

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL  
ACUÍFERO DE MORROA-SUCRE, MEDIANTE  
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y  
MICROBIOLÓGICO: PLAN DE SEGUIMIENTO Y  
MONITOREO AMBIENTAL**

**AÑO 2015**

**Sergio Andrés Castro Loret**

**Katerin Julieth Meza Sarmiento**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
CARTAGENA DE INDIAS, BOLÍVAR**

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL  
ACUÍFERO DE MORROA-SUCRE, MEDIANTE  
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y  
MICROBIOLÓGICO: PLAN DE SEGUIMIENTO Y  
MONITOREO AMBIENTAL

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero(a)  
Ambiental

Director del Trabajo de Grado:  
Carlos Alberto Severiche Sierra

Coinvestigadores (Autores)

Sergio Andrés Castro Loret  
Katerin Julieth Meza Sarmiento

Universidad Tecnológica de Bolívar

Cartagena, Bolívar 2015

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. Calidad del Agua.....	12
2.2. Parámetros de Calidad del Agua.....	12
2.2.1. Potencial de Hidrogeno (pH):.....	12
2.2.2. Turbiedad: .....	13
2.2.3. Alcalinidad: .....	13
2.2.4. Dureza:.....	13
2.2.5. Sólidos Totales Disueltos: .....	14
2.2.6. Cloruros:.....	14
2.2.7. Sulfatos: .....	14
2.2.8. Nitritos: .....	15
2.2.9. Fosfatos:.....	15
2.2.10. Nitratos:.....	15
2.2.11. Oxígeno Disuelto:.....	15
2.2.12. Nitrógeno Amoniacal: .....	16
2.3. Parámetros Microbiológicos.....	16
2.3.1. Coliformes Totales:.....	16
2.3.2. Coliformes Fecales:.....	16
2.4. Fuentes de Captación de Agua.....	17
2.4.1. Ríos:.....	17

2.4.2.	Arroyo:.....	17
2.4.3.	Canales: .....	17
2.4.4.	Lagos y lagunas: .....	18
2.4.5.	Embalses:.....	18
2.4.6.	Aguas Subterráneas:.....	18
2.5.	Lixiviados. ....	19
2.6.	Normatividad Ambiental Vigente Nacional e Internacional. ....	19
3.	OBJETIVOS .....	21
3.1.	Objetivo General. ....	21
3.2.	Objetivos Específicos.....	21
4.	METODOLOGÍA.....	22
4.1.	Área de Estudio. ....	22
4.1.1.	Puntos Cardinales Límites: .....	22
4.1.2.	Climatología: .....	23
4.1.3.	Contexto geográfico: .....	23
4.1.4.	Características hidrogeológicas: .....	23
4.1.5.	Suelo. ....	23
4.1.6.	Hidrología.....	23
4.1.7.	Flora y fauna. ....	24
4.2.	Análisis Estadístico. ....	24
4.3.	Fase de Campo.....	26
4.4.	Fase de laboratorio. ....	26
4.4.1.	Técnicas de análisis fisicoquímico.....	26
4.4.2.	Técnicas de análisis microbiológico.....	27
5.	ESTADO DEL ARTE Y ANTECEDENTES .....	28

5.1.	Calidad de agua en fuentes de captación. ....	28
5.2.	Parámetros fisicoquímicos para el tratamiento del agua potable.....	31
5.3.	Parámetros bacteriológicos para el tratamiento del agua potable. ....	34
5.4.	La actividad antrópica y su relación con la contaminación de los acuíferos.	37
5.5.	Vulnerabilidad de los Acuíferos. ....	40
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	47
6.1.	Estudio de Calidad del Agua. ....	47
6.1.1.	Parámetros fisicoquímicos:.....	47
6.1.2.	Parámetros microbiológicos:.....	56
6.2.	Análisis de los valores obtenidos en la normatividad vigente. ....	57
6.3.	Plan de Monitoreo para el acuífero.....	60
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	63
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Normatividad Ambiental Nacional e Internacional .....	20
Tabla 2 Puntos y coordenadas del muestreo .....	25
Tabla 3 Resumen de Estado del Arte.....	43
Tabla 4 Parámetros fisicoquímicos básicos por puntos de muestreo .....	47
Tabla 5 parámetros fisicoquímicos colorimétrico por puntos de muestreo.....	49
Tabla 6 Parámetros fisicoquímicos volumétricos por puntos de muestreo .....	51
Tabla 7 parámetros fisicoquímicos gravimétricos por puntos de muestreo.....	53
Tabla 8 parámetros fisicoquímicos por puntos de muestreo.....	54
Tabla 9 Parámetros fisicoquímicos - Variación espacial de oxígeno disuelto. ....	56
Tabla 10 Resultados por estación VS valores máximos aceptables para parámetros fisicoquímicos .....	58

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Mapa del acuífero de Morroa, Sucre. ....	22
Figura 2 Mapa de Morroa, Sucre.....	26
Figura 3 Parámetros Fisicoquímicos Básicos - Comportamiento del Ph .....	48
Figura 4 Parámetros Fisicoquímicos Básicos - Variación espacial de la Turbidez. .....	48
Figura 5 Parámetros por análisis colorimétrico - Comportamiento de los Nitratos .....	49
Figura 6 Parámetros por análisis colorimétrico - Variación espacial de los Nitritos .....	50
Figura 7 Parámetros por análisis colorimétrico - Variación espacial del Nitrógeno Amoniacal. ....	50
Figura 8 Parámetros por análisis colorimétrico - Comportamiento de los fosfatos .....	50
Figura 9 Parámetros por análisis colorimétrico - Variación espacial de los sulfatos. .....	51
Figura 10 Parámetros fisicoquímicos volumétricos - Variación de la alcalinidad en los puntos de muestreo .....	52
Figura 11 Parámetros fisicoquímicos volumétricos - Variación espacial de la dureza total ..... 52	52
Figura 12 Parámetros fisicoquímicos volumétricos - Variación espacial de dureza cálcica..... 52	52
Figura 13 Parámetros fisicoquímicos volumétricos - Comportamiento de los cloruros por estaciones. ..... 53	53
Figura 14 Parámetros fisicoquímicos volumétricos - Variación de los sólidos totales disueltos. ..... 54	54
Figura 15 Parámetros fisicoquímicos - Variación espacial de la demanda química de oxígeno (DQO). ..... 55	55
Figura 16 Parámetros fisicoquímicos - Variación espacial de la demanda biológica de oxígeno (DBO). ..... 55	55
Figura 17 Parámetros fisicoquímicos - Variación espacial de oxígeno disuelto. ..... 56	56

## RESUMEN

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en las aguas Subterráneas pueden estar presentes de forma natural o ser introducidos por el hombre alterando las concentraciones naturales debido a las actividades industriales, agrícolas o a los desechos urbanos y domésticos, afectando la biodiversidad acuática. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características físico-químicas y microbiológicas del agua del acuífero de Morroa – Sucre. Se tomaron muestras en diez (10) puntos, analizándose parámetros in situ y una posterior fase de laboratorio. En los análisis de las muestras el pH del agua estuvo entre 7.81 a 8.23 unidades de pH, lo cual es característico de las aguas subterráneas, se encontró un aumento de la alcalinidad en los 10 puntos de muestreo dando un rango de 205.6 mg CaCO<sub>3</sub>/L a 263.2 mg CaCO<sub>3</sub>/L, además las muestras presentaron contaminación microbiológica, por coliformes totales y fecales considerándose no aptas para el consumo humano según la resolución 2115 de 2007, esta contaminación puede ser causada por lixiviados procedentes de la degradación de basureros satélites y deterioro de la infraestructura del sistema de bombeo; dicho esto, se plantea una herramienta de seguimiento ambiental para la optimización y monitoreo de la calidad del agua del acuífero.

**Palabras clave:** Acuífero, Aguas subterráneas, Calidad del agua, Parámetros Fisicoquímicos, Parámetros Microbiológicos.



## ABSTRACT

The physicochemical and microbiological parameters in underground water can be naturally occurring or introduced by man altering the natural concentrations due to industrial, agricultural or urban and domestic waste, affecting aquatic biodiversity. The aim of this study was to evaluate the physicochemical and microbiological water aquifer characteristics Morroa - Sucre, samples were taken at ten (10) points, analyzing in situ parameters and subsequent laboratory stage. In sample analysis water pH ranged from 7.81 to 8.23 pH units, which is characteristic of groundwater, increased alkalinity was found in the 10 sampling points giving a range of 205.6 mg CaCO<sub>3</sub> / L to 263.2 mg CaCO<sub>3</sub> / L, plus samples showed microbiological contamination, for total coliforms and fecal considered unfit for human consumption in accordance with resolution 2115 of 2007, this contamination can be caused by leachate from landfills satellites degradation and deterioration the pumping system infrastructure; That said, a tool for environmental monitoring for optimization and monitoring water quality of the aquifer arises.

**Keywords:** Aquifer Groundwater, microbiological parameters, physicochemical parameters, water quality.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde las antiguas civilizaciones, el hombre ha utilizado el recurso hídrico (agua) para satisfacer sus necesidades diarias, o utilizarla como medio de transporte. Existen diferentes cuerpos de agua dulce, llamados: acuíferos, ríos, pozos, lagos y agua subterránea, los cuales son centros de vida natural silvestre como también son fuentes aprovechamiento para el uso humano en las ciudades, pueblos y comunidades cercanas al cuerpo de agua. Con base a esto podemos notar que los cuerpos de agua dulce juegan un papel importante en el desarrollo de cualquier comunidad, civilización o país; a nivel global los acuíferos más grandes se encuentran en África donde representan un recurso muy valioso, ya que las aguas lluvias son con frecuencia muy escasas. Sin embargo, la tasa de renovación es muy baja en muchos casos y es necesaria una explotación controlada de este recurso [1].

Las aguas subterráneas constituyen noventa y ocho por ciento del volumen total de agua dulce disponible en todo el planeta. Están almacenadas en acuíferos bajos, no confinados, ubicados a solo algunos metros de profundidad, hasta sistemas confinados que están a varios kilómetros por debajo de la superficie. Se puede encontrar agua subterránea en casi cualquier parte, ya sea que se trate de zonas húmedas, áridas o semiáridas.

En América Latina y el Caribe los acuíferos son un recurso vital que desempeña un papel estratégico cada vez importante para el desarrollo sostenible. Aproximadamente un tercio total del agua que se utiliza en las regiones áridas y semiáridas de América latina se origina en acuíferos, de los que proviene un gran porcentaje del agua potable [2].

Colombia, es uno de los países con una gran cantidad de cuerpos de agua, donde muchos aún son conservados como fuente de vida natural. Según la normativa Nacional Colombiana existen unos parámetros establecidos para el aprovechamiento de dicho recurso; estos consisten en un análisis de pruebas bacteriológicas y fisicoquímicas como lo son pH, alcalinidad, dureza, acidez, coliformes totales, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitratos, nitritos, turbiedad, sulfatos, cloruros, fosfatos entre otros, siendo estos los que definen si un cuerpo de agua se encuentra apto para el consumo y uso humano.

En el presente trabajo, el objeto de estudio es el acuífero de Morroa en el departamento de Sucre, región Caribe colombiana, el cual es un cuerpo de agua que abastece a muchos municipios como son: Sincelejo, Corozal, Sampués, Morroa, Betulia, Los Palmitos y Ovejas, en Sucre; El Carmen de Bolívar, en Bolívar, y Chinú y Sahagún en Córdoba, debido a esto, el Acuífero tiene una gran importancia tanto como para el departamento en general como para sus habitantes. Por dicha razón, se considera importante hacer un estudio o muestreo

mediante el cual los parámetros de calidad del agua, establecerán si este acuífero aun es apto para el aprovechamiento humano.

Se determina en el Acuífero a estudiar, la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua mediante análisis de laboratorio in-situ, estableciendo puntos de muestreo teniendo en cuenta los parámetros hidrobiológicos, la toma de muestras de agua, y finalmente se realizara una comparación con la normativa vigente y apropiada para el estudio.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Calidad del Agua.

La calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. El concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, entendiéndose que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño. Sin embargo, dependiendo de otros usos que se requieran para el agua, así se puede determinar la calidad del agua para dichos usos. En este contexto, se considera que el agua es de buena calidad cuando está exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores y está exenta de sustancias que transmitan sensaciones sensoriales desagradables para el consumo, como el color, el olor, el sabor o turbiedad. La importancia de la calidad del agua radica en que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los humanos.

El agua que es recomendable para consumo humano se llama agua potable, la cual puede provenir de fuentes superficiales o subterráneas y generalmente debe estar tratada para eliminar cualquier contaminación [3].

### 2.2. Parámetros de Calidad del Agua.

Son determinaciones o características que son utilizados para definir la calidad del agua. Los parámetros se pueden clasificar en tres grandes grupos: Físicos, Químicos y Biológicos.

#### 2.2.1. *Potencial de Hidrogeno (pH):*

El pH es una medida de la concentración de iones hidrógeno, y se define como  $pH = -\log (1/ [H^+])$ . Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. La mayoría de aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8. Su medición se realiza fácilmente con un pH metro bien calibrado, aunque también se puede disponer de papeles especiales que, por coloración, indican el pH. Los valores del pH han de ser referidos a la temperatura de medición, pues varían con ella. El pH se corrige por neutralización [4].

### **2.2.2. Turbiedad:**

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además interfiere con la mayoría de los procesos a que se pueda destinar el agua [5].

### **2.2.3. Alcalinidad:**

La alcalinidad es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyen a la alcalinidad principalmente los iones bicarbonato,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , carbonato,  $\text{CO}_3^{2-}$ , y oxhidrilo,  $\text{OH}^-$ , pero también los fosfatos y ácido silícico u otros ácidos de carácter débil. Los bicarbonatos y los carbonatos pueden producir  $\text{CO}_2$  en el vapor, que es una fuente de corrosión en las líneas de condensado. También pueden producir espumas, provocar arrastre de sólidos con el vapor y fragilizar el acero de las calderas. La alcalinidad se corrige por descarbonatación con cal; tratamiento con ácido, o desmineralización por intercambio iónico [6].

### **2.2.4. Dureza:**

La dureza, debida a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio, mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones. Afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales, siendo la principal fuente de depósitos e incrustaciones en calderas, intercambiadores de calor, tuberías, etc. Por el contrario, las aguas muy blandas son agresivas y pueden no ser indicadas para el consumo [7].

#### Existen distintas formas de dureza:

- Dureza total o título hidrométrico, TH. Mide el contenido total de iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ . Se puede distinguir entre la dureza de calcio,  $\text{THCa}$ , y la dureza de magnesio,  $\text{THMg}$ .
- Dureza Cálcica. Mide el contenido total de iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  después de someter el agua a ebullición durante media hora, filtración y recuperación del volumen inicial con agua destilada. El método es de poca exactitud y depende de las condiciones de ebullición [7].

### **2.2.5. Sólidos Totales Disueltos:**

Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada. Corresponde al residuo seco con filtración previa. El origen de los sólidos disueltos puede ser múltiple, orgánico o inorgánico, tanto en aguas subterráneas como superficiales. Aunque para las aguas potables se indica un valor máximo deseable de 500 ppm, el valor de los sólidos disueltos no es por si solo suficiente para determinar la bondad del agua. En los usos industriales la concentración elevada de sólidos disueltos puede ser objeccionable por la posible interferencia en procesos de fabricación, o como causa de espuma en calderas. Los procesos de tratamiento son múltiples en función de la composición, incluyendo la precipitación, intercambio iónico, destilación, electrodiálisis y ósmosis inversa [8].

### **2.2.6. Cloruros:**

El ion cloruro,  $\text{Cl}^-$ , forma sales en general muy solubles. Suele ir asociadas al ión  $\text{Na}^+$ , especialmente en aguas muy salinas. Las aguas dulces contienen entre 10 y 25 ppm de cloruros, pero no es raro encontrar valores mucho mayores. Las aguas salubres pueden tener centenares e incluso millares de ppm. El agua de mar contiene alrededor de 20.000 ppm. El contenido en cloruros afecta la potabilidad del agua y su potencial uso agrícola e industrial. A partir de 300 ppm el agua empieza a adquirir un sabor salado. Las aguas con cloruros pueden ser muy corrosivas debido al pequeño tamaño del ion que puede penetrar la capa protectora en la interfase óxido - metal y reaccionar con el hierro estructural. Se valora con nitratos de plata usando cromatos potásico como indicador. Se separa por intercambio iónico, aunque es menos retenido que los iones polivalentes, por lo cual las aguas de alta pureza requieren un pulido final [9].

### **2.2.7. Sulfatos:**

El ion sulfato,  $\text{SO}_4$  corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen de 2 a 150 ppm, y el agua de mar cerca de 3000 ppm. Aunque en agua pura se satura a unos 1500 ppm, como  $\text{SO}_4\text{Ca}$ , la presencia de otras sales aumenta su solubilidad.

La determinación analítica por gravimetría con cloruros de bario es la más segura. Si se emplean métodos complexométricos hay que estar seguro de evitar las interferencias. No afecta especialmente al agua en cantidades moderadas. Algunos centenares de ppm perjudican la resistencia hormigón. Industrialmente es importante porque, en presencia de iones calcio, se combina para formar incrustaciones de sulfato cálcico. Su eliminación se realiza por intercambio iónico [4].

### **2.2.8. Nitritos:**

Los nitritos son formados biológicamente por la acción de bacterias nitrificantes, en un estadio intermedio en formación de nitratos. La concentración del mismo en agua y vegetales es baja. Sin embargo, la conversión microbiológica de nitrato a nitrito puede ocurrir durante el almacenamiento de vegetales frescos a temperatura ambiente, en la cual puede alcanzar niveles elevados (alrededor de 3,6 g / g- peso seco-) [10].

### **2.2.9. Fosfatos:**

El ion fosfato,  $PO_4$ , en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Al corresponder a un ácido débil, contribuye a la alcalinidad de las aguas. En general no se encuentran en el agua más de 1 ppm, pero pueden llegar a algunas decenas debido al uso de fertilizantes. Puede ser crítico en la eutrofización de las aguas superficiales. No suele determinarse en los análisis de rutina, pero puede hacerse colorimétricamente [11].

### **2.2.10. Nitratos:**

El ion nitrato,  $NO_3$ , forma sales muy solubles y bastante estables, aunque en medio reductor puede pasar a nitrito, nitrógeno, o amoníaco. Las aguas normales contienen menos de 10 ppm, y el agua de mar hasta 1 ppm, pero las aguas contaminadas, principalmente por fertilizantes, pueden llegar a varios centenares de ppm. Las concentraciones elevadas en las aguas de bebida pueden ser la causa de cianosis infantil. Industrialmente no tiene efectos muy significativos, e incluso es útil para controlar la fragilidad del metal de las calderas. Su determinación en el laboratorio es complicada y se realiza en general por espectrofotometría, resultante de la absorción de la radiación UV por el ion nitrato. Se elimina por intercambio iónico, pero no es un método económico en los procesos de potabilización en grandes volúmenes. Están en desarrollo procesos de eliminación biológicos. Su presencia en las aguas superficiales, conjuntamente con fosfatos, determina la eutrofización, que se caracteriza por un excesivo crecimiento de las algas [10].

### **2.2.11. Oxígeno Disuelto:**

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de cómo de contaminada está el agua o de lo bien que puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros

organismos no pueden sobrevivir. El oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, por lo que están muy influidos por las turbulencias del río (que aumentan el OD) o ríos sin velocidad (en los que baja el OD). Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, por lo que ríos con muchas plantas en días de sol pueden presentar sobresaturación de OD. Otros factores como la salinidad, o la altitud (debido a que cambia la presión) también afectan los niveles de OD) [12].

#### **2.2.12. Nitrógeno Amoniacal:**

El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua, ya que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica. Es un producto natural de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados. Las aguas superficiales no deben contener normalmente amoniaco. En general, la presencia de amoniaco libre o ion amonio se considera como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa. Si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos [13].

