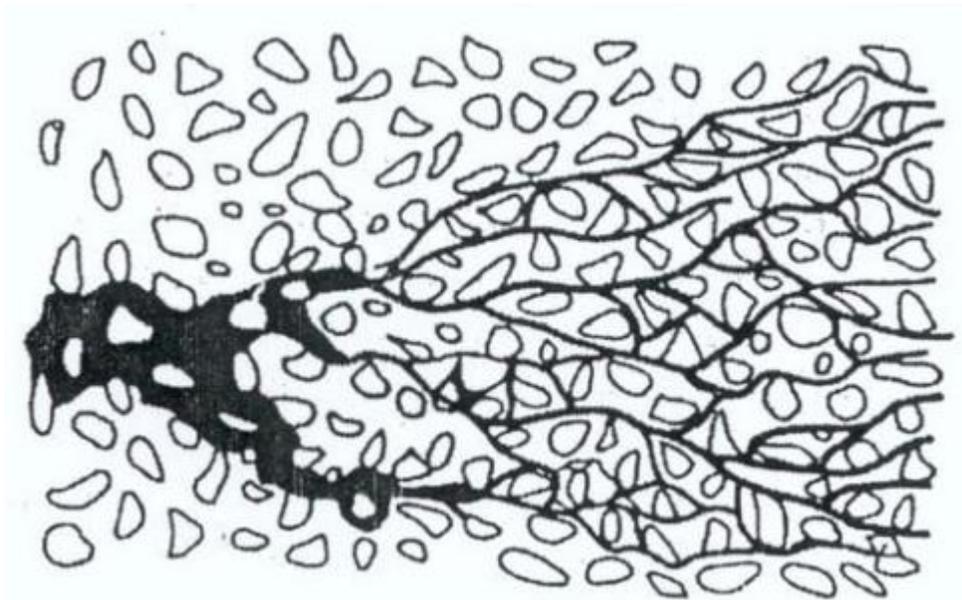


Figura 5: Esquemización de los procesos: advección, dispersión y difusión para el flujo en un medio poroso.

Como resultado de la dispersión mecánica, la masa de sustancia contaminante se expande en un volumen progresivamente mayor, facilitando su mezcla con agua carente de esta sustancia. Esto provoca una disminución de la concentración de contaminante, o dilución. De esta forma, el contaminante se traslada fundamentalmente por advección, mientras varía su concentración debido a la dispersión.

Por lo general, la advección y la dispersión son los procesos dominantes en la mayoría de los problemas de contaminantes en formaciones con conductividad

hidráulica mediana y alta. En formaciones de baja conductividad hidráulica, entre las que se cuentan los revestimientos arcillosos de las instalaciones de gestión de residuos, el transporte por difusión suele ser el mecanismo predominante.

Además de los fenómenos físicos mencionados anteriormente, existen procesos de índole química o bioquímica que afectan el destino de los contaminantes transportados en aguas subterráneas.

El retardo es consecuencia de los procesos que impiden el traslado de las sustancias contaminantes por inmovilización. Entre los ejemplos de reacciones químicas que lo producen se encuentran la sorción y la precipitación. Se debe tener en cuenta que las sustancias contaminantes inmovilizadas no son transformadas y que estos procesos son reversibles. Entonces, los contaminantes retardados pueden volver a su estado soluble tras un período de tiempo prolongado, produciendo una larga estela de contaminación.

La atenuación incluye dos clases distintas de procesos:

- La eliminación irreversible
- La transformación

La eliminación por medio de procesos de atenuación se diferencia del retardo en que reduce la masa de contaminante. Un ejemplo es el traspaso de sustancias a medios diferentes, como por ejemplo en la volatilización. El proceso de atenuación más conocido es el de la transformación de la estructura molecular de las sustancias, similar al producido en las reacciones de oxidación y reducción. (Menéndez, 2010).

2.4 Vulnerabilidad de la contaminación de las cuencas hidrogeológicas

Vulnerabilidad es un término utilizado para representar las características geológicas e hidrológicas intrínsecas que determinan la facilidad con la que el agua subterránea puede contaminarse por la actividad humana (Daly y Warren, 1944). Al considerar el emplazamiento y/o el control de una actividad potencialmente contaminante en una zona, es esencial apreciar que la vulnerabilidad es una característica natural

inherente (o fija) de cualquier zona mientras que la carga contaminante normalmente puede controlarse o modificarse.

Como toda el agua subterránea está hidráulicamente conectada a la superficie terrestre, es la efectividad de esta conexión la que determina la vulnerabilidad relativa a la contaminación. El agua subterránea recibe fácil y rápidamente agua (y contaminantes) desde la superficie terrestre se considera más vulnerable que el agua subterránea que recibe agua (y contaminantes) más lentamente y en menores cantidades. El tiempo de transporte, la capacidad y la cantidad de contaminantes son función de los siguientes atributos en cualquier zona.

- Los subsuelos que están por encima del agua subterránea.
- El tipo de recarga sea puntual o difusa
- En el caso de arenas gravas, la profundidad de la zona no saturada.
- En el caso de fuentes difusas de contaminación, el nivel superior de suelo.
- Conductividad hidráulica.

Tabla 2.1: Influencia de los diversos factores geológicos e hidrológicos.

Baja vulnerabilidad (buena protección)	Alta vulnerabilidad (baja protección)
1. Alto contenido de arcillas u orgánico.	1. Bajo contenido de arcillas u orgánico.
2. Subsuelo de baja permeabilidad, por ejemplo arcilla.	2. Subsuelo de alta permeabilidad, por ejemplo grava.
3. Subsuelo profundo.	3. Subsuelo poco profundo o inexistente.
4. Zona no saturada profunda.	4. Zona no saturada poco profunda.
5. Flujo intergranular.	5. Flujo en fisuras o cárstico.
6. Recarga difusa.	6. Recarga puntual.

La vulnerabilidad es función inversa de la profundidad de yacencia y directa de la permeabilidad vertical (k) de la zona subsaturada, en el caso de acuíferos libres. Los acuíferos confinados son más vulnerables en sus ámbitos de recarga y los semiconfinados dependen de la aislación que les brinden sus acuitardos. (Serrano, 2011).

La contaminación de las aguas superficiales (ríos, lagos, etc.), al ser muy visible, es posible desarrollar rápidamente acciones para eliminarlas o por lo menos mitigarlas. No sucede lo mismo con las aguas subterráneas, que al no ser visibles la acción protectora llega con frecuencia tarde en el supuesto que llegue a producirse. En la

actualidad se identifican dos estrategias distintas para la protección de acuíferos: Establecer los perímetros de protección sanitaria y la construcción de los mapas de vulnerabilidad de acuíferos.

La construcción de mapas de vulnerabilidad de acuíferos constituye una de las vías más adecuadas para preservar la calidad de las aguas subterráneas, ya que estos mapas posibilitan evaluar las características naturales de la región que hacen a los acuíferos más o menos vulnerables a la acción de múltiples contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie.

Sobre la base de esta realidad, se deriva la necesidad de que los países del continente inicien un programa sistemático de protección de acuíferos, pues de no hacerse así puede ser inminente la pérdida del recurso y de las inversiones hechas en el mismo. Para esto debe tenerse muy en cuenta que para una administración ambientalmente segura de las aguas subterráneas, la mejor práctica es proteger el recurso antes de su contaminación.

Los países de Norteamérica y de Europa tienden a optar por la creación de programas de protección de las aguas subterráneas ante la contaminación antrópica basados en el establecimiento de la Zona de Protección Sanitaria o Perímetro de Protección de Pozos (ZPS o PPP) y de los mapas de Vulnerabilidad de los acuíferos. El primero, que tiene como centro del estudio el pozo de abastecimiento, presenta como principal objetivo el establecimiento de un radio de protección, alrededor del mismo, mientras que en el segundo, más amplio, se debe definir la susceptibilidad del acuífero a la contaminación a través de mapas de vulnerabilidad, así como mediante la determinación de la importancia del acuífero para el abastecimiento de agua.

Tanto una técnica como la otra presentan restricciones para una real protección del recurso hídrico subterráneo. Algunas de las mayores restricciones de la técnica de la ZPS son las incertidumbres y dificultades objetivas para la obtención de datos confiables de la dinámica de los acuíferos. La confección de Mapas de Vulnerabilidad, aunque mucho más flexible, no presenta la exactitud necesaria para

establecer una protección efectiva de los puntos de captación. Por lo tanto, una posible estrategia debe ser uso coordinado de los mecanismos, tomando también en consideración el control de la ocupación territorial.

En realidad, todo esto tiene que ver también con la disposición final de los residuales o efluentes contaminantes. Si esta disposición es directa (a través de pozos, cavernas, etc.), sin previo tratamiento, entonces la contaminación es también directa al acuífero, lo cual sería el peor de los casos. Si es directa la evacuación, pero con tratamiento previo, entonces se aminora sus efectos dañinos. Si el residual se dispone indirectamente, a través de la infiltración natural en el terreno o mediante diversos tipos de tratamientos, se van reduciendo estos efectos. La combinación de la disposición del residual, los tratamientos y las propiedades del sistema acuífero, indican la potencialidad de los tenores de la contaminación impuesta a las aguas subterráneas. Sin embargo, hay dos elementos específicos, básicos, de partida, relacionados con el proceso de contaminación y su valoración: la carga contaminante impuesta al acuífero (tipo, volumen, concentración, conservativa o no conservativa, etc.) y el tiempo de recorrido de la sustancia contaminante (en la zona no saturada y en la saturada, en condiciones naturales y/o artificiales).

