

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
RECINTO UNIVERSITARIO RUBEN DARIO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS
DEPARTAMENTO DE QUIMICA**

**INFORME DE SEMINARIO DE GRADUACION PARA OPTAR AL
TITULO DE LICENCIADO EN QUIMICA.**



Tema: Evaluación preliminar de las características Fisicoquímicas de las aguas subterráneas de la Cuenca 72 del municipio de San Juan del Sur en el mes de Abril del año 2013.

Autores: Br. Gabriel Antonio Zamora López.

Br. Yader Mauricio Valdizón Reynosa.

Tutor: Lic. Ana Margarita Matamoros Artola

Managua, Septiembre 2014.

APARTADO I:
ASPECTOS GENERALES

APARTADO II:
MARCO TEÓRICO

APARTADO III:
HIPÓTESIS

APARTADO IV:
DISEÑO
METODOLÓGICO

APARTADO V:
ANÁLISIS Y
RESULTADOS

APARTADO VI:
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

APARTADO VII:
BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE

	Pág.
Dedicatoria	
Agradecimiento	
Resumen	
Apartado I:	
Aspectos Generales	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación.....	5
1.4 Planteamiento del problema.....	6
1.5 Objetivos.....	7
Apartado II:	
Marco Teórico	
2.1 Fuentes de Aguas.....	8
2.1.1 Aguas Subterráneas.....	8
2.1.1.1 Composición de las aguas subterráneas naturales.....	9
2.1.1.2 Sustancias que se encuentran disueltas en el agua subterránea natural.....	10
2.1.1.3 Características químicas de las sustancias disueltas en las aguas Subterráneas naturales.....	12
2.1.1.3.1 Constituyentes mayoritarios.....	12
2.1.1.3.2 Constituyentes minoritarios.....	20
2.1.1.4 Características fisicoquímicas del agua subterránea natural.....	22
2.1.1.5 Incorporación de los constituyentes a las aguas subterráneas.....	26
2.1.1.5.1 Ámbitos de incorporación.....	26
2.1.1.5.2 Mecanismos de incorporación de solutos al agua subterránea.....	28
2.1.1.6 Fenómenos modificadores de la composición del agua subterránea.....	30
2.1.1.7 Clasificación de las aguas subterráneas naturales.....	32
2.2 Estándares de calidad del Agua.....	36
2.2.1 Norma regional CAPRE.....	36
2.2.1.1 Requisitos de calidad fisicoquímicos.....	37

Apartado III:

Hipótesis

3.1 Hipótesis.....	38
--------------------	----

Apartado VI:

Diseño Metodológico

4.1 Tipo de estudio.....	39
4.2 Descripción del ámbito de estudio.....	39
4.3 Universo y muestra.....	39
4.3.1 Criterios de inclusión.....	39
4.3.2 Criterios de exclusión.....	39
4.4 Variables.....	40
4.4.1 Enumeración de las variables.....	40
4.4.2 Operacionalización de las variables.....	41
4.5 Materiales y métodos.....	42
4.5.1 Materiales para recolectar información.....	42
4.5.2 Materiales para procesar información.....	42
4.5.3 Material de laboratorio.....	42
4.5.4 Métodos.....	43
4.6 Metodología de campo.....	44
4.6.1 Criterio de selección del número de muestras.....	44
4.6.2 Requerimientos para la toma de muestras y manipulación.....	44
4.7 Metodología de laboratorio.....	45
4.8 Descripción de los métodos utilizados.....	46

Apartado V:

Análisis y Resultados

5.1 Análisis y discusión de los resultados.....	48
---	----

Apartado VI:

Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones.....	53
6.2 Recomendaciones.....	54

Apartado VII:

Bibliografía.....	55
--------------------------	-----------

Anexos.....	57
--------------------	-----------

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente y por sobre todas las cosas a Dios nuestro padre celestial, por regalarme siempre su amor y la bendición del soplo de la vida, a mis padres que siempre estuvieron a mi lado, que me dieron todo su apoyo y todo lo que estuvo a su alcance durante mis años de carrera universitaria y que fueron mi fuente de inspiración y perseverancia, a mis hermanas por su apoyo y motivación para salir adelante y culminar nuestro sueño de ser profesional.

Gabriel Zamora.

Dedico este trabajo a mi Padre que tanto me apoyo durante el tiempo que duro mi carrera universitaria, brindándome lo necesario para salir adelante, a mi Madre por alentarme a culminar estudios y estar a mi lado cuando más lo necesite, a Dios el que siempre está ahí a mi lado dando fortaleza para continuar y a MI FAMILIA que han sido mi inspiración para terminar esta tesis y obtener finalmente el título que tanto anhelo. A ellos dedico este trabajo desde el fondo de mi corazón.

Yader Valdizón.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a nuestro Padre Celestial, por reglarme día a día la vida y haberme mantenido con fuerzas para luchar y salir adelante, A mi familia, mis padres y hermanas por haber permanecido siempre a mi lado en los momentos difíciles, dándome la inspiración y fortaleza para continuar, por ser mi luz en los momentos difíciles, A mi abuelo que me apoyo y animo incondicionalmente durante duro su existencia, A mis compañeros por su apoyo, motivación y ánimo, A nuestra tutora Lic. Ana Margarita por su tiempo y contribución en la realización de este Trabajo y así llegar a cumplir nuestra meta Profesional.

Gabriel Zamora.

Doy gracias primeramente a Dios Por siempre acompañarme en todos mis logros y levantarme las veces que he caído, a mis padres por ser el pilar de mi vida quienes me dieron todo el apoyo y amor que necesite al día de hoy, a mis hijas y esposa por ser mi motivación y mi fortaleza, a nuestra tutora Lic. Ana Margarita por guiarnos en el proceso de elaboración y llevarnos al triunfo. A ellos doy gracias infinitas.

Yader Valdizón.

RESUMEN

El trabajo de investigación muestra la evaluación preliminar de las características Físicoquímicas de las aguas subterráneas de la cuenca 72 del municipio de San Juan del Sur en el mes de Abril 2013, con el objetivo de evaluar la calidad de agua que la población del sector en estudio consume. Se procedió al reconocimiento del sector, para identificar los puntos de estudio, y a partir de ahí, se establecieron 20 puntos de muestreo, luego se procedió al muestreo para evaluar la calidad de las aguas y poder estudiar los parámetros físicoquímicos.

El estudio y la evaluación de las características físicoquímicas de dicha cuenca se basaron en las normas de calidad de agua para consumo humano, presentadas en la IV reunión del comité regional de calidad de agua (CAPRE), realizada en San Salvador, El Salvador, el 21 de Abril de 1994.

Los análisis físicoquímicos de las muestras de agua, fueron realizados en el Laboratorio físicoquímico de aguas naturales de los laboratorios ambientales PIENSA, en las instalaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

El análisis de las aguas subterráneas de la cuenca 72 en San Juan del Sur, dio como resultados, que de los parámetros analizados las concentraciones de Sodio, Potasio, Calcio, Hierro, la temperatura y la conductividad eléctrica no cumplen con los valores establecidos según la norma CAPRE, estos exceden el valor recomendado y el permisible para consumo humano.

1.1 INTRODUCCIÓN

En Nicaragua el recurso hídrico se encuentra afectado por diversos factores que cada vez agravan el problema en cuanto a su cantidad y calidad; estos agentes son principalmente la sobreexplotación de los acuíferos, el vertimiento de sustancias contaminantes a las fuentes hídricas, la deforestación, el uso inadecuado de los suelos y su alto grado de erosión. Estos factores dan como resultado la contaminación de las fuentes acuíferas.

Los estudios fisicoquímicos de estas fuentes de agua permiten obtener información técnica en materia de calidad de agua y evaluar la calidad sanitaria actual de estas fuentes de abastecimiento de agua de las zonas del país. Por lo tanto es de vital importancia monitorear las características fisicoquímicas de las fuentes de agua existentes para asegurar así agua de calidad para la población.

Las aguas subterráneas de la cuenca 72 se extienden desde el municipio de Tola hasta el municipio de San Juan del sur en el departamento de Rivas, tiene un área aproximada de 325 Km². El clima predominante en esta cuenca es de sabana tropical, de acuerdo a la clasificación climática propuesta por Köppen. Dentro de la cuenca se encuentran suelos aptos para la actividad pecuaria y forestal, la gran parte de la cuenca tiene vocación forestal debido a su topografía accidentada.

En el presente trabajo se evalúan las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas de la cuenca 72 del municipio de san juan del sur en el muestreo realizado en el mes de Abril del año 2013.

1.2 ANTECEDENTES

Para las evaluaciones de calidad de agua, diferentes organizaciones de varias nacionalidades involucradas en el control del recurso hídrico, han usado históricamente y de manera regular, índices Fisicoquímicos. Sin embargo, mientras que los índices de calidad de agua aparecen en la literatura a principios de 1965 (Horton, 1965), la ciencia del desarrollo de los índices de calidad de agua no madura hasta los 70s. Esto pudo deberse en parte a que no fueron ampliamente utilizados y aceptados por las diferentes agencias de monitoreo de la calidad acuática.

El índice General de Calidad de Agua fue desarrollado por Brown, (1970) y mejorado por Deininger, para la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos en 1975 (NAS, 1975). De acuerdo con un estudio de la NAS (1975), el Departamento Escocés para el Desarrollo (SSD), en colaboración con instituciones regionales para la preservación de la calidad del río, *The Solway Pufication Board* (Solway RPB) y la *Tweed Purification* (Tweed RPB), llevaron a cabo extensas investigaciones para evaluar la calidad del agua en ríos de Escocia.

Ott, 1978, presenta una discusión detallada sobre la teoría de índices ambientales y su desarrollo como también una revisión sobre los índices de la época, desde 1978 hasta 1994, revisiones de literatura de los índices de calidad de agua desarrollados desde su introducción, han revelado enfoques nuevos y han proporcionado nuevas herramientas para el desarrollo de los índices. Sólo hasta 1980, el Departamento de Calidad Ambiental de Oregon, desarrolló su propio índice a partir del NSF, sin embargo, su aplicación fue discontinua dada la dificultad de su cálculo en computadores de primera generación.

Entre 1995 y 1996 se desarrollaron, entre otros, los siguientes avances: la Estrategia de Evaluación de la Florida (The Strategic Assessment of Florida's Environment-SAFE) que formuló un índice en 1995. El índice de agua de British Columbia (BCWQI) desarrollado en 1996 y El Programa de Mejoramiento de la Cuenca Baja de (WEP, 1996) que desarrolló un índice en 1996, en este último año, un estudio realizado por Helmond y Breukel, demostró que por lo menos 30 índices de calidad de agua son de uso común alrededor del mundo, y consideran un número de variables que van de 3 a

72. Prácticamente todos estos índices incluyen por lo menos 3 de los siguientes parámetros: O₂, DBO y/o DQO, NH₄⁺ N, PO₄⁻ P, NO₃⁻ N, pH y sólidos totales. Stambuk-Giljanovic (1999) hace un recuento de los índices de calidad formulados cada uno con su propio objetivo como los siguientes: Dalkey (1968), Liebman (1969), Prati *et al.* (1971), O'Connor (1972), Harkins (1974), Walski y Parker (1974), Inhaber (1975) Service for Rhine Contamination Monitoring (IAWR, 1976), Shaefer y Janardan (1977), Provencher y Lamontagne (1979), Couillard y Lefevre (1985), House y Ellis (1987) y Petersen (1997).

Investigaciones hechas en Internet, muestran que en la actualidad el índice NSF es aún utilizado, especialmente como herramienta en estrategias pedagógicas en escuelas, colegios y preparatorias de Estados Unidos, como lo hace la Universidad Estatal de Cleveland, Ohio, quien tiene un sitio especial donde se explica y promueve el uso del NSF. Otros ejemplos de esto son: el Iowa Rivers Project, las Escuelas de Nebraska, en la cascada y la Escuela Superior de Idaho con su "Advanced Biology Class". Existe inclusive un manual conocido como: "Field Manual for Water Quality Monitoring: An Environmental Education Program for Schools" por M.S. Mitchell, William B. Stapp, and Kevin Bixby, 11th edition (Marzo de 1996).

Para el caso Latinoamericano en México se han desarrollado diversos índices de Calidad de Agua a medida que la normatividad se ha desarrollado. Dentro de los índices generales de común utilización en este país se encuentran, los de Horton, Brown, Prati, Mcduffi, Dinius y el INDIC-SEDUE. En los de usos específicos están los de O'connors (Pesca, vida silvestre y Abastecimiento público), Walski (Recreacional), Stoner (Abastecimiento público e Irrigación) y el de Nemerow y Sumitomo (Contacto humano directo, indirecto y remoto), (SRH, 1973; Guzmán y Merino, 1992; Montoya *et al.*, 1997).

En Colombia de acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2000), la medición de parámetros fisicoquímicos es una actividad rutinaria. Sin embargo, no ha sido así el cálculo de índices de calidad de agua, a pesar de las recomendaciones explícitas en la legislación y de los desarrollos de formulaciones propias, aunque éstas sí vienen siendo aplicadas regularmente dentro de la industria del petróleo. Tan solo algunas corporaciones autónomas regionales en las ciudades de Santafé de Bogotá,

Barranquilla, Bucaramanga, Cali y Manizales, aplican formulaciones de origen norteamericano en sus programas de monitoreo.

El Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) en conjunto con la Empresa Nicaragüense de Acueductos y de Alcantarillados (ENACAL) realizaron en conjunto una valoración físico-química entre las zonas del Río Brito y Río Sapoá, en la cuenca 72 del departamento de San Juan del sur , dando como resultados el 81.2% de las muestras presentaron valores en los parámetros analizados por debajo de los máximos permisibles en las normas de calidad para la región (CAPRE), es decir aptos para el consumo humano, quedando por tanto un 18.8% de las muestras de agua calificadas como no aptas para consumo humano. (MARENA, ENACAL, 2010)

De igual forma se realizó un estudio Microbiológico, Físico-químico y de pesticidas en la cuenca 72 de Marzo 2008 a Enero 2009, obteniendo resultados positivos para cubrir la demanda de agua proyectada para los próximos 25 años entre las zonas del Río Brito y Río Sapoá, siendo del consumo el 75% de la disponibilidad del agua subterránea. (CIRA-UNAN Marzo 2008- 2009)

Otros estudios similares fueron realizados por el equipo de investigación del Laboratorio de Microbiología de Agua, del Departamento de Biología, de la UNAN-LEON, en el año 2009 estos realizaron un informe del diagnóstico preliminar de la calidad del agua de consumo en las comunidades del sector rural del municipio de Rivas entre las zonas del Río Brito y Río Sapoá en la cuenca 72, En el análisis de las aguas de pozos se encontró que el 91.3% de las muestras analizadas son aptas para consumo humano según las normas CAPRE para los parámetros microbiológicos. Basándose en los estándares del laboratorio de microbiología de agua, resultó que el 97% de las aguas son aptas para el consumo humano. (UNAN-LEON, 2009)

1.3 JUSTIFICACIÓN

El beneficio de cuidar y preservar el recurso hídrico para la humanidad es de suma importancia, en nuestro país.

Es de vital importancia conocer la composición fisicoquímica de las aguas subterráneas que están siendo usadas por la población, esto solo se logra a través de la medición periódica de las características fisicoquímicas de estas fuentes. Tomando acciones correctivas o de tratamiento basados en los resultados de estas mediciones, se logra mantener los parámetros fisicoquímicos dentro de los límites establecidos por las normas de calidad de agua y se asegura agua de calidad para la población.

Actualmente no hay una evaluación que caracterice ampliamente los parámetros fisicoquímicos de las aguas subterráneas de la cuenca 72, de manera que se verifique el cumplimiento de la calidad de sus aguas, de acuerdo a lo que establecen las Normas de calidad de agua, y que permita establecer lineamientos a seguir para su protección y que sirva de base a los usuarios del recurso para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.

A través del presente trabajo de investigación se generó información evaluando el estado actual de las aguas subterráneas, para consumo humano, de la cuenca 72 de San Juan del Sur, mediante la realización de análisis fisicoquímicos que nos dieron información acerca de la actual calidad de estas aguas.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las aguas subterráneas de la cuenca 72 se encuentran extendidas a lo largo del municipio de San Juan del Sur, partiendo del municipio de Tola, en el departamento de Rivas. Esta cuenca tiene un área aproximada de 325 Km². A pesar de que la vocación uso del suelo de la cuenca es mayoritariamente forestal, más del 50% del área es usado para tacotales y pastos. Sólo un 5% del área es destinado para bosques.

Debido al crecimiento del turismo en la zona, se ha incrementado el número de perforaciones de pozos sin que exista un inventario actualizado de los mismos. La extracción por bombeo no ha sido contabilizada, pero se estima que cada vez es más importante.

Hasta la fecha no se ha llevado a cabo un monitoreo de la calidad del agua de ese recurso hidrográfico, es por esa razón que se hizo necesaria la determinación de la calidad del agua, mediante la medición de sus características fisicoquímicas, para así generar información base que permita ir evaluando el comportamiento y el riesgo sanitario de esa fuente de agua.

A través de esta evaluación preliminar se dieron a conocer las características esenciales que determinan la calidad del agua, en materia de su composición química, por ello nos planteamos lo siguiente:

¿Cumplen los parámetros fisicoquímicos, de las aguas subterráneas de la cuenca 72 de río San Juan en el mes de abril de 2013 con los rangos establecidos por las normas de calidad de agua?

1.5 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas de la cuenca 72 del municipio de San Juan del Sur en Abril de 2013.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Realizar el estudio preliminar de las características fisicoquímicas a las muestras de agua tomadas de los puntos específicos de la cuenca 72 del municipio de San Juan del Sur en Abril de 2013.
- Analizar los resultados fisicoquímicos obtenidos en cada uno de los pozos muestreados de la cuenca 72 del municipio de San Juan del Sur en Abril de 2013.
- Comparar los resultados obtenidos en el estudio realizado, con las normas de calidad para el consumo humano CAPRE para identificar si el valor medido de cada una de las características fisicoquímicas es aceptable o no.

2.1 FUENTES DE AGUA

El agua que se precipita sobre los continentes, tiene tres caminos por seguir:

- 1) Evaporarse para formar las nubes
- 2) Escurrir por la superficie del suelo formando arroyos y ríos que finalmente vierten sus aguas al mar.
- 3) Infiltrarse en el subsuelo para formar acuíferos. Esta agua infiltrada, posteriormente es drenada por corrientes superficiales o aflora en forma de manantiales para evaporarse o seguir su camino hacia el mar.

La calidad y la cantidad del agua procedente de aguas superficiales y subterráneas, las dos fuentes principales, experimentan la influencia de la geografía, el clima y las actividades humanas. El agua superficial, suele necesitar tratamientos extensos, en especial si está contaminada. Las aguas subterráneas, por otra parte, normalmente se pueden utilizar con poco o ningún tratamiento.

2.1.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS NATURALES

Las aguas subterráneas son aquellas que se han filtrado desde la superficie de la tierra hacia abajo por los poros del suelo. Las formaciones de suelo y roca que se han saturado de líquido se conocen como depósitos de agua subterránea o acuíferos. El agua normalmente se extrae de estos depósitos por medio de pozos. (*Lagrange, B. 1979.*)

El tamaño de los poros del suelo, la viscosidad del agua y otros factores se combinan para limitar la velocidad a la cual el agua se mueve a través del suelo para rellenar el pozo. Un depósito de aguas subterráneas solo puede soportar una rapidez de extracción de la misma magnitud que la del mismo suministro que recibe de manera continua por infiltración. Una vez que este flujo se excede, el nivel freático comienza a bajar, con lo cual los pozos existentes se secan y se requiere una costosa perforación para localizar nuevos pozos. (*Lagrange, B. 1979.*)

La mayor parte de los usuarios de aguas rurales recurren a las aguas subterráneas por que las mismas se pueden extraer y utilizar en el lugar donde se le necesita, con lo cual se elimina la necesidad de costosas tuberías y procesos de purificación.

El agua que se escurre a través de terrenos de rellenos industriales y sanitarios disuelve sustancias que constituyen un serio peligro para la calidad de las aguas subterráneas locales. Esto se puede impedir con un sistema apropiado de manejo de lixiviados. (*Lagrange, B. 1979.*)

El agua subterránea presenta en general, comparado con el agua superficial, múltiples ventajas. Casi siempre está libre de bacterias y no contiene materia en suspensión. Es clara y sin color. Normalmente no presenta contaminación producida por desechos industriales o aguas negras, excepto en los acuíferos fisurados, en los que ésta puede penetrar con facilidad a su interior, a través de grietas o fracturas.

2.1.1.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS NATURALES.

La composición de un agua puede contemplarse desde diferentes puntos de vista: químico, bacteriológico, isotópico, etc. En lo que sigue se hará referencia exclusiva a la composición química entendiendo por tal el conjunto de sustancias (generalmente inorgánicas) incorporadas al agua por procesos naturales. Las sustancias orgánicas disueltas en agua, aunque frecuentes, aparecen en concentraciones por lo común mucho menores que los constituyentes inorgánicos. (*Lagrange, B. 1979.*)

La composición química del agua subterránea natural se define a partir de los análisis de muestras recogidas adecuadamente y se cuantifica por medio de la concentración de cada constituyente analizado. Aunque son más de 60 los constituyentes y propiedades del agua subterránea natural que pueden encontrarse cuantificados en análisis químicos, por lo general y en estudios convencionales, sólo se determinan entre 10 y 20 parámetros fundamentales. (*Lagrange, B. 1979.*)

La incorporación de los constituyentes al agua en variedad y concentraciones diferentes es posible debido a su elevado poder disolvente y a sus propiedades de combinación. Esta incorporación de sustancias al agua comienza incluso antes de que se incorpore al sistema de flujo subterráneo propio de cada acuífero. Gases, aerosoles, polvo y sales diversas presentes en la atmósfera, reaccionan con el agua marcando el primer esbozo de la composición química del agua de infiltración. (*Lagrange, B. 1979.*)

Una vez infiltrada, con unas características químicas definidas originadas en la atmósfera o en la superficie del terreno por evapotranspiración, el agua puede sufrir modificaciones drásticas en su composición como consecuencia de un conjunto de interacciones físicas, químicas y biológicas complejas con el medio. Los factores que condicionan entonces la composición del agua subterránea natural son múltiples. Entre ellos cabe citar: naturaleza y disposición espacial de los materiales con los que el agua entra en contacto, superficie y duración del contacto, temperatura, presión, existencia de gases, grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporables. (*Lagrange, B. 1979.*)

Aunque la composición media del agua subterránea suele considerarse invariable en un acuífero o porción del mismo, no debe olvidarse que las interacciones agua-medio, que determinan dicha composición, son procesos dinámicos que se desarrollan, a ritmo diverso, tanto en el espacio como en el tiempo. En consecuencia, la composición del agua subterránea natural debe contemplarse con la perspectiva de su posible variación espacio-temporal. Una composición química concreta por lo tanto no queda completamente definida si no se refiere a un lugar y momento determinados. (*Lagrange, B. 1979.*)

Como consecuencia de su composición y de acciones naturales externas el agua presenta una serie de características fisicoquímicas que junto con sus constituyentes se analizan en los párrafos que siguen.

2.1.1.2 SUSTANCIAS QUE SE ENCUENTRAN DISUELTAS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA NATURAL.

El agua subterránea natural es una solución muy diluida, cuando las sustancias minerales se disuelven en ella, se separan para quedar entonces como partículas cargadas eléctricamente denominadas iones, por lo tanto la mayoría de las sustancias disueltas encuentran en estado iónico. (*Lagrange, B. 1979.*)

Normalmente los análisis de calidad de agua se expresan como concentraciones de iones individuales. Cuando se habla de cloruros en el agua, se entiende la cantidad de cloruros

presentes, independientemente que estos provengan del cloruro de sodio, cloruro de calcio o cloruro de magnesio. (*Lagrange, B. 1979.*)

A pesar de la gran variabilidad de los elementos presentes en el agua subterránea y de sus concentraciones, éstos han sido clasificados por su frecuencia de aparición y valor de concentración decreciente en:

Constituyentes mayoritarios o fundamentales

Aniones: HCO_3^- ; Cl^- ; SO_4^{2-} ; NO_3^-

Cationes: Ca^{+2} ; Mg^{+2} ; Na^+ ; K^+ ; NH_4^+

Otros: CO_2 ; O_2 ; SiO_2

Constituyentes minoritarios o secundarios

Aniones: F^- ; S^{-2} ; SH^- ; Br^- ; I^- ; NO_2^- ; PO_4^{-3} ; BO_3^-

Cationes: Mn^{+2} ; Fe^{+2} ; Li^{+1} ; Sr^{+2} ; Zn^{+2}

Constituyentes traza

Al^{+3} ; Ti^{+4} ; Co^{+2} ; Cu^{+2} ; Pb^{+2} ; Ni^{+2} ; Cr^{+3}

Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que en condiciones particulares un constituyente minoritario puede alcanzar rangos de concentración que permitan incluirlo dentro de los mayoritarios. En un agua natural dulce estos constituyentes aparecen por lo general en forma iónica (sales casi totalmente dissociadas) con menor frecuencia se presentan en forma molecular, parcialmente dissociadas o como iones complejos de sustancias orgánicas o inorgánicas. (*Lagrange, B. 1979.*)

Muchos de los componentes del agua, iónicos y no iónicos, le aportan características distintivas a las que se denominan propiedades. Las propiedades más importantes son:

Dureza, Densidad, Temperatura, Alcalinidad,
Turbidez, Acidez, Color, Sabor y Olor, Demanda de Oxígeno,
Sólidos disueltos totales, pH, Conductividad Eléctrica,

Las aguas subterráneas llamadas dulces contienen como máximo 1000 o quizá 2000 ppm de sustancias disueltas; si el contenido es mayor, por ejemplo hasta 5000 ppm se llaman aguas salobres y hasta 40000 ppm aguas saladas. No es raro encontrar aguas que superen los 40000 ppm de sustancias disueltas, llegando a veces hasta 300000 ppm. A estas aguas se les llama salmueras y están asociadas con frecuencia a depósitos salinos. (*Lagrange, B. 1979.*)

A continuación se hace una breve exposición de las características principales de los constituyentes más significativos.

2.1.1.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS SUSTANCIAS DISUELTAS EN LAS AGUAS SUBTERRANEAS NATURALES.

2.2.1.3.1 CONSTITUYENTES MAYORITARIOS

➤ Ión Cloruro (Cl⁻):

Estas sales son en general muy solubles, muy estable en disolución y muy difícilmente precipitable. No se oxida ni se reduce en aguas naturales. En general va asociado al ión sodio (Na⁺), en especial en aguas muy salinas, pero el número de miliequivalentes de ambos iones no es necesariamente igual. (*Davies, (1985)*)

Proviene de la disolución de rocas suelos, en especial evaporitas, se presenta por contaminación de desperdicios y desagües, En aguas dulces son normales concentraciones entre 10 y 250 ppm, no siendo raro encontrar contenido mucho mayores, hasta varios miles de ppm. El agua de mar tiene entre 18,000 y 21,000 ppm. Las salmueras naturales pueden llegar a tener hasta 220,000 ppm (saturación). Concentraciones de más de 300 ppm comunican sabor salado al agua de bebida, pero no es perjudicial por lo menos hasta algunos miles de ppm. Es esencial para la vida. Contenidos elevados son perjudiciales para muchas plantas y comunican corrosividad al agua. (*Davies, (1985)*)

El rango de concentración usual en las aguas naturales subterráneas se mantiene por debajo de los 100 mg/l. encontrándose los valores más frecuentes entre 20 y 60 mg/l.