### **2.3. Parámetros Microbiológicos.**

Se puede definir parámetros Microbiológico como el conjunto de operaciones encaminadas a determinar los microorganismos presentes en una muestra problema de agua [14].

#### **2.3.1. Coliformes Totales:**

Es el que comprende todas las bacterias gram Negativas en forma bacilar que fermenta la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO<sub>2</sub>) en un plazo de 24 a 48 horas, aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la galactosidasa [17].

#### **2.3.2. Coliformes Fecales:**

Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta denominación está ganando más adeptos actualmente, pues sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior [15].

Las bacterias coliformes fecales son organismos que se encuentran naturalmente en las heces de seres humanos y animales, y su presencia en fuentes y cuerpos de agua se utiliza como indicador de contaminación



biológica. La bacteria tiene un impacto muy particular y una serie de efectos en el medio ambiente y la salud pública, por lo que las aguas federales y distritales se vigilan muy de cerca por agencias gubernamentales y medioambientales [16].

## **2.4. Fuentes de Captación de Agua.**

El agua potable es un recurso precioso. La mayor parte de la superficie terrestre está cubierta por agua de mar. Aproximadamente un 2.5 por ciento es agua dulce y dos tercios de ésta se encuentran congelada en las capas heladas y glaciares. Los reservorios subterráneos son un recurso importante de suministro de agua para muchas personas. La humanidad hace uso de pozos para explotar los acuíferos renovables y no renovables para saciar su sed y regar sus cultivos. Los ríos y lagos contienen solamente un pequeño porcentaje del agua en la Tierra pero estas aguas superficiales son cruciales. Al igual que algunos acuíferos, éstos se reabastecen constantemente cuando el agua se desplaza desde la atmósfera hasta la Tierra y de vuelta mediante el ciclo del agua. Pero los recursos de agua superficial están sujetos a los patrones variables de precipitación que los vuelve notoriamente poco fiables. La protección y administración de las fuentes de abastecimiento de agua dulce, superficial y subterránea, es una tarea esencial [18].

### **2.4.1. Ríos:**

Es una corriente natural de agua que fluye con continuidad y siempre por gravedad discurre de las partes altas hacia las bajas. Posee un caudal determinado y finalmente desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en este último caso se le denomina afluente [19].

### **2.4.2. Arroyo:**

Es una corriente natural de agua que regularmente fluye con continuidad. También es denominado quebrantadilla o quebrada. Posee menos caudal que un río y más que un manantial. Sería un intermedio entre las corrientes de agua de tierra adentro. No son navegables, salvo para muy pequeñas embarcaciones y cuando poseen un caudal de tamaño considerable; la inmensa mayoría puede incluso cruzarse a pie. Tienden a unirse para formar los ríos; muy pocos desembocan en el mar directo [19].

### **2.4.3. Canales:**

Los canales son conductos en los que el agua circula debido a la acción de gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie del líquido está en

contacto con la atmósfera. Los canales pueden ser naturales (ríos o arroyos) o artificiales. Dentro de estos últimos pueden incluirse aquellos conductos cerrados que trabajan parcialmente llenos (alcantarillas, tuberías) [20].

#### **2.4.4. Lagos y lagunas:**

A veces se ha considerado los lagos como mares en miniatura y, de hecho, tienen algunas semejanzas. Los lagos son masas de agua dulce o salada que se encuentran rodeados de tierras. Generalmente, los lagos están conectados con un sistema fluvial que les provee de agua. Los hay que son una extraordinaria fuente de mantenimiento para las poblaciones vegetales, animales y humanas de sus riberas. Constituyen una buena reserva de agua dulce por lo que los humanos, desde los inicios de la civilización, hemos aprendido a construir lagos artificiales, que llamamos embalses o pantanos [21].

#### **2.4.5. Embalses:**

Estas grandes extensiones de agua, llamadas también pantanos, suelen tener diversas utilidades (abastecimiento de poblaciones y de la agricultura, producción de energía eléctrica, práctica de deportes acuáticos) y son abundantes en nuestro país, habida cuenta de su orografía y de la perentoriedad del aprovechamiento del agua [22].

#### **2.4.6. Aguas Subterráneas:**

El agua subterránea es la que se encuentra bajo la superficie terrestre y ocupa los poros y las fisuras de las rocas más sólidas. En general, mantiene una temperatura muy similar al promedio anual en la zona, por ello, en las regiones árticas, puede helarse. El agua subterránea más profunda puede permanecer oculta durante miles o millones de años. No obstante, la mayor parte de los yacimientos están a poca profundidad y desempeñan un papel discreto pero constante dentro del ciclo hidrológico. A nivel global, el agua subterránea representa unas veinte veces más que el total de las aguas superficiales de todos los continentes e islas, de ahí la importancia de esta agua como reserva y como recurso de agua dulce. Además, tiene un importante papel en la naturaleza. El efecto de la gran reserva de agua respecto al flujo anual, es esencial para mantener el caudal de base de muchos ríos y la humedad del suelo en las riberas y áreas bajas [23].

El agua subterránea es de esencial importancia para nuestra civilización porque supone la mayor reserva de agua potable en las regiones habitadas

por los seres humanos. Puede aparecer en la superficie en forma de manantiales, o puede ser extraída mediante pozos. En tiempos de sequía, puede servir para mantener el flujo de agua superficial, pero incluso cuando no hay escasez, es preferible utilizar agua subterránea porque no tiende a estar contaminada por residuos o microorganismos. Aunque el agua subterránea está menos contaminada que la superficial, la contaminación de este recurso también se ha convertido en una preocupación en los países industrializados [23].

## **2.5. Lixiviados.**

El lixiviado es el líquido producido cuando el agua percola a través de cualquier material permeable. Puede contener tanto materia en suspensión como, generalmente se da en ambos casos.

Este líquido se encuentra comúnmente asociado a rellenos sanitarios, en donde, como resultado de la filtración a través de los desechos sólidos y la reacción con los productos en descomposición y otros compuestos, es producido el lixiviado.

Si el relleno sanitario no tiene sistema de recogida de lixiviados, estos pueden alcanzar aguas subterráneas y causar, como resultado, problemas medioambientales o de salud.

## **2.6. Normatividad Ambiental Vigente Nacional e Internacional.**

A continuación la presente tabla nos muestra la parte normativa más importante a nivel nacional relacionado con los parámetros de calidad del agua y una comparación con la misma a nivel internacional.

**Tabla 1 Normatividad Ambiental Nacional e Internacional**

<b>NACIONAL</b>	
<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
Decreto 1541 de 1978	El cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973 donde se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 2105	El cual se reglamenta parcialmente el Título II de la Ley 09 de 1979 en cuanto a Potabilización del Agua.(Derogado)
Decreto 1575 del 2007	Establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano El Presidente de la República de Colombia.
Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS	Reglamenta los requisitos técnicos que deben cumplir los diseños, las obras y procedimientos correspondientes al Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y sus actividades complementarias que adelanten las entidades prestadoras de los servicios públicos municipales de acueducto, alcantarillado y aseo
<b>INTERNACIONAL</b>	
<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
Ley 18284	Con las denominaciones de agua potable de suministro público y agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que haga peligrosa para la salud.
Norma NCH 409/1	Agua que cumpla con los requisitos físicos, químicos, bacteriológicos y de desinfección establecidos en la norma NCH 409/1, que aseguran su inocuidad y aptitud para el consumo humano.
Estándares Europeos de la calidad del agua potable	Directrices de la OMS para la calidad del agua potable, establecidas en Génova, 1993, son el punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable.
Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994	El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.

Fuente: Autor

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo General.**

- Evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica de un sector del acuífero de Morroa – Sucre, mediante un trabajo de campo y fase de laboratorio.

#### **3.2. Objetivos Específicos.**

- Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente un área específica del acuífero de Morroa.
- Analizar los valores obtenidos con la normatividad vigente y otros estudios científicos.
- Proponer un Plan de Seguimiento Ambiental en el acuífero, para prevenir y evitar la contaminación.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Área de Estudio.

El Municipio de Morroa se encuentra ubicado en la subregión Montes de María al noreste del Departamento de Sucre, región Caribe, al norte con la República de Colombia.

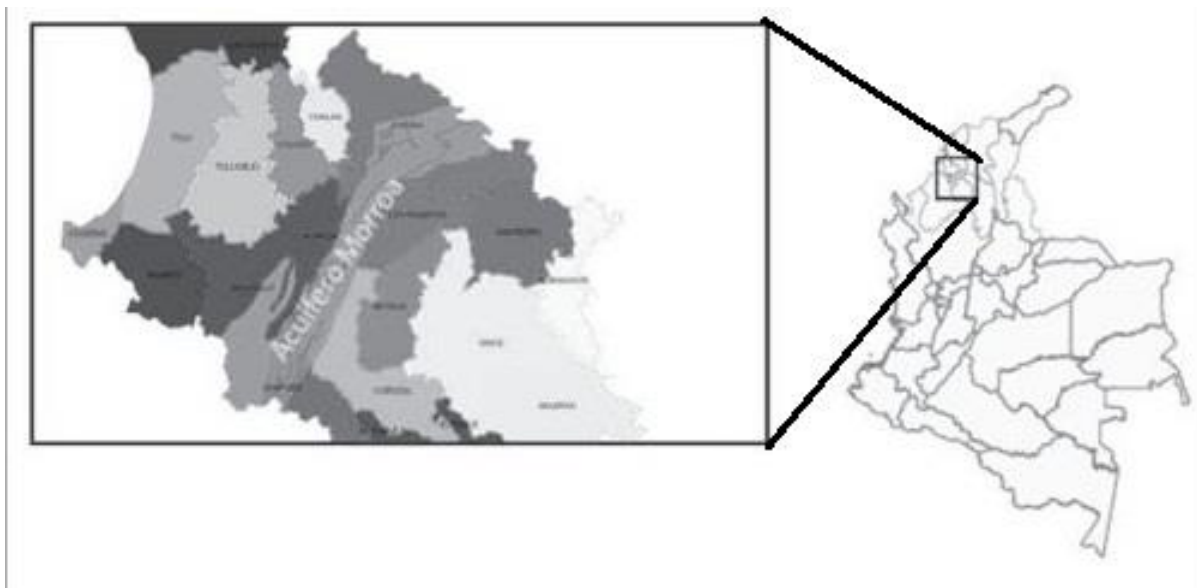


Figura 1 Mapa del acuífero de Morroa, Sucre.

#### 4.1.1. Puntos Cardinales Límites:

NORTE: Municipio de Toluviejo, Coloso y Los Palmitos.

SUR: Municipios de Corozal y Sincelejo.

ESTE: Municipios de Corozal y Los Palmitos.

OESTE: Municipios de Toluviejo y Sincelejo

Limitado por las Coordenadas Geográficas, 9°20'12.1" Latitud Norte y 75°18'31" Latitud Occidental respecto al Meridiano de Greenwich y coordenadas planas X= 1'524.000, Y= 865.000 según restricciones Cartográficas del IGAC. Tiene una extensión aproximada de 168 Kilómetros cuadrados equivalente al 1,53% del área total del Departamento, que lo ubica en el puesto No 20 entre los Municipios existentes. Su altura sobre el nivel del mar es de 160 M.S.N.M aproximadamente [24].

#### **4.1.2. Climatología:**

El Municipio de Morroa presenta Condiciones climáticas de bosque seco tropical, según la zona de vida de Holdridge. La determinación de las características meteorológicas se realizó basándose en los registros tomados de la Estación Meteorológica del IDEAM más cercana.

La presencia de corriente de aire cargada de humedad provenientes del oeste, hace que el Municipio se presente algunas variaciones climáticas y mayor humedad en la zona correspondiente a las zonas ubicadas en los Montes de María [25].

#### **4.1.3. Contexto geográfico:**

Los suelos fértiles del Municipio de Morroa son aptos para la Agricultura y la Ganadería, situación que permite el Desarrollo Agropecuario de esta región. Además la cercanía con el Municipio de Corozal distante sólo 1.000 metros a la cual se llega a través de una vía completamente pavimentada, y capital del Departamento, a una distancia de 15 kilómetros y que tiene como principal vía de acceso la carretera troncal de occidente. Esta posición estratégica en el Departamento de Sucre permite el desplazamiento de bienes y personas que facilita la generación de un mercado a nivel comercial con el resto del Departamento y otras regiones del país [24].

#### **4.1.4. Características hidrogeológicas:**

El principal acuífero del Municipio de Morroa y del departamento de Sucre es el acuífero Morroa acuífero complejo, constituido por capas de areniscas y conglomerados poco consolidados, intercalados con capas de arcillolitas, producto de la sedimentación detrítica en un ambiente típico de abanico aluvial y cauces aluviales con recarga a partir de las precipitaciones (lluvias). Estructuralmente este acuífero se encuentra dispuesto en forma monoclinial, con dirección general norte 25° al este y buzamientos entre 5 y 15° hacia el oriente. Tiene un espesor variable de hasta 500m. El agua de este acuífero es considerada apta para el consumo humano y se han clasificado como aguas bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas [24].

#### **4.1.5. Suelo.**

El área de estudio presenta suelos con paisajes de montañas litológicamente compuesto por alcenicas calderas y/o arenincas, con paisajes de lomerío formado por areniscas calderas poco consolidadas y con arcilla carbonatada, y también con paisajes de planicie litológicamente compuestos por arcillas [26].

#### **4.1.6. Hidrología.**

La red hidrográfica del área de estudio está conformada por un sistema de corrientes superficiales temporales (solo llevan agua en las épocas de lluvia). Las corrientes que tienen agua perenne, es porque llevan aguas residuales domésticas e industriales, como el Arroyo Grande de Corozal, el cual recibe las aguas negras de Los Municipios de Sincelejo, Corozal y Morroa; el Arroyo Caracolí, sobre el cual se vierten las aguas residuales del Municipio de Los Palmitos; el Arroyo Canoas, donde se vierten las aguas negras del Municipio de Sampués; y el Arroyo Mancomoján que lleva las aguas residuales del Municipio de Ovejas. Todos estos arroyos, atraviesan la zona de recarga del Acuífero Morroa[27].

#### **4.1.7. Flora y fauna.**

La fauna y la flora son variadas y extensas:

- ✓ En peces podemos encontrar: Moncholo, Anguila, Sardina, Barbudo y Camarón.
- ✓ En anfibios: Sapos y Ranas.
- ✓ En reptiles: Iguanas, Morrocoyo, Lagarto, Boa, Coralito y Salamandra.
- ✓ En aves: Perdiz, Garza, Gavilán, Paloma, Perico, Búho, Picaflor, Colibrí, Golondrina, Azulejo, Papayero y Amarillo.
- ✓ En mamíferos: Conejo, Ardilla, Perro, Tigrillo y Mono colorado.
- ✓ En la agricultura los productos que se siembran son: Yuca, Maíz, Ñame, Tabaco y Verduras [24].

#### **4.2. Análisis Estadístico.**

Se realizó una evaluación de la variación espacial y temporal del agua obtenida en los puntos de muestreo del acuífero de Morroa, en el mes de agosto del 2014, los puntos de muestreo se escogieron de acuerdo a las estaciones de bombeo del acuífero, los cuales, fueron superpuestos en el mapa del municipio de Morroa, para identificar la cobertura que puede obtener el análisis, realizando así la primera gráfica relacionada con la investigación. Los datos que arrojó el análisis físicoquímico y microbiológico realizado en el laboratorio fueron tabulados y analizados por medio de programa estadístico Excel y la metodología para la construcción de los gráficos permitió observar e inferir la calidad del agua que consumen los habitantes del municipio.

La calidad de agua del acuífero, se determinó por medio un análisis estadístico, a través de la elaboración de gráficos de variación espacial y temporal. Así mismo con los gráficos se analizó los valores máximos aceptables para cada uno de los parámetros establecidos en la normatividad.



Por último se obtuvo un margen de error debido a las condiciones bajo las cuales se adquirieron las muestras.

Los puntos en los que se tomaron las muestras del acuífero están localizados en las siguientes coordenadas geográficas extraídas de la herramienta ofimática.

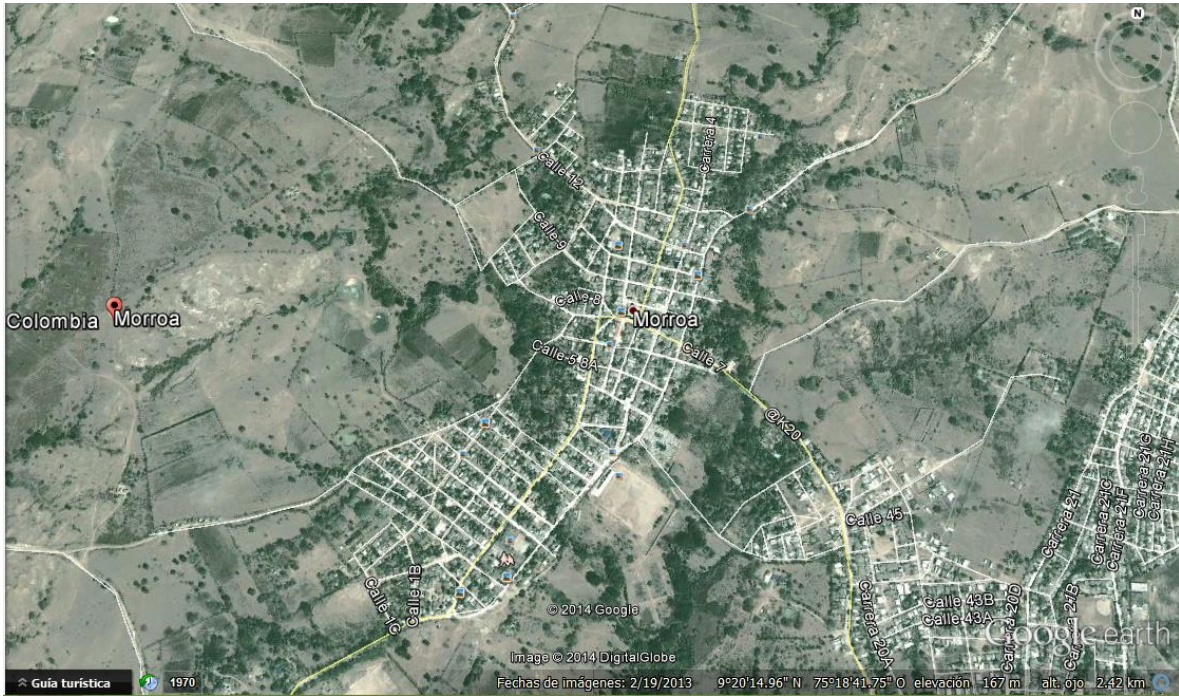
**Tabla 2 Puntos y coordenadas del muestreo**

Fuente: Autor

<b>Puntos</b>	<b>Hora toma de muestra</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>Coordenadas Panorama</b>
P1	10:28 am	El Rosario 1 ( Vereda Morroa) - Finca San Pedro	Parcialmente nublado Lat: 9° 20´ 602" N Lon: 75 ° 18 ´ 276"W
P2	11:00 am	El Rosario 2 ( Vereda Morroa) - Finca San Pedro	Parcialmente nublado Lat: 9° 20´ 602" N Lon: 75 ° 18 ´ 276"W
P3	11:15 am	El Rosario 3 ( Vereda Morroa) - Finca San Pedro	Parcialmente nublado Lat: 9° 20´ 602" N Lon: 75 ° 18 ´ 276"W
P4	12:11 pm	El Rincón Morroa 1	Parcialmente nublado Lat: 9° 21´ 32,93" N Lon: 75 ° 16 ´ 37,02"W
P5	12:20 pm	El Rincón Morroa 2	Parcialmente nublado Lat: 9° 21´ 32,93" N Lon: 75 ° 16 ´ 37,02"W
P6	12:25 pm	El Rincón Morroa 3	Parcialmente nublado Lat: 9° 21´ 32,93" N Lon: 75 ° 16 ´ 37,02"W
P7	12:31 pm	El Rincón Morroa 4	Parcialmente nublado Lat: 9° 21´ 32,93" N Lon: 75 ° 16 ´ 37,02"W
P8	2:59 pm	Las Flores - Finca el Rosario	Parcialmente nublado Lat: 9° 19´ 37,12" N Lon: 75 ° 19 ´ 16,04" W
P9	3:01 pm	Las Flores 2	Parcialmente nublado Lat: 9° 19´ 37,12" N Lon: 75 ° 19 ´ 16,04" W
P10	3:08 pm	Las Flores 3	Parcialmente nublado Lat: 9° 19´ 37,12" N Lon: 75 ° 19 ´ 16,04" W

Fuente: autor

Google Earth:



**Figura 2 Mapa de Morroa, Sucre**

### **4.3. Fase de Campo.**

Las muestras se tomaron en tres estaciones de bombeo del acuífero (Ver anexo 1). En campo se identificaron las coordenadas de cada punto, se tomó varias muestras en frascos estéril para los análisis bacteriológicos y en frascos de 1L para los fisicoquímicos, se rotularon las muestras y en refrigeración se transportaron al laboratorio (Ver anexo 2).