El medio físico puede darle cierto grado de protección a los acuíferos al actuar de purificador del agua contaminada cuando ésta percola a través del suelo y otros estratos de la zona no saturada, y cuando viaja a través del acuífero. El grado de atenuación que el ambiente físico pueda efectuar determina el potencial relativo con que el acuífero se contamina.

Todo esto se evalúa a partir de innumerables parámetros básicos, escogidos adecuadamente para representar algunas características. Las principales, relativas a: suelos, cobertura o zona no saturada, zona saturada, rocas o estratos geológicos, contaminación, sus impactos, etc. y algunas de importancia relativa como la topografía, relación agua superficial-subterránea, etc. llegando finalmente a una valoración del grado de vulnerabilidad del sistema en cuestión. Esta valoración puede darse en %, en cantidades o grados de afectación, índices, etc.

En resumen, pueden considerarse los siguientes parámetros como principales y más reconocidos para representar las condiciones de una **vulnerabilidad acuífera**:

Intrínseca:

Del suelo, espesor, textura, estructura, porosidad, humedad, contenido de materia orgánica, contenido de arcilla mineral, permeabilidad.

De la zona no saturada, espesor, porosidad, humedad, en relación sobre todo con el nivel del agua subterránea, litología de los materiales existentes y su consolidación y estratificación, tiempo de recorrido del agua.

Del acuífero o zona saturada, espesor, profundidad al agua subterránea, litología predominante y su estratificación y consolidación, porosidad efectiva, conductividad hidráulica, capacidad de almacenamiento, transmisividad, dirección del flujo de agua subterránea, edad y tiempo de residencia del agua subterránea, lluvia anual y recarga natural anual.

Específica:

Uso natural de las tierras, o sea, (bosques, pastos, cultivos variados), actividades industriales o de asentamientos urbanos, densidad de población, tiempo de recorrido del contaminante en las zonas no saturadas y saturadas, capacidad de atenuación del suelo, de la zona no saturada y del acuífero, en relación con los contaminantes específicos, tiempo de residencia de los contaminantes en el acuífero, características del transporte de los contaminantes, coeficiente de distribución, recarga artificial, irrigación y drenaje.

La valoración de la vulnerabilidad acuífera puede agruparse en métodos y técnicas, acordes a la fisiografía del área de estudio, el propósito del mismo, y a la cantidad y calidad de la información existente, fundamentalmente.

Los métodos hidrogeológicos asociados a los criterios juzgados como condiciones vulnerables, los métodos paramétricos, incluyendo sistemas de matrices, de encuestas y puntuales, asignándoles un peso relativo a cada parámetro, y las relaciones analógicas y modelos numéricos, estos últimos para representar la vulnerabilidad específica, son los más utilizados. (Reyes, 2009).

2.5 Obtención de los índices de calidad del agua (ICA)

Para evaluar la calidad de las aguas se procede a la determinación de los índices de calidad.

La selección de parámetros se realiza según criterios de la problemática lo cual sirve de base para identificar condiciones por las que la calidad del agua se puede ver alterada, tales como: caracteres organolépticos, características físico - químicas, presencia de compuestos no deseados y caracteres microbiológicos.

Diseño de las Curvas Estándares o de Calidad

Las curvas de calidad se confeccionan acompañadas de funciones que permiten obtener una medida del efecto sobre la calidad. Así se obtiene una valoración de todos los parámetros en una unidad común, que permite su comparación y su introducción conjunta en la fórmula final del índice. Se construyen a partir de valores relacionados a límites establecidos en las normativas y asociándolos a estados de la calidad. Se ajustan utilizando el **software Tablecurve - 2DXS**, se obtienen las expresiones matemáticas que relacionan cada parámetro con la calidad, se escogen aquellas funciones que ajustan con coeficientes de regresión. La obtención de las ecuaciones matemáticas de mejor ajuste para las curvas facilita el cálculo del índice mediante ordenador, permitiendo la obtención automatizada de los coeficientes de calidad (Q_i) directamente a partir de la Base de Datos. El cálculo de (Q_i) se realiza sustituyendo el valor del parámetro en la ecuación de ajuste de la curva establecida para cada uno de los indicadores, se obtienen valores que oscila entre 0 y 100. Se confeccionan una cantidad de curvas de calidad. A continuación se exponen ejemplos de las variables a analizar.

Curva para pH

La curva ajustada (Figura 6) describe la calidad en función de este parámetro en el intervalo de 0 - 14 unidades.

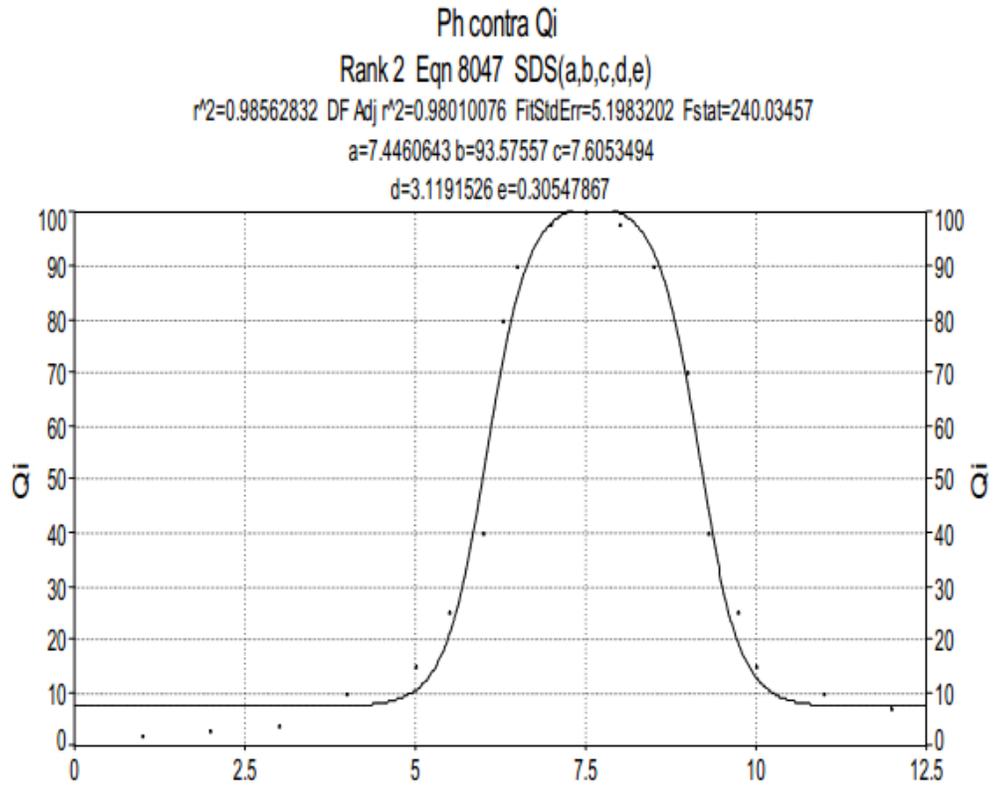


Figura 6 Curva de Calidad en función del pH.

Curva para DBO5

La curva ajustada (Figura 7) describe la calidad en función del parámetro DBO5 en un rango de 1 mg/L a 30 mg/L. A valores de DBO5 < 1 mg/L, la calidad es 100 y si los valores de DBO5 > 30 mg/L, la calidad es cercana a cero.

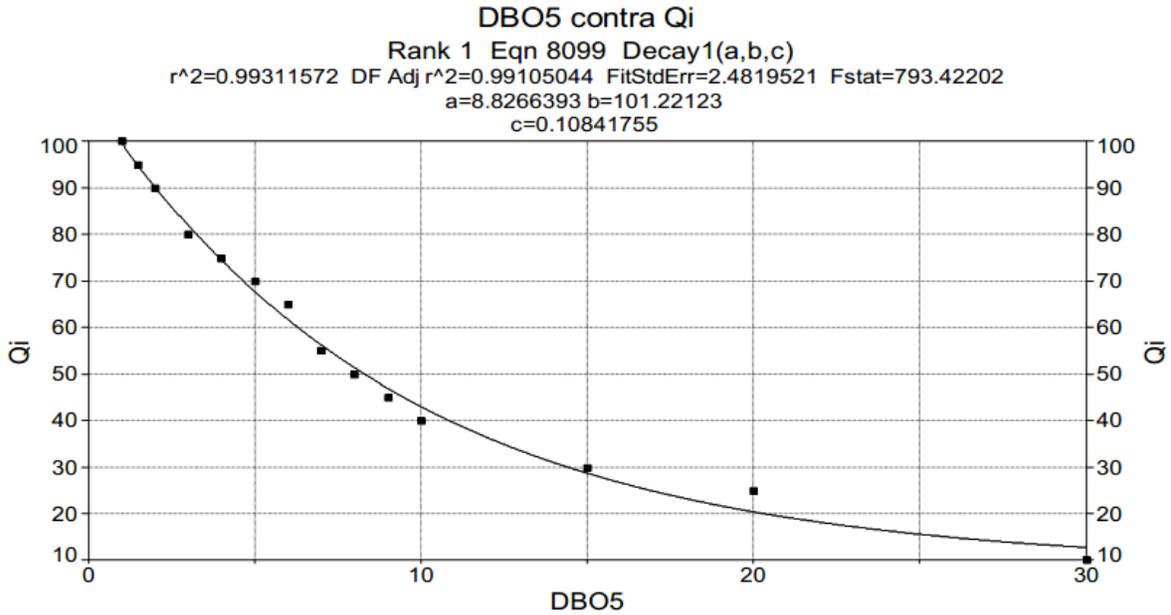


Figura 7 Curva de calidad en función del parámetro DBO5

Finalmente se aplica la metodología (*Dinius, 1987*), modificada con la inclusión de algunos parámetros. La evaluación del ICA utilizando técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos se debe a *Brauw* et al. (1983), obteniéndose a partir de una media geométrica. Ecuación No, 1

