

39

Fecha de presentación: septiembre, 2022

Fecha de aceptación: noviembre, 2022

Fecha de publicación: enero, 2023

EVALUACIÓN

DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA LAGUNA DEL PEDREGAL

EVALUATION OF THE QUALITY OF GROUNDWATER IN THE LAGUNA DEL PEDREGAL

Josseline Núñez Maradiaga¹

E-mail: josseline.nunez@unah.edu.hn

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7144-2824>

Karla María Hernández Flores¹

E-mail: kmhernandez@unah.edu.hn

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1526-5306>

Tania Peña Paz¹

E-mail: tania.pena@unah.edu.hn

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9685-5107>

Dilia Irasema Montoya¹

E-mail: dilia.montoya@unah.edu.hn

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2402-2397>

¹Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Núñez Maradiaga, J., Hernández Flores, K. M., Peña Paz, T. & Montoya, D. I. (2022). Evaluación de la calidad de las aguas subterráneas en la Laguna del Pedregal. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(1), 381-391.

RESUMEN

Este trabajo presenta una evaluación de la calidad del agua subterránea para consumo humano en los alrededores de la Laguna del Pedregal. Los principales ejes abordados incluyen en primer lugar el desarrollo de un contexto teórico sobre el agua que conlleva hablar de su calidad, los posibles focos de contaminación y principales actividades que pueden ocasionar un detrimento en la misma. En segundo lugar se presenta la aplicación del índice canadiense de calidad de agua propuesto por el Canadian Council of Ministers of the Environment, conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés) con el fin de obtener una caracterización de la calidad del agua que se maneja en la zona, luego se desarrollan modelos hidrogeoquímicos que ayudan a determinar el estado de solubilidades de los minerales que pueden estar en el medio según la geología presente, así como el estudio cualitativo de las actividades antropogénicas de la zona, esto con el fin de poder determinar las posibles actividades ya sean naturales o antropogénicas que afectan la calidad del agua. También se plantea la planificación hídrica desarrollada con base en las diferentes fuentes de información accesibles y en la selección del sector que se considera necesitan una inmediata atención.

Palabras clave: Agua subterránea, Hidrogeoquímica, Índice de calidad de agua, Metales pesados

ABSTRACT:

In this work, an evaluation of the quality of groundwater for human consumption in the surroundings of Pedregal Lagoon (Laguna del Pedregal). The main axes addressed include, firstly, the development of a theoretical context on water and what it means to talk about its quality, the possible sources of contamination and main activities that can cause a detriment to it. Secondly, the application of the Canadian water quality index proposed by the Canadian Council of Ministers of the Environment, known as CCME_WQI (for its acronym in English) is presented in order to obtain a characterization of the quality of the water that is managed in the area, then hydrogeochemical models are developed that help to determine the state of solubility of the minerals that may be in the environment according to the present geology, as well as the qualitative study of the anthropogenic activities of the area, this in order to determine the possible activities, whether natural or anthropogenic that affect water quality. Water planning developed based on the different accessible information sources and on the selection of sector that is considered to need immediate attention is also proposed.

Keywords: Groundwater, Hydrogeochemical, Water quality index, Heavy metals

INTRODUCCIÓN

El manejo y aprovechamiento del agua se relaciona con otros elementos naturales como el suelo, la vegetación y la fauna. Desde el punto de vista de la localización, diseño y funcionamiento de las actividades humanas, el agua ha de considerarse desde tres puntos de vista: como recurso, como medio receptor de residuos y como ecosistema. En cuanto al medio receptor, el agua ha de ser interpretada en términos de capacidad de autodepuración en función de sus características físicas y biológicas, así como sus componentes estructurales, su funcionamiento, la forma en que evoluciona el sistema y su conservación.

La importancia del agua para la humanidad reside no solo en que es vital para el buen funcionamiento de nuestro organismo, sino que también influye en aspectos importantes del desarrollo de la sociedad, por ejemplo, en la seguridad alimentaria, la salud y la reducción de la pobreza, ya que es sostén del crecimiento económico de la agricultura, la industria y la generación de energía. (Global Water Partnership, 2014)

Según La Ley General del Agua, vigente en Honduras, el agua es un recurso esencial para la vida, para el desarrollo social y económico. Su protección y conservación constituye una acción prioritaria del Estado. La gestión integral del recurso, vinculada al ciclo hídrico y el entorno natural, se hará con la participación y responsabilidad de todas las instancias de Gobierno, sus organizaciones, o del pueblo organizado (Decreto No. 181-2009, Artículo 3, pág. 4). Es por ello por lo que las Juntas de Agua u otra organización, como todos los abonados del servicio hídrico de cada una de las comunidades del país, tienen la responsabilidad de salvaguardar este recurso.

La presente investigación tiene por objetivo la evaluación de la calidad de las aguas subterráneas y sus potenciales fuentes de contaminación en los alrededores de la Laguna del Pedregal en el período 2018-2019, ya que es importante proveer una perspectiva de las características de una fuente de agua, considerando que su calidad, en cualquier punto del ciclo hidrológico, es dinámica, lo que permitió evaluar de manera cualitativa el efecto que tienen las actividades antropogénicas y naturales en la calidad del agua subterránea del área de estudio.