**En detalle se presenta el diagrama de flujo en fase de campo (Ver Anexo 3).**

### **4.4. Fase de laboratorio.**

#### **4.4.1. Técnicas de análisis fisicoquímico.**

Para realizar el análisis de cada uno de los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio, se usaron varios métodos; los métodos estuvieron en gran parte determinados por el Standard Methods (SM) edición 22 del 2012.

Se determinaron 15 parámetros fisicoquímicos; los parámetros analizados fueron: Unidades de pH (pH) por la técnica Potencio métrico, Turbiedad (NTU) por la técnica Nefelometrico, Alcalinidad (mg CaCO<sub>3</sub>/L) por la técnica Volumétrico,

Dureza Total (mg Ca CO<sub>3</sub>/L) por la técnica Volumétrico EDTA, Dureza Cálcica (mg Ca CO<sub>3</sub>/L) por la técnica Volumétrico EDTA, Solidos totales Disueltos (mg/L) por la técnica Electrométrico, Cloruros (mg Cl<sup>-</sup>/L) por la técnica Argentométrico, Sulfatos (mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/L) por la técnica Espectrofotometría, Nitrito (mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L) por la técnica Espectrofotometría, Fosfato (mg PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) por la técnica Espectrofotometría, Nitrato (mg NO<sub>3</sub>) por la técnica Espectrofotometría, DQO (mg/L) por la técnica Reflujo Cerrado-Colorimétrico, DBO (mg/L) por la técnica Incubación 5 Días, Oxígeno Disuelto (mg O<sub>2</sub>/L) por la técnica electrométrico y Nitrógeno Amoniacal (mg N-NH<sub>3</sub>/L) por la técnica Espectrofotometría.

#### **4.4.2. Técnicas de análisis microbiológico.**

Se determinaron 2 parámetros bacteriológicos coliformes totales y coliformes fecales utilizando la metodología de ausencia – presencia y se empleó el método de filtración por membrana, consiste en un compuesto de esteres de celulosa generalmente de 47 mm o de 50 mm de diámetro, con característica de filtración equivalente a una porosidad nominal de 0,45 µm. El método de filtración por membrana es un método relativamente sencillo. Permite la obtención de resultados en un corto periodo de (24 horas), El filtro es colocado en un medio de cultivo específico para lo que se desea determinar en la muestra coliformes totales, coliformes fecales y microorganismos mesofilicos.

Los promedios de los resultados fisicoquímicos y microbiológicos de los pozos de uso urbano fueron comparados con los límites máximos permisibles de la norma oficial Colombiana RESOLUCION 2115 DE 2007 por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

## 5. ESTADO DEL ARTE Y ANTECEDENTES

En el estado del arte y antecedentes se evidenciar diferentes tipos de tesis y artículos que ya realizados que presentan una relación similar a la temática que tratan estos mismo con el presente, esto se encuentran organizados cronológicamente con su autores, año de publicación y que tema específico tratan.

### 5.1. Calidad de agua en fuentes de captación.

En el 2009 Torres y Colaboradores, realizaron una investigación sobre los índices de calidad según el deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua los cuales incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su reducción; la evaluación de la calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizando el suministro de agua segura. Una herramienta son los índices de calidad de agua – ICA–; los de tipo multiplicativo son más sensibles a las variaciones en la calidad del agua que los de tipo aditivo. Aquellos que consideran las variaciones en el tiempo y en el espacio y además permiten una comparación con la normativa vigente en la zona de estudio, como en CCME – WQI y DWQI, son más adecuados para su aplicación en fuentes como el río Cauca que está expuesto a constantes variaciones de calidad. Para el uso de estas fuentes para abastecimiento humano, valores entre 90 y 100 de la generalidad de los ICA implican tratamientos menores como sólo desinfección, mientras que entre 50 y 90 requieren tratamiento convencional y en algunos casos tratamientos especiales que están asociados a mayores costos y complejidad [28].

Arango y colaboradores en el 2008 elaboraron un estudio para calidad de agua en las quebradas La Cristalina y La Risaralda que sirva como base de comparación de la evolución de las quebradas y justifique la inversión de los recursos del Municipio en el mejoramiento prioritario de los tramos más críticos. Para establecer la calidad del agua se determinaron indicadores físicos, químicos y biológicos, entre ellos algunas características físicas de las quebradas como tipo de sustrato, cobertura de riberas y hábitats acuáticos, temperatura, conductividad, oxígeno, pH, coliformes y macroinvertebrados acuáticos. A partir de los datos colectados se calcularon los índices BMWP/Col1, ASPT, ETP, índice de dípteros y de equidad. Con los resultados obtenidos del ASPT se construyó el mapa de calidad de agua para ambas quebradas. Las quebradas están bien oxigenadas debido a la turbulencia provocada por la conformación rocosa de su lecho, que a su vez permite la diversidad de macroinvertebrados acuáticos. Sin embargo, algunos tramos de estas corrientes están sometidos a contaminación de origen doméstico y agropecuario, lo cual limita sus condiciones de uso [29].

Pacheco, Cabrera y Pérez en el 2008 diagnosticaron la calidad de agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el estado de Yucatán en México, La naturaleza cárstica del Estado de Yucatán, hace que el agua subterránea sea el único medio de abastecimiento y que sea muy vulnerable a la contaminación. En la mayoría de los sistemas de abastecimiento municipales, el uso del suelo en los alrededores es principalmente habitacional, agrícola y pecuario, por lo que el uso no controlado de agroquímicos y la disposición inadecuada de los desechos, son las principales fuentes de la contaminación del agua subterránea. Con la finalidad de elaborar un diagnóstico de la calidad en los pozos de extracción de agua potable, se evaluó la calidad química y bacteriológica del agua subterránea. Durante los muestreos, se recolectaron muestras en los sistemas de agua potable de las 106 cabeceras municipales del Estado de Yucatán. Los resultados mostraron que el agua subterránea del Estado de Yucatán presenta una calidad bacteriológica clasificada como “peligrosa” y “muy contaminada” en la parte oriental del estado. Las clasificaciones de la calidad química del agua subterránea en función al número de parámetros químicos que excedieron los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana (nitratos, cloruros, sodio, dureza total y cadmio), fueron de: “buena calidad”, aquellos municipios que no rebasaron la norma; “calidad baja”, los municipios en los que únicamente un parámetro excedió la norma (13.21%); “calidad media”, los municipios en donde 2 o 3 parámetros excedieron la norma (52.83%) y; “mala calidad”, los municipios en los que 4 y 5 parámetros (7.55%) excedieron la norma [30].

De manera general, la calidad química del agua subterránea con fines de abastecimiento en los sistemas municipales es aceptable para la mayoría de los 106 sistemas estudiados, ya que de los 22 parámetros químicos estudiados, solo 5 excedieron los límites máximos permisibles por la Norma; sin embargo, la calidad bacteriológica no es aceptable [30].

En el 2010 Miranda y colaboradores estudiaron la situación de la calidad de agua para consumo en hogares de niños menores de cinco años en Perú, 2007-2010 Estimaron la proporción de niños menores de cinco años con acceso a agua de calidad y su comportamiento en función de la localización geográfica, abastecimiento de agua y situación de pobreza. Materiales y métodos. La encuesta continua (transversal repetida), por muestreo aleatorio multietápico, del universo de niños menores de cinco años residentes en el Perú. Se evaluó la presencia de cloro libre en muestras de agua para consumo en los hogares de 3570 niños (Lima metropolitana 666, resto de costa 755, sierra urbana 703, sierra rural 667 y selva 779). Se evaluó la presencia de coliformes totales y E. coli en muestras de agua de 2310 hogares (Lima metropolitana 445, resto de costa 510, sierra urbana 479, sierra rural 393 y selva 483). Resultados. La proporción nacional de niños menores de cinco años que residen en hogares con cloro libre adecuado en el agua para consumo, alcanza a 19,5% del total, mientras que la correspondiente a agua libre de coliformes y E. coli asciende a 38,3%. Existe una marcada diferencia de los resultados por área de residencia (los ámbitos más afectados fueron sierra rural y selva), red pública domiciliaria dentro de la vivienda

y quintiles de ingreso. Conclusión. Existe una gran desventaja en los niños menores de cinco años provenientes de hogares pertenecientes al área rural y en extrema pobreza, para acceder al consumo de agua de calidad. Esta situación representa un serio problema para el control de las enfermedades diarreicas y la desnutrición infantil [31].

Guerrero y colaboradores en el 2003 realizaron un estudio de algunos parámetros fisicoquímicos y la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos asociados a cuatro coriotipos (piedra, hojarasca, sedimento y macrófitas) en el sector de Pozo Azul sobre la cuenca del río Gaira (Magdalena, Colombia). Se discute la relación entre la estructura de la comunidad y la calidad del agua del sector. Los parámetros fisicoquímicos estuvieron determinados en gran medida por las características geográficas del sistema. El agua se caracterizó por estar saturada de oxígeno y por la ausencia de compuestos intermedios de la estabilización de la materia orgánica como nitritos y amonio. Se colectaron 588 individuos distribuidos en 11 órdenes y 38 familias. Los órdenes más representativos fueron Trichoptera, Coleoptera, Diptera y Ephemeroptera, siendo el último de ellos el más abundante. Las familias más representativas fueron Baetidae, Simuliidae, Perlidae, Chironomidae e Hydropsychidae, en ese mismo orden de abundancia. Para la relación de la estructura de la comunidad con la calidad del agua se calculó el índice BMWP, adaptado por la Universidad del Valle, Cali, Colombia, que estableció para este caso un agua de óptima calidad y oligosapróbica, según la ecología sapróbica, estado alcanzado luego de la estabilización frente a pequeñas alteraciones inducidas por las actividades del cultivo del café en la zona [32].

En el 2003 Figueroa y colaboradores estudiaron los Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile, La Cuenca Hidrográfica del Río Damas (40°39' S, 72°23' O), presenta una intensa actividad agrícola y ganadera en un 78,2 % de su superficie, lo cual se ha traducido en importantes aportes de nutrientes al ecosistema acuático. Los objetivos de este estudio fueron: (a) analizar la distribución espacial de la macrofauna bentónica en la cuenca y (b) determinar la viabilidad de utilizar el Índice Biótico de Familias (IBF) para evaluación de la calidad de las aguas. Los muestreos se realizaron en enero de 1998 con una red Surber (0,09 m<sup>2</sup>), en 15 sitios distribuidos en el curso principal y sus tributarios. Se registró un total de 77 taxa, siendo los grupos más diversos Plecoptera (16 %), Trichoptera (16 %), Diptera (14 %) y Ephemeroptera (12 %). Se observó una marcada tendencia a la disminución de riqueza específica desde la cabecera de la cuenca hacia aguas abajo. Las abundancias, biomásas y el IBF, presentaron una tendencia inversa a la riqueza específica. IBF se correlacionó significativamente y positivamente con el fósforo total ( $r^2 = 0,71$ ), temperatura ( $r^2 = 0,66$ ), nitrito ( $r^2 = 0,56$ ), conductividad eléctrica ( $r^2 = 0,50$ ), demanda biológica de oxígeno ( $r^2 = 0,46$ ) y nitrógeno total ( $r^2 = 0,46$ ), y negativamente con oxígeno disuelto ( $r^2 = 0,53$ ), variables estrechamente asociadas al uso intensivo de fertilizantes en la cuenca. Los resultados sugieren que el IBF es un buen indicador de la calidad de las aguas de los ríos de cuencas agrícolas y ganaderas del sur de Chile [33].

Camargo en el 2007 investigaron los criterios de calidad de agua con los principales problemas medioambientales asociados a la contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos son: (1) acidificación de ríos y lagos con baja o reducida alcalinidad; (2) eutrofización de las aguas dulces y marinas (con el problema adicional de las algas tóxicas); y (3) toxicidad directa de los compuestos nitrogenados para los animales acuáticos. Además, la contaminación por nitrógeno inorgánico podría inducir efectos perjudiciales sobre la salud humana. En base a diferentes criterios de calidad del agua, consideramos que niveles máximos de nitrógeno inorgánico disuelto dentro del rango 0,5-1,0 mg NID/l (o mejor aún de nitrógeno total dentro del rango 0,5-1,0 mg NT/l) pueden ser adecuados para prevenir los procesos de acidificación y eutrofización en los ecosistemas acuáticos (al menos por nitrógeno) y, al mismo tiempo, proteger a los animales acuáticos (y también a las personas) de los efectos tóxicos de los compuestos nitrogenados  $\text{NH}_3^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{HNO}_2^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ . Este rango de concentraciones no sería aplicable a aquellos ecosistemas que, de manera natural, presentan niveles altos de nitrógeno. Concluimos que los problemas comentados pueden agudizarse en aquellas regiones del mundo (por ejemplo, en el sur de España) donde se esperan disminuciones de los recursos hídricos y aumentos de las temperaturas ambientales como consecuencia del cambio climático en curso [34].

## 5.2. Parámetros fisicoquímicos para el tratamiento del agua potable.

C Holguin y colaboradores en el 2006 realizaron un estudio de calidad de agua del río Conchos siendo este un recurso vital para alrededor de un millón de habitantes del estado de Chihuahua, y es el principal afluente del Río Bravo. Con el objetivo de determinar la calidad del agua se realizaron seis muestreos durante 2004: febrero 20, marzo 19, abril 23, mayo 21, junio 18 y julio 23. Se determinaron parámetros físicos (temperatura, CE y sólidos totales), químicos (pH, N-total, N-amoniaco, N-orgánico, cloruros y P-total), y los siguientes 30 elementos utilizando espectrometría de emisión óptica por plasma: Ag, As, Al, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Sr, Ti, Tl, Va, Yb y Zn. Los resultados se compararon con estándares establecidos por la Normatividad Mexicana, por la Secretaría de Desarrollo y Ecología, y por la Agencia de Protección al Ambiente de los EUA. Los elementos que rebasaron uno o más estándares para agua potable fueron Al, Fe, Mn, Tl, Ba, Ni, Be, Zn y Na. Los que rebasaron al menos un estándar para agua dulce fueron Al, Ba, Fe y Tl. Ninguno de los elementos rebasó los estándares para uso agrícola y pecuario. Los elementos que más estándares rebasaron fueron Al (4), Mn, Fe y Tl (3), y Ba, Be, Na, Ni y Zn (1). La concentración de algunos elementos se encuentra en niveles que pueden provocar daños al ser humano a mediano y/o largo plazo en la medida que se esté en contacto en forma cotidiana con estos elementos [35].

En el 2004 Cuchí y colaboradores, realizaron unos trabajos de campo en enero-febrero de 2003 en la península Byers (isla Livingston, islas Shetland del Sur,

Antártida occidental) se ha efectuado por primera vez una diferenciación de los diversos tipos de aguas presentes. Estas se han discriminado a partir de mediciones in situ de la conductividad eléctrica y la temperatura. Las 55 determinaciones realizadas presentan rangos de temperaturas entre 1,2 y 13,8 °C y conductividades entre 4,8 y 1.441 microSiemen/cm a 25 °C. La conductividad eléctrica, en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25 °C, presenta rangos diversos según los diferentes tipos de aguas: nieve (4,8-6,1), lluvia (17,3-53,7), arroyos (51-360) lagos (76-1440), permafrost (291-371) y aguas subterráneas (246-715). Los resultados evidencian la complejidad del ciclo hidrológico durante el verano en la península Byers y ponen de manifiesto el importante papel del permafrost en el flujo hídrico [36].

J. L. Mogollón y colaboradores, determinaron los valores promedios de los parámetros: pH, temperatura (T), conductividad (L) y oxígeno disuelto (OD), en base a mediciones realizadas in situ en aguas fluviales de la Cuenca del río Tuy, entre los años 1979 y 1990, durante las épocas de lluvia y sequía, y se compararon con resultados previos de otras cuencas del Norte de Venezuela. Los períodos de lluvia y sequía, en las zonas prístinas, no ejercen mayor influencia sobre los valores de los parámetros analizados, de forma contraria a lo encontrado en las áreas altamente intervenidas. En las cuencas consideradas la conductividad promedio es función de la litología; sin embargo, a nivel de subunidades sólo el análisis químico de las aguas diferencia las litologías predominantes; de hecho en la cuenca del Tuy el área prístina con mayor escorrentía y vegetación de selva tropical, mostró valores de conductividad menores que las áreas de baja escorrentía y sabana. La influencia humana produce incrementos promedios de 3,9 en L y 0,5 en O.D., que son atenuados durante el periodo de lluvia. La capacidad de auto purificación del sistema se consideró relativamente alta, producto de procesos de dilución, intercambios catiónicos y reacciones ácido-base, que requieren tiempos de horas a meses. Sobre la base de las similitudes ambientales y de los valores de los parámetros, se consideró a la cuenca del Tuy representativa de las del Caribe Venezolano [37].

Baldó en el 2005, estimó la temperatura, salinidad y turbidez del agua en el estuario del Guadalquivir, así como la abundancia, biomasa y número de especies de su macro fauna acuática (necton e hiperbentos), y mensualmente, entre junio de 1997 y mayo de 1999, en cinco estaciones de muestreo a 8, 20, 30, 40 y 50 km de la desembocadura utilizando para la toma de muestras un barco angulero provisto de un arte de pesca con malla de 1mm de luz. En el estuario existió horizontalmente un marcado gradiente salino: la salinidad media mensual osciló habitualmente entre 17 y 27 en la estación más externa, mientras que en la zona más interna raramente sobrepasó 4. La temperatura fue homogénea en todo el estuario, con los valores máximos estivales (28°C) y mínimos invernales (10°C). La turbidez también fue relativamente homogénea en todo el estuario, con valores máximos invernales (362 UNT) y mínimos principalmente estivales (10 UNT). Los máximos de turbidez coincidieron con la zona de confluencia del agua marina y dulce. Los resultados de los análisis de regresión múltiple por pasos indican que la distancia a la desembocadura y el caudal medio de agua desembalsada (el mes previo) desde la presa de Alcalá del Río (a 110 km de la desembocadura) explican



70% de la varianza de la salinidad, mientras que el caudal desembalsado apenas explica 17% de la varianza observada en la temperatura y la turbidez del agua. La salinidad explica 50% de la varianza del número de especies, mientras que la salinidad y la temperatura son las variables ambientales que controlan la variación de la abundancia y biomasa de la macro fauna estuárica, llegando a explicar 75% y 71% de la varianza de la abundancia y biomasa de la comunidad nectónica, respectivamente, y 54% y 48% de la varianza de la abundancia y biomasa hiperbentónica, respectivamente. La salinidad fue, en todos los casos, la variable que explico un mayor porcentaje de la varianza [38].

En el 2003 Pineda con el fin de contribuir a la generación, organización y sistematización de datos relacionados con las características de mezclas ternarias de uso farmacéutico, que sirvan de soporte básico en la formulación de formas farmacéuticas líquidas y que sean útiles para la elección más racional de sistemas de solventes, en este trabajo se presenta el comportamiento seguido por los sistemas agua-alcohol-propilenoglicol, agua-alcohol-glicerín formal, agua-propilenoglicol-glicerín formal y alcohol-propilenoglicol-glicerín formal, frente a las propiedades: densidad, índice de refracción y viscosidad, determinadas a 25°C. Los resultados obtenidos se presentan de forma de coordenadas triangulares de Gibbs-Rooseboom, encontrando desviaciones al comportamiento aditivo en casi todos los casos estudiados [39].