$$ICA^{(1)} = \sum_{i=1}^n Qi^{W_i}$$

Donde W_i son los pesos específicos asignados a cada parámetro (i) y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno Q_i es la calidad del parámetro (i), que se calcula en función de la magnitud del parámetro evaluado, según las curvas de calidad, cuya clasificación oscila entre 0 y 100. La sumatoria representa la operación multiplicativa de las variables Q_i elevado a la W_i .

2.6 Procedimiento de Identificación de contaminantes en Cuenca Hidrogeológica

A continuación se describe el procedimiento a seguir y se relacionan las diferentes entidades que intervienen en el proceso.

1 Recopilación de información.

- 1.1 Ubicación geográfica de la cuenca hidrogeológica en estudio.
- 1.2 Delimitación del área de estudio.
- 1.3 Definir si la cuenca de estudio es una fuente de abasto para: (población, agricultura, industria, ganadería etc.).
- 1.4 Características hidrogeológicas de la cuenca.
- 1.5 Ubicación de las posibles fuentes de contaminación en la región.
- 1.6 Fuentes de contaminación actuantes.

2 Verificación in situ.

- 2.1 Identificación de la contaminación y tipos de contaminantes.
- 2.2 Analizar el estado técnico en que se encuentran los equipos o sistemas de tratamiento de residuales.
- 2.3 Buscar lugares deprimidos donde se concentra el escurrimiento superficial.
- 2.4 Establecer lugares más apropiados para el muestreo empleando recintos de tanques, pozos artesanales de la zona, canales de descarga. (Esta tres últimas tareas de la actividad la realiza IPH)
- 2.5 Construcción de pozos de estudio.
- 2.6 Levantamiento ingeniero geológico.

3 Muestreo de suelo y agua.

Suelo

- 3.1 Estimar el volumen de suelo contaminado y ajustar los costos y las prácticas destinadas a la remediación, se debe conocer el perfil para saber la extensión del área.
- 3.2 Realizar una adecuada distribución de los sondeos exploratorios. El distanciamiento entre sondeos depende de la finalidad y grado de precisión prevista en el estudio, del grado de contaminación, de la movilidad de los contaminantes y de las condiciones físicas del medio.
- 3.3 Se extraen muestras para enviarlas al laboratorio. Debe prestarse especial cuidado en no introducir contaminantes durante la perforación, para lo cual no debe

emplearse lubricantes (en las roscas de ensamble de las barras). También es necesario lavar toda la sarta del sondeo, después de cada extracción.

Agua

3.4 Pruebas hidrogeológicas.

3.5 Realizar muestreo después de una semana o más terminada y limpiada la perforación, a fin de permitir el ingreso de los contaminantes que presentan una dinámica mucho más lenta que la del agua.

3.6 Se toman muestras de la fuente para su análisis (ver tabla 2 Anexo 2)

4 Análisis en el laboratorio

4.1 Realizar análisis a las muestras de suelo.

4.2 Hacer análisis a las muestras de agua.

Tabla 2.2 Parámetros y unidades de medidas asignados en el agua

PARÁMETROS	UNIDADES MEDIDA
Color	Unidades
Potencial de Hidrógeno	Unidades
Cloruros	mg/L
Dureza Total	mg/L
Conductividad Eléctrica	μS/cm
Nitrógeno como Nitrato	mg/L
Coliformes Totales	NMP/100 ml

En las fuentes de abastecimiento en que se utilizan sólo desinfección como tratamiento, sus aguas reunirán las características establecidas en la tabla 1 (Ver Anexo 1)

5 Clasificación del cuerpo del agua según los Índices de Calidad.

La utilización de una fuente de abastecimiento de agua para consumo público, estará determinada por los Índices de calidad sanitaria, obteniéndose a partir de una media geométrica. Ecuación No, 1

$$(1) \quad ICA = \sum_{i=1}^n Qi^{W1}$$

Finalmente el ICA que arroja la ecuación (1) es un número que oscila entre 0 y 100, que califica la calidad, a partir del cual y en función del uso del agua, permiten estimar el nivel de contaminación.

Tabla 2.3 Parámetros y pesos asignados

PARÁMETROS	UNIDADES MEDIDA	VALOR W_i
Color	Unidades	0.08
Potencial de Hidrógeno	Unidades	0.10
Cloruros	mg/L	0.05
Dureza Total	mg/L	0.10
Conductividad Eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	0.10
Nitrógeno como Nitrato	mg/L	0.12
Coliformes Totales	NMP/100 ml	0.15
Coliformes Fecales	mg/L	0.15
Demanda Química De Oxígeno(KMnO_4)	mg/L	0.15

5.1 Para Consumo Humano

En los acuíferos que presentan aguas de Excelente Calidad no requieren de tratamiento. Las mismas se caracterizan por buena calidad bacteriológica, no presentan influencia de contaminantes, intrusión salina, ni problemas de nitrificación.

En los acuíferos que presentan aguas de Calidad “Aceptable” requieren tratamiento menor (desinfección). Los mismos presentan buena calidad bacteriológica y el contenido de sales, nitratos y otros componentes están en el rango admisible establecido por la norma.

Los acuíferos que presentan aguas con clasificación de Calidad “Ligeramente Contaminada” es obligatorio el tratamiento convencional.

Los acuíferos con agua catalogada de “Contaminada” y “Muy Contaminada” no están aptos para su uso como fuentes de abasto.

5.2 Para uso agrícola

En los acuíferos que presentan aguas de Excelente Calidad no requieren de tratamiento.

En los acuíferos que presentan aguas de Calidad “Aceptable” requieren tratamiento menor (desinfección), para aquellos cultivos que se consumen de forma directamente sin cocción.

Las Aguas de Clasificación “Ligeramente Contaminadas” son aptas para la mayoría de los cultivos, se requiere información del tipo de cultivo y la tolerancia de los mismos.

Las Aguas de Clasificación “Contaminadas” son aptas para cultivos específicos, tolerantes a altos contenidos de sales, cloruros, boro etc.

Las Aguas de Clasificación “Muy Contaminadas” no están aptas para el riego.

6 Plan de medidas

Estudiar y delimitar las zonas de Protección Sanitaria de las fuentes, según establece la NC 93-01-209: 1990 y fortalecer el control para en ellas solo se realicen las actividades productivas, de servicio y enclaves de asentamientos compatibles con tal zonificación.

Dotar a los asentamientos e industrias que pueden tributar contaminantes a los acuíferos donde están las fuentes de abasto de adecuados sistemas de tratamiento de aguas residuales, sobre todo aquellos que no impliquen formas infiltrantes de efluentes.

Reubicar aquellas fuentes que dado su estado de deterioro de la calidad no son compatibles con los usos a los que están destinados, en particular las de consumo humano.

Entidades que intervienen en la realización del procedimiento según los pasos de trabajo:

1- Interviene la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos (DPRH)

2- Intervienen DPRH y la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos (IPH)

3 y 4- Intervienen los laboratorios de agua del Grupo Empresarial de Investigación y Proyectos de Ingeniería (GEIPI), el de mecánica de suelo del IPH y el laboratorio de suelo del Ministerio de la Agricultura (MINAGRI)

5 y 6-Interviene DPRH

Conclusiones parciales

Con la terminación de este capítulo quedó expuesto de manera precisa la identificación de los contaminantes. También se resume de forma muy sencilla cuales fueron los parámetros principales para identificar una vulnerabilidad acuífera y queda descrito el procedimiento para identificar contaminantes en cuencas hidrogeológicas, el cual se desarrollará en el próximo capítulo.

CAPÍTULO 3. Identificación de Contaminantes en Cuenca Hidrogeológica VC-1 “Dolores–Sagua la Chica”

El territorio de dicha cuenca hidrogeológica ocupa un área de 935 km² en la provincia de Villa Clara; los recursos naturales promedios alcanzan el valor de 134, 033 hm³/año, y está dividida en cinco tramos hidrogeológicos, uno de los cuales, el tramo hidrogeológico VC-I-1, es la formación acuífera más importante de la provincia, de cuyas aguas se abastecen importantes poblaciones como Caibarién y Remedios y el polo turístico de la Cayería nordeste de Villa Clara.

Cuencas Hidrogeológicas de Villa Clara.