➤ **Ión Sulfato (SO_4^{-2}):**

Estas sales son moderadamente solubles a muy solubles, excepto las de Sr^{+2} (60 ppm) y de Ba^{+2} (2 ppm). En agua pura el CaSO_4 satura a 1,500 ppm, y puede llegar hasta 7,200 ppm en aguas salinas. Es difícilmente precipitable químicamente ya que las sales solubles de Sr^{+2} y Ba^{+2} son muy escasas en la naturaleza, pero puede separarse de la solución por concentración si existe una evaporación importante. (*Davies, (1985)*)

Proviene de la oxidación de sulfuros que se encuentran ampliamente distribuidos en rocas ígneas y sedimentarias, de la descomposición de sustancias orgánicas. Comúnmente se presenta en aguas de drenaje de minas y en algunos desechos industriales. (*Davies, (1985)*)

En aguas dulces son normales concentraciones entre 2 y 15 ppm, pudiendo llegar hasta 5000 ppm en aguas salinas si existe Ca y hasta 200,000 ppm si está asociado a Mg^{+2} y Na^+ en ciertas salmueras. El agua de mar contiene alrededor de 3000 ppm.

Las aguas selenitosas (elevado contenido en sulfatos) no quitan la sed y tienen sabor poco agradable y amargo. Por si mismo o si va asociado a Mg^{+2} o Na^+ en cantidad importante puede comunicar propiedades laxantes. En cantidades elevadas puede ser perjudicial a las plantas. Más de algunos centenares de ppm perjudican a la resistencia del hormigón y cemento.

➤ **Anhídrido carbónico (CO_2), Ion Bicarbonato (HCO_3^-) y Ion Carbonato (CO_3^{-2}):**

El CO_2 disuelto en agua procede fundamentalmente de la zona edáfica (respiración de organismos y descomposición de la materia orgánica). (*Davies, (1985)*)

El anhídrido carbónico disuelto en agua y los diversos compuestos que forma en ella juegan un papel importantísimo en la química del agua. El anhídrido carbónico se disuelve en el agua, una parte permanece en disolución en forma de gas mientras otra reacciona con el agua para dar ácido carbónico (H_2CO_3) que se disocia parcialmente para dar iones carbonato y bicarbonato, Estos iones comunican alcalinidad al agua en el

sentido que dan capacidad de consumo de al crear una solución tampón. No son oxidables ni reducibles en aguas naturales.

Proviene de la incorporación del bióxido de carbono en el agua y de la disolución de rocas carbonatadas como la caliza y la dolomita, El ión bicarbonato HCO_3^- varía entre 50 y 350 ppm en aguas dulces pudiendo llegar a veces hasta 800 ppm. El agua de mar tiene alrededor de 100 ppm. (*Davies, (1985)*)

El ión carbonato CO_3^{2-} está en concentraciones mucho menores que el ión bicarbonato y si el $\text{pH} < 8.3$ se le considera cero. En aguas alcalinas con un $\text{pH} > 8.3$ puede haber cantidades importantes, hasta 50 ppm en algunas aguas naturales. El agua de mar tiene menos de 1 ppm.

No presentan problemas de toxicidad, las aguas carbonatadas sódicas son malas para riego, debido a la fijación del sodio en el terreno y creación de un medio alcalino. El equilibrio entre CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-} y pH es determinante de la corrosividad o incrustividad. (*Davies, (1985)*)

➤ **Ión Nitrato (NO_3^-), Ion Nitrito (NO_2^-) y Ion Amonio (NH_4^+):**

Los compuestos nitrogenados presentes en las aguas naturales están íntimamente relacionados con el ciclo del nitrógeno. La mayor parte del nitrógeno aparece en forma gaseosa en la atmósfera (78% en volumen), en forma oxidada constituye una relativamente importante fracción en los suelos y sustancias orgánicas (tejidos de animales o vegetales que lo extraen de la atmósfera para su metabolismo). En las rocas, sin embargo, sólo se presenta como elemento minoritario. (*Davies, (1985)*)

El nitrógeno puede aparecer en forma de NH_3 y NH_4^+ y, por oxidación, estas formas reducidas pueden transformarse en N_2 , (gas) y, finalmente, en NO_3^- que es la forma más usual y estable en que el nitrógeno se presenta en las aguas subterráneas.

Los nitratos pueden estar presentes en las aguas subterráneas bien como resultado de la disolución de rocas que los contengan, lo que ocurre raramente, bien por la oxidación bacteriana de materia orgánica. Su concentración en aguas subterráneas no

contaminadas varía ampliamente aunque no suele sobrepasar los 10 mg/l. *(Davies, (1985))*

El origen de los nitratos en las aguas subterráneas no siempre es claro. Son relativamente estables pero pueden ser fijados por el terreno o ser reducidos a N_2 o NH_4^+ en ambientes reductores. Sus sales son muy solubles y por lo tanto es muy difícilmente precipitable. A menudo son indicadores de contaminación alcanzando entonces elevadas concentraciones y presentando, por regla general, una estratificación clara con predominio de las concentraciones más elevadas en la parte superior de los acuíferos libres. *(Davies, (1985))*

Concentraciones entre 0.1 y 10 ppm son normales, pero en aguas polucionadas puede llegar a 200 ppm y en algún caso hasta 1000ppm. Concentraciones elevadas en aguas de bebida pueden producir cianosis en los niños y comunican corrosividad (oxidaciones) al agua y producen interferencias en fermentaciones. *(Davies, (1985))*

El ión nitrito (NO_2^-) puede estar presente en las aguas bien como consecuencia de la oxidación del NH_3 como resultado de la reducción microbiana o no, de los nitratos. Su presencia en el agua ha de considerarse como un indicio fundado de una posible contaminación reciente (dada su inestabilidad) y, tal vez, de la impotabilidad del agua debida a la toxicidad de este ión, consecuencia de su acción metahemoglobizante o hipotensiva. *(Davies, (1985))*

No obstante, la sola presencia de NO_2^- y NH_4^+ en el agua subterránea, no debe ser considerada como resultado de una contaminación sin analizar las posibles causas de su presencia, dado que en un acuífero las condiciones de oxidación no son siempre favorables y estos iones, incorporados de manera natural al acuífero, pueden mantenerse durante cierto tiempo en equilibrio con su forma oxidada, el NO_3^- . *(Davies, (1985))*

Generalmente el NH_4^+ o el amoniaco libre, NH_3 , aparecen sólo como trazas en aguas subterráneas naturales, aumentando su concentración cuando el medio es fuertemente reductor. Este compuesto es el producto final de la reducción de sustancias orgánicas o inorgánicas nitrogenadas que naturalmente se incorporan al agua subterránea. *(Davies, (1985))*

Dado que la presencia de amonio favorece la multiplicación microbiana su detección en cantidad significativa en el agua se considera como indicación de contaminación reciente probable. (*Davies, (1985)*)

➤ **Sílice (SiO₂):**

El origen fundamental de la sílice en el agua subterránea debe buscarse en los procesos de hidrólisis de feldspatos y silicatos en general. El cuarzo o la sílice amorfa, por su baja solubilidad fuertemente dependiente de la temperatura, no son fuentes significativas del SiO₂ del agua subterránea. (*Davies, (1985)*)

Aunque la sílice disuelta suele representarse como SiO₂ en la mayoría de las aguas naturales aparece como H₄SiO₄, monomérico que no comienza a disociarse hasta valores de pH superiores a 9, siendo su solubilidad prácticamente independiente del pH hasta dicho valor.

Por lo general la concentración de SiO₂ en aguas subterráneas sobrepasa 3-8 mg/l. (solubilidad del cuarzo a 25°C) pero en ocasiones puede aproximarse a 100 mg/l. El valor medio, sin embargo, oscila entre 17 y 25 mg/l.

➤ **Ión Sodio (Na⁺):**

El sodio es liberado por la meteorización de silicatos tipo albita (NaAlSi₃O₈) y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos en que se presenta fundamentalmente como NaCl. (*Davies, (1985)*)

Una fuente importante de Na⁺ la constituyen los aportes de agua marina en regiones costeras, tanto por fenómenos de intrusión en acuíferos costeros como por infiltración del agua de lluvia a la que se incorpora desde el mar.

Las sales de Na⁺ son altamente solubles y tienden a permanecer en solución ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación como ocurre en el caso del Ca⁺². Sin embargo, el Na⁺ puede ser adsorbido en arcillas de elevada capacidad de cambio

catiónico y puede ser intercambiado por Ca^{+2} provocando una disminución de la dureza de las aguas (ablandamiento natural). (*Davies, (1985)*)

La presencia de sodio en cantidades elevadas es muy perjudicial para la agricultura ya que tiende a impermeabilizar los suelos, especialmente en zonas de drenaje deficiente: la presencia de Ca^{+2} y Mg^{+2} atenúa este efecto.

La concentración de Na^{+} en aguas naturales es muy variable, pudiendo alcanzar hasta 120,000 mg/l. en zonas evaporíticas; Entre 1 y 50 ppm en aguas dulces, raramente sobrepasa 100 ó 150 mg/l en aguas dulces normales.

➤ **Ion Potasio (K^{+}):**

Procede de la meteorización de feldspatos y ocasionalmente de la solubilización de depósitos de evaporitas, en particular de sales tipo silvina (KCl) o carnalita ($\text{KClMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). (*Davies, (1985)*)

El potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en las superficies de minerales con alta capacidad de intercambio iónico, por ello su concentración en aguas subterráneas naturales es generalmente mucho menor que la del Na^{+} a pesar de que su contenido en las rocas es por lo común ligeramente inferior a la del Na^{+} . (*Davies, (1985)*)

En aguas subterráneas naturales el contenido K^{+} no suele sobrepasar 10 mg/l. aunque en casos excepcionales pueden alcanzarse 100,000 mg/l. (salmueras). El agua de mar tiene alrededor de 400 ppm. Cantidades de K^{+} por encima de 10 mg/l. pueden, en ocasiones, ser indicio de contaminación por vertidos de aguas residuales. (*Davies, (1985)*)

No presenta problemas especiales a las concentraciones habituales y es un elemento vital para las plantas.

➤ **Ión Calcio (Ca^{+2})**

El calcio suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En rocas ígneas aparece

como constituyente esencial de los silicatos, especialmente en el grupo de las plagioclasas. Su química va muy asociada a la de los iones HCO_3^- y CO_3^{2-} en muchas aguas naturales, pudiéndose precipitar y disolver con facilidad al cambiar el pH o la presión parcial de CO_2 . (Davies, (1985))

Proviene de casi todo tipo de suelos y rocas pero en especial de la caliza, la dolomita y el yeso. En rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonato: CaCO_3 , (calcita y aragonito), $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomita) o de sulfato: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso) o CaSO_4 , (anhidrita). (Davies, (1985))

El intercambio iónico entre el Ca^{+2} y otros cationes (Na^+ fundamentalmente), retenidos en la superficie de minerales con los que entra en contacto el agua, se potencia notablemente en terrenos arcillosos de baja permeabilidad. (Davies, (1985))

La concentración de Ca^{+2} varía ampliamente en las aguas subterráneas. Concentraciones entre 10 y 250 mg/l. son frecuentes en aguas dulces mientras que en aguas de terrenos yesíferos pueden llegar a 600 mg/l. y en salmueras de CaCl_2 , hasta 50.000 mg/l, El mayor inconveniente va asociado al aporte de dureza. (Davies, (1985))

➤ **Ión Magnesio (Mg^{+2}):**

El magnesio, menos abundante que el Ca^{+2} en las aguas naturales, procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomías y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de Silicatos ferromagnesianos, así como de agua marina. (Davies, (1985))

La solubilidad de la magnesita (MgCO_3) en las aguas subterráneas naturales es mayor que la de la calcita (CaCO_3) por lo que, en condiciones normales, el MgCO_3 no precipita directamente de la disolución de modo que, para un período dilatado de tiempo, puede producirse cierto grado de sobresaturación respecto a los diferentes carbonatos magnésicos. (Davies, (1985))

Los procesos de intercambio iónico influyen también en las concentraciones de Mg^{+2} en aguas subterráneas. En ellas el Mg^{+2} es retenido con preferencia al Ca^{+2} en suelos y rocas, En aguas dulces naturales el contenido en ión Mg^{+2} no suele sobrepasar 40 mg/l.

En terrenos calcáreos pueden rebasarse a veces 100 mg/l. y en terrenos evaporíticos pueden alcanzarse valores de 1000 mg/l, Tiende a dar propiedades laxantes y sabor amargo al agua de bebida si algunos centenares de ppm. Contribuye a la dureza del agua y además de pH elevado puede dar $Mg(OH)_2$ incrustante. (*Davies, (1985)*)

➤ **Oxígeno disuelto (O_2):**

La determinación del oxígeno disuelto es práctica cada vez más frecuente en los análisis químicos de agua. Su importancia deriva del hecho de su capacidad de oxidación de diferentes tipos de constituyentes que se encuentran en forma reducida y de modificar, en consecuencia, la solubilidad de los mismos. (*Davies, (1985)*)

En último término la fuente de oxígeno disuelto en aguas en contacto con el aire es la atmósfera, una fuente indirecta es también el proceso de fotosíntesis.