En primer lugar se encuentra el alcance, el cual representa el porcentaje de los parámetros que se encuentran fuera de los rangos permitidos por la NTCAPH, con la siguiente ecuación:

$$F_1 = \frac{\text{Numero de variables fuera del rango}}{\text{Total de variables}} * 100$$

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

EL estudio se llevó a cabo en las colonias aledañas a la Laguna del Pedregal, la cual se ubica a 13.4 Km al oeste del municipio del Distrito Central, siendo la altitud media 1,469 msnm.

El muestreo fue realizado por parte del equipo técnico del CEIRH/IHCIT en los días 16, 17 y 22 de agosto del año 2018 para la temporada de La Canícula; los días 29 y 31 de octubre, y 1ero de noviembre del año 2018 para la época lluviosa; y los días 8,9 y 10 de abril del año 2019 para la época seca. Las muestras fueron recolectadas y llevadas al laboratorio de Hidroquímica del CEIRH/IHCIT quienes respectivamente realizaron los análisis correspondientes.

Índice de calidad de agua

Para evaluar la calidad de agua se hizo uso del CCME_WQI por la flexibilidad en la selección de las variables a considerar, las cuales fueron: sólidos disueltos totales, cloruros, sulfatos, potasio, cobre, nitratos, nitritos, hierro, manganeso, amonio y zinc como parámetros fisicoquímicos y de los parámetros microbiológicos, fueron considerados los coliformes totales y coliformes termotolerantes. Para el análisis de sólidos sedimentables fue tomado en campo con un conductímetro (Eco Sense; Model No: EC 300), mientras que para los cloruros (método 8113), sulfatos (método 8051), potasio (método 8049), cobre (método 8506), nitratos (método 8039), nitritos (método 8507), hierro (método 9008), manganeso (método 8034), amonio (método 8038) y zinc (método 8009) se hizo uso del Espectrofotómetro DR3900 HACH. Cabe aclarar que los análisis fueron realizados al pie de la letra según los métodos proporcionados por HACH. Los parámetros microbiológicos se realizaron con la metodología propuesta por el Standard Method (método 9222-D y 9222-B)

El objetivo que menciona el índice está representado por los valores máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable de Honduras (NTCAPH).

Según (CCME, 2001, pág. 3) el cálculo del índice se realiza de la siguiente manera:

Posteriormente se encuentra la frecuencia, este representa el porcentaje de todos los datos que se encuentran fuera de los rangos permitidos por la NTCAPH durante la temporalidad del muestreo, con la siguiente ecuación:

$$F_2 = \frac{\text{Numero de datos fuera del rango}}{\text{Numero total de datos}} * 100$$

Por último, se encuentra la amplitud, la cual determina el exceso de los datos fuera de rango al acompañarlo por su umbral. Se calcula en tres pasos:

1. Excursión: El número de veces que el dato se encuentra fuera de la norma.

Cuando el valor de la prueba no debe exceder el objetivo:

$$excursion_i = \left(\frac{\text{Valor de la prueba fallida}_i}{\text{Objetivo}_j} \right) - 1$$

Para los casos en los que el valor de prueba no debe caer por debajo del objetivo:

$$excursion_i = \left(\frac{\text{Objetivo}_j}{\text{Valor de la prueba fallida}_i} \right) - 1$$

2. Suma normalizada de excursiones, o se calcula como:

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n excursion_i}{\# \text{ de pruebas}}$$

3. Entonces la amplitud se determina con la siguiente ecuación:

$$F_3 = \frac{nse}{0.01nse + 0.01}$$

Una vez encontrados las 3 variables (alcance, frecuencia y amplitud) se procede a calcular el índice con la siguiente ecuación:

$$CCME_{WQI} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

El divisor 1.732 normaliza los valores resultantes a un rango entre 0 y 100. Se utiliza la Tabla 1 para determinar cualitativamente la calidad del agua.

Tabla 1: Criterios para la clasificación de las aguas.

CCME_WQI	Clasificación	Descripción
95-100	Excelente	La calidad del agua está protegida con ausencia virtual de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.
80-94	Buena	La calidad del agua está protegida con algunas amenazas o daños de poca magnitud. Las condiciones raramente se apartan de los niveles naturales o deseados.
65-79	Regular	La calidad del agua es usualmente protegida pero ocasionalmente es amenazada o dañada. Las condiciones a veces se apartan de los niveles naturales o deseados.
45-64	Marginal	La calidad del agua es frecuentemente amenazada o dañada. Las condiciones con frecuencia se apartan de los niveles naturales o deseados.
0-44	Pobre	La calidad del agua está casi siempre amenazada o dañada. Las condiciones usualmente se apartan de los niveles naturales o deseados.

Fuente: (CCME, 2001)

2.3 Influencia del medio en la calidad del agua

2.3.1 Actividad natural

El CCME-WQI da una visión global de las condiciones de la calidad del agua de acuerdo con los parámetros evaluados. Y para poder determinar las potenciales fuentes de contaminación natural se debe considerar qué parámetros son tomados como contaminantes. Por lo que para fines de esta investigación los contaminantes son todos aquellos parámetros que sobrepasan los valores máximos permisibles establecidos por la NTCAPH ya que pueden causar daños a la salud.

El estudio hidrogeoquímico se realizó con el fin de tener una idea de la influencia que tiene el medio en la calidad del agua subterránea de la zona de estudio. Para este fin se hizo uso de los gráficos índice de saturación de mineral contra la concentración del ion que presenta valores considerablemente elevados.