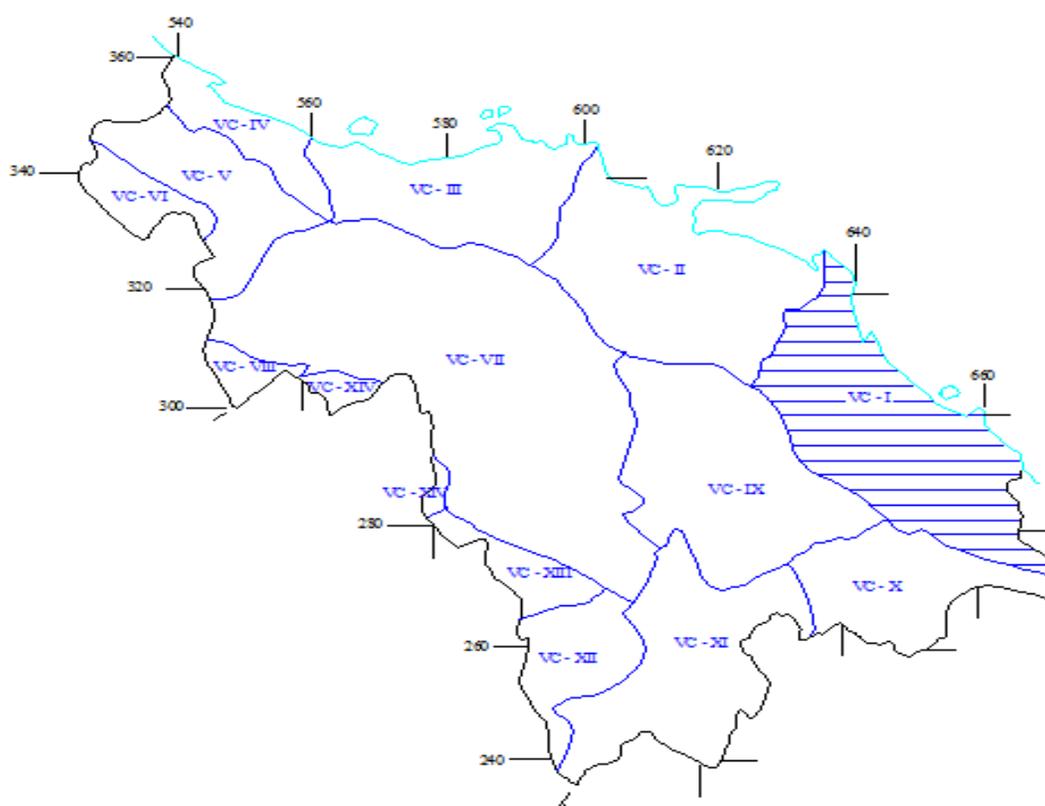


Figura 8 Esquema de ubicación de la cuenca VC-I “Dolores-Sagua La Chica” (Humberto Ramos Jiménez, 2006)

3.1 Bloque VC-I-1 “Dolores-Chiqui Gómez”

Este tramo ocupa un área de 315, 00 km² y se subdivide en seis bloques. Los recursos naturales promedio alcanzan el valor de 64, 302 hm³/año.



Figura 9 Localización del bloque VC-I-1 “Dolores-Chiqui Gómez” de Villa Clara.

Características fisicogeográficas

La mayor parte de los bloques a y b está ocupada por unas llanuras denudativas: amplias, poligenéticas con cotas entre 100 y 150 m s.n.m.m.; dentro de estas llanuras se observa gran cantidad de alturas tectónico – erosivas: horst y bloques medianamente diseccionados (de 60 a 100 m/km²) y pendientes que oscilan entre 5⁰ y 30⁰, con cotas entre 150 y 300 m (II1a) con escarpas erosivas y otras formas cársicas del relieve tales como “diente de perro” (lapiés), furnias, sumideros, etcétera, también se observan pendientes de valle con erosión vertical asociadas a los ríos Guaní, Managüimba y Yagüey.

Características geológicas

En el área ocupada por este tramo está difundido el complejo tectonofacial carbonatado, el cual está constituido por sedimentos carbonatados representados por calizas microcristalinas y organógenas con intercalaciones de dolomitas de la

formación Palenque del Cretácico inferior-superior aptiano cenomaniano (pq K_1 ap- K_2 cm); estas rocas conforman el eje del anticlinorio Remedios y se encuentran fuertemente plegadas, con ángulos de inclinación de hasta 80° .

Características hidrogeológicas

El espesor de la capa cobertora varía dentro de dos intervalos fundamentales: de 0 a 5 m y de 10 a 20 m. El intervalo de 0 a 5 m se corresponde con la zona de alimentación del manto acuífero desarrollado en este tramo y ocupa la mayor parte de su superficie, lindando con los tramos situados al sur; el intervalo de 10 a 20m se corresponde con la zona de almacenamiento del manto acuífero, el cual se halla confinado por los sedimentos arcillosos de la corteza de intemperismo. El espesor del manto acuífero (H) está comprendido en el intervalo entre 10 y 20 m.

La transmisividad (T) predominante del manto acuífero, desarrollado en las rocas colectoras carsificadas difundidas en los bloques a, b, c y d de este tramo, está en el rango entre 1 000 y 5 000 m^2/d . En los bloques e y f predomina la transmisividad comprendida en el rango entre 100 y 1 000 m^2/d , el que ocupa la mayor parte de su superficie hacia el sur, pues en la parte norte restante encontramos la misma trasmisividad que en los otros bloques.

La conductividad hidráulica (K) predominante de las rocas colectoras carsificadas está en el rango entre 100 y 250 m/d. En los bloques e y f predomina la conductividad comprendida en el rango entre 10 y 50 m/d (coincidente con $T = 100$ a $1000 m^2/d$), en la parte norte del bloque e encontramos el mismo rango de la conductividad que en los otros bloques y en la parte norte del bloque f y extremo noroeste del bloque e la conductividad está en el rango de 50 a 100 m/d.

El coeficiente de almacenamiento (μ) varía dentro del tramo de un bloque a otro, desde 0,031 (bloque e) hasta 0,060 (bloque a).

Los caudales predominantes (Q) y por tanto más probables de obtener mediante las obras de captación (sobre todo pozos) de las rocas colectoras carsificadas

difundidas en este tramo se presentan en dos intervalos fundamentales: el intervalo de acuosidad más ampliamente difundido es el situado en el rango de 50 a 100 l/s y ocupa la mayor parte del bloque.

La alimentación de las aguas subterráneas difundidas en este tramo ocurre fundamentalmente en su parte sur, donde el espesor de la capa cobertora es menor de 5 m y por ende se facilita la infiltración de las aguas pluviales (principal fuente de alimentación) y de las aguas de escorrentía por las laderas o corrientes superficiales.

La descarga (drenaje) de las aguas subterráneas ocurre tanto por causas naturales como antropogénicas: la causa natural principal está constituida por el drenaje superficial a través de los innumerables canales y zanjas (v. gr. Canal de Aguas Lindas, Zanja Los Chinos, y otras muchas más) que tienen su origen en las zonas de contacto entre las rocas cretácicas de alta conductividad hidráulica y las paleogénicas de baja conductividad, por lo cual el flujo subterráneo se ve forzado a escurrir superficialmente.

Las hidroisohispas trazadas permiten determinar la dirección y el sentido del flujo subterráneo, el cual en este tramo lo vemos orientado perpendicularmente a las estructuras geológicas y con rumbo SO-NE. En la zona de alimentación predominan las cotas más elevadas, entre 20 y algo más de 40 m (bloque a, b, c, d y mitad oriental del e) y entre 20 y 30 m en la mitad occidental del bloque d y en el f; en la zona de almacenamiento predominan las cotas entre 10 y 20 m y en la zona de descarga entre algo más de 5 y 10 m.

El valor del gradiente hidráulico medio varía desde 0,0021 (bloque e) hasta 0,0026 (bloque b), el valor medio ponderado para el tramo es de 0,002.

Como reflejo directo de las características hidrogeológicas antes descritas, podemos señalar que este tramo presenta considerables recursos hídricos, distribuidos de manera no uniforme en los distintos bloques que lo componen. (Humberto Ramos Jiménez, 2003).

3.2 Procedimiento de Identificación de Contaminantes en el Bloque VC-I-1 “Dolores-Chiqui Gómez”

1 Recopilación de información.

1.1 Ubicación geográfica de la cuenca hidrogeológica en estudio.

Este tramo se encuentra comprendido específicamente dentro de la Llanura Costera del Norte de Las Villas entre los municipios de Remedios y Caibarién.

1.2 Delimitación del área de estudio.

Delimita con las cuencas hidrogeológicas al norte VC I-3, al sur con la VC I-4, al este con Sancti Spíritu y al oeste con la VC-2-1 Perucho Figueredo.

1.3 Definir si la cuenca de estudio es una fuente de abasto para: (población, agricultura, industria, ganadería etc.).

La cuenca es una fuente de abasto pues la misma abastece a poblaciones como: Remedios, Caibarién, Zulueta; el polo turístico de la Cayería Nordeste de Villa Clara y sistemas de riego de planes agrícolas fundamentalmente.

1.4 Características hidrogeológicas de la cuenca.

Se emplea un mapa hidrogeológico de la región para determinar dichos parámetros.