Aguirre y colaboradores en el 2008, realizaron un estudios de algas y protozoos, son microorganismos que presentan características especiales en tanto su sensibilidad a las variaciones de régimen de caudal, calidad fisicoquímica y distribución de la biota dentro del cuerpo hídrico. Al analizar la comunidad de algas y protozoos de vida libre de la quebrada La Ayurá y su relación con la calidad del agua. Se realizaron tres muestreos en tres estaciones a lo largo de la quebrada. Se tomaron muestras de aguas para el análisis de variables fisicoquímico, coliformes totales y fecales. Se colectaron muestras del perifiton para ser analizadas en el laboratorio. Las morfo especies de algas dominantes fueron: Naviculasp, Cymbellasp, Gomphonemasp, Melosiravarians, Nitzschiasp y Amphorasp. También se hallaron protozoos del grupo de los Ciliados como Loxodessp, Vorticellasp y Didiniumsp. Se determinó su capacidad bioindicadora encontrando que la mayoría de las algas fueron indicadores de mesosapróbicas, mientras los protozoos eran polisaprobiedad. La Ayurá en las tres estaciones muestreadas se encuentra en un estado de contaminación medio-alta. Esta contaminación aumentó de la primera a la última estación [40].

Pérez en el 2002 realizo un análisis en un basurero municipal de la ciudad de Durango se han depositado alrededor de 400 ton de desechos sólidos/día por más de 15 años. Considerando esto como una fuente potencial de contaminación hacia el acuífero, se determinaron las calidades fisicoquímica y microbiológica del agua de 20 pozos alrededor del basurero en un radio de 5 km, en periodos trimestrales a lo largo de un año. El agua de 35 % de los pozos excede los límites de la normatividad vigente (NOM-127-SSA1-1994) para coliformes fecales y la de 15 % de ellos en lo que respecta a nitratos, pero esto no es directamente imputable al

basurero. El resto de los parámetros a excepción de dureza están dentro de lo que marca la Norma Oficial Mexicana. Los valores promedio de dureza, cloruros y conductividad son marcadamente más altos en pozos cercanos al basurero, en donde en un lapso de 18 años, se han incrementado de 85 mg/L, 6.9 mg/L y 250  $\mu$ S/cm, respectivamente, 2 a 334 mg/L, 149 mg/L y 1039  $\mu$ S/cm, indicando que la calidad del acuífero se ha modificado y la causa probable es la infiltración de lixiviados del basurero [41].

### **5.3. Parámetros bacteriológicos para el tratamiento del agua potable.**

Flores y colaboradores en 1995 considero que el agua es potable, desde el punto de vista bacteriológico, deber dar como resultado: a) menos de 200 colonias de mesoflicos aerobios por ml, b) un máximo de dos coliformes totales en 100 ml, y c) no contener coliformes fecales en 100 ml. El objetivo del trabajo fue determinar la calidad bacteriológica del agua potable de la ciudad de Mérida, Yucatán, México, estudiando el agua de la red de distribución (exterior) y del agua almacenada en los domicilios (interior). Se estudiaron 383 pares de muestras (2 por domicilio), a las que se realizó la determinación de bacterias indicadoras de contaminación fecal, utilizando la metodología convencional establecida. 364 (95.0%) muestras de la llave exterior y 283 (73.9%) de la llave interior cumplieron las normas microbiológicas. Se realizó la comparación de los resultados de las muestras exteriores y de las interiores por indicador bacteriano y por zona de influencia de las plantas potabilizadoras. La calidad del agua distribuida por la red es satisfactoria, con excepción de la zona correspondiente a la planta Mérida III (oriente y nororiente de la ciudad) que está contaminada con mesoflicos aerobios, y del agua intradomiciliaria de la zona correspondiente a la planta Mérida I (centro y sur), que es la que tiene el nivel más alto de contaminación de probable origen fecal [42].

Escobedo y colaboradores en 1999, determino las fluctuaciones en la calidad del agua del Sistema Lagunar de San Ignacio - Navachiste, Sinaloa en un ciclo anual, se efectuaron durante marzo de 1998 a febrero de 1999, 11 muestreos superficiales en 18 puntos. Se tomaron «in situ» datos de temperatura, salinidad, pH y profundidad del disco de Secchi; y se obtuvieron muestras para el análisis de oxígeno disuelto, nutriente, coliformes totales y fecales y sólidos suspendidos totales. Se aplicó el índice sugerido en Canter (1977), el cual consiste en comparar los resultados obtenidos con los valores estipulados en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para los usos: Recreativo con Contacto Primario y Protección de la Vida Acuática. Se observó calidad regular durante los meses de marzo, septiembre, octubre, diciembre y enero, debido a valores de pH y coliformes fecales fuera de la Norma. El resto del año la calidad fue buena. Se observaron diferencias espaciales con altas concentraciones de nutrientes, bajas salinidades, pH y oxígeno disuelto frente al Dren San Antonio, el cual transporta aguas residuales municipales y agrícolas. Estacionalmente, las mayores concentraciones de nutrientes se midieron durante el invierno. Se sugiere

implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales antes de incorporarlas a la zona costera [43].

En el 2006 Baccaro y colaboradores realizó un estudio del Cinturón Hortícola de Mar del Plata, la aplicación de abono y riego utilizan extensivamente para mantener una alta productividad en los cultivos hortícolas, y puede conducir a problemas de contaminación. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad de agua para consumo humano y riego en muestras de agua extraídas de pozos localizados en esa zona. De las muestras analizadas, el 40% no presentó bacterias coliformes, 10% registró 3 NMP de coliformes por 100 mL de agua y 50% superó el valor de 3 NMP de coliformes por 100 mL, representando un riesgo sanitario para el consumo humano. La mitad de las muestras presentó problemas de contaminación con  $\text{NO}_3^-$ , excediendo el límite de 10 mg N- $\text{NO}_3^-$ -L-1. La conductividad eléctrica varió desde 1,11 hasta 1,39 dS m<sup>-1</sup>, y pudo afectar el crecimiento de los cultivos. No se detectó  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  promedió 7,9 meq L<sup>-1</sup> y la concentración de  $\text{Cl}^-$  fue baja excepto en una muestra que ascendió a 3,4 meq L<sup>-1</sup>. La concentración promedio de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$  fue de 1,9; 2,6; 9,5 y 0,29 meq L<sup>-1</sup>, respectivamente. Según los criterios del Departamento de Salinidad de EE.UU. (Riverside), estas aguas son altamente salinas (clase C3) y con niveles bajos de sodicidad (clase S1) [44].

En el 2004 Pacheco realizó un estudio sobre la naturaleza cárstica del Estado de Yucatán, hace que el agua subterránea sea el único medio de abastecimiento y que sea muy vulnerable a la contaminación. En la mayoría de los sistemas de abastecimiento municipales, el uso del suelo en los alrededores es principalmente habitacional, agrícola y pecuario, por lo que el uso no controlado de agroquímicos y la disposición inadecuada de los desechos, son las principales fuentes de la contaminación del agua subterránea. Con la finalidad de elaborar un diagnóstico de la calidad en los pozos de extracción de agua potable, se evaluó la calidad química y bacteriológica del agua subterránea. Durante los muestreos, se recolectaron muestras en los sistemas de agua potable de las 106 cabeceras municipales del Estado de Yucatán. Los resultados mostraron que el agua subterránea del Estado de Yucatán presenta una calidad bacteriológica clasificada como “peligrosa” y “muy contaminada” en la parte oriental del estado. Las clasificaciones de la calidad química del agua subterránea en función al número de parámetros químicos que excedieron los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana (nitratos, cloruros, sodio, dureza total y cadmio), fueron de: “buena calidad”, aquellos municipios que no rebasaron la norma; “calidad baja”, los municipios en los que únicamente un parámetro excedió la norma (13.21%); “calidad media”, los municipios en donde 2 o 3 parámetros excedieron la norma (52.83%) y; “mala calidad”, los municipios en los que 4 y 5 parámetros (7.55%) excedieron la norma. De manera general, la calidad química del agua subterránea con fines de abastecimiento en los sistemas municipales es aceptable para la mayoría de los 106 sistemas estudiados, ya que de los 22 parámetros químicos estudiados, solo 5 excedieron los límites máximos permisibles por la Norma; sin embargo, la calidad bacteriológica no es aceptable [45].

Sánchez y colaboradores en el 2000, analizaron la calidad bacteriológica del agua (CBA) para consumo humano y su relación con diarreas y enteroparasitosis en niños de 1 a 14 años en comunidades de alta marginación socioeconómica de Chiapas, México. En una muestra aleatoria de 99 viviendas de la Región Fronteriza de Chiapas, de marzo a septiembre de 1998, se recolectaron muestras de agua para consumo humano, se indagó sobre diarreas en los últimos 15 días y se recolectaron muestras de heces de 322 niños de 1 a 14 años. La CBA se determinó mediante la técnica de filtración por membranas y las enteroparasitosis por el método de Faust. Se utilizó el estadístico  $\chi^2$  para el análisis de la CBA con relación a los diversos factores analizados. Sólo 31% de las muestras de agua fueron aptas para consumo humano. La CBA y la presencia de diarreas referida por las madres de los menores no mostraron asociación. Los niños con mala CBA en sus viviendas mostraron mayor prevalencia de *Entamoebahistolytica* y mayor tendencia a estar parasitados. Es necesario desarrollar medidas que mejoren la CBA y campañas de educación que incrementen el uso de agua hervida, su manejo adecuado y el cuidado de las fuentes de abastecimiento comunitarias [46].

Armando y colaboradores en el 2012, realizaron unos hallazgos derivados de la evaluación realizada por el Colegio de Sonora a la Comisión Federal para la protección contra los riesgos sanitarios, en el 2008 y 2009, la cual indaga acerca de la protección contra riesgos sanitarios que realiza esta instancia respecto a la calidad bacteriológica del agua para el consumo humano; se llevó a cabo en Sonora, Nuevo León, Chihuahua, Aguascalientes, San Luis Potosí, Nayarit, Distrito Federal, Morelos, Oaxaca u Chiapas. En el tema de la calidad bacteriológica del agua, incluyó la valoración del desempeño de varias instancias relacionadas con la calidad del agua entubada, para lo cual se efectuaron actividades de investigación en plantas potabilizadoras, jurisdicciones sanitarias, organismos municipales operadores de agua, áreas de regulación sanitaria y también se entrevistó a informantes clave en la misma comisión. Los resultados muestran que en México es precaria la protección contra riesgos derivados de este rubro, también señalan la necesidad de revisar la normatividad existente y reorientar el proyecto para mejorar el monitoreo de la cloración del agua, y habilitar la detección de factores de riesgo y lograr el diseño de una mejor vigilancia epidemiológica [47].

Mónica M. y colaboradores en el 2007 realizaron un estudio de la Calidad Física, Química y Bacteriológica del agua envasada en el Municipio de Montería ya que el agua es vector de peligros físicos, químicos y biológicos importantes para el hombre, por lo que para su consumo es necesario verificar las condiciones de salubridad de la misma, para determinar su aptitud para el consumo humano. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los parámetros físicos: pH, color, olor, turbiedad, sólidos totales y conductividad; las características químicas: alcalinidad, sulfatos, dureza total, hierro total, aluminio, cloruros y cloro residual; y las características bacteriológicas: coliformes totales, coliformes fecales y *Pseudomonas* spp., en 16 empresas envasadoras de agua para consumo humano en el municipio de Montería departamento de Córdoba durante cinco meses. Las variables sólidos totales, pH, alcalinidad, dureza total, conductividad, cloruros,

cloro residual y alcalinidad, mostraron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ) y los sulfatos diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los meses de estudio, indicando que las variaciones de la calidad del agua cruda en el transcurso del estudio influyeron en la calidad final de la misma. Los parámetros de dureza, sólidos totales y conductividad difieren significativamente ( $p \leq 0,05$ ) entre las empresas envasadoras, como producto de la etapa de floculación para minimizar sólidos y turbiedad en algunas envasadoras. Las variables color, olor, turbiedad, contenido de hierro y aluminio no mostraron diferencias significativas ( $p \geq 0,05$ ) tanto para las empresas evaluadas como durante los meses de estudio. Los parámetros bacteriológicos, permanecieron constantes durante la investigación. Este estudio evidenció el cumplimiento del Decreto 1575 del 2007 y las Resoluciones 2125 del 2007 y 12186 de 1991 del Ministerio de la Protección Social de Colombia [48].

#### **5.4. La actividad antrópica y su relación con la contaminación de los acuíferos.**

En el año 2002 Mérida, realizó un estudio donde el recurso de agua subterránea suele ser un recurso confiable para el suministro de agua por estar geológicamente protegido. No obstante ello, las aguas subterráneas presentan una permanente amenaza de contaminación ocasionadas por acciones antrópicas, tales como el desarrollo urbano o las actividades industriales, mineras o agrícolas; constituyendo esto un riesgo para el ecosistema y para la salud si se considera al recurso subterráneo como proveedor de agua para consumo humano.

El presente trabajo consiste en la aplicación de un método paramétrico de valoración de la vulnerabilidad del acuífero y un análisis del peligro y riesgo de contaminación del recurso hídrico subterráneo del Valle de Tulúm, en la provincia de San Juan. El método aplicado, se denomina GOD y establece la vulnerabilidad del acuífero como una función de la inaccesibilidad a la zona saturada de contaminantes, desde el punto de vista hidráulico, y de la capacidad de atenuación de los estratos ubicados encima de la zona saturada.

La metodología toma como punto de análisis el área del Valle, asumiendo como agentes de contaminación los depósitos de residuos sólidos y las industrias existentes en el mencionado Valle. A partir de allí se trata de evaluar la vulnerabilidad y el peligro de contaminación de las aguas subterráneas utilizadas para refuerzo de la red de agua potable. Los resultados obtenidos son una serie de mapas indicativos de la vulnerabilidad del acuífero freático, los peligros relacionados a cada una de las amenazas planteadas y los riesgos asociados al uso del agua subterránea como fuente de agua para el consumo humano. Al elaborar el mapa de vulnerabilidad, permite dividir al Valle en pequeñas unidades que muestran potencialidades diferentes para propósitos o usos específicos; constituye una herramienta sencilla pero fundamental para la toma de decisiones en respuesta al planeamiento, manejo y control de los recursos hídricos [49].

Ghielmi, Mondaca y Lujan presentaron un estudio sobre las características hidrogeológicas y la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de la zona sur del valle central de Cochabamba que es utilizado por la población de esta zona como fuente de agua potable. Se realizaron estudios en 25 pozos de la zona que permitieron una caracterización hidrogeológica del acuífero. Se determinó que el flujo de las aguas va de sur a norte, más o menos paralelo al curso del río Tamborada. A partir de la caracterización del acuífero se aplicó la metodología GOD para elaborar un mapa de vulnerabilidad del mismo; este mapa muestra que las zonas más vulnerables son las zonas de recarga del acuífero en los abanicos aluviales situados al sur y el curso del río Tamborada. La zona en que se asienta el botadero de K'araK'ara resulta ser una zona de alta vulnerabilidad a la contaminación. La región septentrional tiene una vulnerabilidad baja a despreciable gracias a las capas de arcilla que se encuentran en el subsuelo. Como principales fuentes de contaminación se identificaron a: los sistemas de saneamiento in situ, las lagunas de tratamiento de aguas servidas de Alba Rancho, la actividad agropecuaria en la zona y el Botadero de K'araK'ara. Análisis químicos de la calidad del agua de 17 pozos de la zona permitieron evidenciar que el principal problema de contaminación de agua es el elevado nivel de salinidad y la presencia de nitrógeno amoniacal. La salinidad observada puede ser a causa de una contaminación natural de las aguas. Los elevados niveles de nitrógeno amoniacal pueden deberse a alguna fuente de contaminación orgánica (saneamiento in situ, lagunas de tratamiento de aguas servidas o actividad agrícola). A partir del análisis de estos resultados se elaboró una propuesta para el control y la protección de la calidad del acuífero basado en la instalación de sistemas de alcantarillado en las urbanizaciones existentes, el control de la expansión de la mancha urbana y la reducción de las emisiones contaminantes. Para el monitoreo de la calidad de agua del acuífero se propone la selección de un cierto número de pozos en los cuales se harán análisis de la calidad del agua y del comportamiento del acuífero [50].

Hirate también en el año 2002 habló sobre los programas modernos de protección de los recursos hídricos subterráneos tienen como base técnica la restricción de la ocupación del terreno con relación a vulnerabilidad de los acuíferos y/o a perímetro de protección de pozos o manantiales (PPP). La decisión de la instalación o remoción de una actividad potencialmente contaminante debe considerar el peligro de la degradación del acuífero o del pozo/manantial, lo cual es determinado por la interacción de la probabilidad de generación de una carga contaminante con los diferentes grados de vulnerabilidad o PPP. Estudios de caso han mostrado que las cargas contaminantes son las que controlan la contaminación del acuífero, excepto en áreas de vulnerabilidad elevada o captaciones mal construidas. De esta forma, identificar, entender y clasificar las fuentes de contaminación es prioritario en programas de gestión de la calidad de acuíferos. A pesar de que las actividades potencialmente contaminantes sean complejas, es posible dimensionar la probabilidad de generación de una carga poluidora, identificando las sustancias tóxicas manipuladas y/o almacenadas y la existencia de cargas hidráulicas asociadas a estos compuestos, en el proceso o en la destinación final de sus residuos. Esta técnica es conocida como POSH, que

es un acrónimo de estas características: Pollutant Origen e Hydraulic Surchage [51].

Varela, Cena, Kruse, Deluchi y Rojo, en el año 2008 tuvieron en cuenta que para comprender las interacciones que existen entre aguas superficiales y subterráneas en la actualidad en el Arroyo del Gato se ha instalado una red de monitoreo de la capa freática y del agua superficial desde enero de 2001. Esto se realizó en sectores vecinos al cauce seleccionados sobre la base de reconocimientos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos. Mediciones efectuadas evidencian las condiciones generales del comportamiento del agua superficial respecto a la subterránea. Se señala un manifiesto carácter influente del agua superficial del arroyo respecto al agua freática en los sectores altos y medio de la cuenca, mientras que se mantiene la condición efluente en la zona baja (planicie costera). Las características químicas del agua superficial durante el estiaje verifican el carácter influente del arroyo puesto que no se observan variaciones respecto a la composición del agua freática. Es necesario continuar con la obtención de datos periódicos de la red de medición para reconocer la evolución de las condiciones hidráulicas y químicas y detectar posibles causas modificantes de la calidad del agua [52].

En el año de 1994, los señores Hernández, Ruiz y Minghinelli, expusieron la metodología utilizada para el reconocimiento de las características hidrodinámicas de la Zona no saturada (ZNS) y el acuífero freático en la cuenca de los Aos. Martín-Carnaval (91 km<sup>2</sup>) y la determinación de las características de implicaría ambiental. Sobre las bases de las elecciones de tres áreas representativas de diferentes condiciones se instalan sendas estaciones de registración mediante sensores pluviométricos, termográficos, freatográficos, tensiométricos (tensión matricial), de contenido de humedad (sondaje neutrónico-gamma neutrónico) y se detallan la morfología, suelos y propiedades hidrofísicas determinadas en laboratorio. Esta forma permite utilizar la analogía entre el flujo en la ZNS y la difusividad (ley de Fick) para el análisis, con el control de flujo freático. Paralelamente, pretende reconocerse el rol de reductor de contaminación de la ZNS mediante el registro de potencial Redox y determinaciones analíticas [53].