Los índices de saturación de fases minerales dan información sobre el grado de sobresaturación ($SI > 0$), equilibrio ($SI \approx 0$) o subsaturación ($SI < 0$) en el que se encuentran los minerales en la solución. Los índices de saturación son la relación entre la actividad química del medio y el equilibrio del mismo, por lo que para el cálculo de los índices de saturación se hace uso de softwares como puede ser el PHREEQC (Software de modelación hidrogeoquímica creado por el Servicio Geológico de Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés) que utiliza los valores de entrada (pH, pe, T, concentraciones de iones mayoritarios y trazas) y en función de la información de entrada y mediante el uso de la base de datos termodinámicos (ΔG , ΔH , o K_s) que el software contiene, proporciona la información geoquímica del sistema, y en específico, los índices de saturación.

Se debe tener en cuenta que el software determina los índices de saturación de todos los posibles minerales que pueden aportar los iones que se encuentran en el medio, sin embargo, el analista debe realizar la selección de los minerales que realmente se encuentran en el medio, de acuerdo con la geología.

Los gráficos entre los índices de saturación y las concentraciones de los iones más importantes del mineral, muestran la tendencia que tiene el mineral a aumentar o reducir las concentraciones de los iones disueltos en el medio.

2.3.2 Actividades antropogénicas

Para esta etapa de la investigación, se analizaron varias temáticas que giran alrededor de la forma y medio de vida de los habitantes en relación con la zona de estudio,

como es la forma en que disponen las aguas servidas, las actividades productivas como la agricultura y ganadería de subsistencia, entre otras. No obstante, las fuentes de información específicas para la zona de estudio son muy limitadas en cuanto a caracterización socioeconómica y cultural.

Disposición de las aguas servidas

La metodología empleada consistió en revisar y analizar fuentes bibliográficas, en este caso el "Plan Maestro de Reducción de Desastres Sector Ulloa" de GOAL publicado en 2018, el cual contempla una caracterización de la Colonia José Ángel Ulloa (JAU), José Arturo Duarte (JAD) y la Nueva Providencia (NPR), no habiendo más información de las otras comunidades.

Seguidamente se esbozó las condiciones sanitarias del Sector Ulloa, con lo contemplado en bibliografía científica acerca del riesgo de impacto en los acuíferos por infiltración del manejo de aguas servidas en fosas sépticas, condición que expone y explica el libro de "Hidrología Subterránea" de Emilio Custodio y Manuel Ramón Llamas, publicado en 1983.

Agricultura y ganadería de subsistencia

La metodología implementada y usada en este ítem fue una revisión bibliográfica de documentos referentes a la agricultura y ganadería donde se explica la importancia de estas actividades para la población hondureña. En tal sentido en el área de estudio que es la parte baja de Guacerique, que comprende el sector de la laguna del pedregal, para identificar las actividades que realizan en la zona, se tomó como referencia el mapa de uso de suelo que existe en el país, donde por medio de la información brindada, se realizó un análisis de los usos de suelos que existe en el área de estudio, entre los que se puede mencionar, bosque de coníferas, pino plagado, vegetación secundaria, pastos y cultivos, zona urbana, suelo desnudo y cuerpos de agua artificial, entre otros.

2.4 Planificación hídrica

Para realizar la planificación de la zona, primero se busca conocer a fondo el lugar investigado y sus actores. Para ello se realiza una investigación bibliográfica de la zona de estudio. Esto permitió realizar un diagnóstico del área. Después se hizo una selección del sector más relevante que se vincula. Pueden ser ecosistemas y biodiversidad, asentamiento e infraestructura, salud humana, agricultura y silvicultura, abastecimiento de agua y saneamiento y economía (industria, comercio, turismo, transporte entre otros). En este caso se seleccionó el factor Sector abastecimiento de agua y salud humana.

Posteriormente se tomó el sector priorizado con sus problemas, y se prosigue a definir un objetivo general y uno específico e indicador utilizado, para realizar un planteamiento cuyo eje principal es, en nuestro caso, el recurso hídrico. Luego se definieron las metas y resultados esperados, esto acorde a las necesidades priorizadas identificadas en la zona y de acuerdo con el diagnóstico discutido previamente. Se definen los actores principales y el tiempo de ejecución posible, acorde a las metas que pueden ser a mediano, corto o largo plazo.