Produce un medio oxidante y juega un papel de gran importancia en la solubilización o insolubilización de iones que cambian con facilidad de valencia así como en la actividad de los microorganismos. Su ausencia produce un medio llamado anaerobio. Se consume con facilidad si existen sustancias oxidables, tales como materias orgánicas, Fe^{+2} , NH_4^+ , NO_2^- , etc. En especial por acción biológica. (*Davies, (1985)*)

El contenido en oxígeno disuelto sirve como indicador de las condiciones bioquímicas del agua en un lugar y momento determinado. Aunque la convicción generalizada era que el oxígeno disuelto se consumía en procesos de oxidación de materia orgánica en la parte superior de la zona no saturada, existen evidencias, aún no completamente explicadas, de que el contenido en oxígeno disuelto en aguas subterráneas profundas puede ser notable. (*Davies, (1985)*)

La concentración de O_2 normal en aguas subterráneas puede llegar incluso a valores de saturación, variables en función de la presión y la temperatura (13.3 mg/l. a $10^\circ C$. 7.6 mg/l. a $30^\circ C$). Sin embargo las aguas anóxicas son frecuentes.

La concentración a saturación del oxígeno en el agua en contacto con el aire es del orden de 10 ppm. Previamente a la infiltración, el agua puede estar incluso

sobresaturada en oxígeno, pero en el terreno el oxígeno se consume y su renovación es difícil o imposible, la mayoría de las aguas subterráneas tienen entre 0 y 5 ppm, frecuentemente por debajo de 2 ppm. *(Davies, (1985))*

El mayor problema que presenta el oxígeno disuelto en el empleo del agua es que produce corrosividad. Su ausencia puede ser origen de malos gustos (fermentaciones anaerobias). *(Davies, (1985))*

2.2.1.3.2 CONSTITUYENTES MINORITARIOS

➤ Ion Fluoruro (F⁻):

Se encuentra diseminado en cantidades muy pequeñas, en casi todo tipo de rocas y suelos y parece estar relacionado con la alteración de rocas plutónicas. Al parecer contribuye ligeramente a la alcalinidad del agua pues se hidroliza ligeramente.

Concentraciones frecuentes se presentan entre 0.1 y 1 ppm, raramente sobrepasa 2 mg/l. El flúor es esencial para la estructura ósea y dental de los animales superiores y el hombre. En contenidos superiores a 1 mg/l. puede ser nocivo mientras que si no está presente o su concentración es ínfima pueden producirse caries. *(Davies, (1985))*

➤ Ion Bromuro (Br⁻):

Se comporta de modo similar al Cl⁻ pero es mucho menos abundante. Concentraciones en general de menos de 0.01 ppm en aguas dulces, en agua de mar está en concentraciones de 65 mg/l. La relación Cl⁻/Br⁻ es generalmente mucho mayor en aguas continentales que en el agua del mar. *(Davies, (1985))*

➤ El Boro (B):

A pesar de ser un constituyente minoritario en la mayoría de las aguas, es esencial en pequeñas cantidades para el crecimiento de las plantas. En concentraciones excesivas es perjudicial tanto en los suelos como en las aguas de riego pudiendo ser tóxico para ciertas plantas en concentraciones relativamente bajas. Procede de la alteración de rocas

ígneas, gases volcánicos, agua marina - que contiene 4.6 mg/l. de este elemento y desde la que puede vaporizarse - terrenos evaporíticos y de detergentes. (*Davies, (1985)*)

Concentraciones en general menores de 0. 1 ppm pero a veces puede llegar a 10 y excepcionalmente a 30. El agua del mar contiene 4. 6 ppm en B. Puede ser elevado en aguas antiguas y termales, en pequeñas cantidades ya es nocivo para las plantas, pero no en el agua de bebida. (*Davies, (1985)*)

➤ **Ion Fosfato (PO^{-3}):**

Al igual que el nitrato, es un nutriente esencial para las plantas pero se encuentra en concentraciones mucho menores que este, probablemente por su acusada tendencia a formar iones complejos y compuestos de baja solubilidad con un extenso número de metales y por ser adsorbido por sedimentos hidrolizados, especialmente minerales de la arcilla, en el suelo.

Las principales fuentes de fosfatos se asocian a la explotación de rocas ígneas o sedimentarias marinas que contienen este elemento, a la industria de manufacturación de fertilizantes fosfatados, a las aguas residuales de origen urbano (detergentes) o ganadero.

Aunque presente sales solubles, la mayoría lo son muy poco y en general se precipita como $(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3$. Se hidroliza con facilidad y contribuye a la alcalinidad del agua. La presencia de calcio limita su contenido y el CO_2 disuelto lo favorece, concentraciones normales están en general entre 0. 01 y 1 ppm, pudiendo llegar a 10 ppm y excepcionalmente a 50. (*Davies, (1985)*)

➤ **El hierro (Fe):**

Es un elemento esencial para el metabolismo de animales y plantas. En aguas subterráneas suele encontrarse en forma de Fe^{+2} aunque puede presentarse como Fe^{+3} . FeOH^{+2} FeOH^{+} en función del pH, contenido en oxígeno y dependiendo a menudo del contenido del agua en otros elementos (carbonatos. bicarbonatos. sulfatos) (*Davies, (1985)*)

La concentración de este elemento en el agua está controlada por procesos de equilibrio químico como oxidación-reducción, precipitación y disolución de hidróxidos, carbonatos y sulfuros, formación de complejos especialmente con materia orgánica y también por la actividad metabólica de animales y plantas. *(Davies, (1985))*

Valores de concentración de hierro entre 1 y 10 mg/l. pueden ser comunes aunque aguas con pH entre 6 y 8 pueden presentar concentraciones de hasta 50 mg/l. cuando los bicarbonatos se encuentran por debajo de 61 mg/l. Lo más normal es que se encuentre en concentraciones inferiores a 0.1 mg/l. *(Davies, (1985))*

➤ **El manganeso (Mn):**

Es esencial para el metabolismo de las plantas. Aunque suele pensarse que su comportamiento es similar al del hierro, existen notables diferencias. Se puede encontrar en forma de Mn^{+2} o en forma de complejo ($MnHCO_3^+$). Por regla general se encuentra en concentraciones inferiores a las del hierro. En cantidades apreciables produce sabor desagradable en el agua lo que evita a menudo su ingestión en grandes dosis, que podría afectar al sistema nervioso central. *(Davies, (1985))*

2.1.1.4 CARACTERÍSTICAS FISÍCOQUÍMICAS DE EL AGUA SUBTERRANEA NATURAL

El agua subterránea natural, como consecuencia de su composición química y de acciones naturales externas, presenta una serie de propiedades o características fisicoquímicas: color, turbidez, sabor, temperatura, conductividad eléctrica., dureza, etc. Estas propiedades varían en el espacio y en el tiempo. *(Lagrange, B. 1979.)*

A continuación se describen las más representativas.

➤ **Temperatura:**

La temperatura del agua subterránea, en un punto y momento determinado, representa un estado de equilibrio entre los "aportes" y las "extracciones" caloríficas en ese punto.

A efectos prácticos, puede considerarse que en los acuíferos existe una "zona neutra", de temperatura constante, por encima de la cual la influencia térmica más significativa es la de las variaciones diarias o estacionales de la temperatura ambiente. Por debajo de esta zona el factor preponderante es el "gradiente geotérmico" o variación de la temperatura con la profundidad que, en áreas continentales, se considera normal cuando es de 3°C/100 m. (*Lagrange, B. 1979.*)

La distribución espacial de temperaturas en un acuífero depende de la conductividad térmica e hidráulica del medio, de la relación longitud/profundidad de la cuenca, configuración del nivel freático, distribución de la temperatura ambiente respecto a las zonas de recarga y descarga. etc. (*Lagrange, B. 1979.*)

En cualquier caso, la temperatura de las aguas subterráneas es muy poco variable. Sin embargo, éste es un parámetro importante en lo que se refiere al control de la composición química de las aguas, en particular cuando entre áreas diferentes del acuífero existen notables diferencias de temperatura que pueden influir en la solubilidad de determinadas sustancias. (*Lagrange, B. 1979.*)

➤ **Conductividad. residuo seco y total de sólidos disueltos**

Como consecuencia de su contenido iónico, el agua se hace conductora de la electricidad. A medida que la concentración iónica aumenta, aumenta también hasta cierto límite la conductividad (C) o capacidad de un agua para conducir la corriente eléctrica. La unidad de medida de conductividad es $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens/cm). (*Lagrange, B. 1979.*)

La variación de temperatura modifica notablemente la conductividad. Para disoluciones diluidas se estima que el aumento de temperatura en 1°C se traduce en un aumento de alrededor del 2% en la conductividad. (*Lagrange, B. 1979.*)

Se denomina "residuo seco" (RS) a las sustancias que permanecen después de la evaporación de un volumen determinado de agua, generalmente un litro, una vez eliminadas las que hubieran estado en suspensión. (*Lagrange, B. 1979.*)

El total de sólidos disueltos (TSD) mide el peso de todas las sustancias disueltas en el agua, sean o no volátiles. Aunque residuo seco y total de sólidos disueltos suelen tomarse como sinónimos, no son exactamente equivalentes debido a los procesos de deshidratación, pérdida de CO₂, etc. que se producen al calentar el agua, hasta 110 ° C por lo general, para determinar el residuo seco. (*Lagrange, B. 1979.*)

Diversos factores (tipo de ión, grado de disociación. movilidad iónica. etc.) determinan que no exista una relación estrecha entre conductividad y TSD Ó RS. En todo caso, se han propuesto diferentes relaciones de proporcionalidad entre estos parámetros.

Los valores de conductividad de las aguas subterráneas naturales varían considerablemente. Valores normales en aguas dulces oscilan entre 100 y 2000 µS/cm: en Salmueras pueden alcanzarse valores de 100,000 µS/cm. (*Lagrange, B. 1979.*)

➤ **pH**

El pH aumenta con el aumento de temperatura hasta en un 8% por lo que debe referirse a la temperatura de medida in situ.

Por regla general el pH de las aguas naturales se mantiene entre 6.5 y 8, aunque excepcionalmente puede variar entre 3 y 11. El pH juega un papel importante en muchos procesos químicos y biológicos de las aguas subterráneas naturales (equilibrio carbonatado, procesos redox). Es fácilmente alterable por lo que su determinación debe hacerse en el momento de la toma de muestra. (*Lagrange, B. 1979.*)

La medida de pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua; se utiliza en las determinaciones de alcalinidad y CO₂

➤ **Alcalinidades TAC v TA**

La alcalinidad de un agua determina su capacidad para neutralizar ácidos. Esta capacidad debe definirse, pues, para ciertos rangos de pH. Así la alcalinidad TAC mide la capacidad de neutralización hasta pH = 4.5 y la alcalinidad TA hasta pH = 8.3. (*Lagrange, B. 1979.*)

En la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad está producida prácticamente por los iones carbonato y bicarbonato aunque, en ocasiones, otros ácidos débiles como el silícico, fosfórico, bórico y ácidos orgánicos pueden contribuir de forma notable al desarrollo de esta propiedad. El valor de TAC está comprendido por lo común entre 100 y 300 mg/l. de CaCO₃ mientras el de TA suele oscilar entre 0 y 10 mg/l. de CaCO₃ (*Lagrange, B. 1979.*)

➤ **Dureza**

La dureza de un agua mide la capacidad de ésta para consumir jabón o producir incrustaciones. Aunque en la reacción con jabón para producir compuestos insolubles pueden intervenir Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Ba, Zn. etc. Actualmente la dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como CaCO₃ en mg/l. (métodos normalizados para el análisis de agua potables y residuales. (*Lagrange, B. 1979.*)

Menos utilizados son los términos dureza permanente y dureza temporal que representan la parte de la dureza asociada al Cl⁻ y SO₄⁻² y la parte asociada a las especies carbónicas, respectivamente. (*Lagrange, B. 1979.*)

Al igual que el TA y el TAC la dureza suele expresarse bien en mg/l de CaCO₃. La dureza de las aguas subterráneas naturales varía generalmente entre 10 y 300 mg/l de CaCO₃ pudiendo llegar a 2000 o más. Las aguas duras son, por lo general, incrustantes en tanto que las blandas suelen ser agresivas. (*Lagrange, B. 1979.*)

➤ **Demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La demanda química de oxígeno mide la capacidad de un agua para consumir oxidantes en procesos químicos (materia orgánica oxidable. Fe²⁺, Mn²⁺. NH₃. etc.). En aguas naturales el valor usual de DQO varía desde 1 a 15 mg/l. (*Lagrange, B. 1979.*)

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno precisa para eliminar, por procesos biológicos aerobios, la materia orgánica contenida en un agua. Suele referirse a un periodo de cinco días. En aguas subterráneas por lo general la DBO, suele ser inferior a 1 mg/l de O₂.

2.1.1.5 INCORPORACION DE LOS CONSTITUYENTES A LAS AGUAS SUBTERRANEAS NATURALES

2.1.1.5.1 AMBITOS DE INCORPORACIÓN

Dentro del ciclo hidrológico pueden distinguirse, a grandes rasgos, tres sistemas o ámbitos en que el agua adquiere y ve modificada su composición química: atmósfera, zona no saturada y zona saturada. (*Lagrange, B. 1979.*)

La atmósfera está constituida por gases (N₂, O₂, vapor de agua, CO₂, etc.), aerosoles, polvo atmosférico y sales de diversa procedencia que reaccionan con el agua de lluvia, principal fuente de recarga de los acuíferos, configurando ya la composición química del agua de infiltración. (*Lagrange, B. 1979.*)

En áreas no contaminadas el agua de lluvia presenta por lo general sólo una débil mineralización y una ligera o moderada acidez (pH entre 5 y 6), carácter oxidante y gran capacidad, en consecuencia, de alterar los materiales con los que entre en contacto. (*Lagrange, B. 1979.*)

Situación geográfica, clima, actividad biológica, tipo de suelo, condicionan la composición química del agua de lluvia, tanto en lo que se refiere al tipo de constituyentes como a las concentraciones de éstos.