Kruse, Varela, Laurencena, Deluchi. Y Rojo, realizaron la evaluación de las modificaciones del ciclo hidrológico como consecuencia de la urbanización existente en la ciudad de La Plata, en la región Noreste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). A través de la comparación con una zona vecina de características hidrológicas similares, pero sin el fuerte efecto de las actividades del hombre, se analizan las variaciones reconocidas en el escurrimiento superficial, la infiltración, la hidrodinámica e hidroquímica superficial y subterránea. Los resultados obtenidos indican una disminución de la infiltración natural y una aceleración en los procesos de escurrimiento superficial. Como consecuencia de la intensa explotación se ha generado un cono de depresión que ha invertido la relación agua superficial – agua subterránea. Se destaca además una significativa recarga del acuífero a partir de las pérdidas de cañerías y otros drenajes existentes en la zona urbana. Algunas de las alteraciones reconocidas resultan

irreversibles, pasando a formar parte del equilibrio ambiental actual y resulta fundamental considerarlas para cualquier planificación futura en el manejo de los recursos hídricos [54].

En el año 2005 Gaviria y Betancur en un informe mostraron que las actividades de desarrollo urbano, producción agropecuaria, minería y accidentes ambientales estarían amenazando, con un índice de carga contaminante ICC elevado, la calidad de las aguas freáticas de las unidades hidrogeológicas U2 y U3 del Bajo Cauca. Mediante este ejercicio académico se logró interpretar y aplicar por primera vez en el medio la metodología de evaluación de carga contaminante al subsuelo propuesta por Foster e Hirata en los años 1991 y 2002, quedando establecidas las condiciones para que, con un esfuerzo adicional, se lleguen a relacionar amenaza y vulnerabilidad para evaluar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la región [55].

### **5.5. Vulnerabilidad de los Acuíferos.**

En el año 2011, el señor Rafael Jiménez Reyes declaró que el papel del recurso agua subterránea, hoy día, es preponderante en el planteamiento hidráulico y socioeconómico de cada país, pues es un elemento vital, para lograr el desarrollo sostenible. El reto es evitar o mitigar las contradicciones entre el necesario desarrollo socio-económico y la conservación de estas importantes reservas naturales. En la actualidad se distinguen dos estrategias distintas para la protección de los acuíferos:

- Establecer los perímetros de protección sanitaria.
- La construcción de los mapas de vulnerabilidad de acuíferos.

La construcción de mapas de vulnerabilidad de acuíferos constituye una de las vías más adecuadas para preservar la calidad de las aguas subterráneas, ya que estos mapas posibilitan evaluar las características naturales de la región que hacen a los acuíferos más o menos vulnerables a la acción de contaminantes que pueden infiltrarse desde la superficie. Esta investigación está dirigida a la construcción de un mapa de vulnerabilidad de acuíferos en la Región Acuífera Noreste de Villa Clara, empleando la metodología PATHS (Valcarce, 2003). La solución del problema científico de esta investigación reviste gran importancia teniendo en cuenta que la región de estudio abarca los municipios de Camajuaní, Remedios y Caibarien, donde el agua subterránea constituye la fuente de abasto principal, así como el abasto al Polo Turístico de la Cayería Norte de Villa Clara. Los principales resultados reflejan un mapa de vulnerabilidad de acuíferos para la región a escala 1:100 000, mostrándose las zonas más vulnerables, así como las áreas de mayor riesgo a la contaminación. Desde el punto de vista práctico mostramos las facilidades que brinda la aplicación de la metodología PATH Spara acuíferos cubanos, que al ser empleada haciendo uso de un SIG, se convierte en



una eficaz herramienta en el estudio de problemas de contaminación de las aguas subterráneas, y en la planificación territorial y ambiental de una región [56].

Montaño, De Rosa y Chemas comentaron en su informe que se ha desarrollado un método de evaluación de la vulnerabilidad en acuíferos fisurados que consiste en la identificación en la zona no saturada de los “amortiguadores” químicos y físicos más importantes en el retardo del pasaje de contaminantes no conservativo. Los primeros están relacionados con los valores de intercambio catiónico, resultantes principalmente de la presencia de materia orgánica y arcilla, componentes de los horizontes A y B de los suelos. Estos intercambiadores son capaces de retener e intercambiar elementos potencialmente contaminantes.

Los físicos están condicionados a los valores bajos de  $K_v$  (conductividad hidráulica vertical) que retardan el traslado vertical de sustancias, generando un tiempo de transferencia alto [57].

Garfias, Franco y Llanos presentaron En este trabajo se presenta la evaluación de la vulnerabilidad del acuífero del alto Lerma, Estado de México, México, mediante la aplicación combinada del método DRASTIC y el modelo numérico Visual Modflow. El mapa de vulnerabilidad intrínseco fue adecuado, delimitándose nuevas áreas a proteger considerando la contaminación en un plazo igual o menor a 50 años, adecuándose el análisis a las condiciones de explotación del acuífero. Los cambios que se obtienen se reflejan en los índices de baja, media y alta vulnerabilidad. La estimación de la tasa promedio de cambio es del 43%, la cual refleja la incertidumbre entre la vulnerabilidad intrínseca y la vulnerabilidad específica. El hecho de considerar el flujo regional o el flujo local incide directamente en los resultados, por ello es difícil establecer un criterio de comparación entre ambas metodologías. La elección del mejor método y el correcto manejo de la incertidumbre requieren la definición simultánea del flujo local y regional. La única vía para cuantificar la aplicabilidad y la estimación de la incertidumbre, es comparar los resultados obtenidos con datos reales [58].

En el 2008, Ríos y Vélez, el movimiento de un contaminante desde la superficie del suelo hasta el agua subterránea puede tomar días o décadas antes que el impacto de la contaminación resulte evidente y hasta el momento grandes volúmenes de acuíferos estarán involucrados. Por lo cual las medidas de limpieza, casi siempre tienen un alto costo económico y su ejecución es bastante dispendiosa desde el punto de vista técnico. Es esta entonces una justificación válida para un estudio de vulnerabilidad a la contaminación que determine las áreas de mayor y menor susceptibilidad que posee el sistema. La vulnerabilidad a la contaminación de la zona Sur del Valle del Cauca fue estimada con seis métodos de índice y superposición (AVI, BGR, DRASTIC, GOD, GODS y PATHS) y un modelo de flujo de zona no saturada. Los resultados de los índices fueron contratados con los de HYDRUS, asumiendo que el escenario más cercano a la realidad era el modelo de flujo, dado que incluyen parámetros variables en el tiempo que no pueden ser tenidos en cuenta por los índices, como es el caso de la variabilidad de la humedad del suelo. Ninguno de los índices replicó completamente los resultados del HYDRUS. Algunos índices como el BGR y

GODS, coinciden con el HYDRUS en la ubicación de zonas de vulnerabilidad muy alta; otros como el GOD y AVI, que califiquen una amplia zona como vulnerabilidad muy alta incluyen también esta zona del HYDRUS [59].

Contreras y Galindo nos muestran En el presente artículo se analizan y se presentan las circunstancias físicas, sociales y económicas que en conjunto afectan al panorama y a la problemática actual del abastecimiento de agua potable de la zona metropolitana de la ciudad de San Luis Potosí. Entre los temas que se abordan se encuentra la relación entre la disponibilidad del agua y el incremento de la población, así como la evolución de la extracción de aguas subterráneas. Por otra parte, la investigación muestra un diagnóstico de la situación en que se encuentra actualmente el abasto de agua potable en la ciudad de San Luis Potosí y en las áreas aledañas; también plantea el probable escenario del futuro inmediato [60].

López nos comentó que Managua, capital de Nicaragua, tiene como principal fuente de abastecimiento las aguas subterráneas del acuífero de Managua sobre el cual se encuentra localizados Por su condición de capital enfrenta una serie de amenazas capaces de originar en cualquier momento un deterioro de la calidad de estas aguas en forma irreversible. La subcuenca Oriental del acuífero (570 Km<sup>2</sup>), además de considerarse estratégica para enfrentar futuras demandas, presenta condiciones favorables para ensayar, validar y adoptar un método para el análisis del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas, por cuanto en ella se ha utilizado durante 30 años agroquímicos para el cultivo de algodón, existen centros poblados con descargas de aguas negras sin alcantarillado sanitario, basureros municipales inapropiados y descargas de efluentes industriales sin tratamiento. La estimación de la vulnerabilidad del acuífero en base a sus características hidrogeológicas, la estimación de la carga contaminante que existe sobre el acuífero, el valor relativo del agua, y el análisis de inter-relación entre estos elementos, permitieron definir áreas de protección y proponer un plan de protección para las aguas subterráneas. En la actualidad se revisan las medidas de protección propuestas y la participación de las Instituciones en la aplicación del Plan [61].

**Tabla 3 Resumen de Estado del Arte**

<b>Principales Investigadores</b>		
<b>Nombre</b>	<b>Año</b>	<b>Autores</b>
Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica	2009	Patricia Torres Camilo Hernán Cruz Paola Janeth Patiño
Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia	2008	María Cecilia Arango Luisa Fernanda Álvarez Gloria Alexandra Arango Orlando Eli Torres Asmed Monsalve
Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México.	2004	Julia Pacheco Ávila Armando Cabrera Rósela Pérez Ceballos
Situación de la calidad de agua para consumo en hogares de niños menores de cinco años en Perú	2010	Marianella Miranda Adolfo Aramburu Jorge Junco Miguel Campos
Los macro invertebrados bentónicos de pozo azul (cuenca del río gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua.	2003	Francisco Guerrero Ana Manjarrez Hernández Norelis Núñez Padilla
Macro invertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile.	2003	Ricardo Figueroa Claudio Valdovinos Elizabeth Araya Oscar Parra
Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático	2007	J.A. Camargo A. Alfonso
Calidad del agua del rio conchos en la región de ojinaga, chihuahua: parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides	2006	C. Holguín H. Rubio ME Olave R. Saucedo M. Gutiérrez R. Bautista
Discriminación mediante parámetros fisicoquímicos in situ, de diferentes tipos de agua presentes en un área con permafrost (península Byers, isla Livingston, Antártida occidental)	2004	José Antonio Cuchi Juan José Duran Pedro Alfaro

Uso de los parámetros fisicoquímicos de las aguas fluviales como indicadores de influencias naturales y antrópicas	1993	J.L. Mogollón A. Ramírez B. García C. Bifano
Efecto de la regulación del caudal del Río Guadalquivir sobre las características fisicoquímicas del agua y la macro fauna acuática de su estuario	2005	Francisco Baldo José A. Cuesta Carlos Fernández Delgado Pilar Drake
Propiedades fisicoquímicas de mezclas ternarias formadas por agua, alcohol, propilenoglicol y glicerín formal a 25.0 ° C	2003	Lina María Pineda Rosa Edilma Teatino Fleming Martínez
Evaluación de la calidad de lagua a través de los protistas en la quebrada La Ayurá en Envigado (Antioquia)	2008	Dennys Julieth Aguirre Néstor Jaime Aguirre Orlando Caicedo Quintero
Influencia del basurero municipal en la calidad del agua del acuífero de la ciudad de Durango, México	2002	María E. Pérez López María G. Vicencio María T. Alarcón Herrera Mabel Vaca Mier
Calidad bacteriológica del agua potable de la ciudad de Mérida, México	1995	Javier Jesús Flores Guadalupe de Jesús Miguel Ángel Puc Mario Ramón Heredia María de la Luz Vivas José Franco
Calidad bacteriológica del sistema lagunar de san Ignacio-Navachiste, Sinaloa.	1998	Diana Escobedo Urías María Teresa Hernández Nancy Herrera Moreno Ana E. Ulloa Pérez Yuri Chiquete Ozono
Calidad del agua para consumo humano y en muestras del cinturón hortícolade mar del Plata	2006	Baccaro K Degorgue M Lucca M Picone L Zamuner E Andreoli Y
Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México.	2004	Julia Pacheco Ávila Armando Cabrera Rósela Pérez Ceballos

Calidad bacteriológica del agua para consumo humano en zonas de alta marginación de Chiapas	1997	Héctor Javier Sánchez María Guadalupe Vargas José Domingo Méndez
Riesgos sanitarios en calidad bacteriológica del agua. Una evaluación en diez estados de la república mexicana	2012	Jesús Armando Haro Gerardina Nubes J. Rubén Carderon Ortiz
Calidad Física, Química y Bacteriológica del Agua Envasada en el Municipio de Montería	2010	Mónica M. Simanca Beatriz E. Álvarez Robeth Paternina
Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea por Depósitos Sólidos e Industrias en el Valle de Tulum - Provincia de San Juan	2002	Silvia Andrea Mérida
Diagnóstico sobre el nivel de contaminación de acuíferos en el distrito 9 del municipio de Cercado en la ciudad de Cochabamba y propuesta para su protección y control	2007	Giacomo Ghielmi Marcos Luján Gonzalo Mondaca
Carga contaminante y peligros a las aguas subterráneas	2002	Ricardo Hirata
Reconocimiento de la relación aguas superficiales - aguas subterráneas en el arroyo del gato, provincia de buenos aires, argentina	2001	Varela L. Laurencena P. Kruse E. Deluchi M. Rojo A.
Reconocimiento a la zona no-saturada y características ambientales del acuífero freático en la cuenca de los arroyos Martin Carvajal, Provincia de Buenos Aires, Argentina.	1994	Mario Alberto Hernández Alejandro V. Ruiz Leonardo F. Minguinelli
Modificaciones del ciclo hidrológico en un área del noreste de la provincia de Buenos Aires, Argentina	2002	Eduardo Kruse L. Varela P. Laurencena M. Deluchi
Una caracterización de carga contaminante a los acuíferos libres del Bajo Cauca Antioqueño	2005	Jorge Ignacio Gaviria S. Teresita Betancuer V.
Estudio de la vulnerabilidad natural de acuíferos de la región acuífera noreste de villa clara	2011	Rafael Jiménez Reyes
Evaluación de la vulnerabilidad en sistemas fisurados	2002	Jorge Montaña Xavier

Análisis de la vulnerabilidad intrínseca y su adecuación mediante un modelo de flujo con trazado de partículas para evaluar la vulnerabilidad del acuífero del curso alto del río Lerma, estado de México	2002	J. Garfias R. Franco H. Llanos
Vulnerabilidad a la contaminación, zona sur acuífero del Valle del Cauca, Colombia	2008	Liliana Ríos Rojas María Victoria Vélez
Abasto futuro de agua potable, análisis espacial y vulnerabilidad de la ciudad de San Luis Potosí, México	2008	Carlos Contreras Servin María Guadalupe Galindo
Estrategia de protección para las aguas subterráneas en la subcuenta oriental del acuífero de Managua	2003	Choza López Arcadio
Una aproximación geoestadística al análisis espacial de la calidad del agua subterránea	2005	Chica Olmo M. Carpintero Salvo I. García Soldado M. J. Luque Espinar J.A. Pardo Iguzquida E. Rigol Sánchez J. P.

Fuente: Autor

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 6.1. Estudio de Calidad del Agua.

La calidad del agua es el análisis que se realiza a esta misma mediante unos parámetros ya determinados o específicos, los cuales, definen la condición del agua. En nuestro caso, estos parámetros los clasificamos en básicos, colorimétricos, volumétricos y gravimétricos según el método utilizado para su análisis [62], estos parámetros medidos in situ (sitio de la zona de muestreo) y en laboratorio facilitaron la obtención de unos datos que serán tabulados, analizados e interpretados.

A continuación se realizara el análisis e interpretación de cada uno de estos parámetros según su clasificación.

#### 6.1.1. Parámetros fisicoquímicos:

- Básicos:

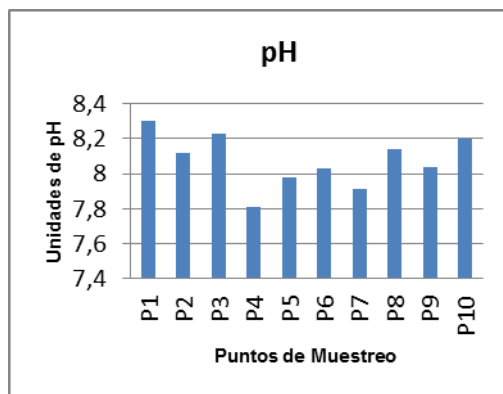
Fueron clasificados el pH y la turbiedad, como parámetros básicos determinantes de la calidad del agua, obteniendo por puntos de muestro, la variabilidad de cada uno.

Tabla 4 Parámetros fisicoquímicos básicos por puntos de muestreo

PARAMETROS	P1 Finca San Pedro	P2 Finca San Pedro	P3 Finca San Pedro	P4 El Rincón	P5 El Rincón	P6 El Rincón	P7 El Rincón	P8 Las Flores	P9 Las Flores	P10 Las Flores
pH	8.3	8.12	8.23	7.81	7.98	8.03	7.91	8.14	8.04	8.2
Turbiedad	0.29	0.28	0.28	0.58	0.78	0.55	0.59	1.75	1.6	1.67

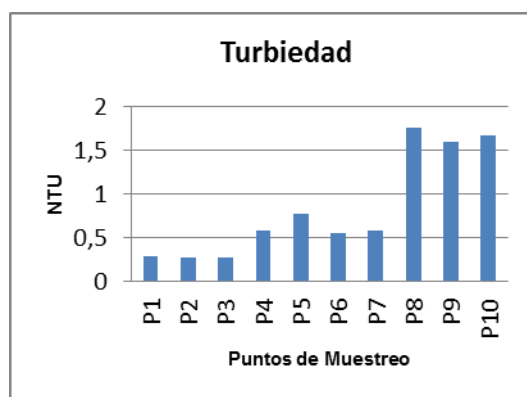
Fuente: autor

La Figura 3 muestra la variación espacial de los parámetros básicos analizados en los 10 puntos de muestreo. En el caso del potencial de Hidrogeno (pH) de la Tabla 4 muestra que este se mantuvo en un rango de 7.81 a 8.23 unidades de pH; aunque este rango está dentro del valor máximo permisible establecido en el marco legal, se puede decir que esto es característico de las aguas subterráneas por la alta presencia de carbonatos y bicarbonatos.



**Figura 3 Parámetros Físicoquímicos Básicos - Comportamiento del pH**

Fuente: Autor



**Figura 4 Parámetros Físicoquímicos Básicos - Variación espacial de la Turbidez.**

Fuente: Autor

En el caso del parámetro de la turbiedad se puede inferir que los resultados del análisis se encuentran dentro de lo permisible según el marco legal, el cual, establece que el máximo valor de turbiedad es menor o igual que 2 NTU (ver figura 4).

- Colorimétrico:

De igual manera, se clasifico un grupo de parámetros por análisis colorimétrico conformado por los nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, fosfatos y sulfatos, tabulados para cada punto de muestreo:



Tabla 5 parámetros fisicoquímicos colorimétrico por puntos de muestreo

PARAMETROS	P1 Finca San Pedro	P2 Finca San Pedro	P3 Finca San Pedro	P4 El Rincón	P5 El Rincón	P6 El Rincón	P7 El Rincón	P8 Las Flores	P9 Las Flores	P10 Las Flores
Nitrato	0.14	0.11	0.15	0.07	0.09	0.06	0.11	0.19	0.15	0.17
Nitrito	0.009	0.014	0.021	0.003	0.028	0.009	0.001	0.01	0.007	0.012
Nitrógeno Amoniacal	0.02	0.03	0.02	0.11	0.1	0.08	0.09	0.05	0.03	0.03
Fosfatos	0.25	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.10	0.21	0.17	0.19
Sulfatos	23	22	26	2	2	2	1	16	15	16

Fuente: autor

Con base a lo mostrado en la tabla 5, los parámetros mencionados estuvieron por debajo de los valores máximos permisibles según la normativa, donde esta define que para el Nitrato es menor o igual a 10 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Nitrito es menor o igual a 0.1 mg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L, Fosfatos es menor o igual a 0.5 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> y Sulfatos menor o igual a 250 mg SO<sub>4</sub><sup>-</sup>/L; lo que indica la baja o ausencia de contaminación por materia orgánica. En efecto el comportamiento del sulfato no fue tan significativo con respecto a lo que determina la norma y esto nos confirma la ausencia de malos olores en el agua.