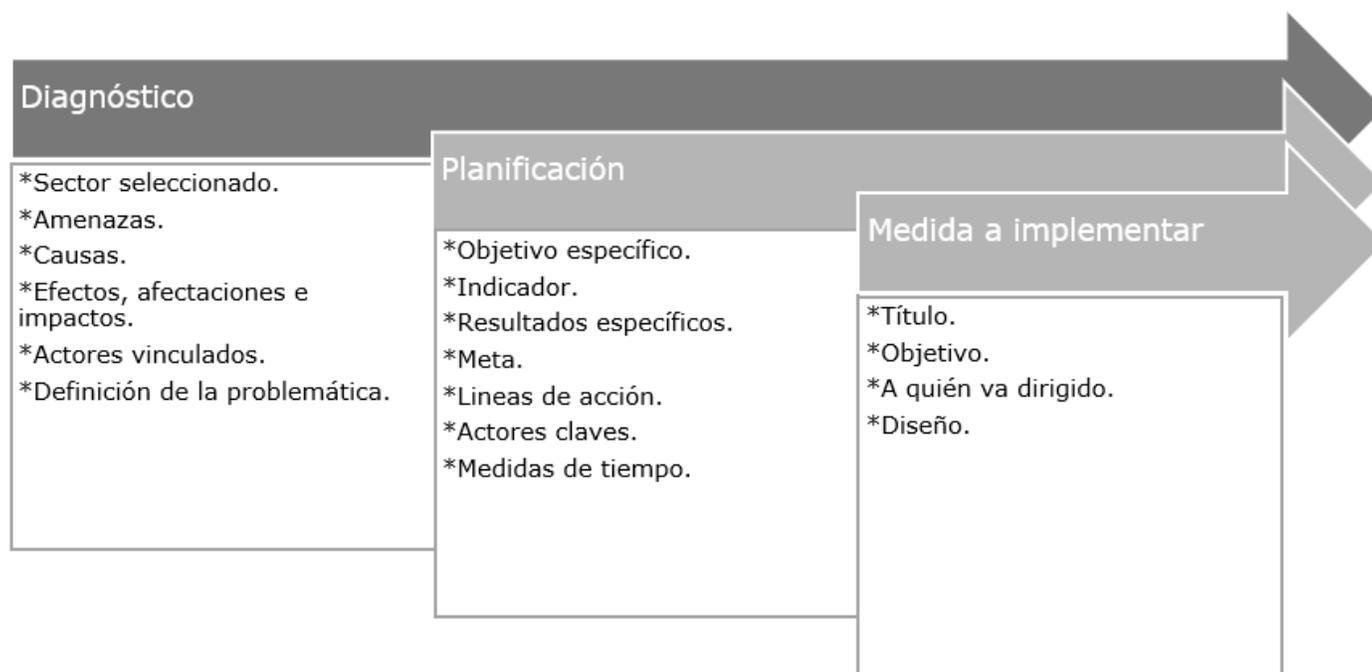


Figura 1 Esquema general para la planificación hídrica. Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de calidad de agua.

De acuerdo con los resultados obtenidos por el proyecto “Levantamiento y Evaluación del recurso hídrico en la Laguna del Pedregal y colonias aledañas”, y que fueron proporcionados por personal de GOAL y del IHCIT, estos resultados fueron trabajados de manera tal que se pudieran comparar las unidades proporcionados en los datos y las unidades que utiliza la NTCAPH. Luego de realizar esa revisión de datos se efectuó el cálculo del índice (anexo 1), el cual proporcionó los siguientes resultados:

Tabla 2 Índice de calidad del agua.

Punto de muestreo		WQI	Clasificación de la calidad del agua
NC-CD-01	Colonia Duarte	37.65	Pobre
NC-CM-01	Ciudad Mateo	57.71	Marginal
NC-CUL-01	Colonia Ulloa	37.23	Pobre
NC-EM-01	El Mogote	84.16	Buena
NC-LC-01	La Cuesta	48.74	Marginal
NC-LJ-01	Los Jocomicos	41.57	Pobre
NC-SF-01	San Francisco	37.36	Pobre
NC-VLL-01	Villa los Laureles	40.76	Pobre
PM-CG-01	Ciudad Guzmán	35.42	Pobre

PZ-AL-01	Altos de la Laguna	94.87	Buena
PZ-MXD-01	Maxi despensa	92.31	Buena
PZ-NA-01	Nueva Aldea	72.79	Regular
PZ-PS-01	Perpetuo Socorro	90.46	Buena

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 1 Clasificación cualitativa del agua.

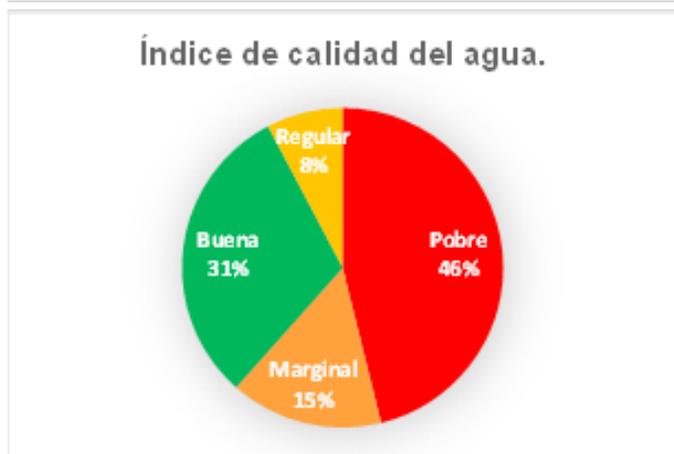


Figura. 2. Gráfica de clasificación cualitativa del agua. Fuente: Elaboración propia

Con lo anterior se observa que el 46 % de las fuentes de agua de la zona, presentan agua con clasificación Pobre, que es el nivel más bajo de la clasificación; de igual manera, ninguna de las fuentes cuenta con agua de clasificación Excelente, que es el nivel más alto de la clasificación.

Con el índice se observa que la calidad del agua que se consume en la zona, es, en su mayoría, de clasificación muy baja, por lo que el buscar las principales fuentes de contaminación del medio, es de suma importancia.