En la zona no saturada, durante el proceso de infiltración hasta alcanzar el nivel freático la composición química del agua sufre modificaciones radicales como consecuencia de las nuevas condiciones a que el agua está sometida. Entre ellas cabe citar:

- Concentración por evapotranspiración

- Contacto con materiales de acusada capacidad de cesión de elementos solubles al agua al ser hidrolizados.
- Capacidad del suelo para generar gran cantidad de ácidos (H_2CO_3 , ácidos húmicos. etc.)
- Capacidad de la zona edáfica para consumir el oxígeno disuelto en el agua en la oxidación de la materia orgánica.
- Intercambio de gases entre el aire del suelo y el aire exterior

Tanto si el balance entre precipitación y evapotranspiración es positivo como negativo, el agua que se incorpora a la zona saturada presenta, por efecto de la evapotranspiración, mayor salinidad que el agua de precipitación. (*Lagrange, B. 1979.*)

La capacidad del suelo para generar ácidos deriva fundamentalmente de la reacción entre el agua y el CO_2 producido en la oxidación de la materia orgánica, respiración vegetal y microbiana, reacciones anaerobias de reducción de sulfatos o nitratos. La reacción del CO_2 con el agua produce ácido carbónico (H_2CO_3) que es consumido en reacciones de ataque a diversos minerales: calcita, albita, mientras haya aporte continuo de CO_2 . (*Lagrange, B. 1979.*)

Todos estos fenómenos modifican notablemente la composición del agua de lluvia que llega a adquirir, en la zona edáfica y no saturada, su configuración casi definitiva.

Una vez alcanzada la zona saturada, el agua subterránea se incorpora al sistema de flujo propio de cada acuífero realizando recorridos muy variables en función de las características de cada uno de ellos. El conjunto de materiales por los que circula el agua y con los que interacciona constituye el tercer sistema en que el agua adquiere o modifica su quimismo. (*Lagrange, B. 1979.*)

La composición de la roca, aunque muy importante en este sentido, no es determinante en la mineralización del agua subterránea. Pureza, textura, porosidad, grado de fisuración, estructura regional así como presión, temperatura, tiempo de permanencia y de contacto agua-roca, secuencia en que el agua atraviesa determinados minerales,

fenómenos modificadores, pueden tener una influencia decisiva en la adquisición y evolución del quimismo. (*Lagrange, B. 1979.*)

El tipo de flujo tiene una notable transcendencia en la mineralización del agua subterránea. Aguas con largos recorridos suelen presentar, en igualdad de otras circunstancias, una mayor mineralización que aguas de corta circulación. Aguas recogidas en la zona de recarga de un acuífero suelen tener menos sólidos disueltos que un agua de circulación profunda y menos, también, que el agua de descarga del mismo acuífero. (*Lagrange, B. 1979.*)

2.1.1.5.2 MECANISMOS DE INCORPORACIÓN DE SOLUTOS AL AGUA SUBTERRÁNEA NATURAL

La incorporación de solutos al agua está ligada estrechamente a la meteorización de los materiales de la corteza terrestre. Esta incorporación puede realizarse de forma inmediata, por disolución de sales directamente solubles, o tras una serie de transformaciones químico-biológicas previas a la solubilización. (*Lagrange, B. 1979.*)

Cuando un electrolito se disuelve en agua las moléculas de ésta chocan contra las del compuesto arrancando iones de la red cristalina que, a causa de su carga, se unen a las moléculas polarizadas del agua. Si no existe intercambio de reactantes o productos de reacción con el exterior, se produce una incorporación de iones desde el sólido a la fase líquida y un retorno desde la disolución a la superficie del sólido hasta que las velocidades en los dos sentidos se igualan, cuando se alcanza esta igualdad el sistema llega a la condición de equilibrio: a partir de ese momento el sistema no estaría sometido, de modo natural, a cambios de composición química. Aunque en general un sistema acuífero no puede ser considerado, en rigor, un sistema cerrado, partes o subsistemas del mismo reúnen a menudo las condiciones suficientes para poder ser considerados como tales y para que en ellos sean aplicables las leyes del equilibrio químico. (*Lagrange, B. 1979.*)

En contraposición con las sustancias directamente solubles, otras muchas lo son en muy pequeño grado y han de ser transformadas química o biológicamente antes de ser solubilizadas.

Entre los procesos de transformación (alteración o meteorización química) los más significativos son:

- Hidratación o incorporación del agua a la red cristalina de los minerales para formar hidratos. El ejemplo típico es la transformación de la anhidrita (CaSO_4), compacta y relativamente poco soluble, en yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), más soluble.
- Hidrolisis o descomposición de minerales bajo la acción de H^+ y OH^- procedentes de la descomposición del agua. Un ejemplo característico es la ionización de silicatos, relativamente insolubles, que conduce a la solubilización de Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , SiO_4H_4 , así como a la formación de minerales de la arcilla. El proceso depende de la disponibilidad de H^+ .
- Oxidación-reducción. Numerosos elementos poseen diversos estados de oxidación a los que van ligadas propiedades características de cambios de solubilidad en el momento de formar compuestos. Reacciones en que se producen cambios en el estado de oxidación pueden facilitar, entonces, la solubilización de diferentes elementos.

Reacciones de este tipo son las de oxidación de sulfuros, reducción de sulfatos, oxidación-reducción de hierro y manganeso, procesos de nitrificación, etc. Aunque los conocimientos sobre el particular son escasos, parece fuera de duda que las bacterias son los agentes catalizadores de gran número de reacciones redox.

- Variación del pH. Estas variaciones desempeñan un papel importante en procesos de solubilización de diversas sustancias a través de su influencia sobre las condiciones de hidrolisis, procesos redox, fenómenos de adsorción, etc. La disolución de carbonatos y la hidrolisis de silicatos, así como la formación de iones complejos que puede traducirse en marcadas variaciones de solubilidad, están controladas por el rango de pH en que estos procesos se desarrollan.
- Acciones biológicas. Su interés en el proceso de alteración previo a la puesta en solución de algunos elementos procede de su capacidad de provocar algunas

reacciones a través de cambios de pH. de intervenir como catalizadores disminuyendo la energía de activación de reacciones redox. etc.

Tanto estos mecanismos como los procesos de modificación del quimismo que se describen a continuación pueden tener lugar en diferentes zonas del acuífero, dependiendo su efectividad de las condiciones locales específicas. (*Lagrange, B. 1979.*)

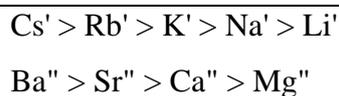
2.1.1.6 FENÓMENOS MODIFICADORES DE LA COMPOSICIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA NATURAL

Una vez incorporados los constituyentes al agua subterránea ésta adquiere una configuración composicional determinada que, sin embargo, no se mantiene invariable durante el recorrido del agua. El grado de modificación de la composición depende del tipo e intensidad de los procesos a que el agua esté sometida, de la posible simultaneidad de los mismos y más frecuentemente, del orden de actuación de aquéllos en el espacio y en el tiempo. (*Lagrange, B. 1979.*)

Los fenómenos modificadores más frecuentes se describen brevemente a continuación:

- Intercambio iónico o proceso por el que algunas sustancias cambian iones por los existentes en el agua, está íntimamente relacionado con procesos de adsorción en arcillas, ciertos óxidos, sustancias orgánicas, etc. La capacidad de cambio de una sustancia se expresa en mili equivalentes de iones intercambiados por cada 100 g de sustancia seca.

Cuando se trata de cationes con la misma Valencia existe un orden de preferencia en la adsorción siendo:



En general, los cationes divalentes son más fuertemente adsorbidos que los monovalentes. Los procesos de intercambio pueden coadyuvar al ablandamiento natural de las aguas (disminución de Ca^{+2} y Mg^{+2}).

- **Concentración.** El aumento de concentración puede producirse tanto por disolución como por hidrolisis, hasta que se alcance el producto de solubilidad de la sal correspondiente. Puede producirse también por evapotranspiración o enfriamiento y por ósmosis. El efecto de la evaporación puede ser muy complejo y conducir a quimismos muy diferentes en función de la composición inicial y de las concentraciones relativas de los elementos disueltos.

Los efectos de evaporación y enfriamiento sólo son significativos en acuíferos someros y especialmente, en las zonas de recarga y/o descarga de acuíferos en áreas de clima relativamente árido.

- **Reducción.** En el apartado anterior ya se hizo referencia a los procesos redox. Uno de los más típicos es la reducción de sulfatos a S^{-2} , S o S_2O , en ambiente reductor bajo acción de bacterias (*Sporovibrio desulfuricans*, etc.) con consumo de O_2 y producción de CO_2 . En aguas que han sufrido reducción de sulfatos se produce una acusada disminución del contenido en ión SO_4^{-2} . Otro ejemplo típico es la reducción de nitratos a N_2 o NH_4^+ .
- **Temperatura.** La temperatura es un parámetro que afecta notablemente a la solubilidad de diferentes sales en el sentido de aumento de solubilidad con el aumento de temperatura.

La calcita y la dolomita, en cambio, presentan mayor solubilidad a menor temperatura, lo que puede tener repercusiones en el quimismo del agua subterránea por la influencia del gradiente geotérmico en acuíferos en que se producen flujos de largo recorrido a profundidades grandes.

- **Mezclas.** Una situación frecuente en la dinámica de las aguas subterráneas es la de mezcla de aguas con diferente contenido iónico. El efecto de ión común puede conducir entonces a la precipitación de ciertas sales como el $CaCO_3$, si se mezcla un agua con concentración en CO_3^{-2} y Ca^{+2} a saturación con otra que haya disuelto yeso (SO_4^{-2} y Ca^{+2}). (*Lagrange, B. 1979.*)

Orden secuencial de interacción, medio de sedimentación, estructura, geometría, cambios de facies en el acuífero, determinan una secuencia de materiales de composición definida con los que el agua entra en contacto. A lo largo del flujo, el agua puede encontrar una secuencia mineralógica completa que da origen a una composición del agua determinada. Si la Secuencia fuera la inversa la composición final del agua subterránea sería, posiblemente, muy distinta. (*Lagrange, B. 1979.*)

De lo expuesto con anterioridad se deduce claramente que la composición de las aguas subterráneas naturales representa una situación dinámica cambiante en el espacio y en el tiempo cuya interpretación ha de realizarse teniendo en cuenta la posible interacción de los procesos y fenómenos citados anteriormente sobre una base geológica e hidrogeológica lo más completa posible. (*Lagrange, B. 1979.*)

2.1.1.7 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS NATURALES

a) Aguas vadasas o meteóricas o recientes

Son las incluidas en el ciclo del agua en la hidrosfera- litosfera- atmósfera. Se las puede caracterizar fácilmente por poseer algunos radio isótopos de vida no muy larga (tritio, radiosilicio, etc.) De origen atmosférico y una composición isotópica similar a la del agua de lluvia. (*Lagrange, B. 1979.*)

En realidad, prácticamente toda el agua de la tierra es meteórica pero sólo se considera como tal la que actualmente interviene en el ciclo y no la que accidentalmente ha sido separada del mismo. Su composición está influida principalmente por la del agua de infiltración y la del material del acuífero. (*Lagrange, B. 1979.*)

b) Aguas marinas

Son las aguas del mar que han invadido recientemente sedimentos costeros. Son similares en composición a la del mar, quizás con mayor dureza y composición isotópica similar. (*Lagrange, B. 1979.*)

c) Aguas fósiles

Son aguas atrapadas en terreno y que permanecen en él durante de miles de años. No es preciso que sean estacionarias sino que basta con que el movimiento sea lento y el recorrido largo. Son aguas en general muy salinas pues el contacto con el terreno y es muy prolongado. Muchas aguas fósiles son en realidad una mezcla de verdaderas aguas fósiles y aguas meteóricas. El término aguas fósiles es en ocasiones utilizado impropriamente y se confunde con aguas meteóricas de elevada salinidad. (*Lagrange, B. 1979.*)

d) Aguas congénitas

Son las aguas atrapadas en el momento de la formación de los sedimento. Esta agua atrapada es expulsada después de la consolidación, pero si la roca final es aún porosa puede quedar parte del agua de imbibición en ella, que es el agua congénita. Con frecuencia estas agua congénitas son desplazadas y se acumulan en otros materiales donde pueden sufrir una mezcla mayor o menor con aguas valdosas; en este caso no se trata de aguas congénitas de la formación sino de aguas emigradas. (*Lagrange, B. 1979.*)

Las aguas congénitas no son necesariamente aguas fósiles, pues pueden corresponder a sedimentos muy recientes. Las aguas congénitas, y también las fósiles y las emigradas, suelen ser fuertemente cloruradas y pueden estar, en relación con el agua de mar de otras épocas, enriquecidas en I⁻, B, SiO₂, NO₃⁻ o NH₄⁺ y Ca⁺² y empobrecidas en SO₄⁻² y Mg⁺². El contenido en deuterio es igual o menor que en el agua del mar y el contenido. En ocasiones pueden ser de temperatura superior a lo normal. (*Lagrange, B. 1979.*)

El agua de los yacimientos de petróleo ha sido interpretada con frecuencia como agua congénita, pero es más adecuado considerarla en muchos casos como agua estancada emigrada.

e) Aguas juveniles, metamórficas, magmáticas y volcánicas

Las aguas *juveniles* son aquellas que proceden del interior de la tierra sin haber estado antes en superficie y su interés es limitado. Muchas aguas consideradas juveniles son

metamórficas, por lo menos en su mayor parte, como lo demuestra la presencia de tritio en ellas. (*Lagrange, B. 1979.*)

