

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO
DE INGENIERO QUÍMICO

Título: Análisis de la contaminación por nitritos y nitratos en fuentes de abasto de agua en el acuífero Juraguá.

Autora: Eliany Conde Madruga

Tutores: MSc. Rodolfo Iglesias Alvarez

MSc. Alejandro García Moya

Cienfuegos, 2023

“Año 65 de la Revolución”

PENSAMIENTO

**“Produce una inmensa tristeza
pensar que la naturaleza habla,
mientras el género humano no la
escucha”**

Víctor Hugo

DEDICATORIA

**No puede haber otra persona,
sino a mis padres con todo el
amor y el cariño que les profeso.**

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que contribuyeron de una manera u otra a mi formación y a la realización de este trabajo.

Resumen

El trabajo “Análisis de la contaminación por nitratos en fuentes de abasto de agua en el acuífero Juraguá” tiene como objetivo determinar la contaminación por nitratos presentes en estas fuentes de abasto. Para el desarrollo del mismo se aplicaron métodos del orden teórico y práctico, dentro de estos últimos, fundamentalmente, la entrevista estructurada, la encuesta y el trabajo con expertos, además de los métodos estadísticos necesarios para procesar la información resultante, tales como gráficos de barras y de secuencia, además de tablas de datos descriptivos y de percentiles. Las muestras de agua a utilizar se seleccionaron según las indicaciones establecidas para estos análisis, en las normas correspondientes implementadas por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). Como principal resultado, se logró analizar el comportamiento de las concentraciones de nitratos en las diferentes fuentes de abasto de agua a la población y las condiciones a que están sujetas dichas fuentes (pozos) respecto a los potenciales contaminantes y además, una guía de buenas prácticas operativas para el manejo del agua apta para el consumo humano.

Palabras claves: aguas subterráneas, concentraciones de nitratos, fuentes de abasto de agua (pozos), manejo del agua, potenciales contaminantes.

Abstract

The objective of the work "Analysis of nitrate contamination in water supply sources in the Juraguá aquifer" is to determine the nitrate contamination present in these supply sources. For its development, technical and practical methods were applied, within the latter, fundamentally, the structured interview, the survey and work with experts, in addition to the statistical methods necessary to process the resulting information, such as bar graphs. In addition, sequence, as well as tables of descriptive data and percentiles. The water samples to be used were selected according to the indications established for these analyzes in the corresponding standards implemented by the National Institute of Hydraulic Resources (INRH). As the main result, it was possible to analyze the behavior of nitrate concentrations in the different sources of water supply to the population and the conditions to which these sources (wells) are subject with respect to potential contaminants and a guide to good practices. Operational for the management of water suitable for human consumption.

Key words: water, groundwater, nitrate concentrations, water supply sources (wells), water management, potential contaminants.

Índice	
Introducción	1
Capítulo I: “La contaminación por nitritos y nitratos a las aguas de abasto”	5
1.3 Las Producciones Más Limpias como una vía para el manejo de la contaminación hídrica.....	20
1.4 Estado de la práctica de la contaminación hídrica	23
Capítulo 2: “Fundamentación metodológica del análisis de la contaminación por nitrato en el Acuífero Juraguá”	25
2.1 Provincia de Cienfuegos y su disponibilidad hídrica.	25
2.2 Material y métodos empleados en la investigación.....	28
2.2.1 Diagnóstico de las fuentes de abasto de agua del poblado Juraguá.....	28
2.2.2 Determinación de los niveles de contaminación por nitratos	28
2.2.3 Referenciación por zonas de los potenciales contaminantes a las fuentes de abasto de agua	29
2.2.4 Elaboración de la propuesta de medidas	29
2.2.5 Validación de los resultados Método Delphi:	29
2.3 Tratamiento estadístico de los resultados	32
3.1 Valoración de los aspectos aportados por los datos (diagnóstico) de las fuentes primarias	34

3.2 Diagnóstico de las fuentes de abasto del acuífero Juraguá	35
3.3 Resultados de los muestreos realizados a los pozos de abasto del poblado Juraguá	37
3.4 Potenciales focos contaminantes determinados.....	46
3.5 Propuesta de medidas sobre la base del cumplimiento de normativas de la P+L	48
Conclusiones.....	49
Recomendaciones.....	50
Bibliografía.....	51
Anexos	63

Introducción

A nivel mundial, el agua como recurso natural representa dentro de la sostenibilidad y prospección del desarrollo, un elemento vital, de uso universal obligado, que por demás constituye un vehículo fundamental para la transmisión de enfermedades de origen bacteriano o no, razón por la cual la ocupación de su manejo para lograr óptimos consumos y adecuada calidad constituye hoy en día una ocupación también universal, pues además su disponibilidad en el planeta es finita y en peligro de disminución (Collazo & Montaña, 2012).

Las aguas subterráneas constituyen aproximadamente el 99 % del agua dulce disponible en estado líquido a nivel global. Si bien su distribución es irregular, este recurso tiene el potencial de proporcionar beneficios sociales, económicos y medioambientales, entre ellos la adaptación al cambio climático. Las aguas subterráneas constituyen la mitad del volumen de agua extraída para uso doméstico por la población mundial y alrededor del 25 % de toda el agua extraída para el riego del mundo. Sin embargo, a pesar de su enorme importancia, este recurso natural no se suele comprender lo suficiente y por consiguiente, se subestima, se gestiona mal e incluso se sobreexplota (Miletto, 2022).

El agua subterránea es un recurso natural vital para el suministro económico y seguro de agua potable en áreas urbanas y rurales, desempeña un papel fundamental en el bienestar de los seres humanos y de muchos ecosistemas acuáticos (García & Faggioli, 2018).

A escala mundial, los acuíferos y las aguas subterráneas se enfrentan a crecientes amenazas de contaminación debido a la urbanización, el desarrollo industrial, las actividades agrícolas, la sanitización in situ, y el desarrollo de las industrias (Andreu & Fernández, 2019). El agua subterránea representa un recurso enorme que solo se puede gestionar si se conocen los diferentes tipos de acuíferos y sus tasas de recuperación o recarga (Andreu, & Fernández, 2019). Es importante saber que no toda el agua subterránea es renovable, aunque en muchas partes del mundo, los seres humanos la usan de una manera muy acelerada sin tomar en cuenta el tiempo que toma la reposición de este recurso (Rosselot, 2020).

En lo fundamental, por la propia naturaleza de los suelos y/o por la actividad antrópica, este recurso vital se contamina, haciéndolo no apto para su consumo en diferentes fines, uno de ellos y muy vital, el consumo humano (Dell'Amico, et.al., 2011). Dentro de estos contaminantes están los nitritos y nitratos, los que se expresan indistintamente en determinadas regiones, asociándose a procesos de salud alarmantes y delicados como son la metahemoglobinemia y la carcinogénesis, razón que motiva a realizar estudios encaminados a esta problemática, máxime en regiones donde el abasto de agua no se realiza correctamente mediante plantas de tratamiento debidamente certificadas, como es el caso del poblado objeto de estudio.

Las aguas dulces subterráneas acumulan un problema generalizado y creciente a causa de la contaminación por nitratos. Los nitratos forman parte del ciclo biogeoquímico del nitrógeno, por lo que se encuentra en el ambiente de forma natural y es un nutriente importante para las plantas y otros organismos autótrofos. A nivel global es uno de los contaminantes más extendidos en los recursos hídricos subterráneos, principalmente como resultado de las actividades agrícolas que utilizan fertilizantes que contienen nitrógeno (N), la eliminación de aguas residuales tanto urbanas como de la cría de animales, así como las deposiciones atmosféricas (Kendall, et al., 2007; Matiatos, 2016; WHO, 2017).

En Cuba, se llevan a cabo numerosos estudios, que no solo abordan la pesquisa de factores que condicionan la limitación del uso del agua para consumo humano, sino también, la evaluación de acciones preventivas y/o correctivas que contribuyen a un adecuado manejo del recurso para estos fines (Betancourt, 2010).

La Delegación de Recursos Hidráulicos en la provincia de Cienfuegos, se ha pronunciado por asegurar la calidad del agua en función del mantenimiento de la salud, pilar fundamental sobre el que se rige el estado socialista cubano. A raíz de elaborarse la Política Nacional del Agua, por indicación del INRH, se comienza a incentivar la búsqueda de soluciones, que contrarresten los efectos negativos derivados de la contaminación del agua de consumo. Se promueven así desde este nivel, investigaciones científicas que delimitan no solo etiológicamente la

contaminación de las aguas, sino también las zonas asociadas (García, 2015). Es por ello que ha solicitud de dicha instancia se realiza el presente trabajo de diploma, específicamente en el acuífero de Juraguá.

Problema científico

No se dispone de un análisis de la contaminación por nitritos y nitratos en fuentes de abasto de agua en el acuífero Juraguá.

Hipótesis

El disponer de un análisis de la contaminación por nitritos y nitratos en las fuentes de abasto del poblado Juraguá, permitirá elaborar un plan de mejoras para asegurar la no contaminación con dichos elementos, garantizándose satisfactorios niveles de salud a la población.

Objetivo general

Determinar la contaminación por nitritos y nitratos en fuentes de abasto de agua en el acuífero Juraguá.

Objetivos específicos

1. Establecer los fundamentos teóricos que sustentan la investigación.
2. Diagnosticar las fuentes de abasto de agua del poblado Juraguá, determinando los niveles de contaminación de nitratos en las aguas objeto de estudio.
3. Elaborar un plan de mejora para asegurar la no contaminación por nitratos el abasto de agua a la población.

Estructura de la tesis

Capítulo I “La contaminación por nitritos y nitratos a las aguas de abasto” (Las aguas subterráneas. La contaminación y su repercusión en el recurso agua. Las

Producciones Más Limpias como una vía para el manejo de la contaminación hídrica. Estado de la práctica de la contaminación hídrica).

Capítulo II “Fundamentación metodológica del análisis de la contaminación por nitratos” (La provincia de Cienfuegos y su disponibilidad hídrica. Material y métodos empleados. Tratamiento estadístico de los resultados).

Capítulo III “Discusión y análisis de los resultados de la investigación” (Desarrollo de los aspectos aportados por los datos (diagnóstico) de las fuentes primarias. Diagnóstico de las fuentes de abasto del poblado Juraguá. Resultados de los muestreos realizados a los pozos de abasto. Potenciales focos contaminantes determinados. Propuestas de medidas sobre la base del cumplimiento de normativas de la P+L).

Capítulo I: “La contaminación por nitritos y nitratos a las aguas de abasto”

En la actualidad la humanidad se enfrenta al problema de la contaminación del agua, situación que se complejiza cada vez más por su continuo desarrollo y representa una amenaza para la mayoría de los organismos vivos, es uno de los recursos naturales más preciados. Dicha contaminación genera una serie de enfermedades que se introducen a los cuerpos a través del agua ingerida, lo que provoca perturbaciones dentro de estos (García, 2015).

1.1 Aguas subterráneas

El agua dulce que existe en el planeta se encuentra distribuida de manera heterogénea en lagos, ríos, arroyos, cuencas subterráneas e hielos glaciales. Tiene su origen en la precipitación de vapor de agua atmosférico. (Collazo, & Montaña, 2012).

Las aguas subterráneas son aquellas masas de agua que se encuentran bajo la superficie del suelo (Erice, 2012). Forman parte del ciclo hidrológico, que se infiltra a través del agua de lluvia, de la nieve, del agua que se infiltra de las lagunas y los ríos, o generalmente cuando la capa superficial del suelo se encuentra saturada de agua (Caraballo, & Xavier, 2012).

Las explotaciones de las aguas subterráneas requieren inversiones sumamente pequeñas si se comparan con las de las aguas superficiales. Su coste es casi siempre mucho menor que el del agua proporcionada por presas y canales, que suele estar fuertemente subvencionada. Esto ha sido el motor fundamental del aumento del aprovechamiento de las aguas subterráneas. Su coste reducido ha inducido un aumento de las extracciones que en algunos casos han producido problemas de bajada de niveles, disminución de caudales de ríos, desecación de zonas húmedas y subsidencias del terreno, pero en general han producido beneficios importantes.

Coincidimos con (Rosselot, 2020) al afirmar que el empleo de las aguas subterráneas ha sido muy positivo, ya que ha contribuido por una parte a reducir de modo muy significativo la escasez de alimentos y, por otra parte, ha facilitado el suministro de agua potable a centenares de millones de seres humanos, tanto en las zonas rurales y económicamente deprimidas, como en países altamente industrializados.

Según (Mora, 2010), las aguas subterráneas se filtran a través del suelo hasta llegar al material rocoso, ocupando todos los poros del subsuelo, dando lugar a una zona de saturación. La misma fluye a la superficie, de forma natural, a través de vertientes, manantiales o cauces fluviales. (Caraballo, & Xavier, (2012).

La calidad y cantidad del agua subterránea disponible varía respecto a cada lugar en el que se encuentra, dependiendo fundamentalmente, de la geología de la zona que se trate (Waller, 1982). El agua subterránea se capta principalmente a través de pozos verticales que son los más difundidos a nivel mundial y a través de pozos horizontales como galerías filtrantes y zanjas de drenaje. Un pozo, es una obra compleja, que se proyecta y se construye para obtener agua subterránea de un acuífero, con el objetivo de satisfacer una demanda determinada. La vida útil de un pozo puede ser de décadas, y una vez agotada se debe proceder al abandono del mismo mediante el sellado. Si la topografía es tal que la boca del pozo está por debajo del nivel del agua, el pozo es surgente o artesiano; si no es así el nivel del agua ascenderá hasta el nivel correspondiente.

La mayor parte de los yacimientos de agua subterráneas están a poca profundidad, encontrándose almacenada en acuíferos, los cuales permiten la circulación y el almacenamiento del agua subterránea ya que constituyen formaciones geológicas permeables formadas por distintos tipos de materiales como son gravas de río, limo, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, algunas formaciones volcánicas, depósitos de dunas e incluso ciertos tipos de arcilla. Según (Vedat, 1998) es posible distinguir tres tipos principales de acuíferos según la presión hidrostática del agua:

Libres: contienen un sector libre o espacio físico entre el agua subterránea y la superficie, es decir, no existe una capa de materiales impermeables encima de ellas. El nivel freático (lugar donde la presión del agua es igual a la de la presión atmosférica) coincide con la superficie y se encuentra en contacto directo con la zona subsaturada del suelo (Ordoñez, 2011) (Martínez, Massone, & Quiroz, 2012) (Tóth, 2000).

Confinados: corresponde a los cuerpos de agua que se acumulan en la roca permeable y están contenidos entre dos capas impermeables. Por lo tanto, almacenan aguas subterráneas a una presión superior a la atmosférica, llenando todos los poros y orificios del conjunto geológico (Ordoñez, 2011) (Martínez, Massone, & Quiroz, 2012) (Tóth, 2000).

Semi-confinados: aquellos en que el agua se encuentra a presión, pero que algunas de las capas o techos presentes no son totalmente impermeables, por lo que se producen filtraciones que recargan o quitan agua de la zona de acumulación (Ordoñez, 2011) (Martínez, Massone, & Quiroz, 2012) (Tóth, 2000).

Vedat, (1998) también plantea que existen diferentes tipos de permeabilidad como son:

Acuíferos de medios porosos: se encuentran en los sedimentos detríticos (gravas, conglomerados, arenas y areniscas), presentan unas excelentes condiciones para almacenar y transmitir el agua, aunque las velocidades de esta son, por lo general, bajas.

Acuíferos de medios fisurados: se localizan en las fracturas de las rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas (pizarras, esquistos, cuarcitas, etc.), las cuales han sido consideradas como impermeables, pero actualmente con el avance de las técnicas de perforación en rocas duras se ha demostrado la existencia de un complejo medio acuífero fisurado muy anisótropo.

Acuíferos de medios cárcicos: se trata de grandes embalses subterráneos cuyas aguas circulan y se almacenan dentro de las cavidades de las formaciones rocosas calcáreas (calizas y dolomías), las cuales tienen una porosidad secundaria originada por disolución, presentando canales y cavernas de gran tamaño que cuando se saturan de agua constituyen acuíferos muy importantes. El acuífero Juraguá objeto de nuestro estudio presenta estas características.

1.1.1 Distribución y usos del agua en Cuba

Las aguas subterráneas ocupan el 31 % del volumen total del agua que se consume anualmente para satisfacer necesidades de la actividad económica y social en Cuba según informe del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA, 2019). En Cuba la disponibilidad del agua, se encuentra en estrecha dependencia de la ubicación geográfica relacionada con la estacionalidad climática y el régimen de precipitaciones, donde casi el 80 % de los aportes de lluvia ocurren en el período lluvioso (mayo a octubre).

La evaluación de los recursos hídricos en Cuba según fuentes del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y del Ministerio de la Construcción (MICONS) diciembre (2018), se muestra a continuación en los siguientes indicadores:

- Los recursos hídricos potenciales se evalúan en 38,1 km³, de los cuales el 83 % (31,7 km³) corresponde a aguas superficiales y el 17 % (6,5 km³) a aguas subterráneas.
- Los recursos hídricos aprovechables se evalúan en 23,9 km³ correspondiendo el 75 % a las aguas superficiales y el 25 % restante a las aguas subterráneas. Este volumen determina, como límite, un índice de 2 126 m³ por habitante al año calculado para la población del año 2018.
- De acuerdo a las obras hidráulicas construidas y a las condiciones creadas para la explotación, los recursos hidráulicos disponibles ascienden a 13,7 km³, siendo

las aguas superficiales el 67 % con un volumen de 9,2 km³ y las aguas subterráneas el 33 %, con un volumen de 4,5 km³. Esta cifra total representa el 57 % de los recursos hídricos aprovechables.

Según Mesa, & Barrueco, (2019) el 67 % del territorio nacional está constituido por formaciones cárcicas y en este porcentaje se localizan las 165 cuencas, zonas y tramos hidrogeológicos más importantes, los cuales cuentan con abundantes recursos y un área acuífera efectiva elevada. La mayoría de las cuencas abiertas al mar, se caracterizan fundamentalmente por tres factores vitales que hay que tener en cuenta: el considerable volumen de reservas existentes, la facilidad de captación de las mismas por la poca profundidad de los acuíferos y, por último, la calidad de las aguas que las hacen aptas para múltiples usos y exigencias, a continuación, se muestran los usos del agua en Cuba y sus principales usuarios.

Usos del agua en Cuba.

La extracción hídrica total de Cuba, del conjunto de sectores agrícola, poblacional e industrial para el 2018, alcanzó los 6 959 millones de m³, destacando el sector agrícola con una extracción de 4 519 millones de m³, equivalente al 65 % del total de las extracciones. Los usos del sector poblacional alcanzaron los 1 700 millones de m³, o el 24 % del total, y las extracciones para el sector industrial alcanzaron los 782 millones de m³, o el 11 % del total. Además, existe un gasto ecológico en los ríos regulados 395 millones de m³, que ha de tenerse siempre en consideración, (Mesa, & Barrueco, 2019).

1.1.2 Composición química del agua subterránea

Conocer los componentes disueltos del agua subterránea es una de las características más importantes para definir la presencia y concentración de ciertos compuestos hacen que el agua subterránea sea distinta de otras. Los procesos y factores que intervienen, la evolución de la calidad del agua subterránea pueden ser factores intrínsecos o extrínsecos al acuífero (Reino, 2013).

El agua subterránea tiende a aumentar las concentraciones de sustancias disueltas según la mayoría de los elementos presentes en las aguas subterráneas naturales se encuentran en estado iónico (Zamora, & Valdizón, 2014). Los iones primordiales, también conocidos como componentes o iones mayoritarios, que representan la totalidad de los iones disueltos son: cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), sodio (Na^+), calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}). A menudo se considera los iones nitrato (NO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) y potasio (K^+) pese a que su proporción suele ser pequeña (Navia, 2019) como se infiltren y aumenten su recorrido en los diferentes acuíferos (Reino, 2013).

Los elementos traza, son aquellos que por lo general están en concentraciones difícilmente medidos por medios químicos usuales, algunos de ellos son los iones metálicos derivados del As, Sb, Cr, Pb, Cu, Zn, Ba, V, Hg, U (Navia, 2019).

1.1.3 Calidad del agua subterránea

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 alteración de la calidad natural del agua puede impedir que sea adecuada para un uso determinado (Ayers, 1985).

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 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 93-02: 1985 Higiene Comunal. Agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo, la NC 93-11: 1986 Higiene Comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria y la NC 1021: 2014 sobre Higiene Común a fuente de Abastecimiento de agua y Protección

Sanitaria que establecen los parámetros deseables y admisibles de calidad para su utilización en el suministro público.

Un informe emitido por los Ministerios de Salud Pública y del entonces Instituto de Hidroeconomía en marzo 1987 denominado “El problema de los nitratos en las aguas subterráneas de Cuba”, La Habana 1987, consideró que en las cuencas o las fuentes de abastecimiento de agua de casi todas las provincias existía afectación por nitratos y que las provincias con mayor afectación en relación con la contaminación por este elemento en fuentes de abasto de aguas subterráneas eran Camagüey, Las Tunas y en menor grado Cienfuegos y Holguín (Cañas, 2019). Los resultados señalaban un incremento paulatino de la concentración de los nitratos en fuentes de abastecimiento de agua que alcanzaban niveles superiores a la norma de concentración máxima permisible para Cuba que es de 45 mg/L.