1.5 Ubicación de las posibles fuentes de contaminación en la región.

Debe señalarse como “foco potencial de contaminación” el vertimiento de residuales del CAI “Chiquitico Fabregat”, el cual representaría un peligro potencial para la calidad de las aguas subterráneas fundamentalmente del bloque VC-I-1-c, en el cual están situados los pozos G-266 y G-267 de abasto a la ciudad de Caibarién.

Otro posible “foco potencial de contaminación” de la calidad de las aguas subterráneas del tramo, en este caso para las aguas difundidas en el bloque VC-I-1-e, lo representan los residuales del Porcino Charco Hondo, aguas abajo y hacia el norte del cual se encuentran pozos de abasto a comunidades rurales tal como el batey Refugio.

Otro posible “foco potencial de contaminación” de la calidad de las aguas subterráneas del tramo, es la UEB "Patricio Lumumba", que se encuentra localizada en la carretera de Caibarién a Remedios, Km 3½ municipio Caibarién (Perez, 2014).

Debe señalarse como “foco potencial de contaminación” las descargas de aguas residuales a los ríos "Guaní" y "Managüimba" generadas por la destilería, central azucarero e integral porcino "Heriberto Duquesne", entidades productivas de la Empresa Azucarera Villa Clara.

1.6 Fuentes de contaminación actuantes.

Como fuentes actuantes de contaminación dentro de esa región lo constituye las UEB CAI Heriberto Duquesne ubicado en Remedios, que vierte gran cantidad de residuales a dicha cuenca.

2 Verificación in situ

2.1 Identificación de la contaminación y tipos de contaminantes.

Para el caso de estudio se identificaron los siguientes contaminantes y sus formas de medir la contaminación:

Se encontró que las vinazas generadas contienen en términos generales altas cargas de sólidos disueltos, de materia orgánica (polímeros nitrogenados de color café, fenoles, etc.) gran parte de la cual es recalcitrante, cenizas, y la demanda bioquímica (DBO) y química de oxígeno (DQO) las cuales son un índice de su carácter contaminante estaban fuera del rango permisible en los puntos de muestreo.

En cuanto a la contaminación se pudo constatar que hubo una pérdida de la calidad del agua terrestre, superficial o subterránea, para su uso en el abasto a la población, la industria, la agricultura y al Polo Turístico Cayería del Noreste de Villa Clara.

Disminuyó la disponibilidad (caudales) de agua para el abasto a la población, la industria, la agricultura y al Polo Turístico Cayería del Noreste. También bajó de forma drástica la capacidad agroproductiva de los suelos.

2.2 Analizar el estado técnico en que se encuentran los equipos o sistemas de tratamiento de residuales.

En el enfriadero de la planta del biogás, por su estado técnico deplorable, se producen vertimientos del residual hacia el exterior en días donde la dirección y la velocidad del viento lo favorecen, pudiendo llegar a contaminar el río "**Managüimba**".

Los tanques de recepción de vinazas y aguas residuales de la destilería tienen insuficiente capacidad respecto al volumen de descarga instantánea, situación que limita su captación y contención para una evacuación controlada hacia la planta de biogás y posibilita los derrames directos de vinaza cruda al río "**Guaní**" cuando se produce interrupción del bombeo, descargue completo de las columnas de destilación por paradas no planificadas, manipulación indebida o rotura de válvulas.

2.3 Buscar lugares deprimidos donde se concentra el escurrimiento superficial.

2.4 Establecer lugares más apropiados para el muestreo empleando recintos de tanques, pozos artesanales de la zona, canales de descarga.

Después de un vasto recorrido por la zona se decidió tomar las muestras en los siguientes lugares tanto de forma superficial como subterránea.

Tabla 3.1 Lugares donde se tomaron las muestras en aguas superficiales

Descargas desde Heriberto Duquesne.
Puente carretera a Buena Vista.
Puente terraplén a San Galletano.
Confluencia las Guásimas-Managüimba.
Sumidero del río.
Puente camino Dolores.

Puente carretera a Yaguajay.
Puente carretera a Buena Vista.
Descarga de lagunas de oxidación.
Puente carretera Rojas-Dolores.
Rio cercano loma Guajabana.
Confluencia Arroyo Aguas Claras
Manantial natural cercano a la confluencia con arroyo Aguas Claras

Tabla 3.2 Lugares donde se tomaron las muestras en aguas subterráneas

Fca. Monteagudo, CPA Sabino Pupo.
Casa a 200 m del rio "Guaní". Guajabana.
Fca. La Aguada.
Pozo Méndez.
Fuente de abasto actual de la Cayería.
Obras de captación de Buena Vista.
Pozo cercano a las lagunas de oxidación.

2.5 Construcción de pozos de estudio.

En la región se contó con los pozos necesarios para realizar los estudios pertinentes, ayudando los mismos a no incurrir en gastos innecesarios por concepto de perforación.

2.6 Levantamiento ingeniero geológico

. Tabla 3.3 Características hidrogeológicas del bloque VC-I-1 en Villa Clara

Espesor de la capa cobertora	Varía de 0-5m y de 10-20m
Transmisividad	1 000 y 5 000 m ² /d
Conductividad hidráulica	100 y 250 m/d
Coeficiente de almacenamiento	0, 031 (bloque e) hasta 0, 060 (bloque a).
Recarga	50 a 100 l/s
Drenaje	Ocurre tanto por causas naturales como antropogénicas
Gradiente hidráulico	0, 002

3 Muestreo de suelo y agua.

Suelo

3.1 Estimar el volumen de suelo contaminado y ajustar los costos y las prácticas destinadas a la remediación, se debe conocer el perfil para saber la extensión del área.

Se estima un volumen de suelo contaminado que responde a un área de 60 km²

3.2 Realizar una adecuada distribución de los sondeos exploratorios. El distanciamiento entre sondeos depende de la finalidad y grado de precisión prevista en el estudio, del grado de contaminación, de la movilidad de los contaminantes y de las condiciones físicas del medio.

Se realizó adecuadamente la distribución de sondeos en el campo que comenzaron con el levantamiento ingeniero geológico del área de trabajo a través de

marcharrutas dentro del área seleccionada, con la descripción tacto visual de los materiales superficiales y la ubicación preliminar de las calas a ejecutarse.

3.3 Se extraen muestras para enviarlas al laboratorio. Debe prestarse especial cuidado en no introducir contaminantes durante la perforación, para lo cual no debe emplearse lubricantes (en las roscas de ensamble de las barras). También es necesario lavar toda la sarta del sondeo, después de cada extracción.

Dividir la superficie en una red imaginaria, dado por el número de muestras a recoger. Una vez tomadas las muestras se envían al laboratorio.

Agua

3.4 Pruebas hidrogeológicas

Desde el punto de vista hidrogeológico para la valoración de la influencia de las aguas residuales del central al medio y al acuífero, es indispensable conocer los valores de permeabilidad de suelos y rocas (K_f) que conforman la base de la misma. Con este objetivo durante el diagnóstico, en los pozos existentes se ejecutaron pruebas hidrogeológicas de vertimientos por el método Express.

3.5 Realizar muestreo después de una semana o más terminada y limpiada la perforación, a fin de permitir el ingreso de los contaminantes que presentan una dinámica mucho más lenta que la del agua.

En el caso de los pozos de estudio como ya estaban hechos la forma de tomar la muestra de agua se hizo a través de las bombas instaladas.

3.6 Se toman muestras de la fuente para su análisis.

Para ello se tomaron muestras compuestas que no es más que las obtenidas por mezcla y homogeneización de muestras simples recogidas en el mismo punto en diferentes momentos. Son útiles para determinar concentraciones medias con vistas a calcular las cargas de los residuales. Generalmente se toman muestras compuestas que representan períodos de 24 horas.

Para este caso el número mínimos de muestras fueron 60.

4 Análisis en el laboratorio

4.1 Realizar análisis a las muestras de suelo.

Según los resultados que se obtienen dan dentro del rango permisible.

4.2 Hacer análisis a las muestras de agua.

Los resultados quedan expuestos en las siguientes tablas:

Tabla 3.4 Resultados de los análisis de las muestras de agua tomadas en el curso de los ríos "Guaní" y "Managüimba"

ID	Cuerpo Receptor Hídrico		PARÁMETROS				
	Nombre	Punto de muestreo	T (°C)	pH	OD(mg /l)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)
			Parámetro fijado según Norma				
			40	6-9	-	40	90
1	Rio Guásiimas-Managüimba	Descargas desde Heriberto Duquesne.	40	9,2	0,75	247	2248
2		Puente carretera a Buena Vista.	36	7,2	2,4	155.5	3760
3		Puente terraplén a San Galletano.	30	7,7	6,9	76,9	1840
4		Confluencia las Guásimas-Managüimba.	27	7,9	3,4	84	2100
5		Sumidero del rio.	22	7,4	8,6	60	1800
6		Puente camino Dolores.	25	6,8	6,5	58	6800
7		Puente carretera a Yaguajay.	25	7,3	2,20	50	3520
8	Rio Guaní	Puente carretera a Buena Vista.	50	4,6	0	432	43200
9		Descarga de lagunas de oxidación.	32	5,4	0.45	253	2530
10		Puente carretera Rojas-Dolores.	25	5,6 8	0.79	45	2240
11		Rio cercano loma Guajabana.	25	5,0 8	0.87	42	2180
12		Confluencia Arroyo Aguas Claras	25	7,2	8,0	40	2400
13	Manantial natural cercano a la confluencia con arroyo Aguas Claras	20	-	-	9,3	60	

Tabla 3.5 Resultados de los análisis de las muestras de agua tomadas en pozos ubicados en el área de estudio.