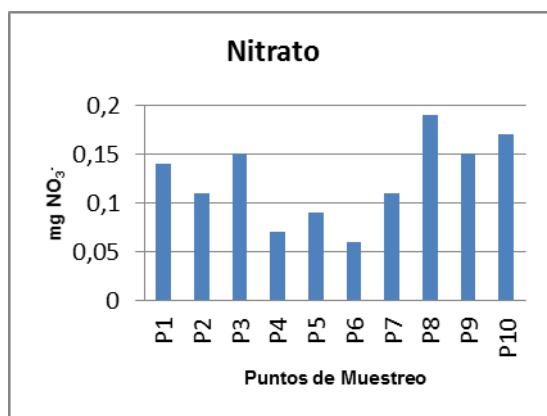


Figura 5 Parámetros por análisis colorimétrico - Comportamiento de los Nitratos

Fuente: Autor

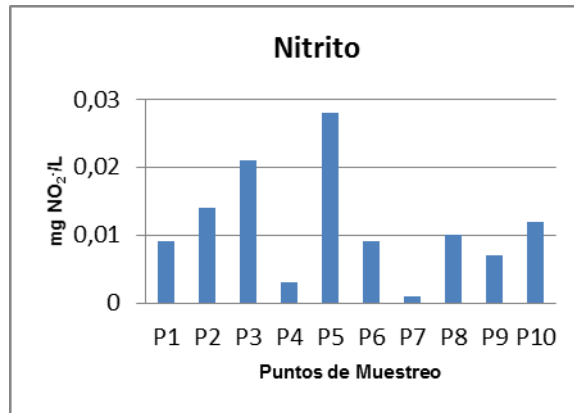


Figura 6 Parámetros por análisis colorimétrico - Variación espacial de los Nitritos  
Fuente: Autor

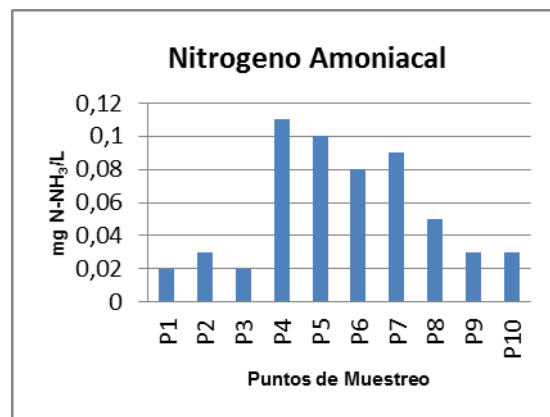


Figura 7 Parámetros por análisis colorimétrico - Variación espacial del Nitrógeno Amoniacal  
Fuente: Autor.

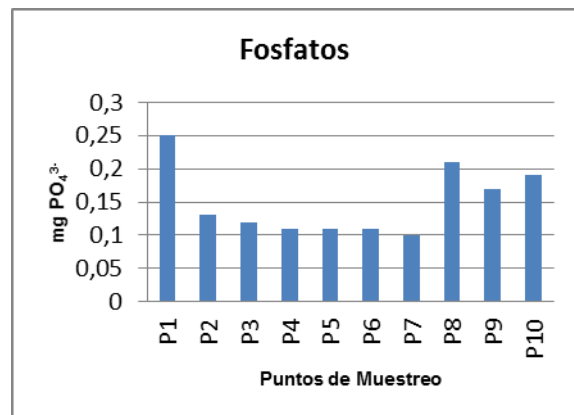


Figura 8 Parámetros por análisis colorimétrico - Comportamiento de los fosfatos  
Fuente: Autor.

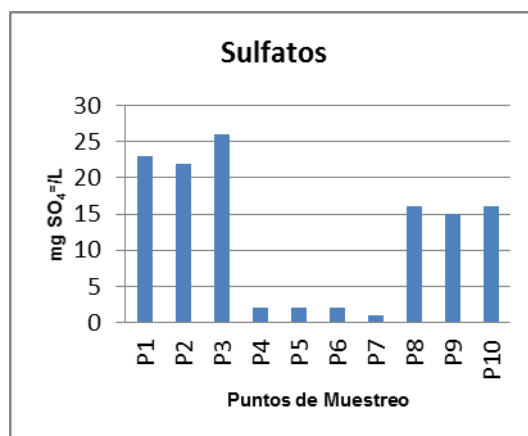


Figura 9 Parámetros por análisis colorimétrico - Variación espacial de los sulfatos.  
Fuente: Autor.

- Volumétricos:

A partir de la alcalinidad, la dureza y cloruros se constituyó el grupo de los parámetros fisicoquímicos volumétricos, variando en rangos de 205.6 mg CaCO<sub>3</sub>/L a 263.2 mg CaCO<sub>3</sub>/L, 32.2 mg CaCO<sub>3</sub>/L a 137 mg CaCO<sub>3</sub>/L, 93.6 mg CaCO<sub>3</sub>/L a 28.8 mg CaCO<sub>3</sub>/L y 270.92 mg Cl/L a 7 mg Cl/L respectivamente (Ver tabla 6).

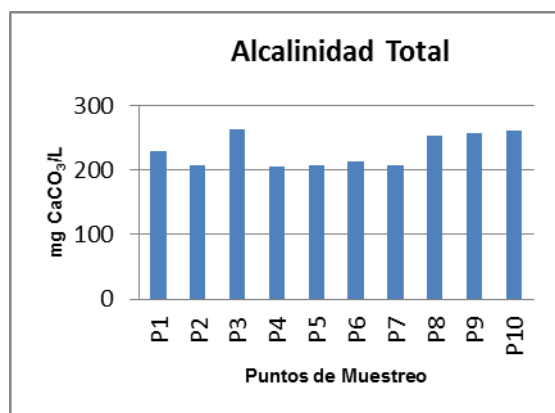
Tabla 6 Parámetros fisicoquímicos volumétricos por puntos de muestreo

PARAMETROS	P1 Finca San Pedro	P2 Finca San Pedro	P3 Finca San Pedro	P4 El Rincón	P5 El Rincón	P6 El Rincón	P7 El Rincón	P8 Las Flores	P9 Las Flores	P10 Las Flores
Alcalinidad Total	228.8	207.2	263.2	205.6	208	212.8	206.4	253.6	256	260
Dureza Total	34.6	32.2	40.6	134.6	137	132.2	133.8	79.4	78.6	79.8
Dureza Cálctica	28.8	29.6	32.8	67.2	93.6	58.4	60	55.2	51.2	53.6
Cloruros	39.99	32.99	270.92	7.5	8	7.75	7	22.99	22.49	23.49

Fuente: Autor

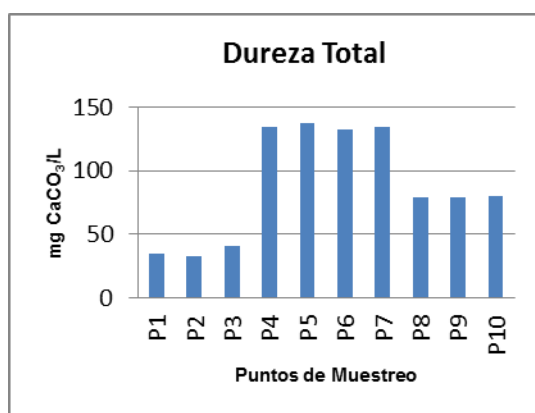
Teniendo en cuenta el comportamiento de la alcalinidad y el valor máximo permisible, se sugiere que el agua consumida en los puntos de muestreo no son aptos en términos de alcalinidad ya que en la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad está producida prácticamente por los iones de carbonato y 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.

En cuanto al contenido de dureza total y cálcica, todas las estaciones son aptas para consumo humano. Así mismo por cada estación se relacionó la concentración de cloruros arrojada, observándose un cambio brusco en el punto 3, el cual se encuentra por encima del valor máximo permisible.



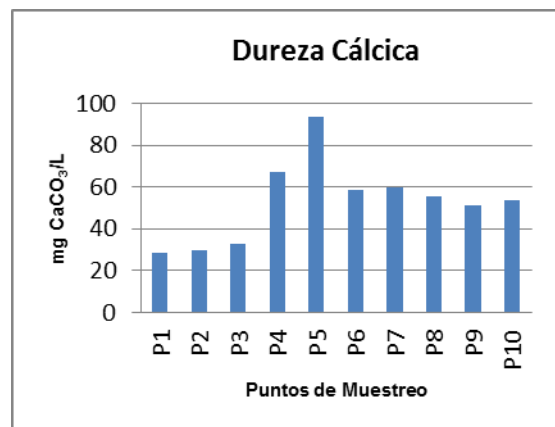
**Figura 10** Parámetros fisicoquímicos volumétricos - Variación de la alcalinidad en los puntos de muestreo

Fuente: Autor



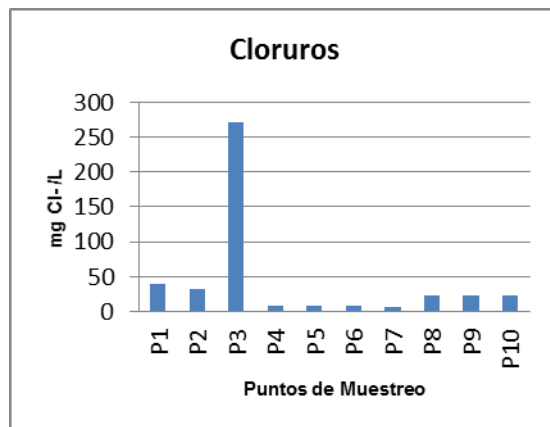
**Figura 11** Parámetros fisicoquímicos volumétricos - Variación espacial de la dureza total

Fuente: Autor



**Figura 12** Parámetros fisicoquímicos volumétricos - Variación espacial de dureza cálcica

Fuente: Autor



**Figura 13 Parámetros fisicoquímicos volumétricos - Comportamiento de los cloruros por estaciones.**

Fuente: Autor

Conforme a lo analizado en la tabulación de datos en los parámetros volumétricos más específicamente en la figura 13, se puede evidenciar notablemente una gran diferencia en comparación con los datos en el mismo parámetro, lo cual, nos hace deducir que se presentó un posible error al momento de tomar la muestra en la fase de campo, por lo que dio como resultado dicha diferencia.

- Gravimétricos:

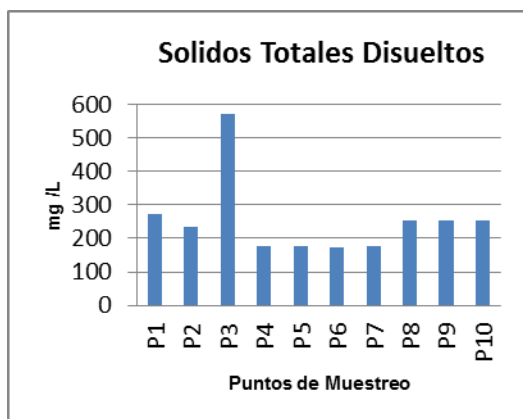
Los sólidos totales disueltos se clasifico como gravimétrico por el método utilizado para su análisis. En la tabla 7 se puede identificar que los sólidos totales disueltos varían en un mínimo de 175.0 mg/L hasta un máximo de 570.0 mg/L.

**Tabla 7 parámetros fisicoquímicos gravimétricos por puntos de muestreo.**

PARAMETROS	P1 Finca San Pedro	P2 Finca San Pedro	P3 Finca San Pedro	P4 El Rincón	P5 El Rincón	P6 El Rincón	P7 El Rincón	P8 Las Flores	P9 Las Flores	P10 Las Flores
<b>Sólidos Totales Disueltos</b>	<b>271</b>	<b>236</b>	<b>570</b>	<b>178</b>	<b>176</b>	<b>175</b>	<b>175.5</b>	<b>254</b>	<b>255</b>	<b>252</b>

Fuente: Autor

En el punto 3 de muestreo, al igual como se ha mencionado en el análisis de los anteriores parámetros, se puede deducir que el aumento de los DTS también es consecuencia de un error al momento de la toma de muestra, o por el contrario también podría ser, por presencia de algas, corrosión o una eficacia reducida de los productos químicos, además el agua presento un nivel de pH alto.



**Figura 14** Parámetros fisicoquímicos volumétricos - Variación de los sólidos totales disueltos.

Fuente: Autor.

- Químicos:

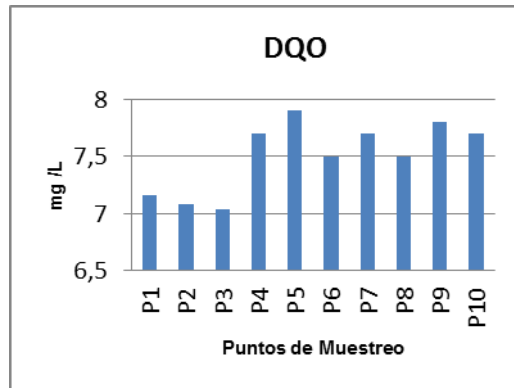
En este grupo se encuentra la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Oxígeno Disuelto.

**Tabla 8** parámetros fisicoquímicos por puntos de muestreo.

PARAMETROS	P1 Finca San Pedro	P2 Finca San Pedro	P3 Finca San Pedro	P4 El Rincón	P5 El Rincón	P6 El Rincón	P7 El Rincón	P8 Las Flores	P9 Las Flores	P10 Las Flores
<b>DQO</b>	7.16	7.08	7.04	7.7	7.9	7.5	7.7	7.5	7.8	7.7
<b>DBO</b>	3	3	2.99	4	4.2	3.8	4	2.8	3.2	3
<b>Oxígeno Disuelto</b>	1.2	1.5	1.3	2.6	2.8	2.4	2.6	1.9	2.2	1.8

Fuente: Autor

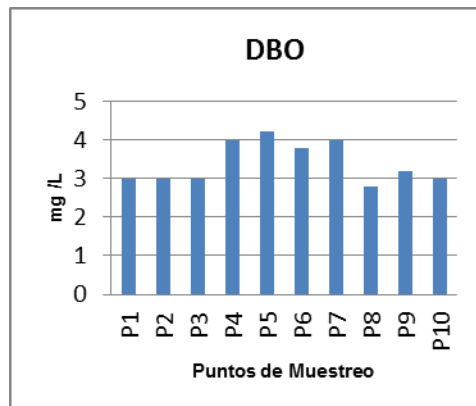
Los valores procesados corresponden a las medias de cada uno de los puntos muestreados. No existen variaciones significativas de los valores de DQO, encontrándose dentro de los límites permisibles (menor de 300 mg/L) para las aguas limpias [63]. La muestra tomada en el punto 1 tiene como valor de 7.16 mg/L DQO fue el más significativo; la muestra tomada en el punto 3 en 7.04 mg/L fue la cantidad más baja (ver tabla 8).



**Figura 15 Parámetros fisicoquímicos - Variación espacial de la demanda química de oxígeno (DQO).**

Fuente: Autor

Realizando un análisis a los resultados de las muestras y comprándolos con los parámetros permisibles, es correcto afirmar que el agua estudiada se encuentra en una pureza intermedia; ya que el parámetro de DBO está en un rango de 3 a 5 ppm de O<sub>2</sub> [63]. Según lo derivado de la anterior información es correcto afirmar que el agua se encuentra en buenas condiciones (ver figura 16).



**Figura 16 Parámetros fisicoquímicos - Variación espacial de la demanda biológica de oxígeno (DBO).**

Fuente: Autor

Según los resultados de los análisis las concentraciones de oxígeno disuelto se encuentran en un rango de 0-2 ppm y 2-4 ppm (ver figura 17) donde sólo pocos peces e insectos acuáticos pueden sobrevivir; ya que la concentración de oxígeno disuelto en el agua disminuye conforme la profundidad se incrementa, por lo que puede esperarse que los valores de oxígeno sean más bajos en zonas profundas (acuíferos subterráneos) [64].

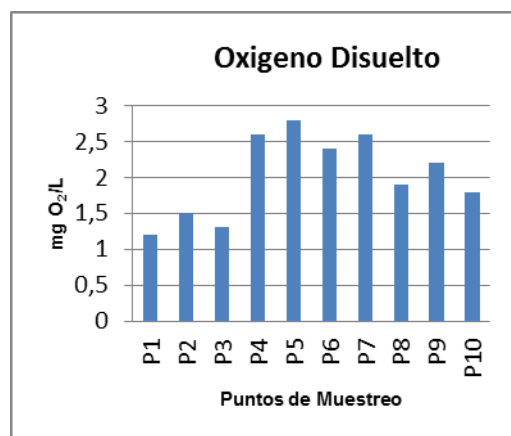


Figura 17 Parámetros fisicoquímicos - Variación espacial de oxígeno disuelto.  
Fuente: Autor

### 6.1.2. Parámetros microbiológicos:

Del total de diez puntos muestreados, cuatro de ellos (punto 2, punto 7, punto 8 y punto 10) representando el 40% tuvieron presencia de coliformes totales como se muestra en la tabla 9. Debido a que la legislación Colombiana es muy clara en establecer los valores máximos aceptables con base al método utilizado para su determinación, los resultados arrojados conforme al método de filtración por membrana, evidencian que el agua de consumo en estos puntos no es apta.

En efecto el punto 2 y el punto 10 presentaron contaminación microbiológica por los resultados positivos de coliformes fecales como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9 Parámetros fisicoquímicos - Variación espacial de oxígeno disuelto.

PARAMETROS	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
<b>Coliformes Totales</b>	-	+	-	-	-	-	+	+	-	+
<b>Coliformes Fecales</b>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+

Nota: Presencia de microorganismos (+); Ausencia de microorganismos (-).

Fuente: Autor

Con base a los resultados arrojados por los parámetros de coliformes totales y fecales, los cuales, se presentaron en determinados puntos del muestreo, una posible causa de la presencia de estos podría ser, que el acuífero cada vez se encuentra más vulnerable a la contaminación por lixiviados procedentes de la degradación de basureros satélites más cercanos y por deterioro de su infraestructura. Ningún municipio de los que están en el acuífero ha desarrollado



un sistema de tratamiento para sus aguas residuales y los alcantarillados cuya cobertura además de ser baja vierten las aguas directamente en estos cauces; los vertimientos se hacen directamente al suelo o en letrinas. La mayoría de los habitantes de los municipios aledaños tiene sistemas de vertimiento de basuras a cielo abierto y el material de revestimiento y compactación es permeable, lo que hace que los lixiviados se infiltren en el acuífero produciendo la contaminación por microorganismos.

## **6.2. Análisis de los valores obtenidos en la normatividad vigente.**

De manera detallada y resumida se contrastaron los valores obtenidos de los diferentes parámetros analizados y los valores máximos aceptables plasmados en la Normatividad Colombiana, Resolución 2115 de 2007, emitida por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (ver Tabla 10). Se observa que los valores obtenidos para pH, turbiedad, dureza total, dureza cálcica, sulfatos, cloruros, nitrato, nitrito, fosfatos se encuentran por debajo de los valores límites planteados en la Resolución. Sin embargo se evidenciaron puntos en las que algunos parámetros tales como alcalinidad y cloruros en el punto 3 del muestreo sobre pasan dichos límites permisibles.