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

En la actualidad en la mayor reserva de agua potable subterránea de Santiago de Cuba. Los cursos de aguas de la cuenca se utilizan como desagüe de desechos de la actividad humana doméstica, industrial, agrícola y ganadera. Existen 117 focos de contaminación de diversas instituciones estatales, además de los numerosos asentamientos humanos que vierten aguas albañales y desechos de todo tipo al cauce de la cuenca. A pesar de la evidente contaminación, las aguas del río San Juan son utilizadas para el regadío de cultivos (Naranjo, et.al., 2005).

Principales factores que influyen en la calidad de las aguas.

Las aguas naturales adquieren su composición química mediante un complejo proceso de interacciones físico – químicas en el que intervienen además factores de tipo geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, climáticos, microbiológicos y ambientales (Fagundo, 1990). Las aguas subterráneas poseen dos indicadores que afectan su calidad en gran medida ellos son la sobreexplotación de estos recursos y su contaminación por los diferentes medios.

La sobreexplotación consiste en extraer más agua de la que entra en el acuífero, lo que supone un consumo de las reservas que se refleja en el descenso del nivel freático o piezométrico, hasta el punto que se secan los manantiales y disminuye el caudal de los ríos, creándose graves problemas de suministro. (Fagundo, 1990).

Las contaminaciones de los acuíferos pocas veces se producen de forma natural y espontánea, detrás siempre está la mano del hombre. (Fagundo, 1990), las actividades industriales, las construcciones subterráneas, los colectores de aguas residuales de las urbanizaciones, la nula protección sanitaria de las áreas de recarga, los vertidos de desechos urbanos e industriales, la inyección de líquidos nocivos al medio permeable (fosas sépticas), etc, son los principales focos contaminantes.

En Cuba los principales factores que intervienen en la calidad del agua son de tipo geológicos, geográficos y socioeconómicos. (Garcías, 2007).

Geológicos: alrededor del 67 % de la superficie del territorio cubano (106 728 km²) corresponden a complejos de rocas carbonatadas, en gran medida calcificadas y con un alto grado de acuosidad de 10 a 300 L/s (Flores, (2001)). El subsuelo y lechos fluviales del país, constituidos en su gran mayoría a partir de rocas calizas y las dolomitas o calizas dolomitas, aportan sales de calcio que son capaces de disolverse en el agua con la que entra en contacto, alterando su contenido salino.

La contaminación del agua, Fried, (1986), puede ser considerada como la modificación de sus propiedades físico, químicas y biológicas, restringiendo su uso en varias aplicaciones donde habitualmente son utilizadas.

Por otra parte, Mattes, (1984) define el agua contaminada a aquella que ha sido afectada por la acción del hombre, en magnitud por encima de sus variaciones naturales, que hacen que sobrepasen los valores permisibles máximos de las concentraciones establecidas por los estándares para el agua potable, de uso industrial o de uso agrícola.

1.2 La contaminación de las aguas subterráneas

La contaminación de las aguas subterráneas puede definirse por cambios en su calidad natural, que pueden destruir parcial o completamente el uso previsto de los recursos (Baque-Mite, et.al., 2016). El término "contaminación" se utiliza cada vez con más frecuencia como expresión de una realidad progresivamente preocupante en los países más desarrollados o en vías de desarrollo. Sin embargo el concepto de contaminación es a menudo intuitivo y consiguientemente vago e inconcreto conviene pues, definirlo con suficiente precisión.

El agua subterránea no está expuesta directamente a los efectos de las actividades humanas que normalmente se llevan a cabo en la superficie. Sin embargo, los contaminantes llegan a los acuíferos de varias maneras (Sánchez, 2017):

- Infiltración de sustancias depositadas en la superficie, o de la lluvia
- Disolución de sustancias por el flujo natural del agua subterránea
- Filtración desde un río influente
- Derrames de depósitos o conducciones, superficiales o enterrados
- Desde la superficie a través de captaciones abandonadas o mal construidas
- Desde otro acuífero, a través de captaciones que comuniquen ambos acuíferos
- Inyección en pozos.

Las causas fundamentales de contaminación del agua subterránea pueden agruparse convencionalmente en cuatro grupos, (Rodríguez, et.al., 2012), en relación con el tipo de actividad humana que las produce: contaminación urbana y doméstica, contaminación agrícola, contaminación industrial, contaminación inducida por bombeo.

1.2.1 La problemática de los nitratos y las aguas subterráneas

En el caso de la contaminación generalizada, uno de los capítulos más relevante es el problema causado por el aumento del contenido de nitratos en las aguas, debido al notable número de aprovechamientos para abastecimientos afectados, que intensifica progresivamente por la creciente y persistente acción de una serie de actividades e instalaciones potencialmente contaminantes (Castellanos, et.al., 2012).

El problema con los nitratos es que son contaminantes móviles en el agua subterránea, estos no serán absorbidos por los materiales del acuífero y no precipitarán como los minerales, estos factores hacen que una gran cantidad de nitrato disuelto permanezca en el agua subterránea. Debido a su naturaleza soluble, los nitratos tienden a viajar largas distancias en la subsuperficie, específicamente en sedimentos altamente permeables o rocas fracturadas (Bolaños, Cordero, & Segura, 2017).

La concentración de nitratos en el agua subterránea es un tópico común de muchas discusiones acerca de la calidad del agua, ya que es de importancia tanto para humanos como para animales. (Castellanos, et.al., 2012).

El ingreso de los nitratos a las aguas subterráneas es una consecuencia de procesos naturales y del impacto directo o indirecto de las actividades humanas. Los procesos naturales incluyen la precipitación, la meteorización de minerales y descomposición de la materia orgánica (Castellanos, et.al., 2012).

Los nitratos que se derivan de las actividades humanas abarcan: la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, aplicación excesiva de nitrógeno, deforestación y cambios en la materia orgánica del suelo debido a la rotación de cultivos (Albo, & Blarasin, 2014).

Según su fuente y distribución espacial, se dividen en dos tipos de fuentes de nitrógeno, puntuales, las cuales están relacionadas con las actividades industriales y urbanas (relacionadas con el lixiviado de los vertederos de residuos sólidos municipales, descarga de aguas residuales urbanas, etc.) y difusas relacionadas con las actividades de origen agrario (Baque-Mite, et.al., 2016).

Es muy común en la literatura científica que las prácticas agrícolas sean la principal causa de contaminación por nitratos en las aguas subterráneas, y este argumento se basa en la relación entre otros puntos de vista. A medida que se utiliza el suelo para el desarrollo agrícola, el contenido de nitratos ha aumentado, el consumo de fertilizantes ha evolucionado en los últimos años y los sistemas de producción ganadera han cambiado (Baque-Mite, et.al., 2016).

Por su naturaleza, los acuíferos se contaminan muy lentamente, pero una vez contaminados, son difíciles de auto depurar, la única opción para evitar la contaminación por nitratos en acuíferos poco profundos que son vulnerables a la contaminación es comenzar por controlar el uso del suelo (Burgos, 2018). Un elemento establecido a modo de regular las actividades humanas que puedan comprometer la calidad del agua a servir y propiciar con su deterioro, el incremento de enfermedades, lo constituye las llamadas Zonas de Protección Sanitaria (ZPS), de las fuentes de abasto (pozos) las que se dividen del modo siguiente:

Zona 1

También conocida por “zona alrededor del pozo” o “zona de extracción” o “zona de protección inmediata” o “zona de régimen estricto”. Sus límites se expresan en

términos de distancias respecto a la captación, comprende el área donde se realizan propiamente las extracciones y su forma puede ser cuadrada o rectangular, los terrenos comprendidos dentro de esta área deben ser adquiridos, cercados y mantenidos por la autoridad responsable de operar este recurso.

Esta protección es especialmente apropiada para prevenir la contaminación microbiológica. Es lo suficientemente extensa como para permitir, fuera de sus límites, el riego de abono que está permitido en la Zona II. Esta área oscila generalmente de 15 m x 15 m (largo por ancho).

Se considera dañino y no admisible en esta zona:

- El tránsito de personal y la apertura de caminos.
- Todo uso agrícola o aplicación de agentes químicos.
- La introducción directa o indirecta de residuales doméstico.

Además, la zona se debe cubrir de césped fino, permaneciendo bajo, limpiar y cerrar las posibles cuevas o sumideros, no puede existir animales en el área, no se permiten los árboles de 20,0 m o más de altura, no se debe realizar ningún tipo de excavación, evitar la entrada de aguas pluviales y no permitir todo lo que se señalará para las Zonas II y Zona III.

Zona 2

También conocida por “zona intermedia” o “zona de grandes limitaciones” o “zona de prevención”, sus límites están contenidos entre la Zona III y la Zona I, incluyendo esta última dentro de su área, su finalidad fundamental es proteger a la fuente contra la contaminación bacteriológica, su delimitación se basa en una evaluación de riesgos de migración subterránea de las sustancias contaminantes, su límite aguas arriba se sitúa a una distancia tal de la fuente, que el tiempo de movimiento de una partícula de agua desde el límite hasta esta última no sea menor que el tiempo de supervivencia de las bacterias que se consideran dañinas a la salud.

(Tv). Este tiempo así como la forma y dimensión de esta zona depende del tiempo de vida de la bacteria y de las características hidrogeológicas de la formación acuífera.

Se considera dañino, no admisible en esta zona:

- El almacenamiento abierto y la aplicación incorrecta de fertilizantes (aunque los orgánicos pudieran aplicarse bajo un estricto control).
- La construcción de edificios o industrias, así como centros agrícolas y caseríos de cooperativas u otros.
- La construcción de carreteras, vías férreas, calles, pistas deportivas, lugares de acampamientos, cementerios.
- Las excavaciones en general y las canteras de piedras.
- El almacenamiento de petróleo o de otros productos tóxicos.
- El abandono del pozo sin sellar.
- Todo lo que se señalará para la Zona III.

Zona 3

También conocida por “zona exterior” o “zona alejada” o “zona de menores limitaciones”. Se extiende desde los límites del área de alimentación hasta la periferia de la Zona II y su finalidad primordial es preservar las aguas contra la contaminación de agentes químicos o radioactivos. Es generalmente muy extensa por lo que se divide en la Zona III-A o Interior, limitante con la Zona II, y con una longitud no mayor de 2 km en el sentido del flujo subterráneo; y la Zona III-B o Exterior que limita con la interior y se extiende hasta los límites del acuífero.

Esta zona es la encargada de proteger a la fuente de impurezas que se degradan lentamente.

Se consideran dañinos y generalmente no admisibles en esta zona:

- El desarrollo de viviendas, hospitales y edificaciones industriales, si los efluentes no son completamente extraídos de la Zona III-A por alcantarillados; los efluentes, aguas de albañal y colocación de residuos sólidos o semi-sólidos.
- El desarrollo de campos de aviación, maniobras militares o instalaciones de este tipo.
- La acumulación de chatarra en general o la destrucción de vehículos.
- La perforación de pozos petroleros, de gas natural, de mineralización elevada y de sal.
- La construcción de pozos para drenaje pluvial vertical de campos a ciudades, o de los destinados para la recarga artificial de acuífero (pozos, zanjas, balsas, etc.) en especial en la Zona III-A dejando a criterio del especialista la zona III-B.
- La acumulación de abonos o pesticidas o su uso sin el conocimiento del período activo de los mismos y de la geología de la zona, especialmente en la Zona III-A. Los elementos antes referidos hacen necesario poner la atención en desarrollar investigaciones encaminadas a reducir los impactos negativos de la contaminación del agua por nitritos y nitratos para evitar y prevenir las enfermedades en el ser humano asociadas a estas sustancias, una alternativa para la mejora de esta situación se respalda en las llamadas producciones más limpias, la cual enfrenta el tema de la contaminación integral, de manera preventiva y se persigue una mejora integral del proceso u organización a la cual se aplica.

1.2.2 Ciclo del Nitrógeno en Agua

El nitrógeno es un elemento que requiere todos los organismos vivos para la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos y otras moléculas fundamentales del metabolismo. Constituye, junto al fósforo, uno de los factores limitantes susceptibles de regular la producción primaria en los ecosistemas (Gutschick, 1981; Risser, & Parton, 1982; Vitousek, & Howarth, 1991). Sin embargo, a

diferencia de otros elementos que son constituyentes esenciales de los seres vivos, su biodisponibilidad es generalmente escasa, ya que se encuentra mayoritariamente en la atmósfera en forma de N_2 , molécula que no puede ser utilizada directamente por la mayoría de los seres vivos (a excepción de algunas bacterias), debido al fuerte enlace triple que une sus átomos (Smil, 1997).

El ciclo biogeoquímico del nitrógeno incluye todos aquellos procesos bióticos y abióticos implicados en el equilibrio dinámico de este elemento en la biosfera, propiciando su biodisponibilidad en formas químicas asimilables para los seres vivos. En el ciclo del nitrógeno en el suelo, los procesos de asimilación, amonificación y nitrificación generan amonio y nitrato, sustancias muy solubles, que son arrastradas con facilidad, principalmente en el caso del nitrato, por la escorrentía y la infiltración. Los procesos de fijación de nitrógeno atmosférico y desnitrificación completan y equilibran el ciclo, de manera que se mantiene un importante depósito de nitrógeno en el aire.

La gran movilidad del nitrógeno en sus distintas formas propicia una fácil circulación entre la atmósfera y los sistemas acuáticos y terrestres (Hammond, & Mathews, 1999). En los sistemas terrestres, donde existe un marcado dominio de los procesos de fijaciones naturales y antrópicos, el nitrógeno acumulado en el suelo experimenta, a escala global, un gran desplazamiento horizontal hacia los cursos de agua a través de la escorrentía superficial y del flujo subterráneo de los acuíferos (previa lixiviación) (Seitzinger, et.al., 2006). En los ecosistemas acuáticos continentales dominan, por el contrario, los procesos de desnitrificación (Schlosser, & Karr, 1981; Lowrance, et al., 1984; Pinay, et al., 1990; Haycock, & Pinay, 1993), reduciéndose la carga de nitrógeno antes de ser derivada a los océanos y trasladándose una parte significativa a la atmósfera (Gruber, & Galloway, 2008). Los océanos, sin embargo, se caracterizan por el doble proceso bidireccional de fijación y desnitrificación, a diferencia de la tendencia unidireccional que caracteriza a los sistemas terrestres (Gruber, 2004; Gruber, & Galloway, 2008), por lo que una parte importante del nitrógeno retorna a la atmósfera. El tiempo de residencia medio del nitrógeno en los océanos es de 3000 años (Gruber, 2004), mientras que en los sistemas terrestres es de 500 años (Gruber, & Galloway, 2008). El nitrógeno emitido a la atmósfera se deposita

rápidamente sobre ambos sistemas, pudiendo ser desplazado previamente por corrientes atmosféricas a grandes distancias (Hammond, & Mathews 1999).

1.3 Las Producciones Más Limpias como una vía para el manejo de la contaminación hídrica

La Producción Más Limpia debe integrarse a los enfoques de trabajo, por resultar ser un elemento básico para el aseguramiento de la calidad en todos los sentidos. Para la identificación de opciones y como parte del diagnóstico se hace una evaluación y se analiza si dentro de los procesos se llevan a cabo acciones preventivas en la gestión ambiental. Este análisis permite formular recomendaciones para alcanzar un consumo sustentable en la utilización de materias primas e insumos, agua y energía, fundamentalmente y a partir de los resultados obtenidos se establecen medidas, que ordenadas de acuerdo al nivel de prioridad, formarán parte del Programa de Gestión Ambiental (García, 2008).

La implementación de programas integrados de Sistemas de Gestión Ambiental y Producción Más Limpia se fundamenta a partir de los beneficios que para cualquier entidad, los clientes y el medio ambiente representan los objetivos ambientales en este sentido. Esta integración constituye por sí sola una herramienta para alcanzar la sostenibilidad a la que se aspira en las estrategias de desarrollo y favorece la transformación de las entidades para convertirlas en instituciones innovadoras, con prácticas amigables y responsables con el medio ambiente (Tortosa, 2014). A lo que la autora de esta tesis añadiría que en los años más recientes las exigencias ambientales han aumentado, por lo que se ha comenzado a establecer normas con requerimientos elevados en cuanto a la calidad de los procesos, lo cual incita trabajar en la búsqueda de nuevos métodos con puntos de vista preventivos e integrales para el control de la contaminación ambiental.

Con el desarrollo de las normas ISO 14000 las cuales se encuentran en proceso de cambio, se incorpora al sistema de gestión de las empresas, el aspecto medio ambiental, como un camino de mejora continua para alcanzar objetivos relacionados con el tema en cuestión. Se requiere para el logro de la integración concebida de cambios de actitudes, el ejercicio de una gestión ambiental responsable y la promoción del cambio de tecnologías. Por otra parte facilita promover mejores prestaciones ambientales mediante la reducción en la fuente de desechos y emisiones, (Cusidó, 2011).

Lo anterior se refleja en el Lineamiento 135 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución en el que se plantea: "Definir una política tecnológica que contribuya a reorientar el desarrollo industrial, y que comprenda el control de las tecnologías existentes en el país; a fin de promover su modernización sistemática atendiendo a la eficiencia energética, eficacia productiva e impacto ambiental, y que contribuya a elevar la soberanía tecnológica en ramas estratégicas."

La evaluación de Producción Más Limpias constituye un proceso de manejo de la información que permite identificar posibles mejoras del proceso estudiado, enfocadas a la reducción de los residuos en el origen y culmina con la preparación de los planes para ejecutar esas acciones. El suministro de agua apta para el consumo humano, se convirtió en un dilema, que necesariamente no puede ser manejado con enfoques rutinarios y sistémicos. Se hace indispensable, tener en cuenta que este recurso, siempre en mayor o menor grado, incide en la calidad de vida (García, 2015).

En la literatura consultada se presentan varias metodologías en relación a cómo aplicar la Evaluación de Producciones Más Limpias en empresas de producción y servicios. Entre las analizadas por su adaptación real y objetiva, a las condiciones de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Cienfuegos, se detallará la Metodología para la Evaluación de Producción Más Limpia, descrita por expertos cubanos (Serrano, 2006).

La misma comprende las siguientes tareas:

- Involucrar y obtener el compromiso de la alta dirección.
- Crear el equipo de trabajo de P+L.
- Recoger datos de la organización.
- Colectar y preparar información básica del proceso.
- Medir las entradas y salidas del proceso.
- Generar opciones de P+L.
- Seleccionar las opciones a evaluar.
- Evaluación técnica, económica y ambiental de las opciones de mejora.
- Seleccionar las opciones de P+L factibles de aplicar.
- Preparar Plan de mejoras de P+L.
- Implementar las medidas de P+L recomendadas.
- Supervisar avance de las medidas implementadas.

Las opciones generales de P+L. que oferta, la aplicación de esta metodología son:

- Identificación de las principales fuentes de residuos y las cantidades generadas.
- Establecimiento de puntos críticos.
- Identificación de fortalezas desde el enfoque de procesos y desde un análisis económico y ambiental.
- Establecimiento de un programa de reuniones para seguimiento de la implementación.

Según García, (2015) toda vez que se realice la Evaluación de P+L se debe elaborar una estrategia de trabajo para lo cual se recomienda actuar en 3 niveles:

1er nivel: establecer la prioridad o reducción de la fuente.

2do nivel: primeros pasos para lograr la introducción de medidas de una producción limpia de forma sostenida o reciclaje interno (se logra con un adecuado manejo del recurso agua destinada al consumo humano).

3er nivel: reciclaje externo (en caso que sea necesario, donde se agrupan todos los materiales y estructuras requeridos para vencer la estrategia de trabajo propuesta. La estrategia más moderna que aborda entre otras cuestiones la

contaminación hídrica es la Producción Más Limpia. Sobre la base de la política que esta lleva a cabo, es muy importante el abordaje de acuerdo a cada territorio, del manejo que desde varias perspectivas se instrumenta en este sentido. El estado de la práctica de la contaminación hídrica en Cuba y específicamente en la provincia de Cienfuegos, es una de las polémicas actuales que la Política del Agua, emitida por el INRH, desarrolla en sus lineamientos de trabajo.

1.4 Estado de la práctica de la contaminación hídrica

Diferentes autores han desarrollado investigaciones enfocadas al estudio de la contaminación hídrica, como es el caso de la caracterización de las aguas del río Guadalquivir (Mendiguchía, 2005) estableciendo la relación de las variables medidas con los usos del suelo en sus márgenes, aplicando para ello métodos de ultra limpieza durante el muestreo, tratamiento y análisis de las muestras, así como, el desarrollo de nuevas metodologías que permiten el análisis de elementos ultra-traza en muestras salinas. Otra investigación consultada fue la de Marchesini, (2008) donde se estudian catalizadores bimetálicos soportados para la eliminación de nitratos y nitritos presentes en agua; también la tesis doctoral de Martínez, (2009) centrada en describir los procesos de contaminación difusa por nitrógeno en los recursos hídricos subterráneos de la Comunidad de Madrid y su entorno (acuíferos del Cretácico, del Terciario y del Cuaternario), y evaluar metodologías que permitan una identificación y designación más precisa de zonas vulnerables a la contaminación por nitrato en la comunidad de Madrid, a escala regional.

Se consultaron además los estudios de Galaviz, (2010) que tiene como objetivo determinar la relación entre la concentración de nitratos y nitritos disueltos en el agua de consumo humano, y la incidencia de cáncer de esófago y estómago en la población aledaña a las zonas cañeras del Módulo de Riego I-1 La Antigua y la tesis doctoral de Jaworski, (2012) donde se realiza un conjunto de actividades relacionadas a contribuir al desarrollo y comprensión del modo de acción de catalizadores heterogéneos para la eliminación de nitratos en agua.