ID	Ubicación de los pozos muestreados	PARAMETROS					
		pH	CE(μ S/cm)	Turbiedad (Unidades)	Nitratos (mg/l)	Nitritos (mg/l)	Sodio (mg/l)
		Parámetro fijado según Norma					
		6.5-8.5	1000	5	45	0,2	200
1	Fca. Montegudo, CPA Sabino Pupo.	7,54	860	10	4	0,002	33
2	Casa a 200 m del río "Guaní". Guajabana.	7,20	930	5	9	0,02	19
3	Pozo Méndez.	7,59	670	5	9	0,01	18
4	Fuente de abasto actual de la Cayería.	7,30	565	3	1	-	14
5	Obras de captación de Buena Vista.	7,23	750	5	0	0	17
6	Pozo cercano a las lagunas de oxidación.	7,11	1000	5	12	-	46

Los resultados del laboratorio, tanto en las muestras de suelo como en las de agua, resultan los factores determinativos para decidir sobre la necesidad de remediación y definir las técnicas a utilizar para ello.

Del trabajo realizado anteriormente se puede decir que existe la presunción razonablemente fundamentada de que el riesgo de contaminación de estas aguas es alto, pero como muestran los datos no existe contaminación en los pozos muestreados. En el punto del sumidero del río "**Managüimba**" (punto de muestreo N° 5 que se describe en la tabla Resultados de los análisis de las muestras de agua tomadas en el curso de los ríos "Guaní" y "Managüimba") los valores DBO₅ (mg/l) y DQO (mg/l) son anómalos, adquiriendo valores que alcanzan casi el doble de lo normado respecto a la DBO₅ y **veinte veces** respecto a la DQO, más que suficiente para que de forma progresiva se deteriore la calidad de las aguas subterráneas en la zona, destacándose el acuífero del que se abastece fuentes de agua, entre ellos las del polo turístico Cayería del Noreste.

Una vez realizado un exhaustivo estudio de la cuenca se pudo concluir que las condiciones sanitarias generales de este tramo, donde está presente un acuífero de carácter libre, en general pueden considerarse como satisfactorias, pues dentro de su entorno los focos de contaminación existentes no ofrecen peligro de contaminar a las aguas subterráneas.

5 Clasificación del cuerpo de agua según los Índices de Calidad.

La clasificación se obtiene según el índice de calidad del agua (ICA) obtenido mediante el empleo de las curvas estándares o de calidad.

La utilización de la fuente de abasto está determinada por los Índices de calidad sanitaria.

Para Consumo Humano

Tabla 3.6 Clasificación del cuerpo de agua para consumo humano

CLASE	CALIFICACIÓN CUERPO DE AGUA	RANGO DE VALOR DEL ICA
2	Aceptable Calidad	80 - 90

En el acuífero se presentan aguas de Calidad “Aceptable” que requieren tratamiento menor (desinfección). El mismo presenta buena calidad bacteriológica y el contenido de sales, nitratos y otros componentes están en el rango admisible establecido por la norma.

Para uso agrícola

Tabla 3.7 Clasificación del cuerpo de agua para uso agrícola

CLASE	CALIFICACIÓN CUERPO DE AGUA	RANGO DE VALORES (ICA)	NIVEL DE TOLERANCIA
2	Aceptable Calidad	70 - 90	Tratamiento menor

Las Aguas de Clasificación “Aceptable” requieren (desinfección) para aquellos cultivos que se consumen de forma directamente sin cocción.

6 Plan de medidas

6.1 Estudiar y delimitar las zonas de Protección Sanitaria de las fuentes, según establece la NC 93-01-209: 1990 y fortalecer el control para en ellas solo se realicen las actividades productivas, de servicio y enclaves de asentamientos compatibles con tal zonificación.

6.2 Dotar a las industrias que tributan contaminantes a los acuíferos donde están las fuentes de abasto de adecuados sistemas de tratamiento de aguas residuales, sobre todo aquellos que no impliquen formas infiltrantes de efluentes.

6.3 Reubicar aquellas fuentes que dado su estado de deterioro de la calidad no son compatibles con los usos a los que están destinados, en particular las de consumo humano.

6.4 Realizar mejoras tecnológicas en los procesos de producción de azúcar crudo y mieles en el central azucarero y en la de producción de alcohol en la destilería que minimicen los consumos de agua y la emisión de residuos, en particular las aguas residuales.

6.5 Mejorar el diseño y estado técnico del enfriadero de vinaza en la planta de biogás, eliminando los vertimientos del residual hacia el exterior de esta instalación.

3.3 Identificación de Contaminantes sin la aplicación del procedimiento.

Entre las principales desventajas de no emplear un procedimiento para la identificación de contaminantes aparecen en que el organismo encargado de cumplir dicha tarea incurra en un gasto de dinero excesivo por tener que realizar dos o tres veces la misma prueba en distintos momentos. Además que se le hace engorroso el desempeño de trabajo a técnicos e ingenieros que estén al frente de la tarea, trayendo consigo el aumento del tiempo dedicado a dicha labor y por consiguiente se aumenta el tiempo de dar una respuesta efectiva ante el problema generado. A

continuación se muestra los errores más comunes que se puede incurrir en la elaboración de la tarea sin un procedimiento a seguir.

1 Recopilación de información.

1.1 Ubicación geográfica de la cuenca hidrogeológica en estudio.

1.2 Delimitación del área de estudio.

1.3 Definir si la cuenca de estudio es una fuente de abasto para: (población, agricultura, industria, ganadería etc.).

1.5 Ubicación de las posibles fuentes de contaminación en la región.

1.4 Características hidrogeológicas de la cuenca.

1.6 Fuentes de contaminación actuantes.

2 Verificación in situ.

2.1 Identificación de la contaminación y tipos de contaminantes.

2.2 Analizar el estado técnico en que se encuentran los equipos o sistemas de tratamiento de residuales.

2.3 Buscar lugares deprimidos donde se concentra el escurrimiento superficial.

2.5 Construcción de pozos de estudio.

2.4 Establecer lugares más apropiados para el muestreo empleando recintos de tanques, pozos artesanales de la zona, canales de descarga.

2.6 Levantamiento ingeniero geológico.

3 Muestreo de suelo y agua.

Suelo

3.1 Estimar el volumen de suelo contaminado y ajustar los costos y las prácticas destinadas a la remediación.

3.2 Realizar una adecuada distribución de los sondeos exploratorios. El distanciamiento entre sondeos depende de la finalidad y grado de precisión prevista

en el estudio, del grado de contaminación, de la movilidad de los contaminantes y de las condiciones físicas del medio.

3.3 Se extraen muestras para enviarlas al laboratorio. Debe prestarse especial cuidado en no introducir contaminantes durante la perforación y/o el muestreo, para lo cual no debe emplearse lubricantes (en las roscas de ensamble de las barras). También es necesario lavar toda la sarta del sondeo, después de cada extracción.

AGUA

3.4 Pruebas hidrogeológicas

3.6 El muestreo se realiza después de una semana o más, terminada y limpiada la perforación, a fin de permitir el ingreso de los contaminantes que presentan una dinámica mucho más lenta que la del agua

3.5 Se toman muestras de la fuente para su análisis.

4 Análisis en el laboratorio

4.1 Realizar análisis a las muestras de suelo.

4.2 Hacer análisis a las muestras de agua.

5 Clasificación del cuerpo del agua según los Índices de Calidad.

Para Consumo Humano y agrícola

La clasificación es según los resultados obtenidos en el laboratorio.

6 Plan de medidas

Las medidas tomadas son adecuadas para la problemática presentada debido a los problemas presentados anteriormente.

En esta identificación de contaminantes sin la aplicación del procedimiento se puede incurrir en tres variantes de mal procedimiento como son:

1. El primero se da en el 1.5 ocurre el problema de definir erróneamente el lugar y fuentes de contaminación, debido al no empleo oportuno de la información de las características hidrogeológicas de la cuenca que se obtuvieron en la recopilación de información.

2. El segundo caso se presenta en el 2.5 en la construcción de los pozos inadecuadamente debido a que no se emplean los lugares más propicios para ello, trayendo consigo que se duplique el dinero a gastar por tener que realizar nuevos pozos que de verdad sean representativos del lugar de estudio.

3. El tercer error se comete en el 3.6 aquí el problema radica en la determinación de contaminantes en las fuentes, pues estos presentan una dinámica de movimiento mucha más lenta que la del agua y si no espera el tiempo necesario (una semana o más) no se obtienen los valores reales de dicha contaminación.