Tabla 10 Resultados por estación VS valores máximos aceptables para parámetros fisicoquímicos

PARAMETROS	UNIDAD DE MEDICION	PUNTOS DE MUESTREO										VALORES MAX. ACEPTABLES
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
pH	Unidades de pH	8.3	8.12	8.23	7,81	7,98	8,03	7,91	8,14	8,04	8,20	≥ 6.5 y ≤ 9
Turbiedad	NTU	0.29	0.28	0.28	0,58	0,78	0,55	0,59	1,75	1,60	1,67	≤ 2
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	228.8.	207.2	263.2	205,6	208,0	212,8	206,4	253,6	256,0	260,0	≤ 200
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	34.6	32.2	40.6	134,6	137,0	132,2	133,8	79,4	78,6	79,8	≤ 300
Dureza Cálcica	mg CaCO <sub>3</sub> /L	28.8	29.6	32.8	67,2	93,6	58,4	60,0	55,2	51,2	53,6	≤ 200
Sólidos Totales Disueltos	mg /L	271	236	570	178,0	176	175,0	175,5	254,0	255,0	252,0	...
Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> /L	39.99	32.99	270.92	7,50	8,00	7,75	7,00	22,99	22,49	23,49	≤ 250
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> /L	23	22	26	2	2	2	1	16	15	16	≤ 250
Nitrito	mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L	0.009	0.014	0.021	0,003	0,028	0,009	0,001	0,010	0,007	0,012	≤ 0.1
Fosfatos	mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.25	0.13	0.12	0,11	0,11	0,11	0,10	0,21	0,17	0,19	≤ 0.5
Nitrato	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.14	0.11	0.15	0,07	0,09	0,06	0,11	0,19	0,15	0,17	≤ 10
DQO	mg/L	7.16	7.08	7.04	7,70	7,90	7,50	7,70	7,50	7,8	7,70	...
DBO	mg/L	3	3	2.99	4,0	4,2	3,8	4,0	2,8	3,2	3,0	...
Oxígeno Disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	1.2	1.5	1.3	2,6	2,8	2,4	2,6	1,9	2,2	1,8	...
Nitrógeno Amoniacal	mg NH <sub>3</sub> /L	N-0.02	0.03	0.02	0,11	0,10	0,08	0,09	0,05	0,03	0,03	...

Fuente: Autor.

Con el fin de evidenciar las diferencias del marco legal entre países se estableció un cuadro comparativo (ver Anexo 4) de algunos valores para los parámetros fisicoquímicos dados por diferentes estándares, entre los cuales se encuentra la Ley 18284 de 1994 – Código Alimentario Argentino, la NCH 409/1 de 1984 por la República de Chile, los Estándares europeos de la calidad del agua potable (OMS) establecidas en Génova en 1993, la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 y finalmente como parte de sur América se evidencia el estándar de Colombia establecido por la Resolución 2115 de 2007.

En el cuadro comparativo se evidenció que los valores límites dados por estos cinco países en parámetros como turbidez, pH o sulfatos son iguales en su mayoría o muy próximos entre sí. Sin embargo desde el punto de vista del ámbito internacional, si tomamos como referencia las normatividades marcada por los diversos países, algunos permiten concentraciones o niveles de parámetros específicos en el agua, mientras que otros no tienen valores como lo es en el caso DBO, DQO u Oxígeno disuelto y para agregar la dureza cálcica se encuentra como Calcio y/o Magnesio en las diferentes normatividades internacionales consultadas, lo que permite inferir que no existe una uniformidad de criterios relacionado con la calidad que debe contar el agua para consumo humano y uso doméstico.

Además de haber analizado los estándares para parámetros fisicoquímicos determinantes de la calidad de agua de un lugar específico, se tabularon los estándares de los mismos cinco países, pero esta vez teniendo en cuenta los coliformes totales y fecales como parámetros para determinar la calidad microbiológica del agua potable (ver Anexo 5), con esta tabulación se evidenció, que lo esperado en el agua para consumo humano es la ausencia de unidades formadoras de colonias.

### **6.3. Plan de Monitoreo para el acuífero.**

Es fácil imaginar la trascendencia económica de una situación de contaminación de aguas subterráneas si se piensa que éstas constituyen a menudo la única fuente de agua potable en amplias zonas.

Específicamente en Morroa, el acuífero que escogimos para nuestro estudio es fuente de abastecimiento para diferentes pueblos, poblaciones y personas, particularmente tuvimos contacto con diferentes pobladores de la zona los cuales su única fuente hídrica son las zonas de bombeo del acuífero, ya que no tienen posibilidad o acceso a alguno diferente. Por otro lado, los resultados fisicoquímicos y microbiológicos que arrojaron nuestros análisis nos hacen evidenciar que hay ciertos puntos específicamente que donde se detectan pequeños focos de contaminación que si no son controlados de cierta manera, afectaran a la comunidad que depende del acuífero.

La lucha contra la contaminación exige aparte de medidas a posteriori medidas de gestión de calidad que llevan inherentes sus costos específicos. Esta gestión de calidad podría definirse como el conjunto de medidas a tomar para proporcionar agua de calidad adecuada a los diferentes tipos de usuarios. Esto implica la realización de estudios preliminares construcción de estructuras de protección. Y mantenimiento de instalaciones vigilancia de la calidad, etc.

Aunque toda esta serie de medidas es evidentemente compleja y costosa, su coste puede ser moderado en relación con los beneficios que puede representar el no tener que acudir a remedios mucho más complejos y costosos, y a veces ineficaces cuando una situación de contaminación se ha producido.

Existen dos características esenciales en los procesos de contaminación de aguas subterráneas que son imprescindibles tener en cuenta a la hora de adoptar decisiones sobre la protección del patrimonio hídrico subterráneo: la protección que para el acuífero representa la zona no saturada, y la dificultad de localizar y eliminar la contaminación una vez producida.

Algunos aspectos preventivos que se podría adoptar para evitar contaminación en los demás puntos podría llegar a ser:

- Evitar que el contaminante llegue al acuífero.
- Reducir su peligrosidad antes de que el contaminante alcance el acuífero, en caso tal de que exista.
- Limitar la cantidad de contaminante que llega al acuífero, en caso de que se este presente.

Estas actividades estratégicamente pueden efectuarse:

- ✓ Ordenación espacial de las actividades contaminantes en áreas cuya vulnerabilidad haya sido previamente determinada.
- ✓ Establecimiento de perímetros de protección de calidad prohibiendo o limitando ciertas actividades especialmente en las proximidades de las captaciones o en las zonas de recarga de los acuíferos.
- ✓ Establecimiento de normativa de construcción y abandono de pozos, vía frecuente de contaminación directa de acuíferos impermeabilización y control efectivo de la misma en cuantos depósitos o almacenamientos de residuos constituyan una amenaza para el mantenimiento de la calidad del agua subterránea.
- ✓ Drenaje somero especialmente en zonas de contaminación difusa como es la contaminación por nitratos en zonas agrícolas.

Control de la inyección directa de residuos industriales o domésticos.

La reducción de la peligrosidad de un contaminante antes de que alcance el acuífero puede lograrse a través de diferentes tratamientos de depuración artificial o natural del mismo (plantas de tratamiento o vertido en zonas con adecuado poder auto depurador).

La reducción de la cantidad *de* contaminante puede lograrse a través de reciclados optimizando la aplicación de fertilizantes nitrogenados utilizados en agricultura y mediante vertidos controlados que limiten la producción de Lixiviados con drenajes adecuados impermeabilización, etc.

En caso de que ya se haya efectuado la contaminación, algunas medidas para controlar o curar el acuífero de esta misma podrían ser:

- Cuando se ha llegado a una situación de contaminación de un acuífero la protección de captaciones y el intento de eliminación del contaminante suele basarse en procesos de alteración del flujo subterráneo.
- Barreras de presión o conjunto de pozos de recarga modificando los gradientes de modo que se detenga el flujo de agua contaminada hacia los puntos de extracción.
- Barreras de depresión o conjunto de pozos de bombeo situados entre el foco contaminante y las captaciones a proteger.

También proponemos un posible sistema de Vigilancia a las fuentes de captación de acuífero:

Aún a riesgo de resultar reiterativos ha de recordarse de nuevo que la lucha contra la contaminación ha de comenzar con criterios de prevención inútiles sin un sistema de vigilancia adecuado, El Establecimiento Publico Ambiental (EPA)

define el término "vigilancia de la calidad del agua" como "un programa, científicamente concebido de reconocimiento continuo que incluye muestreos directos y medidas indirectas de calidad inventario de las causas de cambio actuales o potenciales así como análisis de la causa de cambios acaecidos y predicción de la naturaleza de los futuros cambios de calidad".

El objetivo principal de este tipo de programas es obtener cuanta información permita tomar las decisiones adecuadas en cada caso, tanto de prevención como de control y lucha contra la contaminación.

Las consideraciones que se deben tener en cuenta en caso de un gran foco de contaminación puntual o difusa:

- Identificación de la fuente de contaminación potencial o ya detectada y su extensión.
- Identificación de las características físicas químicas y biológicas del agua a controlar.
- Evaluación de las características hidrogeológicas de la zona.
- Evaluación de la calidad natural del agua subterránea.
- Determinación de la movilidad del contaminante en la zona no saturada.
- Evaluación de las propiedades de atenuación del contaminante en la zona saturada.
- Delimitación de la extensión horizontal y vertical de la contaminación.
- Anteproyecto de la red de pozos de observación.
- Construcción de la red de observación.
- Operación de la red con las modificaciones y actualizaciones que cada situación concreta aconseje.

La densidad de la red de control la distribución de pozos en ella, el número y tipo de parámetros a observar los métodos de toma de muestras y la frecuencia del muestreo deben determinarse en función del objeto específico del programa de vigilancia y de las expectativas de desarrollo de la zona a que se aplique dicho programa. Es así como se propone un programa de monitoreo y seguimiento para evitar la contaminación a gran escala del acuífero.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados mostrados, del análisis y de la discusión, se pueden obtener las siguientes conclusiones, sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica del acuífero de Morroa – Sucre.

- Todos los parámetros de los diferentes puntos de muestreo cumplen fisicoquímicamente como fuentes de suministro para agua potable de acuerdo con los criterios establecidos por la Resolución 2115 del 2007, a excepción de la alcalinidad ya que se encuentra por encima de lo máximo permitido, esto suele provocarlo el compuesto mineral carbonato de calcio, el cual, puede provenir de las rocas, como la piedra caliza, siendo esta, el material predominante en los acuíferos subterráneos.
- Las muestras de agua potable en los puntos escogidos del municipio para la determinación de parámetros microbiológicos revelaron que existe un déficit en la calidad microbiológica, puesto que, se encontraron presencia de coliformes totales y fecales, y según lo establecido en el marco legal (Resolución 2115 del 2007), estos parámetros no cumplen con los requerimientos de agua acta para el consumo humano.
- La presencia de coliformes fecales y totales en el agua del acuífero (P2, P7, P8 y P10) es un problema, ya que por el uso doméstico al que se destinan, puede ocasionar daños a la salud de los habitantes si no se realiza la cloración del agua.

La detección coliformes totales y coliformes fecales encontradas en algunas zonas del acuífero podría deberse a la deficiencia de servicios sanitarios y drenaje, empezando a deteriorar la calidad del acuífero en esas zonas; el acuífero es vulnerable a la contaminación por lixiviados procedentes de la degradación de basureros satélites y por deterioro de su infraestructura.

- Al comparar la calidad del agua del acuífero con los estándares establecidos en la normatividad nacional e internacional vigente, se evidenció que el agua de consumo humano no cumple en su totalidad con las condiciones reglamentadas para las características físicas, químicas y microbiológicas, por lo que no es recomendable ingerirla directamente, preparar alimentos o usarla en la higiene personal.
- De acuerdo con lo analizado y lo evidenciado en el municipio de Morroa, se estima, que la presencia de coliformes totales y fecales se pueden asociar a que el municipio no ha desarrollado un sistema de tratamiento para sus aguas residuales que abarque la demanda de vertimientos, además, la falta de mantenimiento y falta de control ambiental y de calidad empeoran la situación. lo que conlleva a plantear una herramienta de seguimiento ambiental para la optimización y monitoreo de la calidad del agua, mediante la cual se asuman las

responsabilidades tanto para los usuarios como para las personas prestadoras del servicio.

Luego de terminar esta etapa de la investigación, que representa una línea base en el campo de la investigación de futuros proyectos, mediante la utilización de estudios y herramientas propuestas por otros autores a nivel nacional e internacional, recomendamos tener en cuenta los siguientes estudios y consideraciones con el fin de plantear posibles soluciones para mejorar la calidad del agua del acuífero de Morroa.

- Realizar estudios para determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en el acuífero en diferentes puntos de captación y en distintas zonas, con el fin de obtener información que lleve al punto donde inicia el problema.
- Indagar y estudiar la relación que tiene la deficiencia de servicios sanitarios y drenaje, lixiviados procedentes de la degradación de basureros satélites con la presencia de coliformes totales y fecales en el análisis microbiológico realizado en diferentes puntos de captación.
- Proponer e implementar sistemas de monitoreo y de mantenimiento para controlar el grado de contaminación que pueda estar sufriendo el agua debido a la influencia de lixiviados procedentes de basureros y actividad ganadera en los pozos de bombeo.
- Se recomienda delimitar, ampliar y asegurar las áreas de bombeo del agua, ya que se evidenciaron dentro del área, en la fase de campo, restos de heces de animales procedentes de la actividad ganadera.
- Para realizar una evaluación ambiental del acuífero de Morroa donde se establezcan las acciones para prevenir, mitigar, rehabilitar o compensar los impactos negativos, se debe implementar un Plan de Manejo Ambiental donde se pueden incluir los planes comunitarios (habitantes y prestadores del servicio) y monitoreo de la fuente hídrica.
- Establecer planes de manejo, de seguimiento y monitoreo para los equipos utilizados durante el proceso, desde la fuente de captación hasta la distribución para su uso final.
- Estudiar la posibilidad de diseño e implementación de un sistema de alcantarillado que abarque con la demanda de vertimientos del municipio, con el fin de evitar infiltraciones, ya que, por la carencia de este servicio de saneamiento básico, se esté contaminando el agua del acuífero de Morroa.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alteraciones de la integridad de los sistemas acuáticos: Los acuíferos. Internet:  
[http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/alarchil/MASTER%20ECO/ACUIFEROS.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/alarchil/MASTER%20ECO/ACUIFEROS.pdf)
- [2] Unidad de Desarrollo Sostenible. El recurso invisible acuíferos transfronterizos: una oportunidad de cooperación internacional. Series sobre elementos de política, número 3 – Agosto 2004. Organización de los Estados Americanos. Internet: [http://www.oas.org/dsd/policy\\_series/3\\_spa.pdf](http://www.oas.org/dsd/policy_series/3_spa.pdf)
- [3] Lenntech. 2006. Agua residual & purificación del aire. Holding B.V. Rotterdamseweg. 402 M 2629 HH Delft, Holanda.
- [4] RWL Water UNITEK Group. Parámetros fisicoquímicos del agua. Internet: [http://www.unitek.com.ar/productos-lecho-mixto.php?id\\_lib\\_tecnica=6](http://www.unitek.com.ar/productos-lecho-mixto.php?id_lib_tecnica=6)
- [5] Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales - Turbidez, Miguel Rigola Lapeña. Página 28. Editorial: Alfaomega, Marcombo.
- [6] Evaluación del método de osmosis inversa como complemento al sistema convencional de tratamiento de aguas para la generación de vapor y energía de una planta de extracción de aceite de palma. Wilmar Alarcon Gordo y Luisa España Moreno, Universidad Industrial de Santander. Página 27. Internet: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7413/2/145100.pdf>
- [7] El Agua. Calidad y contaminación (1/2), Capítulo 9: Parámetros químicos de calidad de las aguas. Dureza y alcalinidad. Internet: <http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-1-2/parametros-quimicos-calidad-aguas-dureza-alcalinidad>
- [8] Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales. Por W. Adam Sigler and Jim Bauder, Universidad Estatal de Montana Programa de Extensión en Calidad del Agua Departamento de Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales. Internet: [http://region8water.colostate.edu/PDFs/we\\_espanol/Alkalinity\\_pH\\_TDS%202012-11-15-SP.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf)
- [9] Determinación de Cloruros por Argentometría. Internet: <http://arturobola.tripod.com/cloru.htm>
- [10] E.Dome. Contaminación por Nitratos y Nitritos (Agua y Alimentos). Internet: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/ContamNitr.htm>
- [11] El Agua. Calidad y contaminación (1/2), capítulo 12: Parámetros químicos de calidad de las aguas. Nitritos, nitratos y fosfatos. Internet: <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/6/agua-calidad-contaminacion-1-2-38286-completo.pdf>

[12] Departamento de Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración Local. C/ González Tablas, 931005- Pamplona (Navarra) Teléfono: 848 42 49 27

Correo electrónico. [sian@navarra.es](mailto:sian@navarra.es). El agua en Navarra. Oxígeno Disuelto. Internet:

[https://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/OxigenoDisuelto.htm](https://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Parametros/OxigenoDisuelto.htm)

[13] Nitrógeno Amoniaco. Internet:

<http://roble.pntic.mec.es/~mbedmar/iesao/quimica/nitrogen.htm>

[14] José María Obon de Castro. Dpto. Ing. Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Politécnica de Cartagena Análisis Microbiológico del agua. Internet: [http://www.upct.es/~minaees/analisis\\_microbiologico\\_aguas.pdf](http://www.upct.es/~minaees/analisis_microbiologico_aguas.pdf)

[15] Patrick Robartaigh. El efecto de las bacterias coliformes fecales en el medio ambiente. Internet: [http://www.ehowenespanol.com/efecto-bacterias-coliformes-fecales-medio-ambiente-info\\_291092/](http://www.ehowenespanol.com/efecto-bacterias-coliformes-fecales-medio-ambiente-info_291092/)

[16] Division de Investigadores, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Facultad de Ciencia de la Salud, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Correspondencia: [sestupinant59@unicolmayor.edu.co](mailto:sestupinant59@unicolmayor.edu.co). Recibido: 15-11-05 Aceptado: 12-12-05. Indicadores Microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. Internet: [http://www.unicolmayor.edu.co/invest\\_nova/NOVA/ARTREVIS2\\_4.pdf](http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf)

[17] Régimen Legal de Bogotá D.C. Decreto 475 de 1998. Degorado por el artículo 35 Decreto Nacional 1575 del 2007. Internet: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1327>

[18] National Academy of Sciences. Academia Nacional de Ciencias. Global Health and Education Foundation. Copyright 2007. Fuentes de Abastecimientos. Internet: <http://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Sources/index.html>

[19] Ecured. Conocimientos con todos y para todos. Categorías: Geografía e Hidrografía. Aguas Superficiales. Internet: [http://www.ecured.cu/index.php/Aguas\\_superficiales](http://www.ecured.cu/index.php/Aguas_superficiales)

[20] Academia.edu. Jhon David. Hidraulica de Canales. Internet: [http://www.academia.edu/9494395/HIDRAULICA\\_DE\\_CANALES](http://www.academia.edu/9494395/HIDRAULICA_DE_CANALES)

[21] Astronomia.com. Astronomía Educativa: Tierra, Sistema y Universo. Las aguas superficiales: Lagos. Internet: <http://www.astromia.com/tierraluna/lagos.htm>

[22] José María Franquet Bernis. Enciclopedia y Biblioteca de Economía "EMVI". ¿Qué es un embalse y para qué sirve? Internet: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2005/jmfb-h/1t.htm>

[23] Grupo de Tratamiento de Aguas Residuales. Escuela Universitaria Politécnica. Universidad de Sevilla. Ambientum.com. El portal profesional del medio ambiente. Aguas Subterráneas. Internet:

[http://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/agua\\_subteranea.asp#](http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/agua_subteranea.asp#)

[24] Planes de desarrollo municipal 2012-2015. Internet: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/morroa%20sucre%20pd%202012%20-%202015.pdf>

[25] Plano de desarrollo municipal 2012-2015. Primero Morroa. Internet: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/morroa%20sucre%20pd%202012%20-%202015.pdf>

[26] Evaluación de la vulnerabilidad del acuífero Morroa a contaminación por plaguicidas aplicando la metodología DRASTIC. Vicente Vergara Flórez, Guillermo Gutiérrez Ribon, Humberto Flórez Ramos 2009. Internet: <http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CCkQFjAE&url=http%3A%2F%2Frcientificas.uninorte.edu.co%2Findex.php%2Fingenieria%2Farticle%2Fdownload%2F740%2F403&ei=pFkCVfzHB4WfNoDUguAH&usg=AFQjCNFomnaeLeqvwP85XM1CA0mv-Fi4XA&bvm=bv.88198703,d.eXY>

[27] Corporación Autónoma Regional de Sucre CARSUCRE Proyecto de Protección Integral de Aguas Subterráneas del Acuífero Morroa Sector Sincelejo-Corozal-Morroa. HECTOR MARIO HERRERA PARRA, LUZ ELENA ROMERO RUIZ - Sincelejo, octubre de 2003. Internet: <http://www.carsucre.gov.co/DOCS/Estudio%20hidrogeologico%20acuifero%20Morroa.pdf>

[28] Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Patricia Torres, Camilo Hernan Cruz, Paola Janeth Patiño, Recibido: 11/12/2008 Aceptado: 05/10/2009. Internet: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Act.\\_4.\\_Indices\\_de\\_Calidad\\_de\\_Agua\\_en\\_fuentes\\_Superficiales.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Act._4._Indices_de_Calidad_de_Agua_en_fuentes_Superficiales.pdf)

[29] Revista EIA. Escuela de ingeniería de Antioquia. María Cecilia Arango, Luisa Fernanda Álvarez, Gloria Alexandra Arango, Orlando Eli Torres, Asmed de Jesús Monsalve. Internet: <http://repository.eia.edu.co/revistas/index.php/reveia/article/view/203>

[30] Pacheco et.al. / Ingeniería 8-2 (2004) 165-179. Julia Pacheco Ávila, Armando Cabrera Sansores, Rósela Pérez Ceballos. Diagnóstico de calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el estado de Yucatán, México.