De modo particular también se tomaron en cuenta las investigaciones enfocadas a este tema, como por ejemplo, la tesis de doctorado de Betancourt, (2010) donde el principal objetivo está inducido a establecer un procedimiento metodológico para evaluar la calidad físico-química del agua en embalses destinados al consumo humano y además, efectuar ejercicios de aplicación parcial de dicho procedimiento en otros embalses importantes de la provincia de Cienfuegos, a fin de comprobar su efectividad y aportar información para el manejo del recurso en estos embalses.

Otras investigaciones han estado encaminadas a diferentes estudios, como por ejemplo la tesis de maestría de García, (2015) en la que se plantea el diseño de un Plan de mejoras para contrarrestar efectos de la contaminación hídrica por hierro en Antonio Sánchez.

Se revisaron también los estudios de Ledea, (2016) donde se analiza la contaminación por nitritos y nitratos en las fuentes de abasto de agua del municipio Santa Isabel de las Lajas, donde se realiza un diagnóstico y evaluación de cada uno de las fuentes de abasto y sus principales niveles de contaminación.

Capítulo 2: "Fundamentación metodológica del análisis de la contaminación por nitrato en el Acuífero Juraguá"

Una vez concluida la fundamentación teórica de la presente investigación, corresponde la aplicación de los métodos y sus técnicas vinculadas, para dar respuesta a la necesidad de estudiar el comportamiento de la contaminación por nitratos en las aguas subterráneas en el acuífero Juraguá, ante una solicitud expresa de la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos.

2.1 Provincia de Cienfuegos y su disponibilidad hídrica.

La provincia de Cienfuegos se ubica al Sur de la región central de Cuba entre los 21°50', 22°30' de latitud norte y los 80°06', 80°55' de longitud oeste. El territorio limita geográficamente al Norte con las provincias de Villa Clara y Matanzas; al Sur con el Mar Caribe; al Este con las provincias de Villa Clara y Sancti Spíritus; y al Oeste con la provincia de Matanzas. Dicho territorio está conformado por 8 municipios: Aguada de Pasajeros, Abreus, Rodas, Palmira, Cruces, Santa Isabel de las Lajas, Cumanayagua y Cienfuegos.

En su geografía física predominan las llanuras de Cienfuegos y Manacas, al Este las alturas de Santa Clara y las montañas de Guamuhaya. Los suelos son fundamentalmente pardos con carbonatos y sin carbonatos, ferralíticos rojos y húmicos típicos. Su hidrografía está representada por los ríos Hanábana, Caunao, Arimao entre otros, las aguas mineromedicinales y termales de Ciego Montero y la bahía de Cienfuegos, la que se destaca por su profundidad, de estrecho canal y su forma de bolsa.

La disponibilidad hídrica del territorio está dada por la existencia de algunas condiciones que determinan muchas de las actuaciones relativas al suministro seguro de la cantidad y calidad de agua, la gestión integrada de los recursos hídricos y los enfrentamientos a escenarios vinculados a eventos extremos del clima. Dentro de ellas se encuentran:

- Vulnerabilidad propia de nuestra condición de Archipiélago. Dependencia de nuestros recursos de agua con el comportamiento de las precipitaciones.
- Anualmente se consumen en la provincia aproximadamente 350,0 hm³

(hectómetro cúbico), cifra que representa el 62 % de los recursos disponibles, con satisfacción a todas las ramas de la economía y la población, pero con particularidades que comprometen de manera significativa los servicios de abasto a la población a partir de un comportamiento inusual en el régimen de precipitaciones, y sus escases en un periodo prolongado puede ocasionar afectaciones con soluciones solo con el servicio de agua en pipas a grandes distancias.

- El 80 % de los recursos subterráneos se localizan en el 20 % del territorio (parte occidental de la provincia), por lo que a pesar de constar con recursos disponibles suficientes, su distribución en el territorio puede afectar determinados servicios en las zonas donde los potenciales acuíferos son pobres.
- Los servicios más vulnerables por efectos de la sequía son los relacionados con el abasto a la población a partir de contar con una estructura que no se adapta a las condiciones de distribución de los recursos aprovechables donde el 56 % de la población se abastece desde fuentes superficiales, pero solo responden al 16 % de los asentamientos poblacionales (42), y el 44 % de la población se abastecen desde fuentes subterráneas con el 84 % de los asentamientos (224).
- Los servicios de abasto de agua a la población se complejizan a partir de disponer mayormente de recursos superficiales, donde los procesos de potabilización son más exigentes (agua subterránea: simple proceso de desinfección).

El alza que ha experimentado la presencia de nitritos y nitratos en las fuentes de abasto de agua, llama la atención del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, lo que dio origen a un estudio detallado del efecto de estos contaminantes a la salud humana y a su vez dio inicio a la presente investigación en el poblado de Juraguá.

Acuífero Juraguá

La cuenca hidrogeológica CF-2 (Juraguá), se localiza al sur de la provincia de Cienfuegos, Cuba, ver anexo 1. Es un acuífero kárstico con descarga libre de sus aguas hacia el Mar Caribe y la Bahía de Cienfuegos. Tiene una superficie de 142

km², sobre la que se desarrolla la agricultura de cultivos varios (frutales, viandas, caña, hortalizas y henequén), cría de ganado y la industria local. La explotación de sus recursos hídricos se realiza para sustentar el riego agrícola, el abasto a la población e industria locales. En el área no existen cuencas superficiales, ni obras hidráulicas de trasvase que supongan fuentes de recarga que no sea las precipitaciones locales. El acuífero cuenta con siete fuentes de abastos, las cuales se relacionan a continuación:

Tabla 2.1. Fuentes de abasto de agua acuífero CF-2 Juraguá:

Localización geográfica			
(Grados Decimales, WGS-84)			
Fuentes o Pozos	Latitud Norte	Longitud Oeste	Usos
41-A	22,12693	-80,55804	CH, PA
Las 500	22,11928	-80,53967	CH, PA
Virgilio	22,11928	-80,54618	CH, PA
A7	22,10415	-80,50996	IL, PP
A-313	22,10214	-80,5514	CH, PA
P2	22,09627	-80,5605	IL, PA
B10	22,09562	-80,55609	CH, PA

(PA) producción agrícola

(CH) consumo humano

(IL) industria local

(PP) producción porcina

Según estudios previos de la UEB EAHC, la sobreexplotación de estos recursos y bajos niveles estáticos mantenidos por largos períodos secos han provocado disminución de los volúmenes disponibles, cambios en las propiedades hidrogeoquímicas de sus aguas, así como cambios estructurales en el suelo (Boza Ramón, et al., 2022; 2020).

Clima

La cuenca Juraguá está influenciada por un clima tropical marítimo estacional, con un período húmedo o lluvioso (mayo-octubre) y un período seco o poco lluvioso (noviembre-abril). De acuerdo con los registros históricos, el acumulado mensual de precipitaciones fluctúan entre 28,20 mm y 191,90 mm, para un promedio de 99,67 mm y un acumulado total de 1 314,00 mm como promedio anual (Boza Ramón, et al., 2022; 2020).

Relieve y Geología

En el relieve de la cuenca predominan las llanuras kársticas planas y onduladas, con cotas absolutas entre los 10 y 30 metros sobre el nivel del mar. La litología está constituida fundamentalmente por rocas del Neógeno, muy relacionadas con el Mioceno, en las que predominan las calizas cavernosas organógenas o biogénicas, margas, areniscas y dolomitas, por lo cual se clasifica la zona como de extremadamente alta capacidad acuífera de las rocas (Boza Ramón, et al., 2022).

2.2 Material y métodos empleados en la investigación.

Para el inicio al trabajo de investigación, se procedió a desarrollar un diagnóstico que permitiera identificar los principales elementos que caracterizan el estado de cada fuente en el momento en que se realizó la investigación.

2.2.1 Diagnóstico de las fuentes de abasto de agua del poblado Juraguá

Para valorar el estado en que se encuentran las fuentes de abasto (pozos) a la población, incluidas como objeto de estudio en la presente investigación, se realizó una inspección ocular a cada fuente (pozo), mediante lo cual se constató:

- Situación del cercado perimetral.
- Estado de protección (caseta de la Estación de bombeo).
- Vías de acceso.
- Características técnicas del equipamiento de bombeo.
- Observancia a las zonas de protección sanitaria.

2.2.2 Determinación de los niveles de contaminación por nitratos

El anexo 2 muestra todas las actividades y requerimientos que se realizaron para la determinación de la contaminación por nitratos en las fuentes de abasto de agua del poblado objeto de estudio.

Este se inicia con la toma de la muestra al pozo, el que ha de estar 20 minutos como mínimo bombeando agua antes de ser muestreado. Luego en tiempo menor a 6 horas, estas muestras son trasladadas al laboratorio del INRH provincial en el cual se realiza la determinación de los contaminantes mediante análisis químico, posteriormente estos resultados son introducidos en una base de datos que permite estudiarlos con facilidad.

Para la realización de los análisis se utilizaron las técnicas empleadas por la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST), ver anexo 3.

2.2.3 Referenciación por zonas de los potenciales contaminantes a las fuentes de abasto de agua

Para desarrollar este componente de la investigación, se recurrió a la información resultante del diagnóstico realizado a cada una de las fuentes de abastos (pozos) estudiados, cuyos resultados se recogen en una tabla donde se identifican por zona, el nombre de la fuente (pozo) y la ubicación del potencial contaminante que pueden influir sobre los niveles de nitratos que muestran los análisis realizados en el período 2011 hasta octubre de 2023, con énfasis en el 2022. De este análisis se derivó la elaboración de una propuesta de medidas con el auxilio del Grupo Focal.

2.2.4 Elaboración de la propuesta de medidas

Se utilizó como método de investigación el trabajo con Grupo Focal integrado por siete (7) especialistas de la Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos (universo real potencial), relacionados con el abasto de agua a la población, el monitoreo y análisis de las fuentes, que se muestra en el anexo 4.

2.2.5 Validación de los resultados Método Delphi:

Este método consiste en la utilización sistemática del juicio intuitivo de un grupo de expertos para obtener un consenso de opinión. Siguiendo pasos como:

- Concepción inicial del problema: esclarecer qué objetivo se persigue en el intercambio con los expertos.
- Selección de los expertos: en cuanto a la selección de los expertos debe calcularse el tamaño de muestra y demostrar, a partir del cálculo del coeficiente de competencia, que poseen conocimientos y argumentación suficiente en el tema que se analiza. Los resultados de dicha selección se muestran en el anexo 5.
- Preparación de los cuestionarios o encuestas: se preparan las encuestas para hacerlas llegar a los expertos y someterlas a su criterio.
- Procesamiento estadístico.

Selección de los expertos de acuerdo al criterio de Cortés, & Iglesias, (2005)

- Elaborar una lista de candidatos que cumplan con los requisitos predeterminados de experiencia, años de servicio, conocimientos sobre el tema.
- Determinar el coeficiente de competencia de cada experto.

Este último paso permite asegurar que los expertos que se consultan verdaderamente pueden aportar criterios significativos respecto al tema objeto de estudio anexo 5. La aplicación del método se desarrolló en lo general mediante **tres rondas**. La determinación del número de expertos se hizo tomando en consideración la NC 49:1981 (Calidad. Métodos de expertos), en la que se reconoce una cantidad mínima indispensable de siete (7) y no mayor de quince (15), esto último por la operatividad del método. Se aplicó siguiendo de modo general el proceso que a continuación se ilustra en la figura 2.1:



Figura 2.1 Proceso seguido en el método de expertos.

Fuente: Elaboración propia.

Procesamiento y análisis de la información: en este paso se define si existe concordancia entre los expertos o no mediante una prueba de hipótesis donde:

Ho: el juicio de los expertos no es consistente. (No comunidad de preferencia)

H1: el juicio de los expertos es consistente. (Comunidad de preferencia)

Para esta prueba se debe calcular el coeficiente de Kendall (W) que no es más que un coeficiente de regresión lineal que da el grado de correlación entre los expertos o la llamada concordancia. Este es un índice, entre 0 y 1, que indica que no existe concordancia entre los expertos, o que los expertos concuerdan totalmente con los criterios planteados y el orden de los mismos, respectivamente.

Las hipótesis planteadas pueden probarse si $k \geq 7$ (cantidad de criterios para la evaluación de los expertos) utilizando el estadígrafo Chi- Cuadrado que se calcula:

$$X^2_{calculada} = n(k - 1)WX^2_{tabulada} = X^2(\alpha, k - 1)$$

Región crítica: $X^2_{calculado} > X^2_{tabulado}$.

Chi – Cuadrado tabulado se localiza en la tabla estadística que se corresponde con tal distribución para $k - 1$ grados de libertad y un nivel de significación prefijada. Si se procesa la información en el paquete de programas SPSS se considera como región crítica: $P\text{-Value} < \alpha$. De no existir concordancia entre los expertos se sigue a otra ronda de análisis hasta lograrla realizando los cambios pertinentes en función de lo que evalúan.

En caso de que el número de características sea menor que siete ($k < 7$) se tiene:

$$\text{Región crítica: } S_{calculada} = \sum \left(R_i - \frac{\sum R_i}{k} \right)^2 > S_{tabulada}$$

Donde:

$S_{tabulada}$: se encuentra en la tabla de Friedman

R_i : sumatoria de las evaluaciones dadas por los expertos para cada una de los criterios

2.3 Tratamiento estadístico de los resultados

Los datos que se obtienen al llevar a cabo la investigación, son procesados, mediante el programa estadístico SPSS V15. El mismo permite el trabajo con grandes bases de datos y un sencillo interface para la mayoría de los análisis. El trabajo con las tablas, gracias al empleo de este programa, les da a las mismas un formato especial, a las salidas de los datos para su uso posterior. Una vez procesada toda la información, se realizan revisiones lógicas de la misma y se obtienen reportes, de los valores considerados atípicos o significativos (Bayarre, & Hosford, 2000).

Dada las características del estudio llevado a cabo, se emplea solo el censo de hecho, el cual implica el empadronamiento de toda la población presente en el territorio en estudio. A lo largo del estudio se hace necesario aplicar la media muestral, a los resultados de los muestreos del agua, realizados durante los últimos doce años a los pozos del lugar. Se utiliza además la tabla de frecuencias, la cual permitió agrupar la frecuencia absoluta y relativa con que se presentaron los valores significativos de contaminación (Bayarre, & Hosford, 2000).

Para mostrar la variabilidad de la distribución de los elementos contaminantes en los diferentes muestreos realizados, se utilizan las medidas de dispersión (desviación típica), o sea el valor que dará a conocer cuánto se aleja de la media el resultado que se obtiene. A mayor valor mayor variabilidad, pudiéndose conocer si todos los casos son parecidos o varían mucho entre ellos (Bayarre , & Hosford, 2000). Todos los datos se representaron en gráficos de secuencia y de barras, utilizando Microsoft Excel para su realización, con el objetivo de obtener una mejor perspectiva del comportamiento de los resultados de los muestreos.

Capítulo 3 “Discusión y análisis de los resultados de la investigación”

Una vez concluido el proceso de búsqueda y recopilación de datos, se procede al análisis de cada aspecto, en relación con la contaminación de las aguas subterráneas en cada una de las fuentes estudiadas.

3.1 Valoración de los aspectos aportados por los datos (diagnóstico) de las fuentes primarias

El punto de partida para el análisis de los resultados en esta investigación, se sustentó en la base de los datos aportados por la Delegación de Recursos Hidráulicos en la provincia y además, por la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Cienfuegos, mostrándose a continuación un resumen de los aspectos más significativos relacionados con la calidad de las aguas subterráneas en el acuífero Juraguá. La valoración se realizó utilizando la NC 1021:2014 Higiene comunal- fuentes de abastecimiento de agua-calidad y protección sanitaria (los valores referenciados se expresan en mg/L). La cuenca mantiene un comportamiento desfavorable en el período comprendido desde enero del 2000 hasta octubre del 2023 en relación con la calidad de las aguas, mostrando una tendencia descendente. El acumulado mensual histórico de las precipitaciones es 1314 mm, lo cual podría hablar a favor de este aspecto, pero la media mensual se ha comportado en cifras que van en declive, compromete el suministro de agua potable a la población de este poblado, según se evidencia de la información consultada en la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos, responsables de este recurso en el territorio.

Según esta misma fuente de información, las fuentes de abasto del poblado le dan cobertura a un total de 3 884 habitantes, lo que representa un 81,22 % de la población general de la localidad, distribuida según se aprecia en la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Composición de los asentamientos que inciden sobre las fuentes de abastos.

NOMBRE	VIVIENDAS	RESIDENTES	CATEGORÍA (Por IPF Provincial)
41 A	96	310	Poblado de tercera
Las Quinientas	291	845	Poblado de tercera
Virgilio	486	1021	Poblado de segunda
A - 313	782	1554	Poblado de primera
B - 10	53	154	Poblado de tercera

Fuente: Oficina Nacional de Estadística e Información, 2022

Por lo numerosa que resultan las fuentes de abasto de la localidad y sustentado en la necesidad de valorar los potenciales contaminantes por nitratos, se realizó la caracterización a cada una de estas fuentes de abasto.

3.2 Diagnóstico de las fuentes de abasto del acuífero Juraguá

Las características de las fuentes de abasto de agua del poblado son las siguientes (información brindada por la Dirección Técnica de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Cienfuegos):

Fuente 41 A:

Se encuentra sobre la cuenca Hatiguanico, desde la cual se abastecen aproximadamente 310 usuarios. La caseta tiene las paredes de mampostería, el techo de zinc y el piso de cemento, el estado técnico de la misma es regular, el camino de acceso y la cerca perimetral presentan un estado regular. La bomba es sumergible (marca Wilo) de un gasto de 6 L/s con una carga de 40 m, su estado técnico es bueno. El motor es 220-3F con una potencia de 6,3 kW en buen estado técnico, el tiempo de bombeo es de 12 h, tiene equipo de desinfección y grupo electrógeno y no posee servicio exclusivo de energía.

Fuente Las Quinientas (Las 500):

La fuente se localiza sobre la cuenca superficial Arroyo Juraguá, la cual le da servicios aproximadamente a 845 usuarios. La protección de la estación de

bombeo es mediante paredes de mampostería, techo de placa, piso de cemento; presentando de manera general un estado técnico regular. El acceso y la cerca perimetral tienen un estado regular. El tipo de bomba es sumergible (marca Wilo) con un gasto de 6 L/s y una carga de 40 m, con buen estado técnico. Dispone de un motor de 220-3F con una potencia de 13 kW y mantiene un buen estado técnico, con un tiempo de trabajo de 6 h consecutivas; tienen equipo de desinfección y no cuentan con grupo electrógeno ni servicio eléctrico exclusivo.

Fuente Virgilio:

Se ubica sobre la cuenca superficial Arroyo Juraguá, desde la cual se abastecen aproximadamente 1021 usuarios. La caseta de esta fuente es de paredes de mampostería, con techo de placa y piso de cemento en un estado técnico bueno, al igual que la cerca perimetral, el camino de acceso está en buen estado. La bomba es del tipo sumergible (marca Wilo) con un gasto de 5,7 L/s y una carga de 40 m, en estado bueno. El motor es eléctrico de 220-3F con una potencia de 3,4 kW en buen estado. Se bombea 6 h diarias, cuenta con equipo de desinfección y no tiene grupo electrógeno, ni servicio eléctrico exclusivo.

Fuente A -7:

Fuente subterránea sobre la cuenca superficial de Hondones. En las visitas realizadas se observan encharcamientos producidos por salideros. La caseta es de mampostería con techo de placa y piso de cemento, la misma con un estado técnico regular, el camino de acceso y la cerca perimetral su estado es regular. La bomba es sumergible (marca Wilo) con un gasto de 6 L/s con una carga de 40 m, su estado técnico es bueno. El motor es de 220-3F con una potencia de 6,3 kW. El bombeo es de 12 h, cuenta con equipo de desinfección, un grupo electrógeno y no tiene servicio exclusivo de energía.

Fuente A-313:

De ella se abastecen aproximadamente 1554 habitantes y está ubicada sobre la cuenca superficial Hatiguanico. El operador vive en la estación. Su construcción es

de mampostería con techo de zinc y piso de cemento, todo en un estado regular, el camino de acceso y la cerca perimetral están en mal estado constructivo. La bomba que utiliza es sumergible (marca Wilo) de 5 L/s, con una carga de 50 m y mantiene buen estado técnico. Tiene un motor eléctrico de 220-3F con una potencia de 6,3 kW en buen estado técnico. El tiempo de bombeo es de 6 h (horas), tiene equipo de desinfección, no cuenta con un grupo electrógeno, ni servicio exclusivo de energía.

Fuente P-2:

Se localiza en la cuenca Hatiguanico. La caseta es de mampostería con techo de placa y el piso de cemento, todo lo anterior en un estado técnico regular, el vial de acceso y la cerca perimetral se encuentran en buen estado. La bomba es sumergible (marca Neumani), con un gasto de 13 L/s y una carga de 70 m, su estado técnico es bueno. El motor es de 220-3F con una potencia de 10 kW en buen estado. El bombeo es de 6 h diarias, tiene equipo de desinfección y no cuenta con grupo electrógeno, ni servicio eléctrico exclusivo.