3.4 Valoración económica

Tabla 3.6 Costo con la aplicación del procedimiento

Con la aplicación del Procedimiento		
Actividades	Trabajos	Costos
1 Recopilación de información.		
1.1 Ubicación geográfica de la cuenca hidrogeológica en estudio.	Trabajo especialistas.	\$ 530.00
1.2 Delimitación del área de estudio.		
1.3 Definir si la cuenca de estudio es una fuente de abasto para: (población, agricultura, industria, ganadería etc.).		
1.4 Características hidrogeológicas de la cuenca. (Espesor de la capa cobertora, trasmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de		

almacenamiento, recarga, drenaje, gradiente hidráulico,		
1.5 Ubicación de las posibles fuentes de contaminación en la región.		
1.6 Fuentes de contaminación actuantes.		
2 Verificación in situ.		
2.1 Identificación de la contaminación y tipos de contaminantes.	Traslado para atención técnica comisión de ingeniería geológica	\$ 618.96
2.2 Analizar el estado técnico en que se encuentran los equipos o sistemas de tratamiento de residuales.		
2.3 Buscar lugares deprimidos donde se concentra el escurrimiento superficial.		
2.4 Establecer lugares más apropiados para el muestreo empleando recintos de tanques, pozos artesanales de la zona, canales de descarga.	Toma de puntos GPS	\$ 1075.77
2.5 Construcción de pozos de estudio.	Perforación	\$ 2067.00
2.6 Levantamiento ingeniero	Levantamiento	\$ 406.60

geológico.		
3 Muestreo de suelo y agua.		
Suelo		
3.1 Estimar el volumen de suelo contaminado y ajustar los costos y las prácticas destinadas a la remediación, se debe conocer el perfil para saber la extensión del área.	Muestra de suelo	\$ 576.6
3.2 Realizar adecuada distribución de los sondeos exploratorios. El distanciamiento entre sondeos depende de la finalidad y grado de precisión prevista en el estudio, del grado de contaminación, de la movilidad de los contaminantes y de las condiciones físicas del medio.		
3.3 Se extraen muestras para enviarlas al laboratorio. Debe prestarse especial cuidado en no introducir contaminantes durante la perforación y/o el muestreo, para lo cual no debe emplearse lubricantes (en las roscas de ensamble de las barras). También es necesario lavar toda la sarta del sondeo, después de cada extracción.		
AGUA		

3.4 Pruebas hidrogeológicas		\$ 2721.7
3.5 Realizar muestreo después de una semana o más terminada y limpiada la perforación, a fin de permitir el ingreso de los contaminantes que presentan una dinámica mucho más lenta que la del agua.	Muestreo hidrogeológico	
3.6 Se toman muestras de la fuente para su análisis.		
4 Análisis en el laboratorio		
4.1 Realizar análisis a las muestras de suelo.	Análisis del suelo	\$ 576.6
4.2 Hacer análisis a las muestras de agua.	Análisis del agua	\$ 525.699
5 Clasificación del cuerpo del agua según los Índices de Calidad.		
Para Consumo Humano y agrícola	Trabajo especialistas.	\$450.00
La clasificación es según los resultados obtenidos en el laboratorio.		
6 Plan de medidas		
Las medidas tomadas son adecuadas para la problemática presentada debido a los problemas presentados anteriormente.	Trabajo especialistas.	\$520.00

Costo total		\$10068.929
--------------------	--	--------------------

Tabla 3.7 Costo sin la aplicación del procedimiento

Sin la aplicación del Procedimiento con menor costo		
Actividades	Trabajos	Costos
1 Recopilación de información.		
1.1 Ubicación geográfica de la cuenca hidrogeológica en estudio.	Trabajo especialistas.	530.00
1.2 Delimitación del área de estudio.		
1.3 Definir si la cuenca de estudio es una fuente de abasto para: (población, agricultura, industria, ganadería etc.).		
1.4 Características hidrogeológicas de la cuenca. (Espesor de la capa cobertora, trasmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, recarga, drenaje, gradiente hidráulico,		
1.5 Ubicación de las posibles fuentes de contaminación en la región.		
1.6 Fuentes de contaminación actuantes.		

2	Verificación in situ.		
2.1	Identificación de la contaminación y tipos de contaminantes.	Traslado para atención técnica comisión de ingeniería geológica	\$ 618.96
2.2	Analizar el estado técnico en que se encuentran los equipos o sistemas de tratamiento de residuales.		
2.3	Buscar lugares deprimidos donde se concentra el escurrimiento superficial.		
2.4	Establecer lugares más apropiados para el muestreo empleando recintos de tanques, pozos artesanales de la zona, canales de descarga.	Toma de puntos GPS	\$ 1075.77
2.5	Construcción de pozos de estudio.	Perforación	\$ 2067.00
2.6	Levantamiento ingeniero geológico.	Levantamiento	\$ 406.60
3	Muestreo de suelo y agua.		
	Suelo		
3.1	Estimar el volumen de suelo contaminado y ajustar los costos y las prácticas destinadas a la remediación, se debe conocer el perfil para saber la extensión del área.	Muestra de suelo	\$ 576.6

<p>3.2 Realizar adecuada distribución de los sondeos exploratorios. El distanciamiento entre sondeos depende de la finalidad y grado de precisión prevista en el estudio, del grado de contaminación, de la movilidad de los contaminantes y de las condiciones físicas del medio.</p>		
<p>3.3 Se extraen muestras para enviarlas al laboratorio. Debe prestarse especial cuidado en no introducir contaminantes durante la perforación y/o el muestreo, para lo cual no debe emplearse lubricantes (en las roscas de ensamble de las barras). También es necesario lavar toda la sarta del sondeo, después de cada extracción.</p>		
<p>Agua</p>		
<p>3.4 Se realizan las pruebas hidrogeológicas según ubicación del pozo de estudio</p>	<p>Muestreo hidrogeológico</p>	<p>\$ 2721.7</p>
<p>3.6 Se toman muestras de la fuente para su análisis.</p>		

3.5 El muestreo se realiza después de una semana o más, terminada y limpiada la perforación, a fin de permitir el ingreso de los contaminantes que presentan una dinámica mucho más lenta que la del agua.		
3.7 Se toman nuevamente muestras de la fuente para su análisis.	Muestreo hidrogeológico	\$ 1500.7
4 Análisis en el laboratorio		
4.1 Se obtienen resultados alterados de las muestras de suelo debido a la mala ubicación del pozo de estudio.	Análisis del suelo	\$ 576.6
4.2 Los resultados de las muestras de agua dan inapropiados debido a que se toman antes de la semana de la construcción del pozo.	Análisis del agua	\$ 525.699
4.4 Se tienen que volver a realizar los análisis del agua	Análisis del agua	\$ 525.699
5 Clasificación del cuerpo del agua según los Índices de Calidad.		
Para Consumo Humano y agrícola		
La clasificación da alterada debido a los problemas presentados anteriormente.		

6 Plan de medidas		
Las medidas tomadas no son las adecuadas para la problemática presentada debido a los problemas presentados anteriormente.		
Costo total		\$11125.328

Tabla 3.8 Costo sin la aplicación del procedimiento

Sin la aplicación del Procedimiento con mayor costo		
Actividades	Trabajos	Costos
1 Recopilación de información.		
1.1 Ubicación geográfica de la cuenca hidrogeológica en estudio.	Trabajo especialistas.	\$530.00
1.2 Delimitación del área de estudio.		
1.3 Definir si la cuenca de estudio es una fuente de abasto para: (población, agricultura, industria, ganadería etc.).		
1.5 Características hidrogeológicas de la cuenca. (Espesor de la capa cobertora, trasmisividad, conductividad hidráulica,		

<p>coeficiente de almacenamiento, recarga, drenaje, gradiente hidráulico.)</p>		
<p>1.4 Ubicación de las posibles fuentes de contaminación en la región.</p>		
<p>1.6 Fuentes de contaminación actuantes.</p>		
<p>1.7 Se tiene que volver a ubicar las posibles fuentes.</p>	<p>Trabajo especialistas.</p>	<p>\$ 420.00</p>
<p>1.8 Fuentes de contaminación actuantes.</p>		
<p>1.9 Características hidrogeológicas de la cuenca. (Espesor de la capa cobertora, trasmisividad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, recarga, drenaje, gradiente hidráulico.)</p>		
<p>2 Verificación in situ.</p>		
<p>2.1 Identificación de la contaminación y tipos de contaminantes.</p>	<p>Traslado para atención técnica comisión de ingeniería geológica</p>	<p>\$ 618.96</p>
<p>2.2 Analizar el estado técnico en que se encuentran los equipos o sistemas de tratamiento de residuales.</p>		
<p>2.3 Buscar lugares deprimidos donde se concentra el escurrimiento superficial.</p>		