De acuerdo con la hidroquímica de la zona se observa que los principales contaminantes que se presentan, son: Manganeseo, Hierro, Potasio, Amonio y Nitritos, contaminantes que fueron determinados mediante la comparación de los resultados de laboratorio y los valores máximos admisibles establecidos en la NTCAPH

Sin embargo, la contaminación por Nitritos y Amonio no se da de manera natural en las aguas subterráneas, ya que el ion nitrato es la forma termodinámica más estable del nitrógeno, en sistemas acuosos y terrestres oxigenados, de forma que hay una tendencia de todos los

materiales nitrogenados a ser convertidos a nitratos en estos medios (Pacheco Ávila & Cabrera Sansores, 2003, pág. 47), por lo que minerales que estén asociados a elevar las concentraciones de Nitritos y Amonio en la zona, no se dan. Por tanto, el estudio de la solubilidad de los minerales será funcional solo para los iones de Hierro y Manganeseo, los cuales tienen concentraciones que sobrepasan la NTCAPH.

A partir del estudio de la geología del medio y los datos proporcionados por el software PHREEQC, el análisis se presenta en 3 principales minerales: la Goetita, que es un mineral que se encuentra en los Aluviones (Hudson-Edwards, Schell, & Macklin, 1999) al igual que el mineral Jarosita de Potasio, y por último la Manganita que es un mineral que se puede encontrar tanto en los Basaltos fracturados (Flaathen, Gislason, Oelkers, & Sveinbjörnsdóttir, 2009) como en la Andesita. Al ver los gráficos 2, 3 y 4 se observa que los índices de saturación (anexo 2) de las fases minerales en solución, muestran que el agua no es capaz de disolver más minerales Goetíticos, ya que es el único mineral que presenta valores mayores a cero, que representan la sobresaturación, mientras que los minerales Jarosita de Potasio y Manganita, no presentan en ninguna fuente ni en ninguno de los tres muestreos, valores que representen un estado sobresaturado.

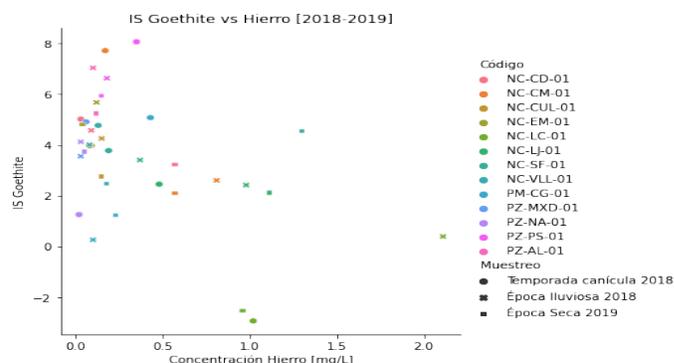


Figura. 3. Gráfica de relación del índice de Saturación de la Goethite en función de la concentración del Hierro, 2018-2019 en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

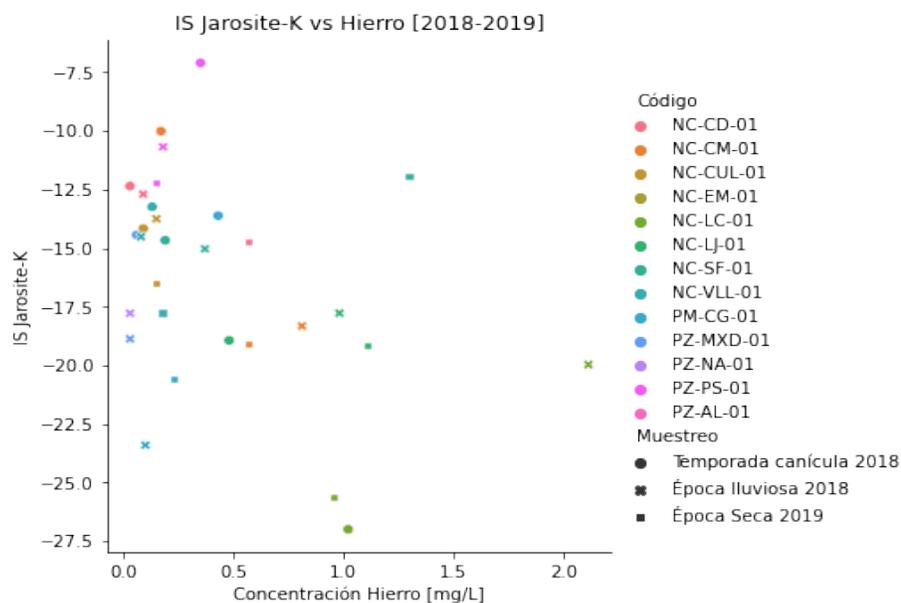


Figura. 3. Gráfica de relación del índice de Saturación de la Jarosite de Potasio en función de la concentración del Hierro, 2018-2019 en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