Las aguas *metamórficas* son las desprendidas de sedimentos en proceso de metamorfismo, suelen tener contenidos elevados en CO₂, HCO₃⁻ y B, algo elevado en I⁻ y pueden ser menos cloruradas que el agua del mar, aunque el valor absoluto sea elevado; su contenido en deuterio es menor o igual que el del agua. A veces tienen temperaturas elevadas si ganan rápidamente la superficie del terreno. (*Lagrange, B. 1979.*)

Las de origen *magmático* y las *volcánicas* se desprenden de las emisiones de lava, gases volcánicos, etc., y suelen ser de tipo clorurado sódico y tienen contenidos anormalmente elevados de Li⁺, F⁻, SiO₂, B, S⁻², CO₂, y bajos en I⁻, Br⁻, Ca⁺² y NO₃⁻ o NH₄⁺. (*Lagrange, B. 1979.*)

En realidad es difícil distinguir entre estos tipos de agua y su interés es muy limitado, salvo que se relacionen con áreas geotérmicas importantes. Con frecuencia llevan mezcladas cantidades importantes de agua meteórica. (*Lagrange, B. 1979.*)

f) Aguas minerales

Son aguas de composición química muy variada, pero que se caracterizan por poseer elementos en disolución en cantidad notable o grande, que las aguas vadasas normales no poseen. Suelen estar relacionadas con fenómenos volcánicos y orogénicos y muchas veces son termales. Otras veces son simplemente el resultado de circular el agua por terrenos que pueden aportar grandes cantidades de sales solubles, (*Lagrange, B. 1979.*)

g) Aguas saladas y salmueras naturales

En la naturaleza son frecuentes las formaciones que contienen agua salada y salmueras naturales. El problema de su origen ha sido causa de múltiples hipótesis; en general se aceptó en un principio que se trataba simplemente de aguas marinas mezcladas con otras aguas continentales que las diluían. Sin embargo no es raro encontrar aguas

subterráneas cuya mineralización supera notablemente a la actual del agua marina, para las cuales se debe encontrar otro origen. (*Lagrange, B. 1979.*)

En general se acepta actualmente el origen marino de muchas de esas aguas saladas y salmueras pero es preciso admitir que en su larga permanencia en el terreno, con frecuencia de millones de años, han sufrido procesos modificadores que pueden haber alterado su facies original. Entre los posibles procesos modificadores que conducen a un incremento de la salinidad cabe destacar la ultrafiltración, proceso mediante el que un agua forzada a pasar a través de niveles arcillosos continuos, puede dejar atrás gran parte de sus sales; el agua salada o salmuera así originada puede permanecer donde se formó o bien emigrar hacia otras formaciones a merced de la evolución geológica y geohidrológica de los terrenos. (*Lagrange, B. 1979.*)

En otros casos, no tan frecuentes, es posible asociar esas aguas saladas y salmueras a aguas infiltradas de mares interiores en proceso de desecación, o bien a la disolución de las rocas evaporitas que se encontraban entre los sedimentos. En cualquier caso, el largo tiempo de permanencia en el terreno junto con las elevadas presiones y temperaturas en áreas profundas, es un factor que debe ser tenido en cuenta, aunque sea difícil de valorar en el estado actual de conocimientos. (*Lagrange, B. 1979.*)

Localmente pueden originarse aguas saladas y salmueras en áreas geotérmicas que pierden vapor de agua al exterior y más raramente en zonas muy frías en las que la congelación progresiva del agua del terremoto; produce la separación de hielo por un lado y salmuera por otro; dicho fenómeno sólo es potencialmente interesante en acuíferos poco profundos y que contienen agua marina. (*Lagrange, B. 1979.*)

Es frecuente que las aguas saladas y salmueras naturales correspondan a aguas profundas pero no siempre es así, en especial cuando existen niveles permeables profundos con circulación, en cuyo caso en estos niveles se produce un desplazamiento del agua original y un lavado, mientras los niveles menos permeables intermedios siguen reteniendo el agua original. (*Lagrange, B. 1979.*)

2.2 ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA

El agua contiene diversas sustancias químicas, físicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella. Desde el momento en que se condensa en forma de lluvia, el agua disuelve los componentes químicos de sus alrededores a medida que cae a través de la atmósfera, corre sobre la superficie del suelo y se filtra a través del mismo. Además, el agua contiene organismos vivos que reaccionan con sus elementos físicoquímicos. Por estas razones puede ser necesario tratarla a fin de hacerla adecuada para su uso. El agua que contiene ciertas sustancias químicas u organismos microscópicos puede ser perjudicial para determinados procesos industriales y al mismo tiempo perfectamente idóneo para otros. Los microorganismos causantes de enfermedades (patógenos) del agua la hacen peligrosa para consumo humano. Las aguas subterráneas de áreas con piedra caliza pueden contener un alto contenido de bicarbonato de calcio (dureza) y requerir ablandamiento previo a su uso.

Los requisitos de la calidad del agua se establecen de acuerdo al uso que se destina para el uso de la misma. Por lo común su calidad se juzga como el grado en el cual el agua se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos que fija el usuario. La calidad no es tan fácil medir como la cantidad de agua en virtud de las múltiples pruebas que se necesitan para verificar que se alcanzan estos estándares. Es importante reconocer los requisitos de calidad para cada uso a fin de determinar si se requiere un tratamiento del agua y, de ser así, que procesos se deben aplicar para alcanzar la calidad deseada. Los estándares de calidad del agua también son fundamentales para vigilar los procesos de tratamiento.

El agua se evalúa en cuanto a calidad en términos de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Es necesario que las pruebas que se utilicen para analizarla en relación con cada una de estas propiedades produzcan resultados congruentes y tenga aceptación universal, a fin de que sean posibles las comparaciones significativas con los estándares de calidad del agua.

2.2.1 NORMA REGIONAL CAPRE

El agua para consumo humano no debe ser un vehículo de transmisión de enfermedades, por lo que es importante establecer parámetros y sus límites máximos permisibles para garantizar que sea sanitariamente segura.

El objetivo de la norma de calidad del agua de consumo humano es proteger la salud pública y por consiguiente ajustar eliminar o reducir al mínimo aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua.

2.2.1.1 REQUISITOS DE CALIDAD FISICOQUÍMICOS

Para todos los efectos de regulaciones en la calidad del agua suministrada, los países miembros de CAPRE (Comité de agua para la región) se sujetaran a las normas de calidad de agua para consumo humano, presentadas en la IV reunión del comité regional de calidad de agua (CAPRE), realizada en San Salvador, El Salvador, el 21 de Abril de 1994, que contienen los valores para los parámetros fisicoquímicos (Anexo 7), en sus aspectos organolépticos (Anexo 6).

3.1 HIPÓTESIS

La evaluación preliminar de las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas de la cuenca 72 del municipio de San Juan del Sur, en el mes de Abril de 2013, cumplen con los estándares de calidad de agua establecidos por las normas CAPRE de calidad de agua para consumo humano.

4.1 TIPO DE ESTUDIO

Descriptivo: porque se describen las características fisicoquímicas de las aguas de la cuenca 72 de San Juan del sur, en el departamento de Rivas,

Cuantitativo: ya que se cuantifica por medio de la concentración de cada constituyente analizado, las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas de la cuenca 72 de San Juan del sur, en el departamento de Rivas,

Corte transversal: porque permite medir la prevalencia de un punto específico en el tiempo.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

El estudio se realizó en las aguas subterráneas de la cuenca 72 que se extienden desde el municipio de Tola hasta el municipio de San Juan del sur en el departamento de Rivas, tiene un área aproximada de 325 Km². El clima predominante en esta cuenca es de sabana tropical, de acuerdo a la clasificación climática propuesta por Köppen. Dentro de la cuenca se encuentran suelos aptos para la actividad pecuaria y forestal, la gran parte de la cuenca tiene vocación forestal debido a su topografía accidentada.

4.3 UNIVERSO Y MUESTRA

UNIVERSO: Las aguas subterráneas del departamento de Rivas, en Abril de 2013.

MUESTRA: El agua subterránea de la cuenca 72 de Rio San Juan del departamento de Rivas, en Abril de 2013.

4.3.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas de la cuenca 72 de San Juan del sur, en el departamento de Rivas, en el mes de abril de 2013.

4.3.2 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas de la cuenca 72 de San Juan del sur, en el departamento de Rivas, en tiempo fuera de estudio.
- Las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas de otras cuencas del departamento de Rivas, en el mes de abril de 2013.
- Las características fisicoquímicas de las aguas superficiales del departamento de Rivas en el mes de abril de 2013.

4.4 VARIABLES

4.4.1 ENUMERACIÓN DE LAS VARIABLES

Variables dependientes

- Aspecto (color, olor, sabor)
- pH
- Temperatura
- Conductividad
- Alcalinidad
- Dureza
- Concentración de iones en solución

Variables independientes

- Valor recomendado según normas de calidad de agua.
- Valor máximo admisible según normas de calidad de agua.

4.4.2 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variables Dependientes	Concepto	Unidad de medida	Escala
Aspecto (color, olor sabor)	Apariencia o imagen	Claro – PMS	
pH	Potencial de hidrogeno, escala que representa la acidez relativa de una sustancia	Unidades de pH	0-14
Temperatura	Medida relativa de calor o frío.	°C	0-100
Conductividad	Capacidad de un sistema para transmitir energía.	μS/cm	0-400
Alcalinidad	Es la medida de una propiedad agregada del agua definida como la capacidad del agua para neutralizar ácidos.	mg/l de CaCO ₃	0-100
Dureza	Se define como la suma de las concentraciones de iones calcio y magnesio, diluidos en un cuerpo de agua.	mg/l de CaCO ₃	0-100
Concentración	Relación entre la masa o volumen de un soluto con la masa o volumen del solvente.	mg/l	
Variables Independientes	Concepto	Unidad de medida	Escala
Valor recomendado	Valor el cual es establecido en las normas de calidad para el consumo humano	mg/l	-
Valor máximo admisible	Valor máximo el cual es establecido en las normas de calidad para el consumo humano		-

4.5 MATERIALES Y MÉTODOS

4.5.1 MATERIALES PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN

- Fichas de procesamiento de muestra en el laboratorio.
- Libreta de campo
- Revistas científicas
- Monografías
- Investigaciones científicas
- Resúmenes de textos científicos

4.5.2 MATERIALES PARA PROCESAR INFORMACIÓN

- Microsoft Word 2010
- Microsoft Excel 2010
- Microsoft PowerPoint 2010

4.5.3 MATERIAL DE LABORATORIO

- Bioanalizador de electrodo selectivo ORION model 920 A
- Colorímetro HACH DR/890
- Titulador Brinkmann metrohm

4.5.4 MÉTODOS

Durante la realización de este estudio se asistió a los laboratorio fisicoquímicos de aguas naturales de los laboratorio PIENSA (programa de investigación, estudios nacionales y servicios ambientales), de lunes a viernes en horarios de 8:00 a.m. a 4:00 p.m., se llenaron las fichas de procesamiento de muestra en el laboratorio, mediante se realizaban los métodos experimentales, se procesó y organizo la información en Microsoft Word, se realizó el análisis de la información en tablas. Considerando la caracterización fisicoquímica de la cuenca 72 de San Juan del Sur del mes de Abril de 2013 siendo un tipo de tipo descriptivo, cuantitativo y de corte transversal.

4.6 METODOLOGIA DE CAMPO

4.6.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL NÚMERO DE MUESTRAS

El número de muestras se estableció en base al criterio de número de pozos existentes a lo largo de la cuenca, que establece la norma CAPRE. (Anexo 2)

4.6.2 REQUERIMIENTOS PARA TOMA DE MUESTRAS Y MANIPULACIÓN.

Las muestras fueron recolectadas en cada uno de los puntos determinados, utilizando para su recolección y transporte recipientes de plástico tapados herméticamente, los cuales fueron refrigerados, siguiendo los requerimientos especiales para toma de muestras y manipulación, establecidos en los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, Apartado 1060B, (Anexo 1), los frascos fueron debidamente rotulados para garantizar la cadena de custodia desde el momento del muestreo, durante su traslado al laboratorio en el cual se analizaron las muestras, hasta la emisión del resultado del perfil fisicoquímico de cada muestra.

Tabla 1: Localización de los puntos de muestreo.

ID	COORDENADAS			NOMBRE DEL LUGAR
	X	Y	Z	
1	645781	1237274	137	El Carmen, Sora Caballos, Cardenas
2	645557	1232663	-	Pueblo Nuevo, SJS
3	641066	1225881	42	El Naranjo, SJS
4	639588	1232790	11	San Antonio de Ostional, SJS
5	635256	1228837	-	Ostional, SJS
6	635712	1234532	57	La Tortuga, SJS
7	632835	1231683	17	La Flor, SJS
8	635482	1241935	30	La Libertad, SJS
9	630969	1235287	17.9	Escameca Grande
10	632962	1241341	74	Las Brisas, SJS
11	630556	1238465	36	Escamequita, SJS
12	630287	1246390	126	Miravalle, SJS
13	629269	1243104	116	El Ojochal, SJS
14	624138	1245176	19	Villas de Palermo
15	623883	1245165	23	11 campo de pozos ENACAL frente alcaldía, SJS
16	621582	1246463	35	Nascacolo
17	623311	1249460	90	El Baston, SJS
18	621168	1248188	53	Las Marias, SJS
19	617291	1253356	38	Finca El Talon, Tola SJS
20	613636	1254025	13	Finca Sta. Adela, Tola

4.7 METODOLOGIA DE LABORATORIO

Las muestras recolectadas fueron preservadas y transportadas debidamente a los laboratorios donde se realizaron los análisis fisicoquímicos. El trabajo de laboratorio se realizó en el laboratorio fisicoquímico de aguas naturales de los laboratorios ambientales PIENSA (Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios Ambientales), ubicados dentro del recinto universitario Simón Bolívar, de la universidad nacional de ingeniería (UNI).