Fuente B-10:

De ella se abastecen aproximadamente 154 usuarios, se ubica en la cuenca Hondones Oeste. La caseta es de mampostería con techo de zinc y piso de cemento, todo en buen estado, el acceso y la cerca perimetral también se encuentran en buen estado. La bomba es del tipo sumergible (marca Caprari) con un gasto de 6 L/s y una carga de 40 m, con un buen estado técnico. El motor es eléctrico de 220-3F y una potencia de 10 kW. El bombeo se realiza en 5 h continuas, tienen equipo de desinfección y no cuenta con grupo electrógeno, ni servicio eléctrico exclusivo.

3.3 Resultados de los muestreos realizados a los pozos de abasto del poblado Juraguá

Se describe a continuación en la tabla 3.2 la situación que presentan los pozos que sistemáticamente son monitoreados por la RED Cal, relacionada con la calidad bacteriológica de sus aguas:

POZOS	SITUACIÓN GENERAL:			
	Nitritos	Nitratos	C. Totales	C. Termo.
41 A	sobre norma	en norma	no presenta	presenta
Las 500	sobre norma	en norma	presenta	presenta
Virgilio	elevados	en norma	no presenta	no presenta
A - 7	elevados	sobre norma	presenta	presenta
A - 313	sobre norma	muy elevados	presenta	no presenta
P - 2	sobre norma	sobre norma	presenta	presenta
B - 10	elevados	elevados	no presenta	no presenta

Tabla 3.2 Situación general de la contaminación de los pozos hasta el 2023.

Dimensión escala utilizada para los conceptos expresados en la tabla 3.2:

En norma: $\text{NO}_3 < 45 \text{ mg/L}$ y $\text{NO}_2 < 0,01 \text{ mg/L}$

Sobre norma: $45 \text{ mg/L} < \text{NO}_3 < 55 \text{ mg/L}$ y $0,01 \text{ mg/L} < \text{NO}_2 < 0,08 \text{ mg/L}$

Elevados: $55 \text{ mg/L} < \text{NO}_3 < 65 \text{ mg/L}$ y $0,08 \text{ mg/L} < \text{NO}_2 < 0,2 \text{ mg/L}$

Muy elevados: $\text{NO}_3 > 65 \text{ mg/L}$ y $\text{NO}_2 > 0,2 \text{ mg/L}$

Del análisis de la información cualitativa que se reflejan en la tabla 3.2 se infiere que todas las fuentes de abasto del territorio presentan algún tipo de contaminación, ya sea por nitritos o por nitratos, o ambos inclusive. En algunas fuentes también existe la presencia de Coliformes Totales y/o Coliformes Termotolerantes.

Se consideró oportuno para el mejor análisis del estado de la contaminación de las fuentes, realizar un análisis estadístico descriptivo, mostrando tablas de datos, gráficos de barras y de secuencia, a partir de los datos recopilados del análisis químico de las aguas de las fuentes muestreadas, donde se reflejan los aspectos más relevantes relacionados con la contaminación específica por nitritos y nitratos de cada pozo. Muy importante señalar, además que los resultados de los muestreos corresponden al valor medio anual del contaminante.

El comportamiento del nitrato desde el 2011 hasta el 2023 en todas las fuentes de abasto del territorio, objeto de estudios, aparece en la figura 3.1 que se muestra a

continuación, debiéndose aclarar que los resultados del último año, corresponden hasta el mes de octubre:

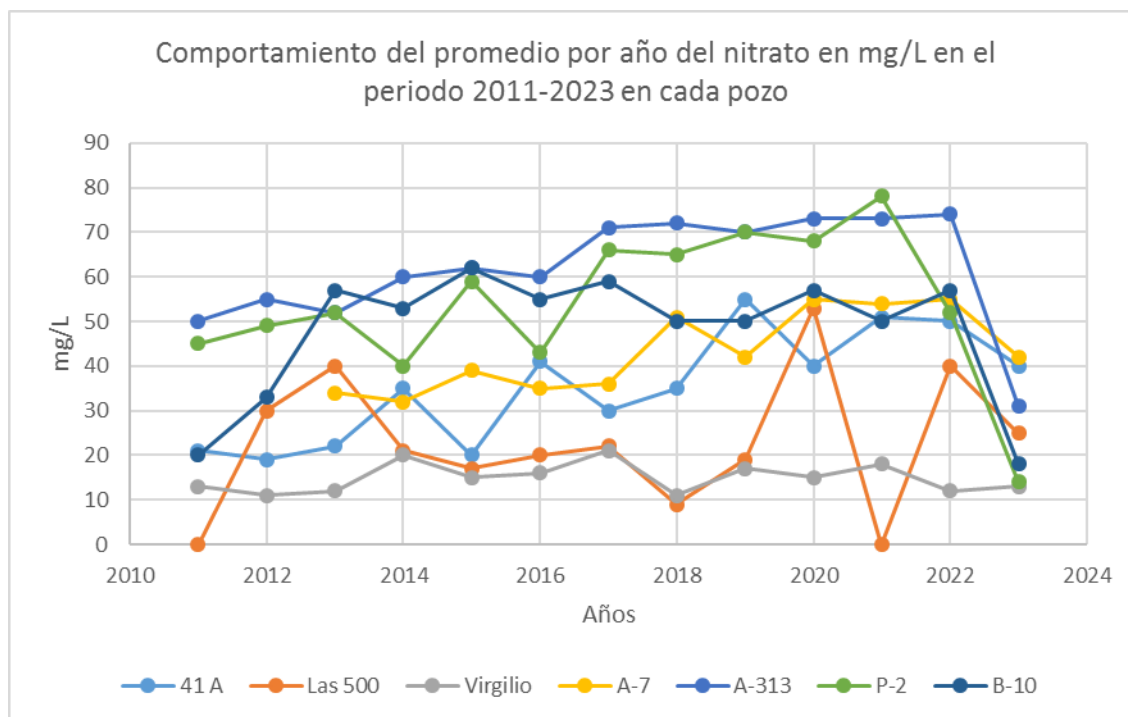


Figura 3.1 Comportamiento del nitrato en el periodo 2011-2023

Fuente: Dirección Técnica de la EAHC.

Como se puede observar los nitratos, en las diversas fuentes muestreadas durante el período 2011-2023 presentan un comportamiento inestable en el tiempo y de modo particular para el año 2023, como resultado de los análisis de la presente investigación, se observa una tendencia a su disminución en general.

De las fuentes analizadas, la correspondiente a “A - 313” se ha mantenido con niveles excesivos por encima de la norma establecida llegando a alcanzar en el año 2022 los 74,66 mg/L, este índice es el resultado de la influencia de los potenciales focos contaminantes analizados en la tabla 3.4 para dicho pozo. La fuente “B - 10” desde que se iniciaron los muestreos en el año 2011 se mantuvo con niveles de contaminación por encima de la norma y luego para el 2023 sus índices descendieron hasta los 18 mg/L, de igual manera la fuente “A - 7” en el año 2011 y 2012 no se le realizó muestro, este pozo a partir del 2013 hasta el 2022 mantuvo una tendencia al aumento, coincidiendo dicha tendencia con la fuente “41 A”, ambas en el año 2019 despuntaron con índice de contaminación por encima del normado. La fuente “Las 500” presenta índice de contaminación en el

año 2020, pero su comportamiento anual se ha mantenido por debajo de los límites establecidos en la norma.

El comportamiento del nitrito se muestra en la figura 3.2:

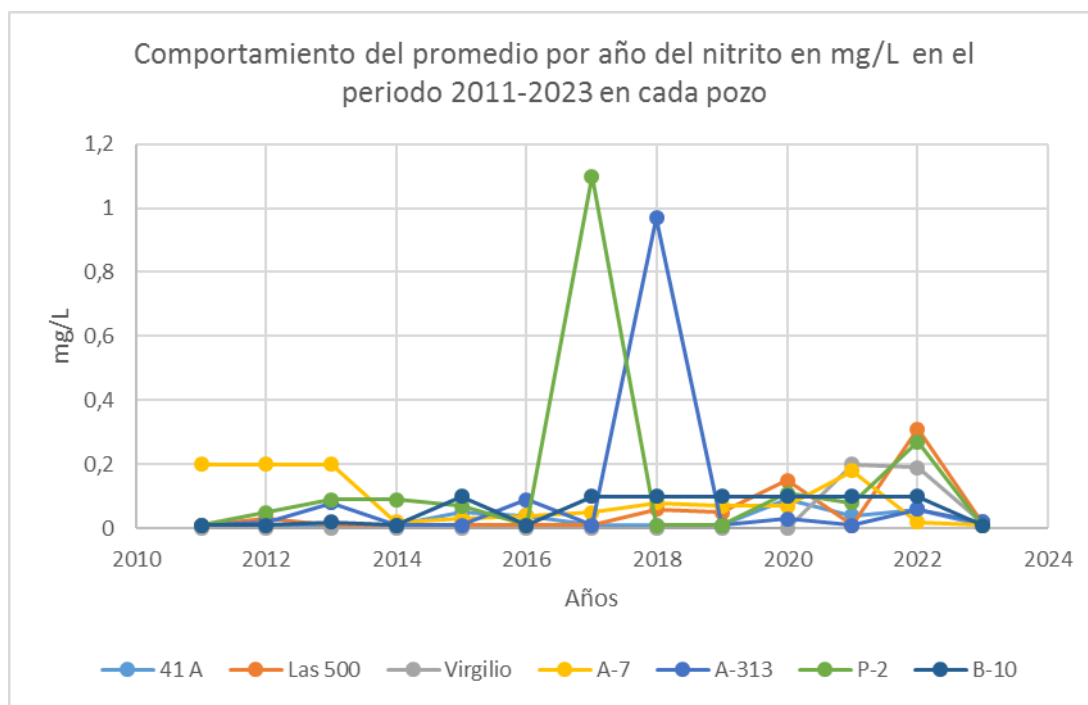


Figura 3.2 Comportamiento del nitrito en el periodo 2011-2023

Fuente: Dirección Técnica de la EAHC.

Como se puede observar en las fuentes analizadas los nitritos manifiestan un alza en sus valores desde finales del año 2011, excepto “B - 10”, la cual refleja la presencia de este contaminante en el año 2019, evidenciándose de igual forma, en la fuente de “A-313” durante el periodo 2016-2017, un ascenso de 0.96 mg/L, por encima de la norma establecida y en la etapa de 2017-2019 un descenso de estos niveles de contaminación. El pozo “P - 2” evidencia un comportamiento similar, con la diferencia de que en los años 2016-2017 los niveles de contaminación alcanzaron los 1.1 mg/L, posteriormente hasta el año 2018 estos índices descendieron. Es importante señalar que la fuente “Virgilio”, comenzó a muestrearse a partir de 2021, en sus inicios presentó valores de 0,2 mg/L. Esta cifra se corresponde con los niveles de contaminación reflejados para la fuente “A-7” durante los años 2011-2013, la que luego tiene tendencia al descenso hasta la

actualidad. El resto de los pozos presentan una conducta análoga, manteniendo diferencias en cuanto a su tendencia y por tanto en los índices de contaminación.

En las figuras 3.1 y 3.2; correspondientes a la actuación de los nitratos y nitritos respectivamente en las fuentes de abasto del poblado Juraguá en el periodo 2011-2023, se percibe la inestabilidad en el comportamiento que siguen los niveles de estos contaminantes a lo largo de los años. Las variaciones en los resultados de los muestreos, están propiciados principalmente por la trayectoria que mantienen las lluvias en este espacio de tiempo, causa que influye en el aumento o disminución de los nitritos y nitratos en el agua, en dependencia del grado de contaminación presente en cada pozo. El comportamiento descrito por las lluvias se evidencia en la figura 3.3:

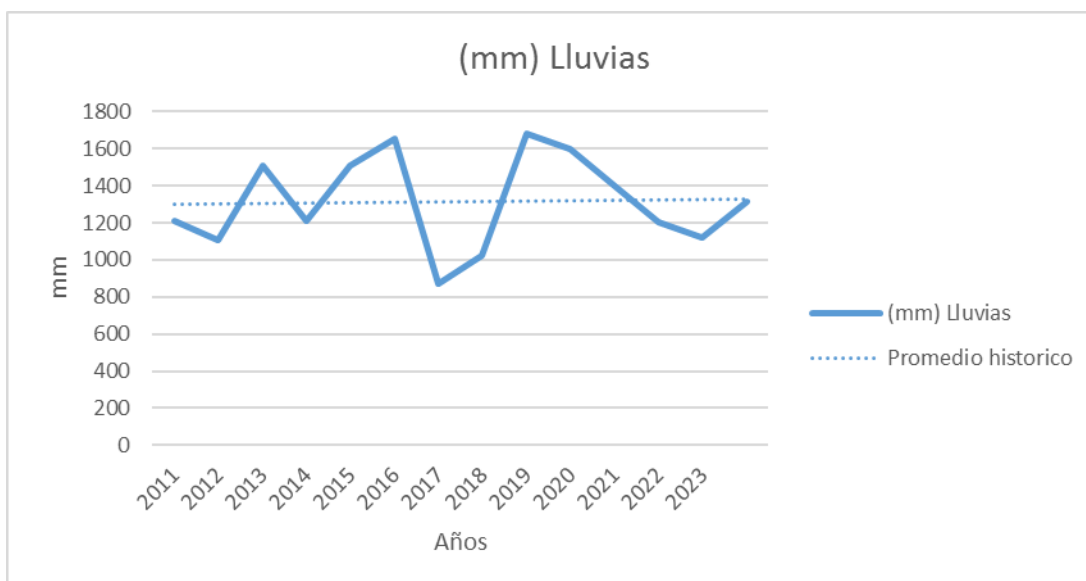


Figura 3.3 Comportamiento pluviométrico en el periodo 2011-2023

Fuente: Dirección Técnica de la EAHC.

Al llevar a cabo el análisis de la figura precedente, se corrobora una de las causas que provocó el incremento de los niveles de contaminación por nitritos, en las fuentes de “A - 313” y “P - 2” en el año 2017. La justificación dada por la Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos está centrada en la intensa sequía que enfrentó el poblado en dicho año.

De la interpretación errática del comportamiento en el tiempo de la contaminación por nitritos y nitratos de las diferentes fuentes de abasto de agua del acuífero estudiado, se aprecia que no siempre son proporcionales el aumento o disminución de ambas concentraciones en un mismo año e iguales regímenes de lluvia, como por ejemplo, en el año 2020, los pozos “Las 500” y “A-7” respectivamente.

En correspondencia con lo abordado anteriormente se hace necesario realizar un análisis detallado de cada una de las fuentes del territorio. De modo particular como ejemplo, se refleja la situación de la fuente de abasto “A - 313”. Los resultados sobre la fuente antes referida se muestran en la tabla 3.3:

Pozo “A-313”

Tabla 3.3 Comportamiento de nitritos y nitratos en el período 2011-2023

Año		Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
2011	NO2	,00	,05	,0260	,03677
	NO3	45,00	52,00	48,5000	4,94975
2012	NO2	,00	,15	,0765	,10819
	NO3	53,00	55,00	54,0000	1,41421
2013	NO2	,00	,00	,0000	.
	NO3	56,00	56,00	56,0000	.
2014	NO2	,00	,00	,0000	.
	NO3	67,00	67,00	67,0000	.
2015	NO2	,08	,08	,0830	.
	NO3	62,00	62,00	62,0000	.
2016	NO2	,00	,00	,0000	.
	NO3	61,00	61,00	61,0000	.
2017	NO2	,97	,97	,9700	.
	NO3	72,00	72,00	72,0000	.
2018	NO2	,46	,46	,4550	.
	NO3	73,00	73,00	73,0000	.
2019	NO2	,00	,00	,0000	.
	NO3	71,00	71,00	71,0000	.
2020	NO2	,04	,04	,0430	.
	NO3	74,00	74,00	74,0000	.
2021	NO2	,00	,00	,0000	.
	NO3	74,00	74,00	74,0000	.
2022	NO2	,05	,09	,0690	,02404

	NO3	72,00	80,00	74,6667	4,61880
2023	NO2	0,028	0,028	0,0284	
	NO3	15,00	15,00	15,0000	

Fuente: Dirección Técnica de la EAHC.

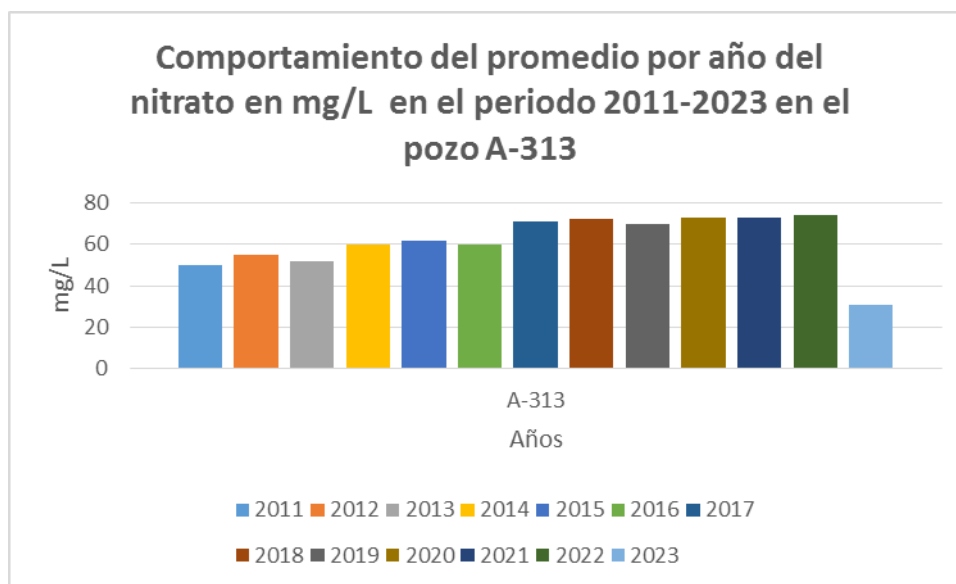


Figura 3.4 Media anual de los nitratos

Fuente: Dirección Técnica de la EAHC

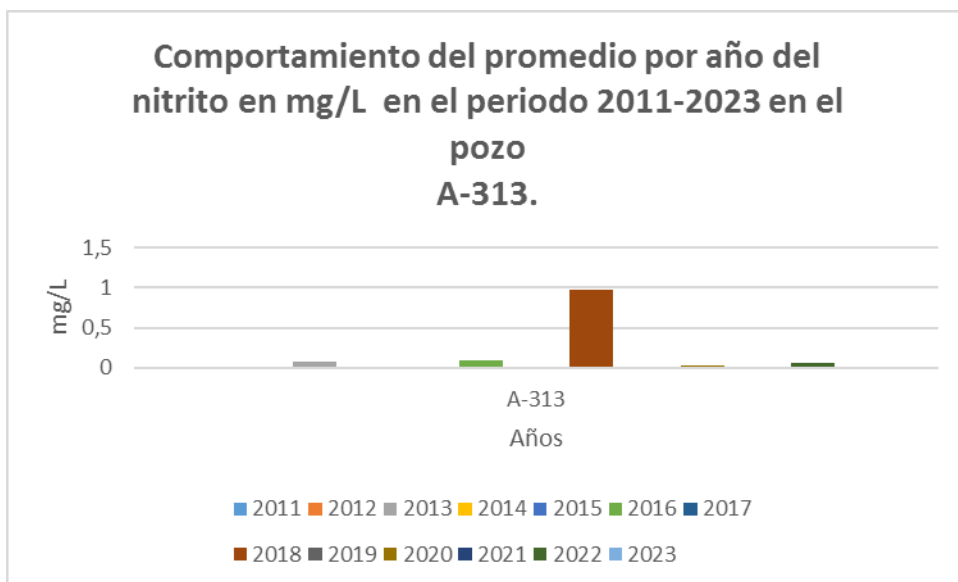


Figura 3.5 Media anual de los nitritos.

Fuente: Dirección Técnica de la EAHC

Según la información precedente respecto a las concentraciones de nitritos y nitratos en la fuente de abasto de agua antes relacionada, desde el 2020 dicha fuente presenta un aumento de contaminación por nitratos, muy por encima de la norma establecida. Esta fuente es la más contaminada por este elemento en el acuífero objeto de estudio; llegando a registrarse en el 2022, (74,66 mg/L) el valor más alto alcanzado en el poblado hasta la fecha. Con respecto a los nitritos, los valores obtenidos manifiestan un comportamiento estable oscilando entre los 0 y 0,08 mg/L, exceptuando los años 2017 y 2018 donde se registraron valores máximos de 0,97 y 0,46 mg/L respectivamente. En el año 2023 los valores tanto de nitritos como de nitratos descendieron a 0,0284 y 15 mg/L respectivamente. Estos valores a pesar de su ínfima variación se consideran valores muy elevados y nocivos a la salud humana.

Los gráficos correspondientes a cada uno de los análisis de los resultados de las fuentes de abasto siguientes se muestran en el anexo 6, la interpretación a cada uno de estas figuras se refleja a continuación:

Pozo “41 A”

Esta fuente presenta valores de contaminación por nitritos, variando entre 0 y 0,08 mg/L. Los valores de los nitratos se ven en aumento, y aunque en años anteriores no representaron una contaminación, actualmente si lo son, ya que se han registrado a partir del 2019 valores que, con mayor frecuencia, superan el límite establecido, como lo muestran los datos obtenidos en los años 2021 y 2022 con valores de 54 y 53 mg/L respectivamente. En el año 2023 los valores tanto de nitritos como de nitratos descendieron a 0,0202 y 40 mg/L respectivamente.