[31] Revista peruana de medicina experimental y salud pública Octubre del 2010. Marianella Miranda Cuadros. Recibido: 28-09-10 Aceptado: 07-12-10. Situación de la calidad del agua para el consumo en hogares de niños menores a cinco años en Perú, 2007 – 2010. Internet: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342010000400000](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342010000400000)

[32] Acta Biológica Colombiana, Vol. 8 No. 2, 2003 43. Francisco Guerrero Bolaño, Ana Manjares Hernández, Norelis Núñez Padilla. Programa de Biología, facultad de ciencias básicas. Universidad del Magdalena, Santa

Marta, Magdalena, Colombia. Los macroinvertebrados bentónicos de pozo azul (Cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. Recibido: 15-09-2003. Aceptado: 14-11-2003. Internet: <http://www.virtual.unal.edu.co/revistas/actabiol/PDF%27s/V8N2/Art5V8N2.pdf>

[33] Revista chilena de historia natural. Santiago junio 2003. Ricardo Figueroa, Claudio Valdovinos, Elizabeth Araya, Oscar Parra. Unidad de Sistemas Acuáticos, Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile; e-mail: [rfiguero@udec.cl](mailto:rfiguero@udec.cl). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua de ríos del sur de Chile. Internet: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-078X2003000200012&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-078X2003000200012&script=sci_arttext)

[34] Ecosistemas. Revista científica de ecología y medio ambiente. J.A. Camargo. A. Alfonso. Recibido: 20-11-2006 Aceptado: 3-12-2007. Contaminación por Nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicación es del cambio climático. Internet: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/457>

[35] Universidad y Ciencia 2006. C. Holguin, H. Rubio, ME Olave, R. Saucedo, M. Guitierrez, R. Bautista. Recibido: 13-06-2005 Aceptado: 7-05-2006. Calidad del agua del río conchos en la región de ojinaca chihuahua: parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides. Internet: [http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/uciencia/junio2006/4calidad\\_rio\\_conchos.pdf](http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/uciencia/junio2006/4calidad_rio_conchos.pdf)

[36] Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.), 99 (1-4), 2004, 75-82. José Antonio Cuchi, Juan José Duran, Pedro Alfaro, Enrique Serrano, Jerónimo López Martínez. Discriminación mediante parámetros fisicoquímicos in situ, de diferentes tipos de agua presentes en un área con permafrost (península Byers, isla Livintong, Antártida Occidental). Internet: <http://historia.bio.ucm.es/rsehn/cont/publis/boletines/69.pdf>

[37] Instituto de Ciencias de la Tierra. Universidad Central de Venezuela. Apto. 3895. Caracas 1010-A. Venezuela. Dirección actual: Departamento de Geoquímica, Sección de Ciencias de la Tierra. INTEVEP S. A., Los Teques. J.L. Mogollón, A. Ramírez, B. Garcia, C. Bifano. Uso de los parámetros físico-químico de las aguas fluviales como indicadores de influencia naturales y antrópicas. 1993. Internet: [http://www.interciencia.org/v18\\_05/comunicaciones.html](http://www.interciencia.org/v18_05/comunicaciones.html)

[38] Universidad Autónoma de Baja California. Ciencias Marinas 2005. Baldo Francisco, Cuesta. José A. , Fernández Delgado Carlos, Drake Pilar. Efecto de la regulación del caudal del río Gualdaquivir sobre las características fisicoquímicas del agua y la macrofauna acuática de su estuario. Internet: <http://digital.csic.es/handle/10261/43313>

[39] Revista Colombiana Ciencia Química Farmacéutica. Lina María Pineda, Rosa Edilma Teatino, Fleming Martínez. Propiedades fisicoquímicas de mezclas ternarias formadas por agua, alcohol, propilenoglicol y glicerim formal

a 25.0 °C. internet: <http://www.geociencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/farmacia/revista/V32N1P13-22.pdf>

[40] Universidad de Antioquia. Dennys Julieth Aguirre Sánchez, Néstor Jaime Aguirre Ramírez, Orlando Caicedo Quintero. Evaluación de la calidad del agua a través de los protistas en la quebrada de Ayura en Envigado (Antioquia). Internet: <http://gaia.udea.edu.co/Articulos%20Hidrobiologia%20Sanitaria/Protistas%20en%20la%20Ayura%202008.pdf>

[41] Revista Internacional Colombiana Ambiental 2002. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional. Recibido: Abril 2001 Aceptada: Mayo 2002. María E. Pérez López, María G. Vicencio de la Rosa, María T. Alarcon Herrera, Mabel Vaca Mier. Influencia del basurero municipal en la calidad del agua del acuífero de la ciudad de Durango, México. Internet: [http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/rica/congreso\\_tlaxcala/REVISTA/contaminacion/acervo/vol\\_18\\_3/1.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/rica/congreso_tlaxcala/REVISTA/contaminacion/acervo/vol_18_3/1.pdf)

[42] Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal. Sistema de Información científica. Javier Jesús Flores, Guadalupe de Jesús Suarez, Miguel Ángel Puc, Mario Ramón Heredia, María de la Luz Vivas, José Franco. Calidad bacteriológica del agua potable en la ciudad de Merida, México. Institución de Salud pública de México 1995. Internet: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10637309>

[43] Ciencia y Mar. Diana Escobedo Urías, María Teresa Hernández Real, Nancy Herrera Moreno, Ana E. Ulloa Pérez, Yuri Chiquete Ozono. Calidad bacteriológica del sistema lunar de San Ignacio-Navachiste, Sinaloa. Internet: <http://www.umar.mx/revistas/9/navachiste.pdf>

[44] Unidad Integrada INTA, Facultad de Ciencias Agrarias. Buenos Aires, Argentina. 2006. Baccaro K, Degorgue M, Lucca M, Picone L, Zamuner E, Andreoly Y. Calidad del agua del consumo humano y riego de muestras del cinturón hortícola de mar de plata. Internet: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210571.pdf>

[45] Revista de Ingeniería. Julián Pacheco Ávila, Abrero Cabrera Sansores, Roselia Pérez Ceballos. Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los sistemas municipales de abastecimiento en el estado de Yucatán, México. Internet: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen8/diagnostico.pdf>

[46] Salud Publica de México, Septiembre – octubre 2000. Fecha de Recibido: 22 de febrero del 2000. Fecha: 17 de Agosto 2000. Héctor Javier Pérez Sánchez, María Guadalupe Vargas Morales, José Domingo Méndez Sánchez. Calidad bacteriológica del agua para consumo humano en zonas de alta marginación de Chiapas. Internet: <http://www.scielosp.org/pdf/spm/v42n5/3990.pdf>

[47] Región y Sociedad/ Número Especial. Colegio de Sonora, México. Jesús Armaro Haro, Geraldina Nubes, J. Rubén Calderón Ortiz. Riesgos sanitarios de calidad bacteriológica del agua. Una evaluación en diez estados de la

república mexicana. Internet:  
<https://www.colson.edu.mx:4433/Revista/Articulos/e3/8Haro.pdf>

[48] Revista Temas Agrarios. Volumen 15. Universidad de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrícolas. Mónica M. Simanca. Beatriz E. Álvarez, Roberth Paternina. Calidad Física, Química y Bacteriológica del agua envasada en el municipio de Montería. Internet:  
<http://revistas.unicordoba.edu.co/ojs/index.php/temasagrarios/article/view/394>

[49] Mérida, Silvia Andrea, Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea por Depósitos Sólidos e Industrias en el Valle de Tulum - Provincia de San Juan. INA CRAS SAN JUAN; Avda. J.I.de la Roza 125 Este, Piso 3; CP 5400; San Juan; Argentina Tel. (54 264) 4214826 / Fax (54 264) 4212415. E-mail: meridasilvia@yahoo.com.ar

[50] Giacomo Ghielmi, Gonzalo Mondaca, Marcos Luján, Diagnóstico sobre el nivel de contaminación de acuíferos en el distrito 9 del municipio de Cercado en la ciudad de Cochabamba y propuesta para su protección y control. Av. Hernán Siles Esq. Calle 9 (zona Alto Temporal) Cochabamba-Bolivia Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana Av. General Galindo s/n, Cochabamba, Bolivia e-mail: lujan@ucbcba.edu.bo

[51] Ricardo Hirata, CARGA CONTAMINANTE Y PELIGROS A LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS, Revista Latino-Americana de Hidrogeología, n.2, p. 81-90, 2002.

[52] Varela, L. Laurencena, P., Kruse, E., Deluchi, M. y A. Rojo. RECONOCIMIENTO DE LA RELACION AGUAS SUPERFICIALES - AGUAS SUBTERRANEAS EN EL ARROYO DEL GATO, PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA, CIC.Pcia de Buenos Aires. Fac.Ciencias Naturales y Museo. CONICET – Universidad Nacional de La Plata lvarela@museo.fcnym.unlp.edu.ar

[53] Mario Alberto Hernández, Alejandro V. Ruiz de Galarreta y Leonardo F. Minghinelli, Reconocimiento a la zona NO-saturada y características ambientales del acuífero freático en la cuenca de los arroyos Martin-Carvajal, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Catedra de Hidrogeología Universidad Nac. De la Plata CIC.

[54] Eduardo Kruse, L. Varela, P.Laurencena, M. Deluchi, A. Rojoy E. Carol. MODIFICACIONES DEL CICLO HIDROLOGICO EN UN AREA DEL NORESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES .ARGENTINA, Paseo del Bosque s/n, 1900, La Plata, kruse@fcaglp.unlp.edu.ar

[55] Jorge Ignacio Gaviria S. Teresita Betancur V. Una caracterización de carga contaminante a los acuíferos libres del Bajo Cauca Antioqueño. Gestión y Ambiente, vol. 8, núm. 2, diciembre, 2005, pp. 85-102, Universidad Nacional de Colombia

[56] Rafael Jiménez Reyes, ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD NATURAL DE ACUÍFEROS DE LA REGIÓN ACUÍFERA NORESTE DE VILLA CLARA.

Empresa Aprovechamiento Hidráulico VC, Cuba, Ave. Libertadores No 201 e/ Danielito y J. Menéndez, Santa Clara, VC, Cuba, jai@eiphvc.hidro.culX  
CONGRESO CUBANO DE GEOLOGÍA (GEOLOGIA´2011) Taller sobre Aguas subterráneas y Contaminación

[57] Jorge Montaña, Ernani Francisco de Rosa y Eduardo Chemas, EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN SISTEMAS FISURADOS, Revista Latino-Americana de Hidrogeología, n.2, p. 53-62, 2002.

[58] J. Garfías, R. Franco y H. Llanos, ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD INTRÍNSECA Y SU ADECUACIÓN MEDIANTE UN MODELO DE FLUJO CON TRAZADO DE PARTÍCULAS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DEL CURSO ALTO DEL RÍO LERMA, ESTADO DE MÉXICO, Revista Latino-Americana de Hidrogeología, n.2, p. 115-126, 2002.

[59] Liliana Ríos Rojas y María Victoria Vélez Octavario, vulnerabilidad a la contaminación, zona sur acuífero del valle del cauca, Colombia. Boletín de Ciencias de la Tierra – Numero 23, Junio de 2008 - Medellín - ISSN 0120 – 3630

[60] Carlos ContretasServin y María Guadalupe Galindo Mendoza, Abasto futuro de agua potable, análisis espacial y vulnerabilidad de la ciudad de San Luis Potosí, México, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. CUADERNOS DE GEOGRAFÍA | REVISTA COLOMBIANA DE GEOGRAFÍA | n. ° 17, 2008 | ISSN: 0121-215X | BOGOTÁ, COLOMBIA | **PP. 127-137.**

[61] Choza López Arcadio nos comentó que Managua, ESTRATEGIA DE PROTECCION PARA LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LA SUBCUENCA ORIENTAL DEL ACUIFERO DE MANAGUA, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) Km. 12 ½ Carretera Norte-Apdo No.5123- Managua, Nicaragua

[62] Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas. Carlos Alberto Severiche Sierra, Marlon Enrique Castillo Bertel y Rosa Leonor Acevedo Barrios. (2013); pg. 12-77. Internet: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>

[63] Evaluación de la demanda química de oxígeno en aguas de la provincia de Granma, Cuba. Y. Rosabal-Carbonell , L. Chang-Huerta , N. Perez-Aballe y J.A. Morales-León. (2012). Internet: <http://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v8-n1-3-evaluacion-de-la-demanda-quimica-de-oxigeno-en-aguas-de-la-provincia-de-granma-cuba.pdf>

[64] Información básica sobre parámetros. Global Water Watch – Mexico. Internet: <http://www.globalwaterwatch.org/MEX/MXesp/MXInfoBasicaParametrosSp.aspx>

## Anexos:



Fuente: Autor

### Anexo 1. Foto de Estación de Bombeo

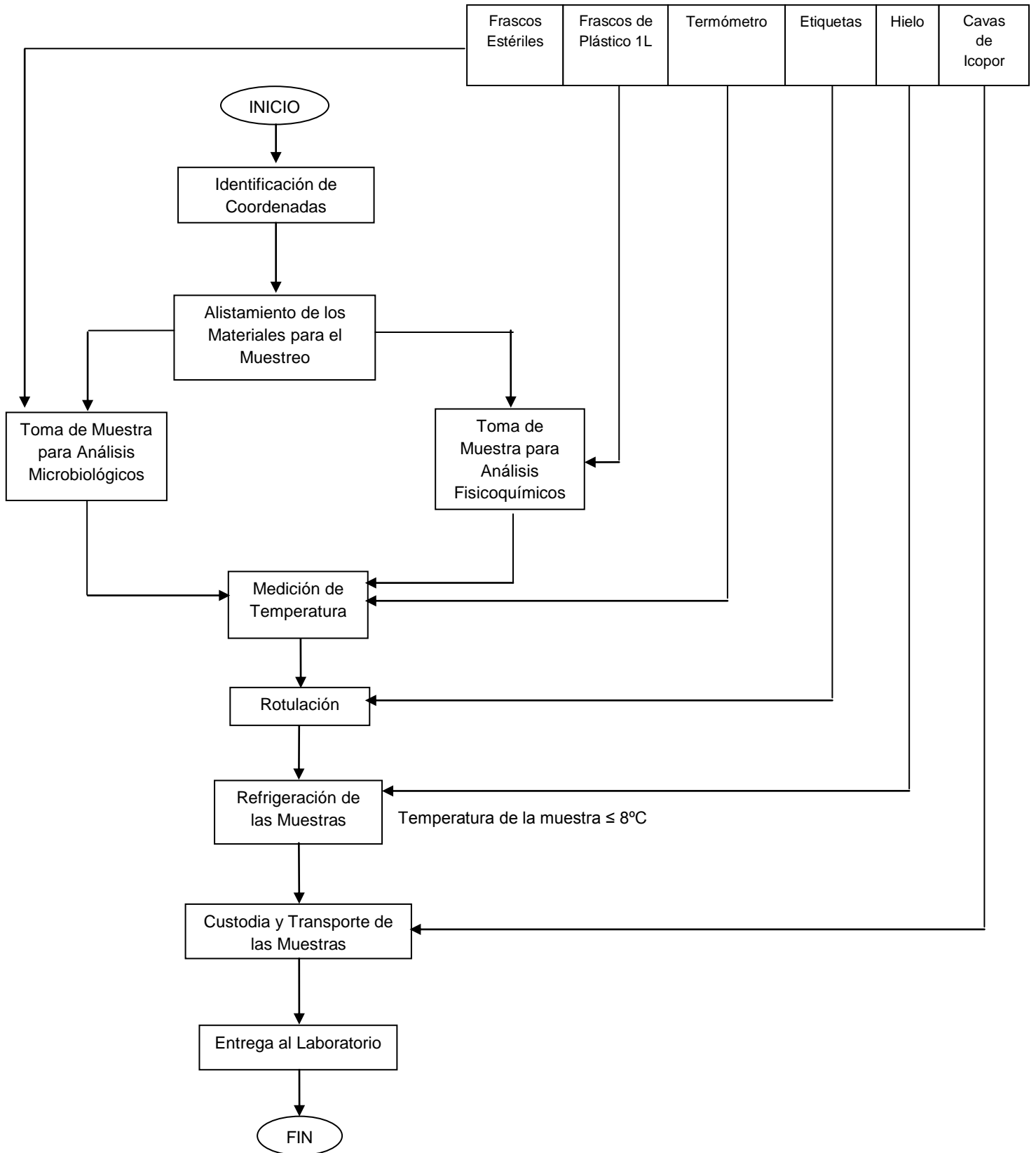


Fuente: Autor



**Anexo 2. Foto rotulación de muestras.**

**DIAGRAMA DE FLUJO EN FASE DE CAMPO**



**Anexo 3. Diagrama de Flujo en Fase de Campo.**

## ESTANDARES FISICOQUIMICOS DE LA CALIDAD DE AGUA EN ALGUNOS PAISES

PARAMETROS	UNIDADES	Ley 18284 de 1994 (Argentina)	NCH 409/1 de 1984 (República de Chile)	Estándares europeos de la calidad del agua potable (OMS) - 1993 (Génova)	NOM-127-SSA1-1994 (México)	Resolución 2115 de 2007 (Colombia)
pH	Unidades de pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	...	6.5 - 8.5	6.5 - 9
Turbiedad	NTU	3	2	3	5	2
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	...	...	200	...	200
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	400	...	...	500	300
Dureza Cálcica	mg CaCO <sub>3</sub> /L	...	...	...	...	...
Sólidos Totales Disueltos	mg /L	1500	1500	...	1000	...
Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> /L	...	400	250	250	250
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> /L	400	500	500	400	250
Nitrito	mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L	0,1	...	3	0,05	0,1
Fosfatos	mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	...	...	...	10	0,5
Nitrato	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	45	...	50	...	10
DQO	mg/L	...	...	...	...	...
DBO	mg/L	...	...	...	...	...
Oxígeno Disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	...	...	...	...	...
Nitrógeno Amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /L	0,2	1,5	...	0,5	...

Fuente: Autor

### Anexo 4. Cuadro comparativo de Parámetros Físicoquímicos de las Normas Internacionales.

## ESTANDARES MICROBIOLÓGICOS DE LA CALIDAD DE AGUA EN ALGUNOS PAISES

PARAMETROS	Ley 18284 de 1994 (Argentina)	NCH 409/1 de 1984 (República de Chile)	Estándares europeos de la calidad del agua potable (OMS) - 1993 (Génova)	NOM-127-SSA1- 1994 (México)	Resolución 2115 de 2007 (Colombia)
<b>Coliformes Totales</b>	-	-	-	-	-
<b>Coliformes Fecales</b>	-	-	-	-	-

Nota: Presencia de microorganismos (+); Ausencia de microorganismos (-).  
Fuente: Autor

**Anexo 5. Cuadro comparativo de Paramentos Microbiológicos de las Normas Internacionales.**