A continuación se presentan los métodos utilizados para la determinación de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua recolectadas en la cuenca 72. Estos según lo establecido en los métodos de análisis de la Norma CAPRE (Anexo 6),

Tabla 2: Métodos utilizados para la caracterización fisicoquímica.

PARAMETRO	METODO
Temperatura	Método de laboratorio y campo
Concentración de iones hidrogeno	Electrométrico
Conductividad eléctrica	Electrométrico
Turbiedad	Nefelometrico
Color verdadero	Espectrofotométrico
Alcalinidad	Titulación con H ₂ SO ₄
Bicarbonatos	Titulación con H ₂ SO ₄
Nitratos	Electrodo especifico
Nitritos	Colorimétrico
Cloruros	Electrodo especifico
Hierro total	o-fenantrona
Sulfatos	Nefelometrico turbidimetrico
Dureza	Titulación con EDTA
Calcio	Titulación con EDTA
Magnesio	Por calculo
Sodio	Electrodo especifico
Potasio	Electrodo especifico
Fluoruros	Electrodo especifico

4.8 DESCRIPCION DE LOS METODOS UTILIZADOS

Temperatura Las mediciones de temperatura se realizaron sumergiendo directamente en el cuerpo de agua el termómetro debidamente calibrado y certificado, en caso de no poder sumergirlo directamente en el cuerpo de agua se tomó la temperatura en el recipiente de muestreo lo más pronto posible.

pH el método electrométrico de medición de pH es el más exacto y está relativamente libre de interferencias, para la medición del pH de las muestras se utilizó un electrodo de vidrio debidamente calibrado con soluciones buffer, el electrodo lavado previamente antes de cada medición con agua destilada y luego con la muestra.

Conductividad eléctrica para la determinación de la conductividad eléctrica se utilizó un conductímetro calibrado con soluciones estándar, enjuagando el electrodo entre cada ensayo con agua destilada y con una porción de la muestra.

Color verdadero se utilizó el método espectrofotométrico para medir la absorbancia y determinar el color verdadero en las muestras de agua.

Alcalinidad la alcalinidad de muchas aguas naturales se debe únicamente a bicarbonatos de calcio y magnesio. La alcalinidad se determina por titulación de la muestra con una solución estándar de un ácido mineral fuerte. Este método visual que usa un indicador como la fenolftaleína es satisfactorio para la determinación de la alcalinidad.

Nitritos para la determinación de nitritos en las muestras se utilizó el método colorimétrico, usando reactivos de color buffer, mezclando con cada muestra para permitir el desarrollo de color y luego midiendo la absorbancia por espectrofotometría.

Cloruros se determina por titulación potenciométrica con solución de nitrato de plata usando un sistema de electrodos de vidrio, el cambio de potencial entre los dos electrodos es dictado, el electrodo de plata-cloruro de plata es un electrodo de plata cubierto con cloruro de plata este debe de comprarse certificado.

Hierro total El hierro presente en una solución se reduce a ferroso con la adición de ácido e hidroxilamina y al tratarlo con fenantrolina a un pH entre 3.2 y 3.5, forma complejos de color naranja rojizo. La intensidad del color aumenta con el incremento del contenido de hierro en la muestra.

Sulfatos Se Determina mediante el Método gravimétrico, mediante precipitación con cloruro de bario, es un método muy preciso y aplicable a concentraciones superiores a 10 mg/l. Los resultados previamente precipitados con cloruro bórico, en medio ácido, son secados a 110°C y calcinados a 600°C.

Dureza Este método está basado en la cuantificación de los iones calcio y magnesio por titulación con el EDTA y su posterior conversión a Dureza Total expresada como CaCO₃ La muestra de agua que contiene los iones calcio y magnesio se le añade el buffer de PH 10, posteriormente, se le agrega el indicador eriocromo negro T, que hace que se forme un complejo de color púrpura, enseguida se procede a titular con EDTA (sal di sódica) hasta la aparición de un color azul.

Calcio Se determina añadiendo a una muestra de agua, ácido etilendiaminotetracético (EDTA) o su sal, los iones de Calcio y Magnesio que contiene el agua se combinan con el EDTA. Se puede determinar calcio en forma directa, añadiendo NaOH para elevar el pH de la muestra entre 12 y 13 unidades, para que el magnesio precipite como hidróxido y no interfiera, se usa además, un indicador que se combine solamente con el calcio.

En el análisis de calcio la muestra es tratada con NaOH 4N. Para obtener un pH de entre 12 y 13, lo que produce la precipitación del magnesio en forma de Mg(OH)₂. Enseguida se agrega el indicador muréxida que forma un complejo de color rosa con el ion calcio y se procede a titular con solución de EDTA hasta la aparición de un complejo color púrpura.

Nitratos, Magnesio, Sodio, Potasio, Fluoruros para la determinación se estos iones se utilizó el bionalizador de electrodo selectivo ORION model 920 A, equipo debidamente certificado,

5.1 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Tabla 3: Comparación de los resultados de los parámetros fisicoquímicos con las normas de calidad de agua

Parametro	Numero de muestra																				CAPRE	% de cumplimiento
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Temperatura (°C)	26.2	25.8	31.4	29.4	30.4	27.40	28.3	27.0	27.8	27.7	28.2	26.8	27.4	31.2	30.0	31.4	28.0	28.6	28.2	29.3	18-30	80
pH	6.81	6.93	7.41	7.26	6.89	7.05	7.30	7.51	7.60	7.70	6.88	6.85	7.06	7.72	6.91	7.76	6.71	6.96	6.81	7.13	6,5-8,5	100
Conductividad eléctrica	587	561	533	465	731	528	748	1156	1268	604	629	659	568	729	1026	1191	1150	842	864	805	400	0
Turbiedad (NTU)	0.046	0.046	0.030	0.029	0.045	5.84	0.151	0.076	0.224	0.068	0.031	0.053	0.110	0.027	0.203	62.8	0.211	0.128	0.055	0.132	5	90
Color verdadero (UC)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	1	<1	<1	<1	27	1	<1	4	<1	1,0-15	95
Alcalinidad (mg/l)	293.8	271.4	237	223.2	323.2	244.6	351	272.2	312.6	252.8	286.4	301	318.2	258	265.4	282	363.2	320.4	398.4	314.8		100
Carbonatos (mg/l)			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Bicarbonatos (mg/l)	293.8	271.4	237	223.2	323.2	244.6	351	272.2	312.6	252.8	286.4	301	318.2	258	265.4	282	363.2	320.4	398.4	314.8		100
Nitratos (mg/l)	0.918	1.08	0.858	0.891	1.34	0.788	0.711	0.664	4.15	1.01	1.49	1.51	1.82	2.11	2.31	1.28	1.82	1.23	0.861	3.43	25-50	100
Nitritos (mg/l)	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	0.015	<0.009	<0.009	0.065	<0.009	<0.009	0.066	0.036	<0.009	0.049	0.123	0.013	0.109	0.291	<0.009	0,1-3,0	90
Cloruros (mg/l)	17	16.5	20.6	15.4	40.60	17.3	23.9	196	182	24	23.2	21.8	14.4	31.9	193	97.6	153	58.4	37.3	58.4		100
Hierro total (mg/l)	0.087	0.069	0.060	0.069	0.069	0.115	0.087	0.133	0.115	0.179	0.097	0.106	0.078	0.050	0.158	0.761	0.124	0.032	0.055	0.294	0.3	95
Sulfatos (mg/l)	16.28	16.61	27.89	10.81	11.96	23.97	31.45	23.19	95.86	19.2	23.94	31.44	31.44	33.53	40.18	75.4	41.54	67.46	34.42	27.84	25-250	100
Dureza total (mg/l)	296.40	254.96	227.92	216.88	350.64	246.4	336.16	398.48	470.8	236.48	279.28	304.72	321.04	248.96	330.48	116.8	488.48	362.64	407.04	355.84	400	85
Dureza cálcica (mg/l)	279.44	216.48	199.36	196.72	331.2	221.52	287.32	305.6	381.04	205.8	238.84	266.28	272.06	220.48	300.40	91.92	418.16	331.04	319.44	330.72		95
Calcio (mg/l)	112	86.77	79.90	78.85	132.74	88.79	115.16	122.48	152.72	82.48	95.73	106.73	109.24	88.37	120.4	36.84	167.6	132.68	128.03	132.55	100	40
Magnesio (mg/l)	4.12	9.35	6.94	4.90	4.72	6.05	11.87	22.57	21.81	7.46	9.83	9.34	11.78	6.92	7.31	6.05	17.09	7.68	21.29	6.10	30-50	100
Sodio (mg/l)	4.5	13	18.6	7.5	6.30	10.70	19.1	77.2	78.2	18.7	16.9	14.6	7.90	28	105	236	49.9	37.5	17.6	20	25-200	95
Potasio (mg/l)	0.33	0.274	0.278	0.350	0.240	0.335	0.690	0.766	0.751	2.21	0.639	0.652	0.646	0.493	254	0.570	2.63	0.684	0.695	0.618	10	100
Flúor (mg/l)	0.334	0.343	0.308	0.287	0.329	0.303	0.321	0.326	0.393	0.326	0.311	0.319	0.316	0.314	0.479	0.404	0.387	0.390	0.337	0.326	0,7-1,5	100

La matriz muestra cada una de las veinte mediciones de cada uno de los parámetros fisicoquímicos de los diferentes pozos muestreados, y se comparan con los valores de referencia establecidos por la norma CAPRE

Tabla 4: Matriz de correlación entre parámetros de calidad de agua

	Conductividad	Dureza	Alcalinidad	Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio	pH
Conductividad	1							
Dureza	0.49888386	1						
Alcalinidad	0.379414694	0.681375729	1					
Calcio	0.406470942	0.973552802	0.65367364	1				
Magnesio	0.598399897	0.71013378	0.513551166	0.530500254	1			
Sodio	0.72741473	-0.2073369	-0.05486842	-0.28415496	0.106407835	1		
Potasio	0.235430395	0.05065812	-0.15162567	0.097026782	-0.11097887	0.2872388	1	
pH	0.220464646	-0.38094582	-0.44217036	-0.47023511	0.035424995	0.43851396	-0.17228718	1

La matriz muestra los coeficientes de Pierson, en la correlación de una variable con otra. Los valores positivos cercanos a 1 presentan un alto grado de correlación y los valores negativos cercanos a -1 presentan una correlación inversamente proporcional.

Temperatura

Los datos de temperatura son necesarios para el cálculo de la solubilidad del oxígeno, la identificación de la fuente de agua tal como profundidad de los pozos es a menudo posible por mediciones de temperatura únicamente. La temperatura máxima medida en los pozos de la cuenca 72 fue de 31.4 °C en el punto de muestreo El naranjo y Nascacolo y una mínima de 25.8 °C en el punto de muestreo Pueblo nuevo, encontrándose todas las mediciones dentro del rango establecido por la norma CAPRE.

pH

el efecto del pH sobre las propiedades químicas y biológicas de líquidos hacen su determinación muy importante, el pH de las aguas naturales está gobernado generalmente por el equilibrio dióxido de carbono-bicarbonato. El pH máximo medido fue de 7.76 en el punto de muestreo de Nascacolo y el mínimo fue de 6.71 en el punto de muestreo de El Bastón. El pH a lo largo de la cuenca 72 está dentro de los rangos aceptables según la norma CAPRE.

Conductividad eléctrica

La determinación de la conductividad eléctrica proporciona un medio rápido y conveniente de estimar la concentración de electrolitos, en aguas que contienen principalmente sales minerales esta concentración no será muy diferente de aquella de la materia sólida disuelta. Los valores de conductividad medidos a lo largo de la cuenca 72 exceden todos, el valor máximo permisible establecido por la norma CAPRE, esto sugiere que estas aguas poseen altas concentraciones de iones disueltos. Se midió un valor máximo de 1268 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el pozo de escameca grande y un valor mínimo de 465 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el pozo de San Antonio de Ostional.

Alcalinidad

La alcalinidad de muchas aguas naturales se debe solamente a bicarbonatos de calcio y magnesio. La alcalinidad total es prácticamente idéntica con la dureza de carbonatos. La determinación de la alcalinidad es útil para la dosificación de los productos químicos requeridos en el tratamiento de aguas de abastecimiento. A lo largo de la cuenca se midió un valor mínimo de alcalinidad de 223.2 mg CaCO_3/l en el pozo de san Antonio de ostional y un máximo de 398.4 mg CaCO_3/l en el pozo de la finca el talon.

Nitratos y Nitritos

Los compuestos nitrogenados presentes en las aguas están íntimamente relacionados con el ciclo del nitrógeno. Los nitratos pueden estar presentes como resultado de la oxidación bacteriana de materia orgánica. Los nitritos pueden estar presentes en las aguas como resultado de la reducción microbiana, su presencia en las aguas ha de considerarse como un indicio de una posible contaminación reciente. Los nitritos y nitratos se encuentran en concentraciones aceptables según la norma CAPRE a lo largo de toda la cuenca. Para nitritos encontramos valores <0.009 y un valor máximo de 0.291 mg/l en el pozo de la finca el talón. Para nitratos encontramos un valor máximo de 4.15 mg/l en el pozo de escameca grande y un valor mínimo de 0.644 mg/l en el pozo de la libertad.

Cloruros

El anión cloruro está generalmente presente en aguas naturales, un contenido alto de cloruro puede indicar contaminación por aguas residuales domésticas o intrusión de

agua de mar u otras fuentes salinas, a lo largo de la cuenca se encontraron concentraciones de cloruros dentro del rango de aceptación establecido por la norma CAPRE, encontrando un valor máximo de 196 mg/l en el pozo de la Libertad y un valor mínimo de 14.4 mg/l en el pozo el ojochal.