2.4 Construcción de pozos de estudio.	Perforación	\$ 2067.00
2.5 Establecer lugares más apropiados para el muestreo empleando recintos de tanques, pozos artesanales de la zona, canales de descarga.	Toma de puntos GPS	\$ 1075.77
2.6 Construcción de pozos de estudio.	Perforación	\$ 2067.00
2.7 Levantamiento ingeniero geológico.	Levantamiento	\$ 406.60
3 Muestreo de suelo y agua.		
Suelo		
3.1 Estimar el volumen de suelo contaminado y ajustar los costos y las prácticas destinadas a la remediación, se debe conocer el perfil para saber la extensión del área.	Muestra de suelo	\$ 576.6
3.2 Realizar adecuada distribución de los sondeos exploratorios. El distanciamiento entre sondeos depende de la finalidad y grado de precisión prevista en el estudio, del grado de contaminación, de la movilidad de los contaminantes y de las condiciones físicas del medio.		
3.3 Se extraen muestras para enviarlas al laboratorio. Debe prestarse especial cuidado en no introducir contaminantes durante la perforación y/o el muestreo,		

para lo cual no debe emplearse lubricantes (en las roscas de ensamble de las barras). También es necesario lavar toda la sarta del sondeo, después de cada extracción.		
Agua		
3.4 Se realizan mal las pruebas hidrogeológicas debido a la mala ubicación del pozo de estudio	Muestreo hidrogeológico	\$ 2721.7
3.5 Se toman muestras de la fuente para su análisis.		
3.6 El muestreo se realiza después de una semana o más, terminada y limpiada la perforación, a fin de permitir el ingreso de los contaminantes que presentan una dinámica mucho más lenta que la del agua.		
3.7 Se toman muestras de la fuente para su análisis.	Muestreo hidrogeológico	\$ 1500.7
4 Análisis en el laboratorio		
4.1 Se obtienen resultados alterados de las muestras de suelo debido a la mala ubicación del pozo de estudio.	Análisis del suelo	\$ 576.6
4.2 Los resultados de las muestras de agua dan inapropiados debido a que se	Análisis del agua	\$ 525.699

toman antes de la semana de la construcción del pozo.		
4.4 Se tienen que volver a realizar los análisis del agua	Análisis del agua	\$ 525.699
5 Clasificación del cuerpo del agua según los Índices de Calidad.		
Para Consumo Humano y agrícola		
La clasificación da alterada debido a los problemas presentados anteriormente.		\$ 450
6 Plan de medidas		
Las medidas tomadas no son las adecuadas para la problemática presentada debido a los problemas presentados anteriormente.		\$ 520
Costo total		\$14583.29

Tabla 3-9 Resumen de los costos con y sin procedimiento

Costo con procedimiento	\$10068.929
Costo sin procedimiento menos caro	\$11125.328
Costo sin procedimiento más caro	\$14583.29



Gráfico 1 Valores de los costos de trabajo

Conclusiones parciales

Con la terminación de este capítulo quedó demostrado de forma clara las ventajas de la aplicación de un procedimiento para la identificación de contaminantes en cuencas hidrogeológicas, aplicándolo a través de un ejemplo real que existe en la zona donde se realizó dicho estudio. Además se corroboró que aplicando dicho procedimiento se puede ahorrar gastos innecesarios y acortar el tiempo de respuesta ante la problemática planteada.

CONCLUSIONES

- 1** Con la aplicación del procedimiento de identificación de contaminantes en cuencas hidrogeológicas se logra un orden en la realización de las actividades, y se describen cada una de las entidades que intervienen en el proceso.
- 2** La descripción de la teoría relacionada con la acción de contaminantes en cuencas hidrogeológicas permite desarrollar el procedimiento para la identificación de contaminantes, ya que mediante el tipo de contaminación y el movimiento de contaminantes en el subsuelo, así como otras características del medio, admiten determinar el tipo de contaminante que actúa.
- 3** La vulnerabilidad de contaminación en cuencas hidrogeológicas permite representar las características geológicas e hidrológicas intrínsecas que determinan la facilidad con la que el agua subterránea puede contaminarse por la actividad humana.
- 4** Se conocen los impactos ambientales generados por la contaminación en cuencas hidrogeológicas, lo cual permite crear medidas de prevención para mitigar o eliminar los posibles impactos ambientales que se pueden producir.
- 5** El análisis económico permite evitar el incremento del costo en la identificación de contaminantes mediante aplicación del procedimiento adecuado para ello.

RECOMENDACIONES

- 1** Implementar un programa apropiado de monitoreo en las zonas para determinar el estado de la calidad de las aguas, tanto superficiales como subterráneas y predecir sus tendencias futuras.
- 2** Cumplir lo establecido en la NC-93-01-209, para preservar el favorable estado sanitario de la cuenca hidrogeológica y por ende la satisfactoria calidad fisicoquímica y bacteriológica de las aguas subterráneas difundidas en ésta.
- 3** Actualizar el procedimiento de identificación de contaminantes en cuenca hidrogeológica con la participación de las diferentes entidades que intervienen.
- 4** Revisar el costo de identificación de contaminantes en cuenca hidrogeológica en cada trabajo pues este depende de las características de la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. M. C. 2013. *Evaluación de Riesgos Hidriscos en la parte baja de la cuenca Sagua la Grande*. Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.
- ANDRÉS NAVARRO, J. C., XAVIER FONT 1996. Contaminación de suelos y aguas subterráneas por vertidos industriales.
- BAEZ, A. G. 2014. Factores que afectan la calidad de las aguas subterráneas.
- ESPINOSA, Á. Q. 2006. Bases gnoseológicas del uso sostenible de los recursos marino-costero de Villa Clara.
- FLEITES, J. L. P. 2006. *Riesgos y consecuencias ambientales a los suelos y las aguas subterráneas por el uso del agua residual generada en la ciudad de Santa Clara*. Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.
- FUENTES, I. B. 2013. Evaluación de impacto ambiental de los efectos de descargas de aguas residuales a los ríos GUANI y MANAGÜIMBA generadas por las UEB HERIBERTO DUQUESNE. . In: DELEGACIÓN PROVINCIAL, M. D. C. T. Y. M. A. D. V. C. (ed.).
- HUMBERTO RAMOS JIMÉNEZ, M. B. D. 2003. Memoria Descriptiva Análisis Integral CUENCA HIDROGEOLOGICA VC-1 DOLORES-SAGUA LA CHICA. IPH VILLA CLARA.
- HUMBERTO RAMOS JIMÉNEZ, M. B. D. 2006. *Mapa Hidrogeológico de Villa Clara*. EIPH Villa Clara.
- MATA, M. M. 2015. Evaluación de la Calidad del Agua mediante la utilización de índices de Calidad y su Aplicación en la Cuenca Hidrográfica Sagua la Grande.
- MATA, M. T. M. 2009. *Indicadores ambientales para evaluar la calidad del agua (ICA) y su aplicación en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande*. Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.
- MENÉNDEZ, A. 2010. *Transporte de contaminantes en el Medio Acuático*. Universidad Tecnológica Nacional.
- MONERRIS, M. M. 2010. *Modelación de la calidad del agua*. Universidad Politécnica de Valencia.
- MOURIÑO, O. B. 2001. IMPACTO DEL CAMBIO GLOBAL EN LA DINÁMICA DE LA INTRUSIÓN MARINA
VOL. XXII, No. 4.
- PEREZ, L. 2014. *Estudio Medioambiental en la UEB "Patricio Lumumba" del Municipio de Caibarién, Cuba* [Online].
- REYES, R. G. 2009. *Estudio de la Vulnerabilidad Natural de la Región Acuifera Noreste de Villa Clara*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeberría.

-
- SANCHEZ, R. D. T. 2009. *Evaluación cuntitativa de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca hidrográfica Sagua la Grande*. Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.
- SERRANO, R. C. 2011. *Peligro, Vulnerabilidad y Riesgos ante inundaciones en el municipio de Santa Clara*. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes De Oca.
- VALDÉS, A. H. 2011. Selección de obras de captación y políticas de explotación en acuíferos costeros
VOL. XXXII, No. 3.
- VALDÉS, S. R. 2003. *Gestión de Residuos Sólidos Técnica, Salud, Ambiente y Competencia*
Buenos Aires.

ANEXOS**ANEXO 1**

NC 10-21: 2014 Higiene Comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria

Tabla 1 Características físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas de abastecimiento que requieren solo desinfección como tratamiento

Características	Unidades	Límite Máximo
pH	U	De 6,5 a 8,5
Aceites y grasas	mg/L	0,3
Sólidos totales disueltos	mg/L	1000
Turbiedad (escala sílice)	NTU	10
Color (escala platino-cobalto)	U	15
Olor y sabor		No desagradable

ANEXO 2

NC 827: 2012 Agua potable y Requisitos Sanitarios

Tabla 1 Características físicas y componentes químicos que pueden afectar la calidad organoléptica del agua potable

Tipo	Característica	LMA
Físicas	Olor y sabor	Inodora y sabor agradable
	Turbiedad	5
	Color real	15
Químicas	pH	6.5 –
	Sólidos totales disueltos	1 000 mg/L
	Dureza total (como carbonato de calcio)	400
	Cloruros	250
	Sustancias activas al azul de metileno	0.5
	Compuestos fenólicos (referidos al	0.002 mg/L
	Aluminio	0.2
	Cobre	2.0
	Hierro	0.3
	Sodio	200
	Sulfatos	400
	Zinc	5 mg/l

Tabla 2 Número mínimo de muestras mensuales para el análisis bacteriológico que se tomarán en la red de distribución del sistema

Población establecida (habitantes)	Número mínimo de muestras mensuales
Menos de 2 000	5
2 000 a 5 000	8
5 001 a 10 000	12
10 001 a 20 000	25
20 001 a 30 000	38
30 001 a 40 000	50
40 001 a 50 000	60
50 001 a 60 000	70
60 001 a 70 000	80
70 001 a 80 000	90
80 001 a 90 000	96
90 001 a 100 000	100
100 001 a 200 000	160
200 001 a 300 000	190
300 001 a 1 000 000	300
1 000 001 a 2 000 000	400
2 000 001 a 5 000 000	500