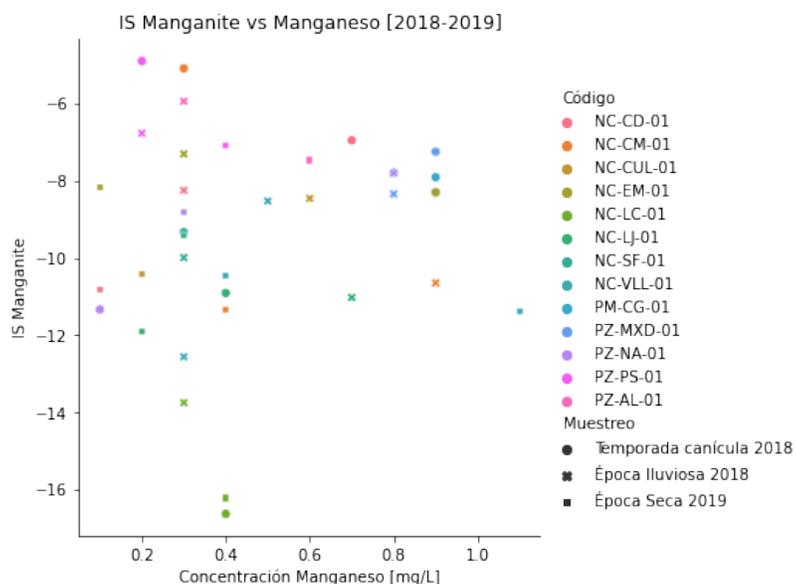
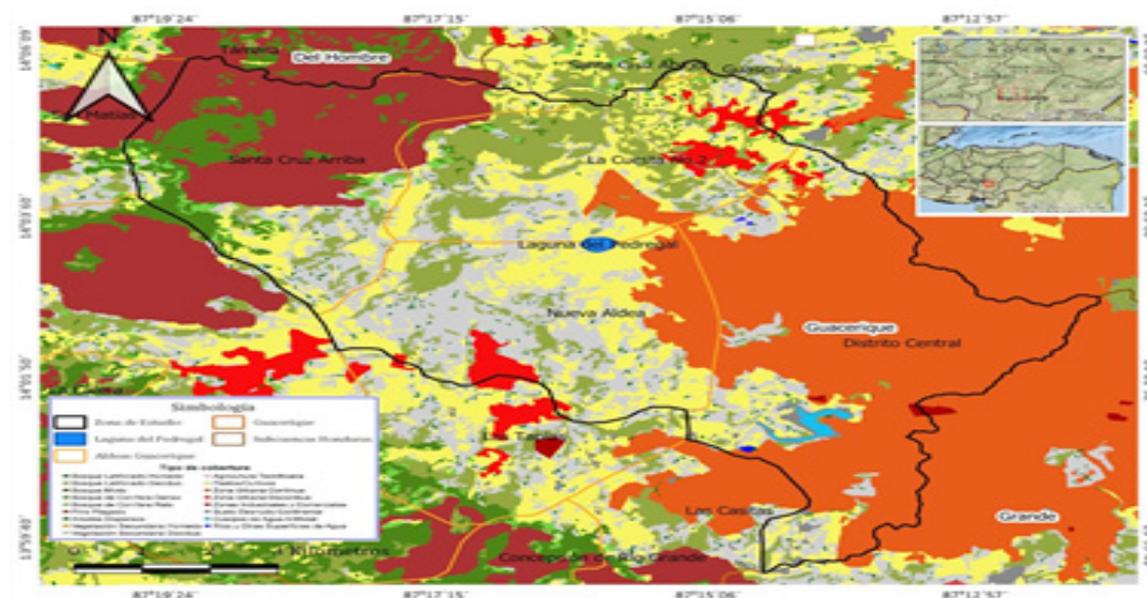


Figura. 4. Gráfica relación del índice de Saturación de la Manganite en función de la concentración del Manganeseo, 2018-2019 en la zona de estudio.

En el año 1962 la Secretaría de Recursos Naturales, ahora la SAG, elaboró un primer estudio de las tierras del país, tomando como referencia la topografía del lugar y de los suelos, lo que dio como resultado que los suelos hondureños son de vocación predominante forestal 87.7%. En 1992, utilizando la metodología adaptada a la clasificación de tierras por su capacidad agroecológica del servicio de Conservación de suelos de los Estados Unidos, el programa Nacional de Manejo de cuencas estimó que el 35.6 % del territorio tiene capacidad para dedicarse a la producción agrícola. En 1995 el IICA plantea que solo el 23 % de las tierras hondureñas son aptas para la producción agrícola y ganadería intensiva, y un 3% para ganadería extensiva, en tanto que el 73% del territorio tiene aptitud para la producción forestal o cultivos perennes (SERNA, 2001). Se observa que la mayoría de los suelos del territorio no son utilizados de acuerdo

con su vocación, y esto se ve ya que los agricultores y ganaderos no tienen áreas para cultivar y se hace uso del área forestal.



Mapa 1 Áreas por uso de suelo de la zona de estudio.

Figura.5. Mapa por uso de suelo de la zona de estudio. Fuente: Elaboración Propia

En la zona de estudio, según el mapa de uso de suelo (Mapa 2) se observa que las actividades que se realizan son pastos y cultivos con un área de 1678.104 Ha, se observa también pino plagado (1036.943 Ha), el bosque existente es de coníferas denso (319.76 Ha), hay bosque latifolia do deciduo (919.44 Ha), se visualiza vegetación secundaria (1600.53 Ha), hay suelo desnudo continental (58.75 Ha); también en el mapa se observa la zona urbana (2647.13 Ha), continua, que es del Distrito Central, y discontinua (199.39 Ha), así mismo se observa la Laguna del pedregal y cuerpos de agua artificial. Se observan otras actividades, pero en eras más pequeñas como son árboles dispersos (69.07 Ha), bosque de coníferas ralo (76.95 Ha), cuerpos de agua artificial (26.78 Ha), ríos y otras superficies de agua (18.32 Ha), zonas industriales y comerciales (7.93 Ha). Como se observa, la mayor cantidad de área se encuentra en pastos y cultivos, por lo cual se puede asumir que muy probablemente estas actividades puedan afectar la calidad del agua subterránea debido a las técnicas y métodos de fertilización utilizados para ello. En segundo lugar, la mancha urbana continua, que es parte del Distrito Central y puede afectar, pero de una manera indirecta. De igual manera se tiene una mancha urbana discontinua en la zona, que, según el mapa de uso de suelo, se encuentra en los alrededores de la Laguna del Pedregal, por lo cual afecta las aguas subterráneas ya que es un área que no cuenta con alcantarillado ni con algún tipo de manejo de aguas negras, lo que a su vez puede ocasionar daños en la calidad del agua.