Hierro total

Los valores de las concentraciones de hierro se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma CAPRE, la norma establece un valor máximo admisible de 0.3 mg/l. encontrándose un valor máximo y fuera de este rango el pozo de Nascacolo con una concentración de 0.761mg/l.

Sulfatos

Los sulfatos en las aguas subterráneas no suelen infringir problemas de potabilidad a estas, pero en ocasiones concentraciones superiores a 300 mg/l pueden ocasionar trastornos gastrointestinales. La norma CAPRE establece un valor máximo permisible de 200 mg/l, a lo largo de la cuenca se encontraron concentraciones que están dentro de lo establecido por la norma CAPRE, encontrando un valor mínimo de 10.81 mg/l en el pozo de san Antonio de ostional y un valor máximo de 95.86 en el pozo de escameca grande.

Calcio

El calcio suele ser el catión principal en la mayoría de olas aguas subterráneas debido a su amplia difusión en las rocas ígneas, su química va muy asociada a los iones carbonato y bicarbonato. Las mediciones de calcio a lo largo de la cuenca se encuentran por encima del valor recomendado por la norma CAPRE, encontrándose un valor mínimo de 36.84 mg/l en el pozo de Nascacolo y un valor máximo de 167.6 mg/l en el pozo de El bastón.

Magnesio

El magnesio en conjunto con el calcio son responsables de la dureza del agua. En las mediciones a lo largo de la cuenca se encontró un valor mínimo de 4.12 mg/l en el pozo el Carmen y un valor máximo de 22.57 mg/l en el pozo la libertad, todos estos valores de concentraciones se encuentran dentro de los parámetros de aceptación establecidos por la norma CAPRE.

Sodio

Las aguas con concentraciones elevadas de sodio son perjudiciales para la salud, la norma CAPRE establece un valor máximo permisible de 200 mg/l. las mediciones en la cuenca se encuentran dentro de los rangos permisibles por la norma, encontrando un valor mínimo de 4.5 mg/l en el pozo de el Carmen y un valor máximo de 236 mg/l en el pozo de Nascacolo, este excede con lo establecido por la norma.

Potasio

La presencia de potasio no es perjudicial para la salud a menos que se alcancen concentraciones muy elevadas, a lo largo de las mediciones en la cuenca se encontró que todas estas están dentro de los rangos establecidos por la norma CAPRE, se encontró que en el pozo de ENACAL la concentración de potasio excede el valor máximo permisible por la norma CAPRE, un valor máximo de 254 mg/l fue medido en este pozo.

Fluoruros

Estos se encuentran diseminados en cantidades muy pequeñas, al parecer contribuye ligeramente a la alcalinidad del agua pues se hidroliza ligeramente. Los valores de las concentraciones de iones fluoruros a lo largo de la cuenca se encuentran dentro de los rangos permisibles por la norma CAPRE, encontrándose un valor mínimo de 0.287 mg/l en el pozode san Antonio de ostional y un valor máximo de 0.479 mg/l en ENACAL.

6.1 CONCLUSIONES

- Las concentraciones de iones calcio y los valores de la conductividad eléctrica de las aguas subterráneas de la cuenca 72 exceden el valor recomendado por la norma CAPRE en la mayoría de los pozos muestreados en el estudio.

6.2 RECOMENDACIONES

- Dar seguimiento al presente estudio, realizando nuevos muestreos y análisis para actualizar la información de las características fisicoquímicas de la cuenca 72 del municipio de San Juan del Sur, para así medir la prevalencia de estas características en diferentes periodos del año.
- Aplicar los respectivos tratamientos a cada uno de los pozos, que así lo requieran, para normalizar los niveles de las concentraciones de los componentes químicos en disolución en estas aguas.

GLOSARIO

Agua: Sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida.

Agua superficial: Son aquellas que se encuentran sobre la superficie del suelo.

Aguas subterráneas: Se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la Tierra.

Acuíferos: Reserva subterránea de agua dulce.

Aguas juveniles: proceden del interior de la tierra sin haber estado antes en superficie y su interés es limitado.

Aguas metamórficas: desprendidas de sedimentos en proceso de metamorfismo, suelen tener contenidos elevados en CO₂, HCO₃⁻ y B, algo elevado en I-

Agua rural: La cobertura de servicios de abastecimiento de agua

Alcalinidad: una medida de su capacidad para neutralizar ácidos.

Albita: es un mineral del grupo de los Silicatos.

Aniones: es un ion (o ión) con carga eléctrica negativa, es decir, que ha ganado electrones.

Bioquímica: La acción de los ácidos orgánicos procedentes de la descomposición de materiales biológicos en el suelo o por la acción físico - química de los propios vegetales vivos.

Cationes: es un ión (o sea átomo o molécula) con carga eléctrica positiva, es decir, que ha perdido electrones.

Color: El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen

Conductividad Eléctrica: El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos.

Caliza: roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO₃)

Carbonatación: Se produce al combinarse el dióxido de carbono con el agua formando ácido carbónico, el cual se combina con ciertos minerales como el carbonato de calcio que se transforma en bicarbonato: el primero es insoluble en el agua pero el segundo no lo es, por lo que es arrastrado por ella.

Calcita: llamados minerales carbonatos y nitratos.

Compuesto saturado: formado por moléculas orgánicas que no contienen dobles enlaces ni triples enlaces carbono-carbono.

Dilución: reducción de la concentración de una sustancia química en una disolución

Dureza: es aquella que contiene un alto nivel de minerales, en particular sales de magnesio y calcio.

Dureza temporal: Se produce a partir de la disolución de carbonatos en forma de hidrógeno carbonatos (bicarbonatos) y puede ser eliminada al hervir el agua o por la adición del hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Dureza permanente: La causa más corriente es la presencia de sulfatos y/o cloruros de calcio y de magnesio en el agua, sales que son más solubles según sube la temperatura, luego la solubilidad disminuye conforme aumenta la temperatura.

Densidad: es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.

Densidad absoluta: es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de una sustancia.

Densidad relativa: es la relación existente entre su densidad y la de otra sustancia de referencia

Demanda de Oxígeno (OD): Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los Microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.

Disolución saturada: aquella que contiene la mayor concentración de soluto posible en un volumen de disolvente dado y para cierta temperatura.

Disolución: Es muy importante en minerales solubles como cloruros, nitratos, en rocas calcáreas y en el modelado kárstico.

Dolomita: mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$

ENACAL: Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados.

Espumas: Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder auto depurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.

Extracciones: la extracción es un procedimiento de separación de una sustancia que puede disolverse en dos disolventes no miscibles entre sí, con distinto grado de solubilidad y que están en contacto a través de una interfase.

Equilibrio: cuando una reacción química de transformación ocurre al mismo ritmo que la transformación inversa, y por tanto no se producen cambios en la cantidad de cada compuesto.

Flujo magnético: medida de la cantidad de magnetismo.

Flujo radiante: energía emitida en la unidad de tiempo por una fuente de radiación electromagnética.

Flujo luminoso: energía emitida en la unidad de tiempo por una fuente luminosa, ponderada por la sensibilidad del ojo humano a las diferentes longitudes de onda.

Flujo calórico: calor suministrado por unidad de tiempo.

Flujo de agua en tubería: caudal de un fluido continuo.

Fisicoquímico: Es una subdisciplina de la química que estudia la materia empleando conceptos físicos y químicos.

Feldespatos: minerales tecto y aluminosilicatos que corresponden en volumen a tanto como el 60% de la corteza terrestre.

Fenómeno: es el aspecto que las cosas ofrecen ante nuestros sentidos

Fermentación anaerobia: proceso catabólico de oxidación incompleta, que no requiere oxígeno, y el producto final es un compuesto orgánico. Según los productos finales, existen diversos tipos de fermentaciones.

Hidrolisis: reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.

Hidrólisis Ácido Base: el agua se divide en el ion hidroxilo OH^- y un ion H^+ (el cual es inmediatamente hidratado para formar el ion hidronio H_3O^+).

Hidráulica: estudio de las propiedades mecánicas de los líquidos.

Hidratación: En esta reacción, el agua es incorporada a la estructura de algunos minerales aumentando de volumen como sucede con el yeso o sulfato de calcio hidratado. Este proceso es fácil de ver, por ejemplo, mezclando anhidrita con agua, lo que produce una reacción exotérmica (desprende calor) al transformarse en yeso (sulfato de calcio hidratado).

Hidratación: adición de una o más moléculas de agua a un determinado compuesto.

Infiltración: Acción de introducir suavemente un líquido entre los poros de un sólido.

MARENA: Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales.

Materiales en suspensión: Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)

Meteorización química: transformación química de la roca provocando la pérdida de cohesión y alteración de la roca.

Norma CAPRE: Norma regional de calidad del agua.

Nivel freático: Nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general.

Oxidación: Se produce al reaccionar algunos minerales con el oxígeno atmosférico.

Oxido-reducción: toda reacción química en la que uno o más electrones se transfieren entre los reactivos, provocando un cambio en sus estados de oxidación.

PIENSA: Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios Ambientales.

Poros: Material que determina su capacidad para absorber líquidos o gases

Partículas: porción de materia de un cuerpo que conserva sus propiedades químicas.

Partículas en suspensión: acumulación de diminutas piezas de sólidos o de gotitas de líquidos en la atmósfera ambiental.

Partículas minerales: pequeños elementos perceptibles a simple vista que conforman la estructura de una roca.

pH: es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias.

Ppm: unidad de medida con la que se evalúa la concentración.

Radiactividad: Las aguas naturales tienen unos valores de radiactividad, debidos sobre todo a isótopos del K. Algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos.

Solución: mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias, que no reaccionan entre sí

Sabor y Olor: Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones.

Sólidos disueltos totales: es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión microgranular

Silicatos: minerales de mayor abundancia, pues constituyen más del 95% de la corteza terrestre

Salmuera: agua con una alta concentración de sal (NaCl) disuelta.

Temperatura: es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente, tibio o frío que puede ser medida con un termómetro.

Turbidez: falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión.

TSD: Total de sólidos disueltos

Valor TAC: Mide la totalidad de carbonatados y la alcalinidad del agua.

Valor TA: Mide en totalidad la alcalinidad

Yeso: sulfato de calcio dihidrato: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

7. BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water Wastewater. 18th Edition. Washington, Horton, 1965. pp 4-65 - 4-69.
2. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. 2th Edition. Cincinnati, EPA, 1983. pp 150.1-1 - 150.1-3
3. Barreda, A., Estudios de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero San Juan, Tesis en opcional Título Académico de Master en Protección del Medio Ambiente y Explotación de los Georrecursos, Instituto Superior Minero-Metalúrgico, Moa, Holguín, 1997.
4. Bustani, A., La evolución mundial de la contaminación, Centro de Calidad Ambiental, 1998.
5. Carrillo, M., Calidad del agua y medio ambiente, Conferencia de Economía y medio ambiente, Cuba, 1996.
6. Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental. Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante en las cuencas hidrográficas de interés nacional y provincial, 1999.
7. Colectivo de autores, Geografía del medio ambiente. Una alternativa de ordenamiento ecológico , UAEM, México-IG,Cuba, 1995.
8. Díaz B, Raúl, Tratamiento de Aguas y Aguas Residuales, Ciudad de La Habana, Ed. ISPJAE, 1987.
9. INRH, Estudio hidroquímico del río San Juan ,Emp. Hidroeconomía, Santiago de Cuba, Cuba, 1990.
10. Ley No. 81, Ley Medio Ambiente, Gaceta de la República de Cuba, Ministerio de Justicia, 1997.
11. Memorias, XIII Congreso Nacional de Hidráulica, Tomo II, Puebla, México, 1994.
12. Margalef, R., Ecología de agua dulce , La Habana, Edición Revolucionaria, 1977.
13. Nikoladze, G. et al., Water Treatment , Moscow,Mir Publishers, 1989.
14. Normas de Calidad de Aguas Superficiales Corrientes CAME, 1981.
- 15. Lagrange, B. 1979. Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation. Vol.2. Edisual / Energies Alternatives. 249pp.**
- 16. Davies, A.M.C. (1985). Laboratory Practice, 34, 32.**
17. APHA, AWWA, WFF. (1992) 3500 Na .D - Flame Emission Photometric Methods. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. 18th edition. USA Washington, DC. 3: 93-95.

18. APHA, AWWA, WFF. (1992) 3500. K. D- Flame Photometric Methods. Standard Methods for the Examination of
19. Water and Wastewater. American Public Health Association. 18th edition. USA Washington, DC. 3: 80.
20. AOAC (1990) 973.53 y 973.54 Association of Official Analytical Chemist Official Methods of Analysis Capítulo 11 Pág 327-328 Water and Salt 15 th Edition. Vol I Arlington, Virginia U.S.A.
21. Skoog-Leary, (1992), Análisis instrumental ,4ta edición, Mc Graw-Hill. España.
22. Organización Panamericana de la Salud. (1988), Guía para la calidad del agua potable, Vol I y II., Washington DC, EUA.
23. The World Resources Institute, World Resources. A Guide to the Global Environment, 1994-1995.
24. Ulrich, G. D., Procesos de Ingeniería Química, México, 1985.
25. Van, Berkel, "The Relationship Between Cleaner Production and Industrial Ecology" en Journalof Industrial Ecology, 1997.
26. Chinoweth, D., Fannin, k. Biological Gasification of Marine Algae, Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida, October, pp 87-112(2002).
27. Hardman, T.M. (1978).In Developments in Food Analysis Techniques – I, King, R.D. (ed). Londres: Applied Science.