Pozo “A - 7”

Esta fuente no presentaba contaminación por nitratos hasta el año 2019, en el que se comenzaron a obtener valores frecuentes de 50 a 53 mg/L. No ocurre igual en el caso de la contaminación por nitritos, que sí ha estado presente en todos los años analizados, oscilando entre los valores de 0,04 y 0,19 mg/L. En el año 2023 los valores tanto de nitritos como de nitratos descendieron a 0,0126 y 42 mg/L respectivamente.

Pozo “P - 2”

Esta fuente es una de las más contaminadas del acuífero, con índices de contaminación por nitratos que oscilan entre los valores de 50 y 60 mg/L, alcanzando valores máximos de 68 mg/L en el año 2020. La contaminación por nitritos se manifiesta similar a la de nitratos, ya que presenta en todos los años analizados, valores que rondan entre los 0 y 0,1 mg/L; diferenciando el 2017, ya que en ese año se registró el valor más alto alcanzado en dicho poblado hasta la actualidad, siendo el mismo de 1,1 mg/L. En el año 2023 los valores tanto de nitritos como de nitratos descendieron a 0,0223 y 14 mg/L respectivamente.

Pozo “B - 10”

La contaminación dada por la presencia de nitritos y nitratos en esta fuente, se viene desarrollando desde antes del 2012, mostrando valores de nitritos con frecuencia cada vez más marcada en el rango de 0,08 a 0,1 mg/L, mientras que la contaminación por nitratos se ha mantenido fluctuando en el rango de los 50 a 60 mg/L, donde en el año 2015 se obtuvo el valor de 62 mg/L, máximo obtenido en dicha fuente. En el año 2023 los valores tanto de nitritos como de nitratos descendieron a 0,0111 y 19 mg/L respectivamente.

Pozo “Las 500”

En esta fuente se ha registrado poca contaminación durante el periodo estudiado; tanto por nitritos como por nitratos, encontrándose con frecuencia los valores en rangos de 0 a 0,05 mg/L y de 10 a 40 mg/L respectivamente. En el caso, de los nitritos el valor máximo registrado fue en el 2020, con un valor de 0,25 mg/L, mientras que en el caso de los nitratos fue en el 2022 con un valor de 56 mg/L. En el año 2023 los valores tanto de nitritos como de nitratos descendieron a 0,0242 y 24 mg/L respectivamente.

Pozo “Virgilio”

A esta fuente caracterizada como una elevada actividad antrópica en su zona de protección, se le comenzó a realizar el muestreo a partir del año 2021, resultando

que el pozo presenta contaminación por nitritos, siendo los valores del 2021 y 2022 de 0,2 y 0,19 mg/L respectivamente; y no presenta contaminación por nitratos. En el 2023 disminuyó los valores de nitritos a 0,0353 mg/L y aumentó los de nitratos a 15 mg/L.

3.4 Potenciales focos contaminantes determinados

A fin de que el agua servida tenga calidad, es preciso, ante todo, protegerla de las distintas fuentes reales o potenciales de contaminación. Cualquier medida tendiente a prevenir la contaminación es mejor, más económica y más beneficiosa que todos los esfuerzos desplegados para recuperar la calidad. Uno de los medios para mantener la calidad natural de las fuentes de abasto de agua, es adoptar una política proactiva de protección de las captaciones o toma de agua, estas, cuando son o se van a destinar al abastecimiento público, deben protegerse según las regulaciones previstas para cada tipo de fuente, evitando así la contaminación real o potencial.

En este particular, fue consultado el estudio de la delimitación de las Zonas de Protección Sanitarias en el territorio como aspecto novedoso en el cual trabajó el grupo de Producciones más Limpias de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Cienfuegos.

En recorridos realizados, se observaron en la zona de protección sanitaria de este poblado, potenciales focos contaminantes que pueden incidir en estas fuentes de estudio, los que se relacionan a continuación en la tabla 3.4:

Tabla 3.4 Potenciales Focos Contaminantes.

FUENTES	POTENCIALES FOCOS CONTAMINANTES
41 - A	El Grupo Electrógeno (G. E) de la propia estación de bombeo, En la ZPS III existen algunas viviendas y el desarrollo de cultivos varios.
Las 500	En la ZPS II se encuentran varias viviendas y áreas de cultivos varios.

Virgilio	En la ZPS II existen varias viviendas, áreas de cultivos varios, así como animales domésticos y de forma extensiva.
A - 7	En la ZPS II existen viviendas, una cochiguera con su laguna de oxidación, pastoreo de ganado, industria local (procesamiento del henequén), vertimiento de desechos orgánicos, se aprecian encharcamientos producidos por salideros.
A - 313	En las dos primeras zonas se encuentra parte del asentamiento del Castillo con sus sistemas de vertimientos, el desarrollo de cultivos como mango, plátano, caña, una granja de ganado, vertimiento de desechos orgánicos, un taller particular de automóviles.
P - 2	En la ZPS II se localizan cultivos varios como mango, plátano, henequén, caña, pastoreo de ganado, industria local (procesamiento del henequén), vertimiento de desechos orgánicos.
B - 10	En las dos primeras zonas existen viviendas con sus sistemas de vertimientos, el desarrollo de cultivos varios como mango, plátano, caña, así como una granja de ganado.

Fuente: Dirección Técnica de la EAHC.

De acuerdo a los datos mostrados en la tabla 3.4, se evidencia que los focos contaminantes más frecuentes en cada fuente son los cultivos varios, las granjas de animales y los propios asentamientos, encontrándose ubicados dentro de las ZPS de las fuentes de abasto o en los márgenes de esta.

Para ello se tomaron en cuenta los aspectos más significativos relacionados con la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos, los que fueron evaluados a través del método de expertos que se muestra en el anexo 7.

Después de realizar el análisis de los resultados, se puede apreciar la evidente influencia que ejercen los potenciales focos contaminantes a las fuentes de abasto de agua, manifestándose principalmente en los casos que existen cultivos y cría de animales en las ZPS. Sobre la base de las consideraciones anteriores, se impone tomar medidas para la solución de estas contaminaciones. Por otra parte constituye un aspecto imprescindible en el manejo integral de agua subterránea, la creación de registros de control de la actividad antrópica, como elemento incuestionable que funcionará como marcador de impacto para precisar grado de contaminación.

3.5 Propuesta de medidas sobre la base del cumplimiento de normativas de la P+L

Para minimizar los posibles focos contaminantes en los límites de las fuentes de abasto, se elabora un grupo de medidas con el objetivo de eliminar las condiciones adversas en el entorno y de esta forma prevenir y/o reducir la posible contaminación. Para ello se tomaron en cuenta los aspectos más significativos relacionados con la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos, los que fueron evaluados a través del método de expertos que se muestra en el anexo 7.

Las Medidas propuestas son las siguientes:

- Ampliar las dimensiones de la cerca perimetral a lo establecido en la norma y cercarla con malla peerles.
- Eliminar los salideros de la conductora.
- Eliminar cultivos en las zonas de restricción.
- Eliminar el pastoreo dentro de la zona.
- No aplicación de productos químicos, ni orgánicos no controlados fuera de las zonas de protección en pendientes aguas arriba de la fuente.
- Mejorar la iluminación interior y exterior, respetando además los límites de la zona de protección.
- Completar el levantamiento de los posibles focos contaminantes existente en los límites de las zonas I y II.
- Aplicar acciones en correspondencia al grado de incidencia de cada fuente según las normas NC 93-01-2009 y la NC 27:2012.
- Eliminar el almacenamiento de productos químicos en áreas aledañas a la fuente.
- Prohibir nuevas construcciones en la zona II.
- Retirar los focos contaminantes que no cumplan con las normas establecidas.

Las medidas propuestas fueron validadas por expertos, cuyo procesamiento se muestra en el anexo 8, donde como principal resultado se evidencia la consideración satisfactoria al evaluar estas medidas. Se demostró de forma general, la necesidad del desarrollo de investigaciones dirigidas a estos estudios.

Conclusiones

1. En la bibliografía consultada se evidencia la significación que para la salud humana representa la contaminación por nitratos de las aguas de abasto a la población.
2. De los siete pozos caracterizados solo dos no se utilizan para consumo humano y todos muestran valores de concentración de nitritos o nitratos por encima de la norma permisible para el consumo humano, siendo el de mayor contaminación el pozo "A - 313" que cuyos valores medios están en el orden de 0,15 y 66,8 mg/L respectivamente.
3. Los potenciales contaminantes que mayor incidencia tienen en los pozos estudiados son el cultivo en las áreas cercanas, riego con fertilizantes inorgánicos y el pastoreo y granjas de animales por la no observancia de lo establecido para las zonas de la protección sanitaria de cada fuente.
4. Entre las medidas propuestas se encuentran: la no aplicación de productos químicos, ni orgánicos no controlados fuera de las zonas de protección en pendientes aguas arriba de la fuente, así como la eliminación del pastoreo dentro de la zona de protección, las que constituyen aspectos que responden a los principios de Producción más Limpia como vía medioambiental económica y moderna.

Recomendaciones

- Actualizar por separado el estudio hidrogeológico para los distintos períodos de lluvias que se vengán manifestando en la provincia.
- Priorizar un seguimiento especial de análisis y diagnóstico de focos contaminantes, a las fuentes de consumo con mayores concentraciones de nitrato.
- Poner los resultados obtenidos en esta investigación a disposición de las autoridades rectoras del recurso agua en el territorio de Cienfuegos.
- Realizar divulgación y educación ambiental sobre las regulaciones en las zonas de protección sanitarias.
- Socializar los resultados de la investigación en eventos y publicaciones a fines.

Bibliografía

- Albo, M., & Blarasin, M. (2014). Hidrogeoquímica y estimación del fondo natural de nitratos del agua subterránea en un agroecosistema del pedemonte de la sierra de Comechingones. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(3), 378-392.
- Aguilera, F. (2010). *Metodología para determinar calidad natural en acuíferos*. (Tesis de Grado). Universidad de Chile.
- Álvarez, T., Carrillo, L., Sánchez, J., Pacheco, J., & González, R. (2016). Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(4), 75-96.
- Andreu Roes, J.M., & Fernández Mejuto, M. (2019). Las aguas subterráneas en España: hacia la sostenibilidad del recurso. (Ponencia). *Congreso Nacional del Agua Orihuela: Innovación y Sostenibilidad*. Universidad de Alicante, España.
- Ayers, R. S., & Westcot D.W. (1984). *Calidad del agua para la agricultura Estudio FAO de riego y drenaje N° 29*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Baque-Mite, R., Simba-Ochoa, L., González-Osorio, B., , Suatunce, P., Diaz-Ocampo, E., & Cadme-Arevalo, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Ciencia Unemi*, 9(20), 109-117.
- Bayarre, H., & Hosford, R. (2000). *Métodos y Técnicas Aplicadas a la Investigación en Atención Primaria de Salud*. <http://www.sld.cu>

- Betancourt, C. (2010). *Procedimiento para el análisis de la calidad del agua en algunos embalses de la provincia de Cienfuegos, Cuba*. (Tesis Doctoral). Universidad de Pinar del Río.
- Bolaños, J., Cordero , G., & Segura , G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15-27.
- Boza Ramón, M., Brito Gómez, A. E., Delgado Cabrera, O., García González, D., Socorro Rodríguez, Y., Villareal Velóz, M. A., & Marchena de León, I. (2020). *Análisis cualitativo de la Cuenca CF2 Juraguá 2020*. Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Cienfuegos.4
- Boza Ramón, M., Brito Gómez, A. E., Marchena de León, I., Estupiñán Suárez, L. E., Ferradaz Rey, R., & Socorro Rodríguez, Y. (2022). *Evaluación los volúmenes disponibles y explotables de la cuenca hidrogeológica CF2 Juraguá. (Estudios de La Evaluación de La Disponibilidad de Las Aguas Subterráneas)*. Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Cienfuegos.
- Burgos, T. (2018). *Determinación de la vulnerabilidad del acuífero, carga contaminante y concentración de nitratos de agua en pozos del sector Rancho Grande*. (Tesis de Grado). Universidad de Guayaquil.
- Caballero, E. (1989). Fraccionamiento isotópico. Efecto de la composición Química. *Estudios Geol.*, 45, 299-314.

- Cabrera, M., & Custodio, E. (2013). *Hidrogeología y terrenos volcánicos*. Colegio Oficial de Ingenieros de Montes.
- Cabrera, M.J. (1998). Intoxicación por sustancias metaheglobinizantes. Estudio retrospectivo de 39 pacientes. *Revista Cubana de Medicina*, 37(2), 77-82.
- Can-Chulim, Á., Ortega, H., García, N., Reyes, A., González, V., & Flores, D. (2011). Origen y calidad del agua subterránea en la cuenca Oriental de México. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 189-200.
- Cañas, P.R, (2019). *Evaluación del riesgo de metahemoglobinemia en lactantes por exposición a nitratos a través del agua de consumo*. Ciencias Médicas.
- Caraballo, M., & Xavier, J. (2012). *Manual de agua Subterranea*. Denad Internacional SA.
- Castellanos, Z., Martínez, J., Rivera, M., Núñez, G., & Faz , R. (2012). *Contaminación por nitratos en acuíferos del norte de México y del estado de Guanajuato*.
- Cavero, M., & Ibañez , M. (2011). *Determinación de la concentración de nitritos y nitratos en aguas subterráneas impactadas por la minería artesanal en el Cerro El Toro, Shiracmaca-Huamachuco*. La Libertad 2010.
- Collazo, M., & Montaña, J. (2012). *Manual de Agua Subterránea* (1º ed.). Proyecto Producción Responsable.
- Cortés, M., & Iglesias, M. (2005). *Generalidades sobre la Metodología de la Investigación*. UNACAR.

Cuba. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. (2019).

Situación ambiental cubana 2019. CITMA.

Cusidó, C., Divo, E., González, H., & Góngora, R. (2011). El índice de escasez de agua ¿Un indicador de crisis o una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico?, (22), 103-111.

De Lima , A., & Orozco, S. (2019). *Evaluación de la eficiencia del desalinizador por evaporación en el tratamiento de agua subterránea en Barranquilla en dos escenarios: Universidad de la Costa y lavadero de carros*. (Tesis Doctoral). Universidad de la Costa.

De Miguel, F.C., & Vázquez- Taset, Y. (2006). *Origen de los Nitratos (NO₃) y Nitritos (NO₂) y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas*.

Dell'Amico, J., Morales, D., & Calaña, J. (2011). Monitoreo de la calidad del agua para riego de fuentes de abasto subterráneas en la parte alta del nacimiento de la Cuenca Almendares-Vento, *Cultivos Tropicales*, 32(4), 49-59.

Erice, V. (2012). *La protección de las aguas subterráneas en el Derecho de Aguas español*.

Facundo, J. R. (1990). *Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales, efecto de los factores geológicos, hidrogeológicos y ambientales, Hidrogeología*.

Fagundo, J.R. (1990). Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales. Efecto de los factores geológicos, hidrogeológicos y ambientales, *Hidrogeología (Granada)*, 5, 33-46.

Fadhullah, W., Yaccob, N.S, Syakir, M.I, Muhammad, S.A, Yue, F.J. & Li, S.L. (2020). *Fuentes y procesos de nitrato en el*

agua superficial de un reservorio tropical mediante isótopos estables y modelo de mezcla.

- Flipse, W.J., Katz, B.G., Lindner, J.B. y Markel, R. 1984. Sources of nitrate in ground water in a sewerred housing development, Central Long Island, New York. *Ground Water*, 22(4), 418-426.
- Freeze, R.A., & Cherry, J.A. (1979). *Groundwater*. Prentice Hall, Inc.
- Fried, C. (1986). *Warer quality criteria the resource Agencia of California. State water Quality Control Boacd.*
- Galaviz, I. (2010). *Contaminación del agua con nitratos y nitritos y su impacto en la salud pública en la zona de influencia del módulo de riego (I-1) La Antigua, Veracruz, México.* (Tesis Doctoral). Colegio de Postgraduados. <http://hdl.handle.net/10521/429>
- García, B., & Faggioli, A. (2018). Agua subterránea, deterioro de calidad y reserva. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 1(3), 103-110.
- García, B. (2015). *Plan de acción para contrarrestar efectos a la salud derivados de la contaminación hídrica por hierro en Antonio Sánchez.* (Tesis de Maestría). Universidad de Cienfuegos.
- García, E. (2008). *Producciones Más limpias conceptos y antecedentes. Programa Buenos Aires produce más Limpio.*
- Garcia-Moya, A., Alonso-Hernández, C., & Boza-Ramón, M. (2022). *Evaluación de la salinización en acuíferos costeros utilizando técnicas hidroquímicas convencionales e Hidrología Isotópica. Caso de Estudio acuífero CF-2, Cienfuegos, Cuba (Proyecto ISOVIDA 2022. Resultado 4, Salida 4.1).* Departamento de

Estudios de la Contaminación Ambiental. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos

- Garcías, J. M. (2007). *La aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integrada del recurso hídrico: Aproximación al caso cubano*. Científico -Técnica..
- Gormly, J. R., & Spalding, R. F. (1979). Sources and concentrations of nitrate-nitrogen in ground water of the Central Platte Region, Nebraska. *Ground Water*. 17, 291-301.
- Gruber N. (2004). *The dynamics of the marine nitrogen cycle and its influence on atmospheric CO₂*. En, Oguz T, Follows, M (eds.), *The ocean carbon cycle and climate*. NATO ASI series, Kluwer Academic, Dordrecht, 97–148.
- Gruber, N., & Galloway, J.N. (2008). An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature*, 451, 29329
- Gutschick, V.P. (1981). Evolved strategies in nitrogen acquisition by plants. *Am Nat*, 118, 607-637
- Hammond, A., & Mathews E. (1999). *Critical consumption trends and implications. Degrading Earth's ecosystems*. World Resource Intitute.
- Haycock, N.E., & Pinay, G. (1993). Nitrate retention in grass and poplar vegetated riparian buffer strips during the winter. *J Environ Qual*, 22 273-278.
- Howarth R.W., Boyer, E.W., Pabich W.J., & Galloway, J.N. (2002). Nitrogen use in the United States from 1961-2000 and potential future trends. *Ambio*, 31, 88-96.

- Jaworski, M. (2012). *Desarrollo de catalizadores para la eliminación de nitratos en agua de consumo humano*. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de La Plata.
- Jiménez, L. (2002). *Manual de Buenas Prácticas*.
- Kendall, C., Elliott, E. M., & Wankel, S. D. (2007). *Tracing Anthropogenic Inputs of Nitrogen to Ecosystems*. En, R. Michener & K. Lajtha (Eds.), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science* (pp. 375–449). Blackwell Publishing Ltd.
- Kreitler, C.W., & Jones, D.C. (1975). Natural soil nitrate: the cause of the nitrate contamination of ground water in Runnels County, Texas. *Ground Water*, 13, 53-61.
- Larios Ortiz, L. (2009). Metahemoglobinemia en niños: Situación Actual. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 13(3).
- Ledea, E. (2016). Análisis la contaminación por nitritos y nitratos en las fuentes de abasto de agua del municipio Santa Isabel de las Lajas de la provincia de Cienfuegos, Cuba. (Tesis pre grado). Universidad de Cienfuegos.
- Lowrance, R.R., Todd, R.L., & Asmussen, L.E. (1984). Nutrient cycling in an agricultural watershed. *J Environ Qual*, 13, 22-32.
- Luu, T.N.M., Do, T.N., & Matiatos, I. (2020) Isótopos estables como herramienta eficaz para la identificación de fuentes de nutrientes de N en una cuenca de tierras bajas tropicales muy urbanizada y con uso intensivo de agricultura. *Biogeoquímica*, 149, 17–35

- Manzano, R., & Naranjo, H. (2012). *Caracterización hidrogeológica de la unidad Machala*. Quito, Ecuador. Universidad Central del Ecuador.
- Martínez, D., Massone, H., & Quiroz, O. (2012). Estimación de recarga de acuíferos en ambientes de llanura con base en variaciones de nivel freático. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(2), 123-130.
- Matiatos, I. (2016). Nitrate source identification in groundwater of multiple land-use areas by combining isotopes and multivariate statistical analysis: A case study of Asopos basin (Central Greece). *Science of The Total Environment*, 541, 802–814.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.134>
- Marchesini, F. (2008). *Tecnologías catalíticas para el tratamiento de agua. Eliminación de nitratos y nitritos en agua utilizando catalizadores bimetálicos*.
<http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/tesis/handle/11185/96>.
- Mattes. (1984). Hidrogeological criteria for the self purification of polluted groundwater 24 th international Geological. (Ponencia). *Congress Montreal Canada*.
- Martínez, J. (2009). *El nitrógeno en las aguas subterráneas de la comunidad de Madrid: Descripción de los procesos de contaminación y desarrollo de herramientas para la designación de zonas vulnerables*. (Tesis Doctoral). Universidad de Alcalá de Henares.

- Mendiguchía, C. (2005). *Utilización de ultratrazas de metales pesados como trazadores de los efectos antropogénicos producidos en ecosistemas acuáticos*. (Tesis Doctoral). Universidad de Cádiz.
- Mesa, O. M., & Barrueco, J. M. (2019). *Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el desarrollo sostenible. Indicadores de seguimiento.a*.
- Miletto, M. (2022). *United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater. Making the invisible visible*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).
- Montiel, S., Armienta, M., Rodríguez, R., & Domínguez, E. (2014). Identificación de zonas de contaminación por nitratos en el agua subterránea de la zona sur de la Cuenca de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(2), 149-165.
- Mora, M. I. (2010). *Aguas superficiales y subterráneas aguas superficiales y subterráneas*.
- Naranjo, C., González, D., Gaecés, G., Brandimarte, A., Muñoz, S. (2005). *Una metodología rápida y de fácil aplicación para la evaluación de la calidad del agua, utilizando el índice BMWP*.
- Navia, A. (2019). *Análisis metodológico para la determinación de la condición natural y línea base de la calidad de aguas subterráneas*.
- Ordoñez, J. (2011). *Aguas subterráneas-acuíferos*. Sociedad Geográfica de Lima.
- Pacheco, A.J., & Cabrera, S.A. (2003). *Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas*.

- Pérez, W. (2016). *Clasificación de acuíferos mediante la determinación de parámetros hidráulicos en el abanico aluvial de Ibagué Tolima. Sogamoso, Colombia*. Universidad pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Pinay, G., Decamps, H., Chauvet, E., & Fustec, E. (1990). Functions of ecotones in fluvial systems. En, Naiman, R.J., & Decamps, H. (eds.) *The Ecology and Management of Aquatic & Terrestrial Ecotones*. Parthenon, pp 141-170.
- Reino, J. (2013). *Estudio de las aguas subterráneas de la Ciudad de Riobamba y sus zonas de influencia: línea base*.
- Risser, P.G., & Parton, W.J. (1982). Ecosystem analysis of the tallgrass prairie: nitrogen cycle. *Ecology*, 62, 1342-1351
- Rodríguez, S., Gauna, L., Martínez, G., Acevedo, H., & Romero, C. (2012). Relación del nitrato sobre la contaminación bacteriana del agua. *Terra Latinoamericana*, 30 (2), 111-119.
- Rosselot, J. (2020). Aguas subterráneas: ¿necesidad de un nuevo enfoque? *Revista de Derecho Administrativo Económico*, 6, 539-545.
- Sánchez, J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Seitzinger, S., Harrison, J.A., Bohlke, J.K., Bouwman, A.F., Lowrance, R., Peterson, B., Tobias, C., & Van Drecht, G. (2006). Denitrification across landscapes and waterscapes: a synthesis. *Ecol Appl*, 16, 2064-2090.
- Serrano, J. (2006). *Agencia de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente: Universidad para todos*.

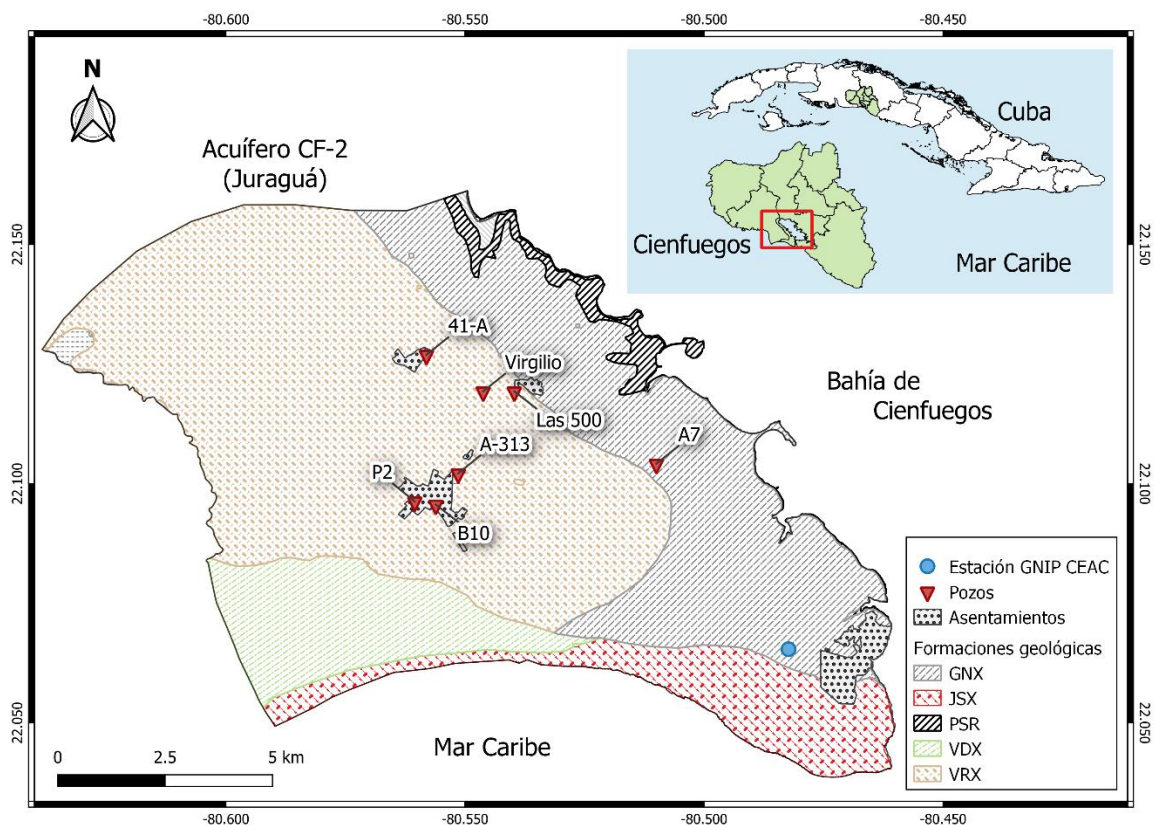
Protección Ambiental y Producción + Limpia. Suplemento Especial, 16.

- Schlosser, I.J., & Karr, J.R. (1981). Water quality in agricultural watersheds: impact on riparian vegetation during base flow. *Wat Resour Bull*, 17, 233-240.
- Smil, V. (1997). Global Population and the Nitrogen Cycle. *Scientific American*, 277, 76-81.
- Soler, A.; Otero, N; Rosell, M.; Carrey, R.; Domènech, C. (2019) Isótopos del Nitrógeno y compuestos derivados. Dep. Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals. Universitat de Barcelona.
- Suiza. Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. OMS.
- Tortosa, M. (2014). Longterm change in the phenology of spring phytoplankton: Species-specific responses to nutrient enrichment and climatic change. 96, 523-535
- Tóth, J. (2000). Las aguas subterráneas como agente geológico: causas, procesos y manifestaciones. *Boletín Geológico y Minero*, 111.
- Urbana, A., & Mora, D. (2012). *Contenido de nitratos en el agua potable y el cáncer gástrico en Costa Rica*.
- Vedat, B.(1998). *Aquifer hydraulics: a comprehensive guide to hydrogeologic data analysis*. John Wiley & Sons.
- Vitousek PM, & Howarth R.W. (1991). Nitrogen limitation on land and in the sea: how can it occur? *Biogeochemistry*, 13, 87-115.

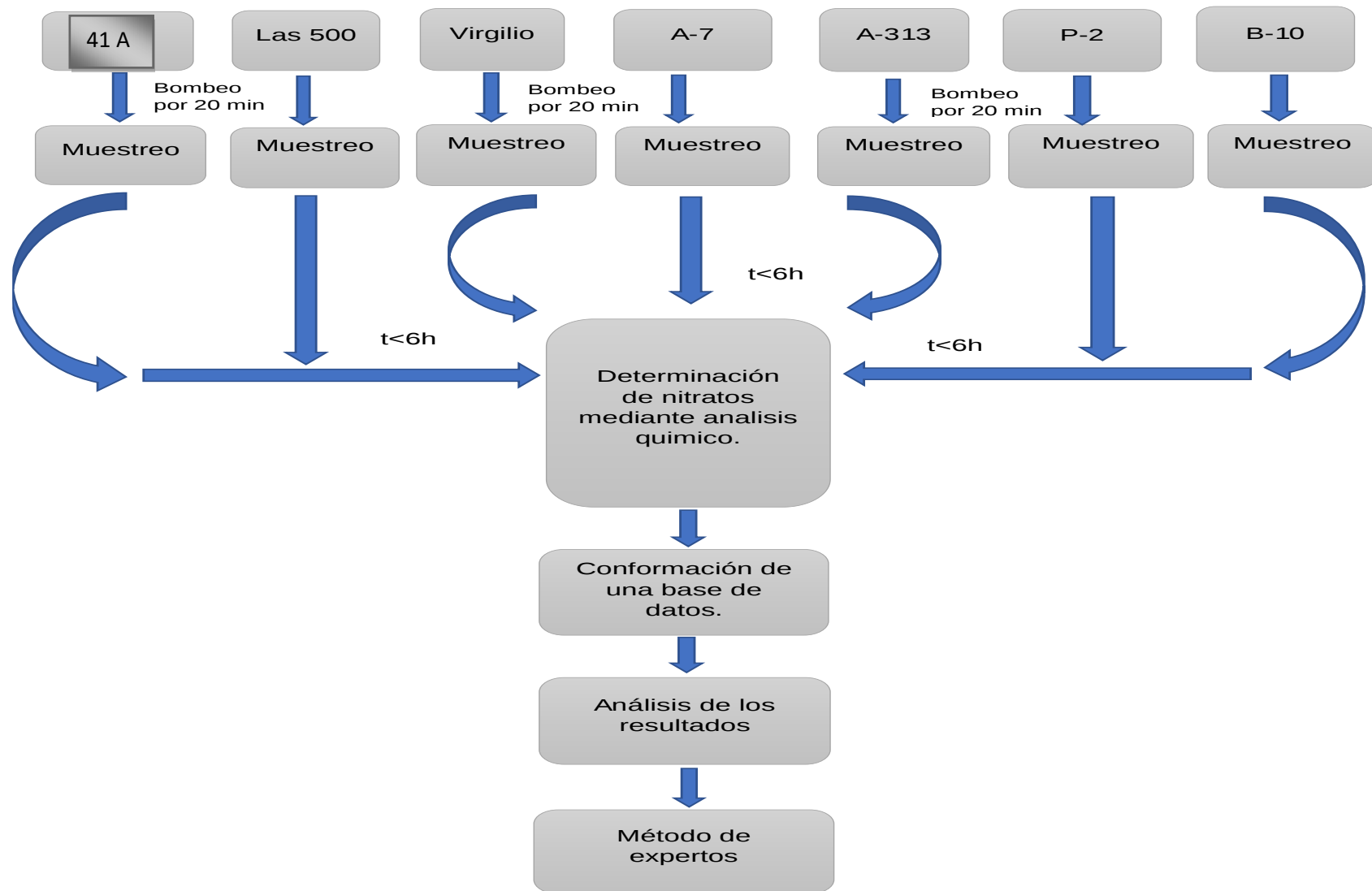
- Waller, R. M. (1982). *Agua Subterránea y el Dueño de Casa Rural U.S. Geological Survey*.
- Wassenaar, L.I. (1995) Evaluación del origen y destino del nitrato en el acuífero de Abbotsford utilizando los isótopos de ^{15}N y ^{18}O en NO_3^- . *Aplica. Geoquímica*, 10, 391–405.
- Wirtgen, J. (2009). El estado del recurso. 2° Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: El agua, una responsabilidad compartida.
- Zamora, G., & Valdizón, Y. (2014). *Evaluación preliminar de las características Fisicoquímicas de las aguas subterráneas de la Cueva 72 del Municipio de San Juan del Sur en el mes de abril del año 2013*. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- WHO. (2017). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating first addendum*. World Health Organization.
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/254637>

Anexos

Anexo 1: Localización del área de estudio (ver descripción detallada en el acápite ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)



Anexo 2: Diagrama de las actividades y requerimientos que se realizaron para la determinación de la contaminación por nitratos



Anexo 3: Técnicas utilizadas para análisis de nitratos

Procedimiento del muestreo de las aguas:

Objetivo

Este procedimiento establece los requisitos necesarios para la toma de muestras fuera del laboratorio según el servicio solicitado por los clientes.

Materiales a utilizar

Se llevan medios de protección física como delantales, botas, guantes, naso bucos y dispositivos para la conservación de las muestras tomadas (neveras o cajas refrigeradas, frascos de muestreo). Se emplean también otros materiales auxiliares jabón para el aseo personal y una solución de alcohol al 70 % para la desinfección de las manos.

Operaciones preliminares

Antes de realizar el muestreo, se confirma, si es posible mediante una visita diagnóstico, que estén dadas las condiciones mínimas indispensables para el éxito del muestreo, que garanticen la representatividad de las muestras y la accesibilidad al cuerpo de agua objeto del muestreo.

Preparación de frascos para el muestreo

- Eliminar el contenido de muestras anteriores de los frascos.
- Enjuagar uno por uno con abundante agua potable.
- Lavar exhaustivamente empleando agua con detergente.
- Eliminar los residuos de detergente con abundante agua potable.
- Enjuagar empleando solución de ácido clorhídrico 1+1.
- Finalmente enjuagar con agua destilada.

Adición de conservantes

Se adiciona conservantes de acuerdo con los ensayos a realizar.

Toma de muestra

Cuando los frascos tienen preservantes previamente adicionados, se llenan los recipientes sin preenjuague de la muestra y sin rebosar el mismo para evitar su pérdida. La bomba debe estar funcionando al menos 20 minutos ininterrumpidamente para que la muestra sea representativa de acuerdo al volumen de la tubería y la velocidad del flujo.

Conservación de las muestras

La conservación de las muestras comienza desde el momento que se realiza la toma de muestras y debe garantizarse su trazabilidad.

Transportación de las muestras

- Se verifica que en el lugar donde se ponen los recipientes con las muestras para ser transportadas, no haya alguna posible contaminación externa o posibilidad de roturas.
- La muestra se transporta en caja refrigerada para mantener una temperatura de 2 °C a 4 °C y se protege de la luz.

Procedimiento analítico para el ensayo de nitrito:

Fundamentación de la técnica analítica

La sulfanilamida, en medio ácido ($\text{pH} < 2$), reacciona con el ion NO_2^- resultando en un diazocompuesto el cual se une formando un complejo con N-(1-naftil) etilendiamino dihidrocloruro. El compuesto azo así formado tiene un fuerte color rojo con un pico de absorbancia a 543 nm. La estructura del compuesto azo no es completamente conocida. El límite de detección es $0,001 \text{ mgL}^{-1}$ ó $1 \text{ }\mu\text{gL}^{-1}$. Puede medirse el $\text{NO}_2\text{-N}$ hasta en una concentración de $250 \text{ }\mu\text{gL}^{-1}$.

Reactivos utilizados

Sulfanilamida: Disolver 5 g de sulfanilamida en una solución de 50 mL de ácido clorhídrico concentrado (12 M) diluir con 300 mL de agua desionizada. Enrasar con agua desionizada hasta 500 mL. La solución es almacenada en frío (4 °C) en botellas oscuras y es estable al menos por 2 meses.

N-(1-naftil) etilendiamino dihidrocloruro: Disolver 0,5 g en agua desionizada y diluir hasta 500 mL. La solución es estable al menos 2 meses si se guarda en frío (4 °C). Se almacena en frasco de cristal ámbar.

Solución principal de nitrito (100 mg NO₂ L⁻¹): Disolver 0,4926 gr de NaNO₂ (secado a 105 °C por 2 horas) y diluir en un volumétrico con 750 mL de agua desionizada completando posteriormente hasta 1000 mL. Almacene en frasco ámbar de vidrio en frío (4-5 °C), la solución es estable por 1 mes.

Solución estándar de nitrito (100 µg NO₂ L⁻¹): La solución se prepara por dilución de 1 mL de la solución principal en 1000 mL de agua desionizada. Presérvela solo por una semana. Unas gotas de cloroformo detienen el crecimiento de bacterias en la solución principal.

Procedimiento analítico

- Filtrar las muestras a través de un filtro de fibra de vidrio GF/C.
- Pipetear 40 mL de la muestra en un matraz aforado de 50 mL con tapa (diluir la muestra si la misma contiene más de 200 mg NO₂ L⁻¹).
- Un blanco (40 mL de agua desionizada) el cual debe tener una A≤0,005 y una muestra del patrón secundario (40 mL) la cual debe tener una A=0,295-0,305; son utilizadas en cada serie de análisis.
- Añadir 2 mL de la solución de sulfanilamida al frasco volumétrico y mezclar. Esperar de 3 a 6 minutos, tratar de mantener el mismo intervalo de tiempo para todos los frascos en cada serie de análisis.
- Añadir 2 mL de N-(1-naftil) etilendiamino dihidrocloruro y mezclar cuidadosamente. Diluir a 50 mL con agua desionizada.
- Después de 10 minutos pero dentro de 2 horas leer la absorbancia a 543 nm, para estas mediciones se utilizan las cubetas de 1 cm. **Cálculo para el NO₂-N:**

$$(NO_2 - N)(\mu g L^{-1}) = \frac{C_{stNO_2} * V_{st}(A_{mtra} - A_{bl})}{V_{mtra} * (A_{stNO_2} - A_{bl})} * 0,329$$

Siendo:

C_{etNO₂} = Concentración del estándar de Nitrito (100 µg L⁻¹)

V_{et} = Volumen de la solución estándar de Nitrito (40 mL)

A_{bl} = Absorbancia del blanco

A_{mtra} = Absorbancia de la muestra

A_{etNO_2} = Absorbancia de la solución estándar de nitrito

V_{mtra} = Volumen de la muestra (40 mL)

0,329 = Factor de corrección propuesto por el laboratorio de la ENAST en Cienfuegos **Nota:** El color de la muestra, producto de sustancias orgánicas disueltas, puede tener efecto sobre las mediciones. En ciertos casos una llamada muestra blanco debe adicionarse. Esta consiste en agua de la muestra y debe ser tratada de la misma forma que las muestras normales con excepción de la adición del N-(1-naftil) etilendiamino.

Su absorbancia es sustraída junto con el valor del de la absorbancia de la muestra.

Procedimiento analítico para el ensayo de nitrato:

Principio del método

Por este método se puede determinar muestras con bajo contenido de materia orgánica, es decir, aguas naturales no contaminadas y suministros de agua potable. La curva de calibración de nitrato cumple la ley de Lambert - Beer hasta los 11 mg NO_3/L .

La medida de la absorción UV a 220 nm hace posible la determinación rápida de nitrato.

Dado que la materia orgánica disuelta puede absorber también a esta longitud de onda se realiza una segunda medición de la absorbancia a 275 nm que permite la corrección del valor del nitrato. Esta corrección empírica dependerá de la naturaleza y concentración de la materia orgánica y puede variar de unas aguas a otras. En consecuencia, este método no es recomendable cuando se precise una corrección importante para la absorbancia de la materia orgánica, aunque pudiera ser útil en un sistema de agua que se necesite controlar los niveles de nitrato con un tipo constante de materia orgánica. Los factores de corrección para la absorbancia de materia orgánica se pueden establecer por el método de adiciones en combinación con el análisis del contenido original de nitrato por otro método.

• Interferencias

Interfiere la materia orgánica disuelta, los detergentes, el nitrito y el cromo hexavalente. Pueden interferir varios iones inorgánicos que no se encuentran normalmente en el agua natural, como clorito y clorato. Las sustancias inorgánicas se pueden compensar con un análisis independiente de sus concentraciones y la preparación de curvas de corrección individuales. Para muestras turbias, filtrar por filtro de membrana de 0,45 μm de diámetro de poro. Ensayar la contaminación de nitrato en los filtros. . La filtración de la muestra tiene como objetivo eliminar posibles interferencias de las partículas suspendidas. La acidificación con ácido clorhídrico 1N sirve para impedir interferencias de hidróxido o carbonato de hasta 1000 mg de carbonato de calcio. El cloruro no afecta en la determinación.

Objetivo y alcance

Este procedimiento describe las orientaciones a seguir para determinar la concentración de nitrato en aguas limpias, con bajo contenido de materia orgánica, en el rango de concentración de 2 hasta 30 mg/L.

Materiales utilizados

- Espátulas o cucharitas para pesar.
- Balanza analítica.
- Espectrofotómetro.
- Pipetas graduadas de 1, 2, 5 y 20 cm^3 .
- Pipetas aforadas de 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 cm^3 .
- Matraces volumétricos de 50 cm^3 .
- Vasos de precipitado de 100 cm^3 .

Reactivos utilizados

Solución madre de nitrato de potasio 100 mg/L: Pesar 0,7218 g de nitrato de potasio previamente secados a 105 °C por 24 horas y diluir a 1L. Preservar con 2 cm^3 de cloroformo. A partir de esta disolución se preparan 5 disoluciones patrón en el rango de concentraciones de 2 a 30 mg/L para construir la curva de calibración. **Tabla 2.1** Disoluciones patrón.

El volumen de cada matraz es de 50 cm ³	Patrón 1	Patrón 2	Patrón 3	Patrón 4	Patrón 5
Volumen (cm ³)	1	2,5	5	10	15
c(KNO ₃) (mg/L)	2	5	10	20	30

Fuente: Clesceri, Greenberg y Eaton, 1998.

Solución control de nitrato de potasio 15 mg/L: Pipetear 150 cm³ de la solución madre de nitrato de potasio de 100 mg/L y enrasar a 1L.

Nota: Esta solución madre debe ser preparada con reactivo de origen diferente (lote y/o fabricante) a la utilizada para preparar la solución madre anterior.

Ácido clorhídrico 1N: Diluir 83 cm³ de ácido clorhídrico concentrado en 1L de agua destilada.

Procedimiento analítico

Para medir la concentración de nitrato de los ítems de ensayo se procede de la siguiente manera:

Para muestras, disoluciones de control y patrones se procede de igual forma. Filtrar si es necesario. Se toman 50 cm³ de la muestra, adicionar 1 cm³ de ácido clorhídrico 1N y agitar hasta mezclar completamente. Se toman 50 cm³ de la muestra, adicionar 1cm³ de ácido clorhídrico 1N y agitar hasta mezclar completamente. Se emplea un blanco de agua destilada y se mide la absorbancia de la muestra de 220 nm para obtener la lectura del nitrato y se lee nuevamente a 275 nm para obtener la lectura de la interferencia de la materia orgánica disuelta. Para la determinación de la concentración de nitrato se interpolan las lecturas en la curva de calibración y se resta a la lectura del nitrato obtenida a 275 nm. El valor obtenido por la diferencia de ambas lecturas no puede ser superior al 10% de la lectura del nitrato para emplear este método.

Se mide primeramente la absorbancia de dos disoluciones de control de 15 mg/L de nitrato. El promedio de estos dos valores se dibuja en la carta de control. Si se encuentra que el procedimiento está bajo procedimiento analítico se procede a determinar la absorbancia y la concentración de las muestras. Si no, se procede según PT08 "Procedimiento para el Aseguramiento de la Calidad".

Si la absorbancia determinada en una muestra es superior a la de mayor punto de calibración, se diluyen las muestras según sea necesario, hasta obtener una porción diluida de 50 cm³ cuya absorbancia esté comprendida en el rango de calibración. Cada 10 muestras se lee nuevamente la disolución de control.

Anexo 4: Trabajo con el Grupo Focal para la realización del plan de mejora

Para la aplicación de esta técnica, basada en una reunión de grupo con modalidad de entrevista grupal, abierta y estructurada, con el objetivo de identificar y ordenar los potenciales focos contaminantes en cada pozo, así como una propuesta de medidas desde las deficiencias detectadas en las fuentes de abasto.

Descripción de la aplicación de la herramienta:

- 1) Se definió el objetivo del estudio, para desde allí plantear:

Un guion de desarrollo del Grupo Focal.

La guía de temáticas - preguntas a desarrollar en la actividad.

- 2) Se definieron los participantes del Grupo Focal:

Se trabajó con un total de siete integrantes, con la finalidad de hacerlo viable, según se recomienda en la metodología de aplicación de esta técnica.

Se consideraron como características predominantes o principales para seleccionar a los participantes los siguientes:

- Tiempo de permanencia en funciones técnicas inherentes al abasto de agua servida a la población.
- Nivel de conocimientos sobre las implicaciones antrópicas sobre la calidad del agua de las fuentes de abasto (pozos).
- Conocimientos sobre normas de calidad del agua servida para el consumo humano.
- Nivel de conocimientos generales sobre la dimensión ambiental en lo relativo al abasto de agua y la calidad del agua.

3) Se prepararon las preguntas introductorias para incentivar el trabajo del Grupo Focal:

- ¿Se tiene una correcta idea de la importancia y repercusión de un abasto de agua sin el cumplimiento de las normas de calidad?
- ¿Se ha trabajado por alguno de los integrantes del grupo en investigaciones intencionadas al estudio de la calidad del agua a servir a la población; de ser positiva en qué investigación y que resultados se evidenciaron?
- ¿Se dispone de información respecto a los niveles de contaminación por nitritos y nitratos en las aguas de abasto a la población?

4) Se seleccionó el moderador del Grupo Focal.

- Se buscó que el moderador asegurarse que cada uno de los participantes tuviera la oportunidad de expresar sus opiniones.

5) Se procesó la información obtenida para derivar la interpretación necesaria y desde ella elaborar la propuesta de medidas.

Anexo 5: Selección de los expertos para realizar el método Delphi

Determinación de la cantidad expertos n :

$$n = p*(1 - p)*k / (i)^2$$

Donde:

p- proporción de error que se comete al hacer estimaciones con n expertos (0.03)

k- constante que depende del nivel de significación estadístico:

NC (1- α)	k
99%	6,6564

i- precisión del experimento ($i \leq 0,12$) $n=$

$$0.03*(1-0.03)*6.6564/(0.12)^2$$

$n= 13.45 \approx 13$ expertos

Cuestionario de autoevaluación de los expertos Estimado especialista:

Este instrumento tiene como objetivo que Usted se autoevalúe como experto, en las fuentes de argumentación y en el grado de conocimiento que posee acerca de la temática de Gestión del recurso agua (agua de consumo humano). Es de gran importancia la justeza y objetividad de su valoración.

Fuente de Argumentación	Grado de influencia de cada una de las fuentes			
	Alto	Medio	Bajo	Nulo
Dominio sobre la gestión de abasto de agua subterránea.	45 %	36 %	22,5 %	0 %
Experiencia laboral en las actividades de gestión de abasto de agua subterránea a la población.	30 %	24 %	15 %	0 %
Publicaciones sobre la modalidad de gestión del recurso agua.	12 %	9,6 %	6 %	0 %
Participación en eventos sobre la gestión de abasto de agua subterránea a la población.	7 %	5,6 %	3,5 %	0 %
Prestigio reconocido en el desempeño de la gestión de las dimensiones antes apuntadas.	6 %	4,8 %	3 %	0 %
Total	100 %	80 %	50 %	0 %

Nota: Los expertos reciben en el modelo anterior, las celdas en blanco.

Exprese el grado de conocimiento que usted tiene sobre la gestión del recurso agua.

Considere que la escala que se le presenta es ascendente, es decir, el conocimiento sobre el tema referido va incrementándose desde el 0 hasta el 10.

[illegible]

La experiencia práctica y la preparación teórica que deben tener los gestores del abasto de agua subterránea a la población.

Los resultados obtenidos en el grado de influencia Ka, conocimiento Kc y competencia K, fueron los siguientes: grado de influencia Ka de los expertos:

Experto	Fuente I	Fuente II	Fuente III	Fuente IV	Fuente V	Ka
Experto A	45	24	9,6	7	6	0,916
Experto B	36	24	12	5,6	3	0,806
Experto C	36	24	9,6	7	6	0,826
Experto D	36	30	6	3,5	4,8	0,803
Experto E	45	24	12	5,6	4,8	0,914
Experto F	45	30	9,6	7	3	0,946
Experto G	36	30	6	3,5	4,8	0,803
Experto H	36	24	6	3,5	3	0,725
Experto I	45	30	9,6	7	6	0,976
Experto J	36	30	12	5,6	3	0,866
Experto K	45	30	9,6	7	6	0,976
Experto L	45	30	6	7	4,8	0,928
Experto M	36	30	9,6	5,6	4,8	0,86
Experto N	36	30	12	3,5	3	0,845
Experto O	45	30	9,6	7	6	0,976

Resultados del grado de conocimiento Kc de los expertos:

Expertos	Ítem 1	Ítem 2	Ítem 3	Ítem 4	Ítem 5	Ítem 6	Ítem 7	Kc
Experto 1	9	7	8	10	10	10	10	0,91428571
Experto 2	10	5	9	9	8	9	5	0,78571429
Experto 3	8	9	10	10	10	10	8	0,92857143
Experto 4	8	8	8	8	10	6	8	0,8
Experto 5	10	10	9	9	10	10	9	0,95714286
Experto 6	9	6	10	7	10	7	10	0,84285714
Experto 7	10	10	9	9	10	10	10	0,97142857
Experto 8	8	7	8	10	9	8	9	0,84285714
Experto 9	9	9	9	10	10	9	10	0,94285714
Experto 10	10	10	10	9	10	10	10	0,98571429
Experto 11	8	8	9	8	10	8	9	0,85714286
Experto 12	10	9	7	10	10	10	10	0,94285714
Experto 13	9	10	9	10	10	9	8	0,92857143
Experto 14	10	8	8	8	10	10	7	0,87142857
Experto 15	8	6	9	8	9	8	8	0,8

Resultados del coeficiente de competencia K de los expertos:

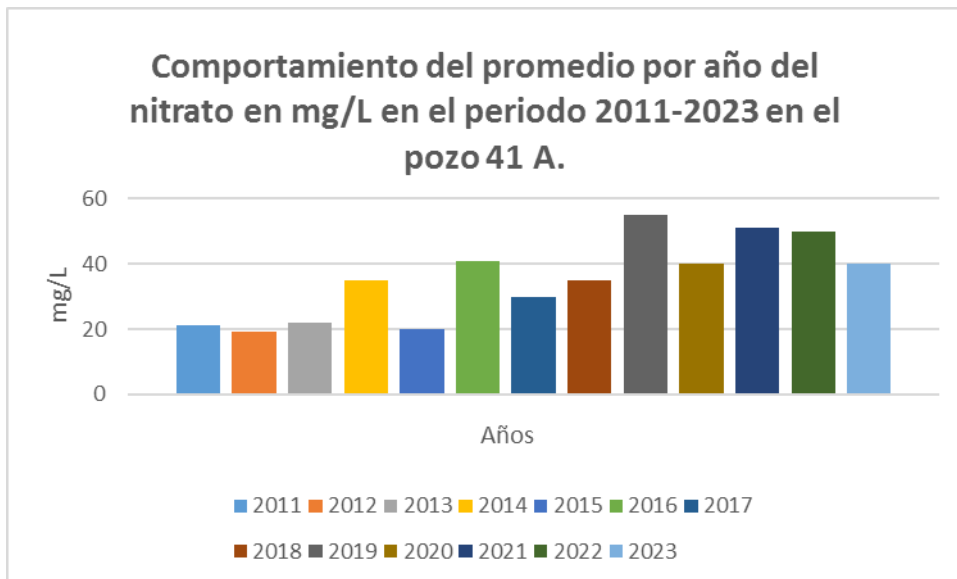
Expertos	Ka	Kc	1/2 (Ka+Kc)	Categoría según puntuación
Experto 1	0,916	0,91428571	0,91514286	Alto
Experto 2	0,806	0,78571429	0,79585715	Medio
Experto 3	0,826	0,92857143	0,87728572	Alto
Experto 4	0,803	0,8	0,8015	Alto
Experto 5	0,914	0,95714286	0,93557143	Alto
Experto 6	0,946	0,84285714	0,89442857	Alto
Experto 7	0,803	0,97142857	0,88721429	Alto
Experto 8	0,725	0,84285714	0,78392857	Medio
Experto 9	0,976	0,94285714	0,95942857	Alto
Experto 10	0,866	0,98571429	0,92585715	Alto
Experto 11	0,976	0,85714286	0,91657143	Alto
Experto 12	0,928	0,94285714	0,93542857	Alto
Experto 13	0,86	0,92857143	0,89428572	Alto
Experto 14	0,845	0,87142857	0,85821429	Alto
Experto 15	0,976	0,8	0,888	Alto

K: Coeficiente de competencia

$$K = \frac{1}{2}(ka + kc)$$

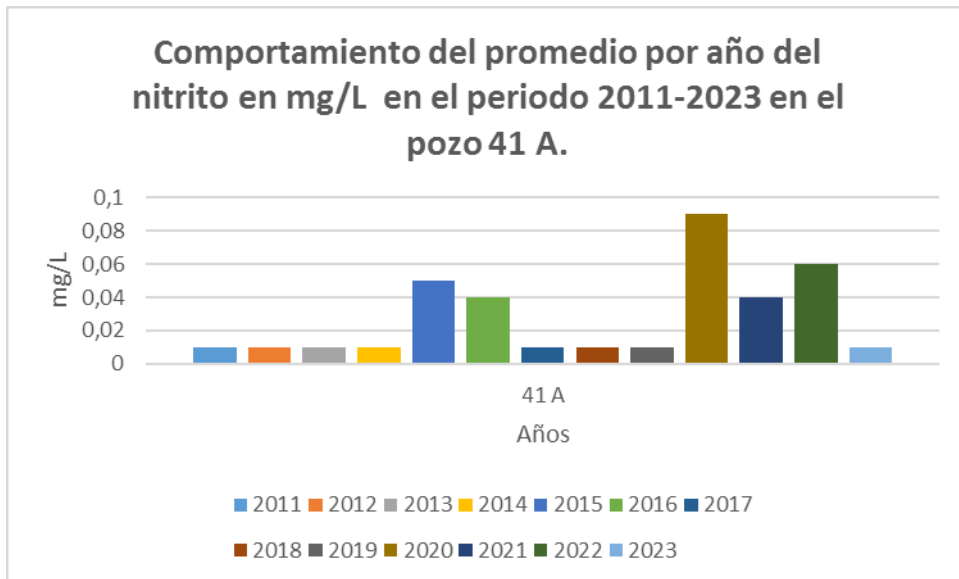
De 15 expertos evaluados se seleccionaron 13, ya que la muestra necesitada es de esta cantidad, siendo estos los que más alto coeficiente de competencia presentaron.

Anexo 6: Gráficos de las fuentes de abasto

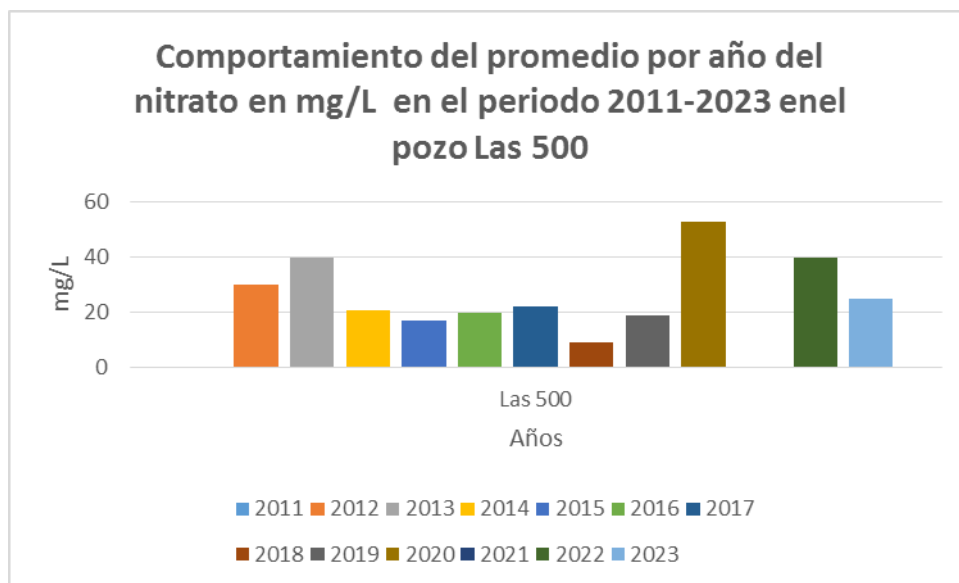


Media anual de los nitratos.

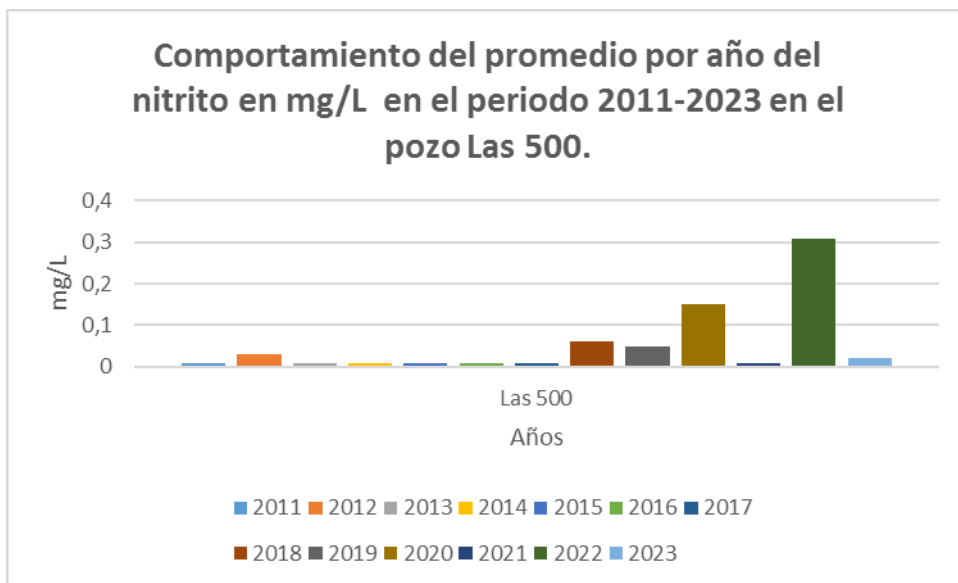
Fuente: Dirección Técnica de la EAH.



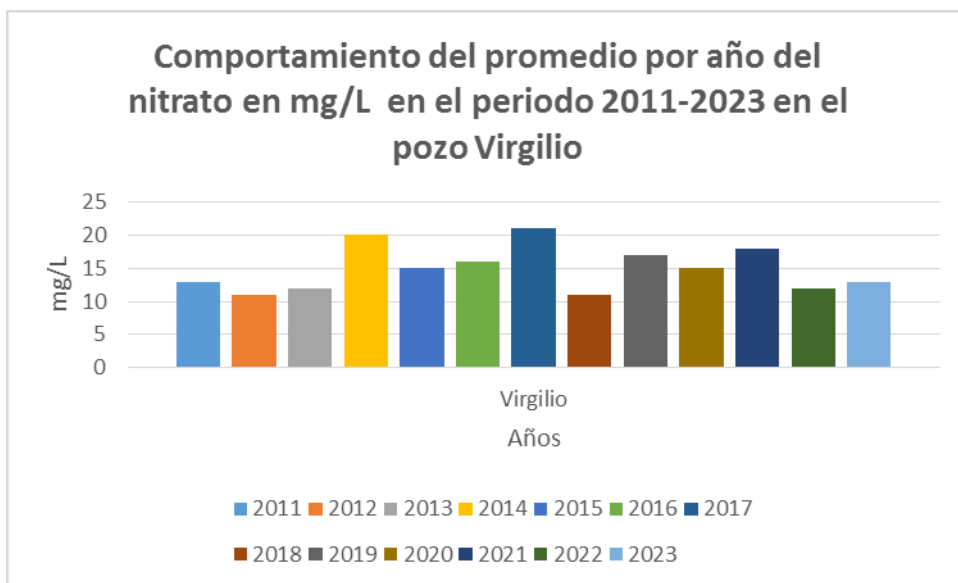
Media anual de los nitratos.
Fuente: Dirección Técnica de la EAH.



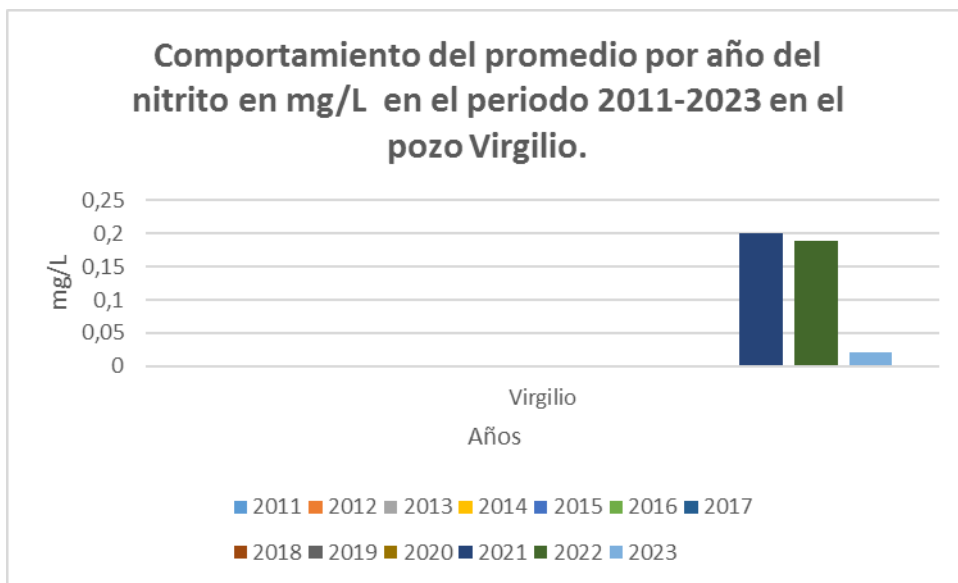
Media anual de los nitratos.
Fuente: Dirección Técnica de la EAH.



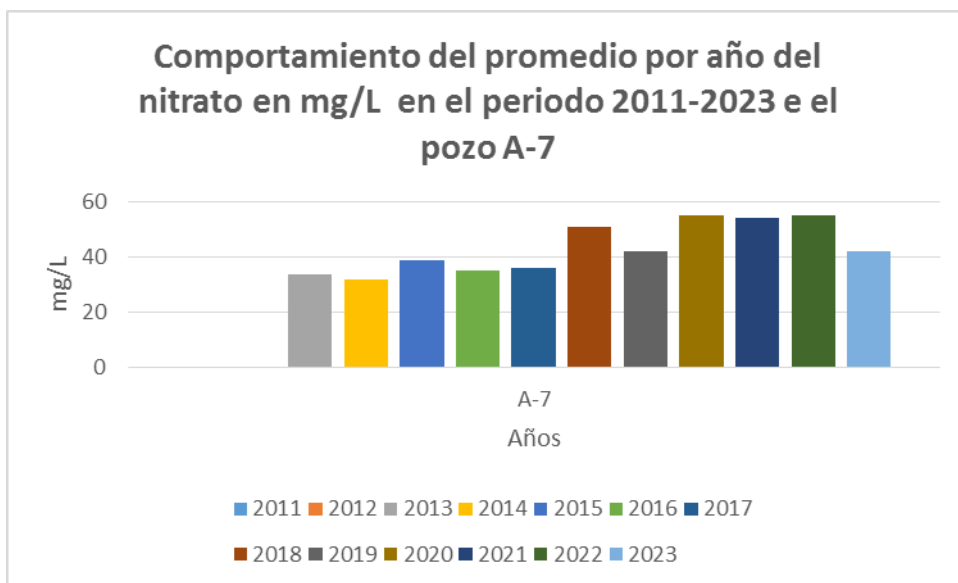
Media anual de los nitratos.
Fuente: Dirección Técnica de la EAH.



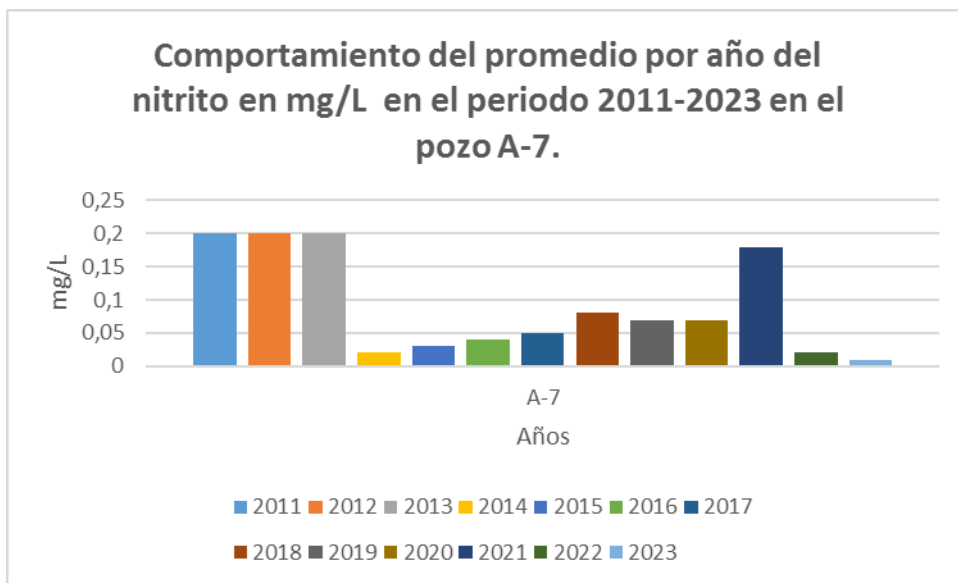
Media anual de los nitratos.
Fuente: Dirección Técnica de la EAH.



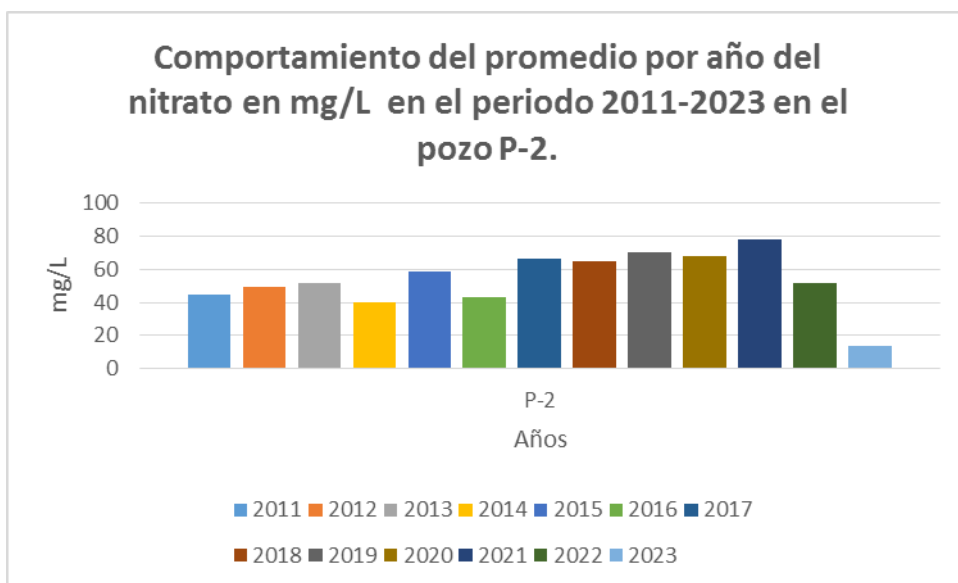
Media anual de los nitratos.
Fuente: Dirección Técnica de la EAH.



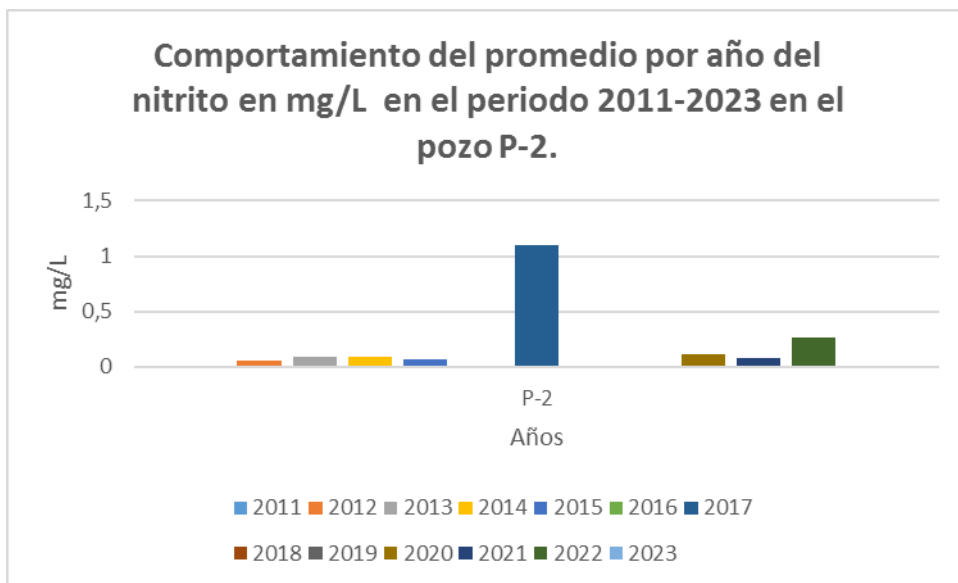
Media anual de los nitratos.
Fuente: Dirección Técnica de la EAH.



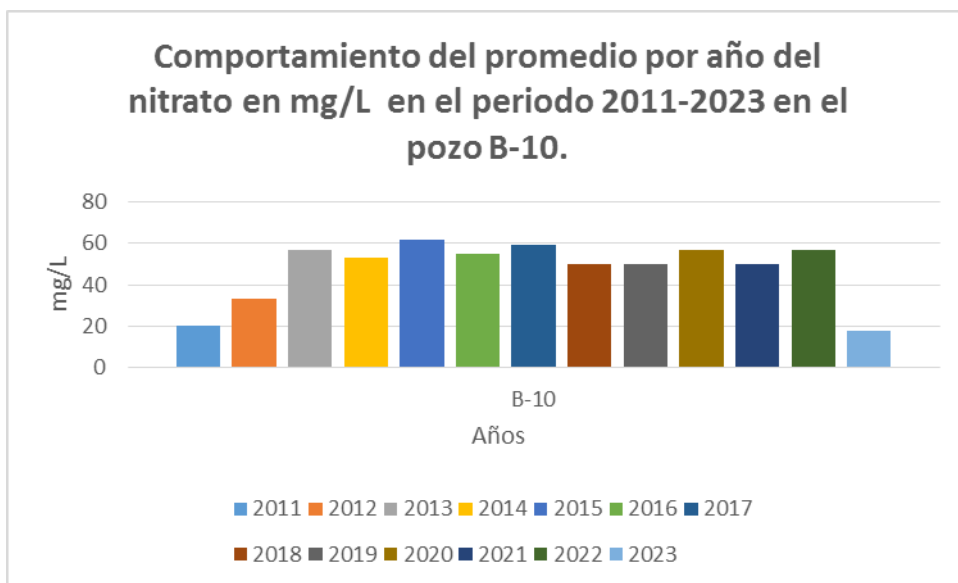
Media anual de los nitratos.
Fuente: Dirección Técnica de la EAHC.



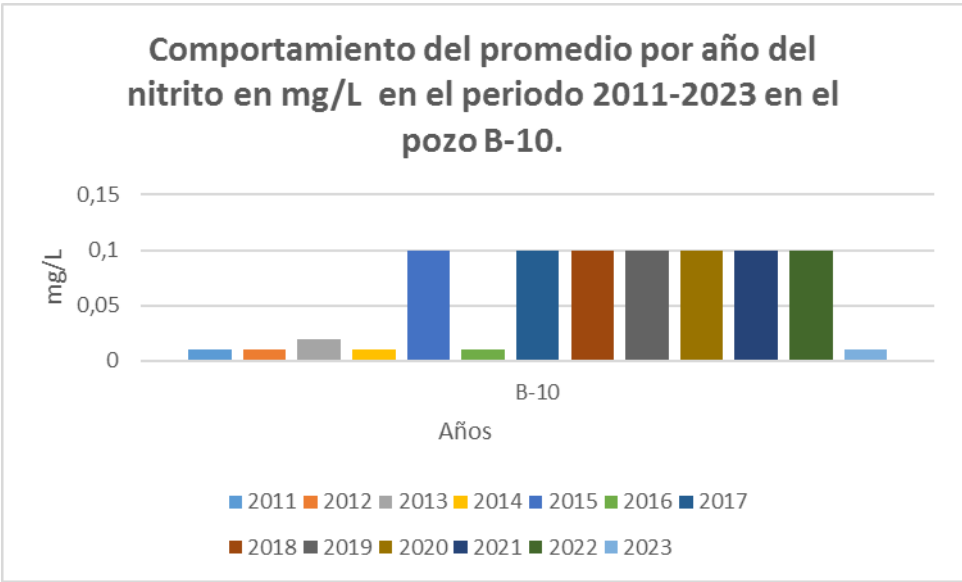
Media anual de los nitratos.
Fuente: Dirección Técnica de la EAHC.



Media anual de los nitratos.
Fuente: Dirección Técnica de la EAHC.



Media anual de los nitratos.
Fuente: Dirección Técnica de la EAHC.



Media anual de los nitratos.
Fuente: Dirección Técnica de la EAH.

Anexo 7: Evaluación a través del método Delphi de los aspectos más significativos relacionados con la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos.

En el acuífero Juraguá se lleva a cabo una investigación relacionada con la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos. Sobre la base de los objetivos trazados en la misma es muy importante conocer cómo influyen algunos factores en dicha contaminación.

Usted ha sido seleccionado como un experto en el tema y sería muy útil para el desarrollo del estudio, que expresara marcando con una (X) la repercusión que tiene cada uno de los aspectos a continuación relacionados. De considerar que otras causas pudiesen estar incidiendo, por favor enumérelas y de igual forma valórelas.

Aspectos	Más significativo	Menos significativo
1. Cultivos en áreas cercanas al pozo		
2. Vertimiento de residuales líquidos y sólidos en la zona		
3. Riego con fertilizantes orgánicos		
4. Sequía		
5. Deforestación		
6. Encharcamiento producidos por salideros		

7. Riego con fertilizantes inorgánicos		
8. Reforestación		
9. Fecalismo al aire libre en la zona		
10. Rotación de cultivos		
11. Pastoreo y granjas de animales en la zona		
12. Empleo de filtros caseros		
13. Lagunas de oxidación y tanques sépticos		
14. Interperismo de metales		
Otros		

Primera ronda:

A continuación se muestran los resultados de la esta ronda:

Aspectos	Expertos												
	E 1	E 2	E 3	E 4	E 5	E 6	E 7	E 8	E 9	E 10	E 11	E12	E13
A ₁	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A ₂	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	-	X	X
A ₃	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X
A ₄	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A ₅	-	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-	-	X
A ₆	X	X	X	-	X	X	-	X	X	-	X	X	X
A ₇	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A ₈	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
A ₉	X	-	-	-	X	-	X	-	-	-	-	X	-
A10	X	X	X	-	X	X	-	X	X	X	X	X	X
A11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
A12	-	X	-	X	-	-	X	X	-	X	-	X	X
A13	X	X	-	X	-	X	X	-	X	X	X	-	-
A14	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-

Aspectos	Cantidad de votos	
	Más significativo	Menos significativo
1. Cultivos en áreas cercanas al pozo	13	0
2. Vertimiento de residuales líquidos y sólidos en la zona	11	2
3. Riego con fertilizantes orgánicos	12	1
4. Sequía	12	1
5. Deforestación	5	8
6. Encharcamiento producidos por salideros	10	3
7. Riego con fertilizantes inorgánicos	13	0

8. Reforestación	1	12
9. Fecalismo al aire libre en la zona	5	8
10. Rotación de cultivos	11	2
11. Pastoreo y granjas de animales en la zona	13	0
12. Empleo de filtros caseros	7	6
13. Lagunas de oxidación y tanques sépticos	8	5
14. Interperismo de metales	1	12

Una vez que todos los expertos dan su respuesta, el grupo de análisis recoge esta información y se determina el nivel de concordancia para cada medida a corto, mediano y largo plazo a través de la expresión:

$$C_c = \left(1 - \frac{V_n}{V_t}\right) * 100$$

Donde:

- Cc: coeficiente de concordancia expresado en porcentaje para cada característica.
- Vn: cantidad de expertos en contra del criterio predominante.
- Vt: cantidad total de expertos.

$$A_1 = (1 - 0/13) * 100 = 100\%$$

$$A_2 = (1 - 2/13) * 100 = 84.62 \%$$

$$A_3 = (1 - 1/13) * 100 = 92.31 \%$$

$$A_4 = (1 - 1/13) * 100 = 92.30 \%$$

$$A_5 = (1 - 9/13) * 100 = 30.76 \%$$

$$A_6 = (1 - 3/13) * 100 = 76.93 \%$$

$$A_7 = (1 - 0/13) * 100 = 100 \%$$

$$A_8 = (1 - 11/13) * 100 = 7.69 \%$$

$$A_9 = (1 - 9/13) * 100 = 30.76 \%$$

$$A_{10} = (1 - 2/13) * 100 = 84.62 \%$$

$$A_{11} = (1 - 0/13) * 100 = 100 \%$$

$$A_{12} = (1 - 6/13) * 100 = 53.85 \%$$

$$A_{13} = (1 - 4/13) * 100 = 69.24 \%$$

$$A_{14} = (1 - 11/13) * 100 = 7.69 \%$$

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente se eliminan los aspectos A₅, A₈, A₉, A₁₂, y A₁₄ pues el Cc es menor que 70 % y por tanto quedan los aspectos restantes.

Segunda ronda:

Aspectos	Más significativo	Menos significativo
----------	-------------------	---------------------

1. Cultivos en áreas cercanas al pozo	100 %	0 %
2. Vertimiento de residuales líquidos y sólidos en la zona	84,62 %	15,38 %
3. Riego con fertilizantes orgánicos	92,31 %	7,69 %
4. Sequía Riego con fertilizantes inorgánicos	92,31 %	7,69 %
6. Encharcamiento producidos por salideros	76,93 %	23,07 %
7. Riego con fertilizantes inorgánicos	100 %	0 %
10. Rotación de cultivos	84,62 %	15,38 %
11. Pastoreo y granjas de animales en la zona	100 %	0 %
13. Lagunas de oxidación y tanques sépticos	69,24 %	30,76 %

Aspectos	Expertos												
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13
A ₁	9	8	7	9	9	8	8	7	9	9	9	8	8
A ₂	4	4	5	3	1	4	5	4	4	3	1	3	4
A ₃	5	5	6	5	6	5	3	5	6	5	5	6	5
A ₄	6	6	1	6	5	6	6	6	5	6	6	5	6
A ₆	2	2	4	1	3	2	2	2	2	1	3	2	2
A ₇	8	9	9	7	7	7	9	9	8	7	7	9	7
A ₁₀	3	3	3	4	4	3	1	3	3	4	4	4	3
A ₁₁	7	7	8	8	8	9	7	8	7	8	8	7	9
A ₁₃	1	1	2	2	2	1	4	1	1	2	2	1	1

Con esta información se pasa a calcular la concordancia utilizando la décima no paramétrica que utiliza el coeficiente de Kendall a través del programa estadístico SPSS. El planteamiento de esta décima es:

H₀= No hay acuerdo entre los expertos

H₁= Hay acuerdo entre los expertos

Test Statistics

N	13
Kendall's W ^a	,873
Chi-Square	90,790
df	8

Asymp. Sig.	,000
----------------	------

a. Kendall's Coefficient of Concordance

Se demuestra entonces que existe concordancia entre los expertos porque la significación asintótica es menor que el alfa utilizada, o sea ($0,000 < 0,01$), y que estos son los aspectos más significativos.

Tercera ronda:

Los expertos coinciden con los resultados obtenidos validados por los métodos utilizados, existiendo satisfacción en la investigación realizada.

Anexo 8: Evaluación a través del método Delphi de medidas para la mitigación o prevención de la contaminación por nitratos.

De acuerdo a los criterios de los expertos los elementos más significativos en la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos son los cultivos en áreas cercanas al pozo, el riego con fertilizantes orgánicos e inorgánicos, la sequía y el pastoreo de animales en la zona.

A continuación se plantea un conjunto de medidas que tienen como objetivo lograr la mitigación o prevención de la contaminación por nitratos en las fuentes en que exista o pueda existir la misma.

Medidas:

- Ampliar las dimensiones de la cerca perimetral a lo establecido en la norma y cercarla con malla peerles.(M₁)
- Eliminar los salideros de la conductora. (M₂)
- Eliminar cultivos en las zonas de restricción.(M₃)
- Eliminar el pastoreo dentro de la zona.(M₄)
- No aplicación de productos químicos, ni orgánicos no controlados fuera de las zonas de protección en pendientes aguas arriba de la fuente.(M₅)
- Mejorar la iluminación interior y exterior, respetando además los límites de la zona de protección.(M₆)

- Completar el levantamiento de los posibles focos contaminantes existente en los límites de las zonas I y II.(M₇)
- Aplicar acciones en correspondencia al grado de incidencia de cada fuente, según las normas NC 93-01-2009 y la NC 27:2012.(M₈)
- Eliminar el almacenamiento de productos químicos en áreas aledañas a la fuente.(M₉)
- Prohibir nuevas construcciones en la zona II.(M₁₀)
- Retirar los focos contaminantes que no cumplan con las normas establecidas.(M₁₁)

Primera ronda:

A continuación se muestran los resultados de la esta ronda:

Medidas	Expertos												
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E 10	E 11	E12	E13
M₁	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
M₂	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
M₃	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
M₄	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
M₅	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
M₆	X	X	X	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X
M₇	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
M₈	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
M₉	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
M₁₀	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
M₁₁	-	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Una vez que todos los expertos dan su respuesta, el grupo de análisis recoge esta información y se determina el nivel de concordancia para cada medida a corto, mediano y largo plazo a través de la expresión:

$$C_c = \left(1 - \frac{V_n}{V_t}\right) * 100$$

Donde:

- Cc: coeficiente de concordancia expresado en porcentaje para cada característica.
- Vn: cantidad de expertos en contra del criterio predominante.
- Vt: cantidad total de expertos.

Medidas:

$$M_1 = (1 - 0/13) * 100 = 100 \%$$

$$M_2 = (1 - 0/13) * 100 = 100 \%$$

$$M_3 = (1 - 0/13) * 100 = 100 \%$$

$$M_4 = (1 - 0/13) * 100 = 100 \%$$

$$M_5 = (1 - 0/13) * 100 = 100 \%$$

$$M_6 = (1 - 2/13) * 100 = 84.62 \%$$

$$M_7 = (1 - 0/13) * 100 = 100 \%$$

$$M_8 = (1 - 0/13) * 100 = 100 \%$$

$$M_9 = (1 - 0/13) * 100 = 100 \%$$

$$M_{10} = (1 - 0/13) * 100 = 100 \%$$

$$M_{11} = (1 - 2/13) * 100 = 84.62 \%$$

Como los Cc son mayores que 70 % se aprecia que hay consenso entre los expertos de que estas sean las medidas.

Segunda ronda:

A continuación se muestran los resultados de la esta ronda:

Medidas	Expertos												
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13
M ₁	11	9	8	9	9	11	8	9	8	11	9	9	11
M ₂	10	11	10	11	11	10	9	11	9	10	11	11	10
M ₃	9	8	9	10	8	9	6	10	11	9	10	10	9
M ₄	7	7	7	8	7	8	7	7	10	8	8	7	8
M ₅	8	10	11	7	10	7	11	8	7	7	7	8	7
M ₆	4	6	3	1	6	5	5	4	3	1	1	6	1
M ₇	6	4	4	4	4	6	4	6	4	4	4	4	4
M ₈	5	5	2	5	5	4	3	5	2	5	5	5	5
M ₉	3	2	6	6	2	3	10	3	6	6	6	2	6
M ₁₀	2	3	5	3	3	1	2	2	5	3	3	3	3
M ₁₁	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2

Con esta información se pasa a calcular la concordancia utilizando la décima no paramétrica que utiliza el coeficiente de Kendall a través del programa estadístico SPSS. El planteamiento de esta décima es:

H₀= No hay acuerdo entre los expertos

H₁= Hay acuerdo entre los expertos

Test Statistics

N	13
---	----

Kendall's W ^a	,829
Chi-Square	107,762
df	10
Asymp. Sig.	,000

a. Kendall's Coefficient of Concordance

Se demuestra entonces que existe concordancia entre los expertos porque la significación asintótica es menor que el alfa utilizada, o sea ($0,000 < 0,01$), y que estos son las medidas más significativas.

Tercera ronda:

Los expertos coinciden con los resultados obtenidos validados por los métodos utilizados, existiendo satisfacción en la investigación realizada.