De lo anterior se puede concluir que todas las actividades agropecuarias y de agricultura son propias de la población para la subsistencia económica y la seguridad alimentaria de las familias, aquí lo que se debe de revisar y tomar conciencia son las formas o prácticas agrícolas que se utilizan para llevar a cabo las actividades, ya que dependiendo de ello se podrá realizar un análisis de los daños que se están causando a los acuíferos, por lo tanto se puede establecer que, como lo menciona la FAO, la agricultura es al mismo tiempo causa y la víctima de la contaminación de los recursos hídricos: causa por la descarga de contaminantes y sedimentos en las aguas superficiales y/o subterráneas, por la pérdida neta de suelo como resultado de prácticas agrícolas desacertadas y por la salinización y anegamiento de las tierras de regadío, y víctima, por el uso de aguas residuales y aguas superficiales y subterráneas contaminadas, que contaminan a su vez los cultivos y transmiten enfermedades a los consumidores y trabajadores agrícolas (FAO, 2020).

Debido a las condiciones con que se cuenta en las diferentes colonias aledañas y en la zona de estudio, y a la falta de un sistema de alcantarillado sanitario, asimismo de un buen sistema de agua potable para consumo humano, se puede

decir que las afectaciones a las aguas subterráneas que se encuentran en la zona, pueden ser tanto en la calidad como en la cantidad de la misma, debido a ello se afecta la salud humana. Bajo esa consideración se debe implementar un sistema adecuado de agua potable y saneamiento, así como la implementación de buenas prácticas agrícolas, y de esta manera se puede lograr una "Reducción de la contaminación de las fuentes de agua, debido al control sobre las fuentes contaminantes, tales como plaguicidas, fertilizantes, sedimento, aguas residuales y desechos sólidos" (IHCIT-UNAH, 2012, pág. 15).

Teniendo en cuenta que las fuentes de agua de la zona se encuentran en su mayoría contaminadas, el estudio hidrogeológico y análisis del suelo realizado da una idea de que el aporte natural (geología) se encuentra presente para la contaminación por hierro en las fuentes de agua, sin embargo, no se determinó la cantidad de hierro que aporta el medio, por lo que no se descarta que las actividades antropogénicas estén afectando de alguna manera las concentraciones de hierro en las fuentes. De igual forma no se logró determinar una gran influencia del medio en las concentraciones de manganeso, sin embargo, por los limitados parámetros químicos que se realizaron, no se puede descartar la influencia de otros minerales asociados al manganeso que se encuentran en el medio. Asimismo, la contaminación por manganeso en las aguas se puede relacionar con las actividades antropogénicas, ya que es un metal que se encuentra en los alimentos, el aire y el suelo, donde se pueden hallar compuestos orgánicos y coloides de manganeso. También existen bacterias de manganeso.

La gobernabilidad del agua cubre igualmente un conjunto de temas íntimamente ligados a este líquido, desde la salud y la seguridad alimentaria, hasta el desarrollo económico, el uso de la tierra y la preservación del entorno natural (Arenas, Liliana, Ruiz Ochoa, & Rodríguez Miranda, 2017, p. 102). En la planificación Hídrica se realiza un análisis de la realidad de la zona con base en la información obtenida, se identifica que el sector con mayor problemática es el abastecimiento de agua y salud humana. Se sabe que pueden existir otros, pero este estudio se enfocó en el sector descrito anteriormente.

La relación entre los recursos existentes y su explotación por los seres humanos, es el punto primordial de las relaciones económicas en toda sociedad (Padrón Cruz & Cantú Martínez, 2009, pág. 18). Considerando el alto crecimiento demográfico, la planificación hídrica debe ser una herramienta prioritaria del sector, por las diferentes situaciones de contaminación a la que está expuesto el recurso hídrico, y por ende, la población que lo consume.

Entre las principales amenazas se tiene una deforestación en la zona, contaminación de acuíferos, impermeabilización de la zona de recarga, problemas de seguridad, entre otros que conllevan un detrimento en la calidad del agua y de vida de las personas que habitan la zona. Son las causas predominantes la tenencia de la tierra, falta de apoyo por los entes gubernamentales, pobreza, falta de educación. Todo esto provoca pérdidas en la capacidad de infiltración del suelo, pérdida de diversidad forestal y de paisaje, vulnerabilidad en los asentamientos humanos, y constituye un riesgo para la salud de los habitantes.

Sobre la base de lo anterior se plantearon diferentes medidas, algunas a corto y mediano plazo, con su respectiva meta, indicador y línea de acción, que puedan subsanar de alguna manera la problemática encontrada en la zona, para lo cual se necesita, desde luego, el apoyo de diversos entes (gubernamentales y no gubernamentales) y de los miembros de la comunidad, para lograr desarrollarlas y cumplirlas exitosamente.

Medidas adaptativas del sector abastecimiento de agua y salud humana

- a) Título: Evaluación de la calidad y acondicionamiento del agua que abastece a los pobladores de la Laguna del Pedregal y sus zonas aledañas.
- b) Objetivo: Desarrollar análisis de calidad del agua en los alrededores de la Laguna del Pedregal para identificar los diferentes focos de contaminación de acuíferos.

Dotar a los pobladores de la Laguna del pedregal de acceso al agua segura.

c) Dirigida a:

Todas las comunidades de las zonas aledañas. Encargados de la implementación: Patronatos, Juntas de agua, SANAA, Alcaldía, ONG, ICF.

d) Diseño.

e) Metodología de evaluación de oportunidades de restauración

Evaluar la calidad del agua por medio de análisis físico-químicos y microbiológicos, por lo menos 2 veces al año.

Identificar sistemas de potabilización acorde a los resultados obtenidos en las pruebas previas.

Presentar resultados y propuestas a la comunidad con el objetivo de generar conciencia sobre las consecuencias en la salud por consumo de agua no potabilizada.

Buscar fuentes de financiamiento nacionales o internacionales.

f) Componentes estratégicos de trabajo.

Mejorar en la calidad de vida (salud humana).

Fortalecimiento de la coordinación interinstitucional, marco jurídico y político.

Gobernanza.

Diversificación de los sistemas productivos.

Financieros (reducción en costo de adquisición del agua y gastos médicos).

Gestión del conocimiento.

CONCLUSIONES

La clasificación de la calidad del agua a partir de la evaluación, indica que el 46% de las fuentes tiene un agua con clasificación pobre, el 31% presenta una clasificación buena, el 15% marginal y un 8% regular. Destacando que ninguna fuente cuenta con una clasificación excelente en su calidad.

En la zona de estudio se encontraron tres minerales principales que podrían estar aportando metales a las fuentes de agua. Estos minerales fueron: la Goetita, la Jarosita de Potasio y la Manganita. Sin embargo, de estos tres, el único que se encontraba en un estado de sobresaturación es el mineral Goetita, que podría estar aportando Hierro a las fuentes de agua. Pero no se descarta el aporte de Manganeseo, asociado a los minerales que se encuentran en aluviones.

Sobre la base de la información revisada, se puede concluir que no hay evidencia suficiente para determinar que el manejo de aguas servidas y la agricultura practicada en la zona de estudio sea la responsable de los agentes químicos y microbiológicos contaminantes de los pozos muestreados en la misma zona, ya que no se realizaron estudios de trazabilidad que demostraran el origen del recurso hídrico en el acuífero. No obstante, teóricamente, se puede decir que las actividades antropogénicas ponen en riesgo la condición del manto acuífero.

La implementación y el seguimiento de la planificación hídrica, permite a los miembros de la comunidad de la Laguna del Pedregal y zonas aledañas, conocer y valorar las oportunidades de mejorar su estilo de vida, logrando una explotación sostenible de los recursos con que cuentan, así como la oportunidad de generar nuevas fuentes de ingresos a las diferentes familias que habitan en la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arenas, O., Liliانا, A., Ruiz Ochoa, M., & Rodríguez Miranda, J. P. (2017). Planificación y gestión de los recursos hídricos: una revisión de la importancia de la variabilidad climática. *Logos ciencia&ingeniería*, 9(1), 100-105. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/5177/517754057010.pdf>
- CCME. (2001). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. Canadá: Canadian Council of Ministers of the Environment.
- CEIRH-IHCIT, C. E. (2020). Levantamiento y Evaluación del recurso hídrico en la Laguna del Pedregal y colonias aledañas. Centro Experimental y de Innovación del Recurso Hídrico. (CEIRH-IHCIT), Tegucigalpa.
- Ley General de Aguas, Decreto N° 181-2009, 14 de diciembre de 2009, Gaceta N° 32088.
- Custodio, E., & Llamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea*. Barcelona: Omega.
- FAO. (16 de diciembre de 2020). Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos: Introducción. Obtenido de <http://www.fao.org/3/W2598S/w2598s03.htm#TopOfPage>
- Flaathen, T. K., Gislason, S. R., Oelkers, E. H., & Sveinbjörnsdóttir, Á. E. (2009). chemical evolution of the Mt. Hekla, Iceland, groundwaters: A natural analogue for CO₂ sequestration in basaltic rocks. *Applied Geochemistry*, 463-474.
- Global Water Partnership. (2014). *La Estrategia de GWP hacia 2020. Un mundo con seguridad hídrica*.
- Hudson-Edwards, K. A., Schell, C., & Macklin, M. G. (1999). Mineralogy and geochemistry of alluvium contaminated by metal mining in the Rio Tinto area, southwest Spain, *Applied Geochemistry*, 14(8), 1015-1030.
- IHCIT. (2019). *Elaboración de estudios técnicos en la zona de La Laguna del Pedregal del Distrito Central*. Tegucigalpa.
- IHCIT-UNAH. (2012). *Sistematización "Certificación de Agricultores que realizan Manejo Adecuado del Recurso Suelo y Agua en la Subcuenca del Rio Guacerique"*. Tegucigalpa, Honduras.
- Ministerio de Salud. (1995). *Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable*. Honduras: República de Honduras.

- Pacheco Ávila, J., & Cabrera Sansores, A. (2003). Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Ingeniería*, 47-54.
- Padron Cruz, A. C., & Cantú Martínez, P. C. (2009). EL RECURSO AGUA EN EL ENTORNO DE LAS CIUDADES SUSTENTABLES. *Culcyt*, 15-25.
- SERNA, S. d. (2001). Informe del Estado del Ambiente Honduras. Tegucigalpa, Honduras: Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente.