



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO**



# **SISTEMA DE INSTRUMENTACION PARA EL ANALISIS DE LA CALIDAD DE AGUA**

**TESIS**

**Que para obtener el Título de  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**Presenta  
HORACIO GAONA VALENCIA**

**Asesor de Tesis  
Dr. Ciencias en Ingeniería Eléctrica: GILBERTO GONZALEZ AVALOS**

**Morelia Michoacán**

**Enero del 2014**

## AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a mis padres Juan Antonio y María por apoyarme desde que inicie mis estudios, por estar siempre pendientes de mi educación y tenerme paciencia y apoyarme en los momentos en que flaqueaba la confianza en mí mismo. También les doy gracias por haberme enseñado el camino de la rectitud.

# Contenido

|                                                            |          |
|------------------------------------------------------------|----------|
| Agradecimientos.....                                       | ii       |
| Contenido.....                                             | iii      |
| Resumen.....                                               | vii      |
| Abstract.....                                              | vii      |
| <br>                                                       |          |
| <b>Capítulo 1. Introducción.....</b>                       | <b>1</b> |
| 1.1 Medición de la calidad del agua.....                   | 1        |
| 1.2 Objetivo.....                                          | 2        |
| 1.3 Justificación.....                                     | 2        |
| 1.4 Metodología.....                                       | 2        |
| 1.5 Descripción de los Capítulos.....                      | 3        |
| <br>                                                       |          |
| <b>Capítulo 2. Agua potable y sus características.....</b> | <b>4</b> |
| 2.1 Antecedentes históricos del agua potable.....          | 4        |
| 2.2 Características del agua potable.....                  | 4        |
| 2.3 Acceso al agua potable.....                            | 6        |
| 2.4 El agua potable en México.....                         | 7        |
| 2.5 Problemática del agua en México.....                   | 9        |
| 2.6 Recurso financiero.....                                | 9        |
| 2.7 Contaminación.....                                     | 10       |
| 2.8 Cobertura de agua potable y suministro.....            | 11       |
| 2.9 Extracción de acuíferos.....                           | 11       |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Capítulo 3. Definición e importancia de la calidad del agua</b> ..... | 12 |
| 3.1 Introducción.....                                                    | 12 |
| 3.2 Índice de la calidad del agua (ICA).....                             | 13 |
| 3.3 Descripción de pruebas de calidad del agua con equipo VERNIER.....   | 15 |
| 3.3.1 Temperatura.....                                                   | 15 |
| 3.3.1.1 Descripción del Sensor.....                                      | 16 |
| 3.3.1.2 Especificaciones.....                                            | 16 |
| 3.3.1.3 Método.....                                                      | 17 |
| 3.3.2 pH.....                                                            | 17 |
| 3.3.2.1 Descripción del Sensor.....                                      | 18 |
| 3.3.2.2 Especificaciones.....                                            | 19 |
| 3.3.2.3 Método.....                                                      | 19 |
| 3.3.3 Turbiedad.....                                                     | 20 |
| 3.3.3.1 Descripción del Sensor.....                                      | 21 |
| 3.3.3.2 Especificaciones.....                                            | 21 |
| 3.3.3.3 Método.....                                                      | 21 |
| 3.3.4 Sólidos Totales (ST).....                                          | 22 |
| 3.3.4.1 Método.....                                                      | 23 |
| 3.3.5 Oxígeno Disuelto.....                                              | 23 |
| 3.3.5.1 Descripción del Sensor.....                                      | 24 |
| 3.3.5.2 Especificaciones.....                                            | 25 |
| 3.3.5.3 Método.....                                                      | 25 |
| 3.3.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....                           | 25 |
| 3.3.6.1 Método.....                                                      | 26 |
| 3.3.7 Total de Fosfatos.....                                             | 28 |
| 3.3.7.1 Descripción del Sensor.....                                      | 29 |
| 3.3.7.2 Especificaciones.....                                            | 29 |

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 3.3.7.3 Método.....                     | 30 |
| 3.3.8 Nitratos.....                     | 31 |
| 3.3.8.1 Descripción del Sensor.....     | 32 |
| 3.3.8.2 Especificaciones.....           | 32 |
| 3.3.8.3 Método.....                     | 33 |
| 3.3.9 Nitrato de Amonio.....            | 33 |
| 3.3.9.1 Descripción del Sensor.....     | 35 |
| 3.3.9.2 Especificaciones.....           | 35 |
| 3.3.9.3 Método.....                     | 36 |
| 3.3.10 Alcalinidad.....                 | 36 |
| 3.3.10.1 Método.....                    | 37 |
| 3.3.11 Sólidos disueltos totales.....   | 37 |
| 3.3.11.1 Descripción del Sensor.....    | 38 |
| 3.3.11.2 Especificaciones.....          | 39 |
| 3.3.11.3 Método.....                    | 40 |
| 3.3.12 Calcio y la Dureza del Agua..... | 40 |
| 3.3.12.1 Descripción del Sensor.....    | 41 |
| 3.3.12.2 Especificaciones.....          | 41 |
| 3.3.12.3 Método.....                    | 42 |
| 3.3.13 Dureza Total del Agua.....       | 42 |
| 3.3.13.1 Método.....                    | 43 |
| 3.3.14 Cloruro y Salinidad.....         | 43 |
| 3.3.14.1 Cloruro.....                   | 43 |
| 3.3.14.2 Salinidad.....                 | 44 |
| 3.3.14.3 Descripción del Sensor.....    | 45 |
| 3.3.14.4 Especificaciones.....          | 45 |
| 3.3.14.5 Método.....                    | 46 |

|                                                                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Capítulo 4. Implementación del sistema de instrumentación para la calidad del agua en los pozos 7 y 8 de Ciudad Tres Marías .....</b> | <b>47</b> |
| 4.1 Introducción.....                                                                                                                    | 47        |
| 4.2 Características del pozo 7.....                                                                                                      | 49        |
| 4.2.1 Corte Litológico.....                                                                                                              | 49        |
| 4.2.2 Perforación.....                                                                                                                   | 50        |
| 4.2.3 Entubamiento.....                                                                                                                  | 51        |
| 4.2.4 Instalaciones.....                                                                                                                 | 51        |
| 4.3 Características del pozo 8.....                                                                                                      | 52        |
| 4.3.1 Corte Litológico.....                                                                                                              | 52        |
| 4.3.2 Perforación.....                                                                                                                   | 53        |
| 4.3.3 Entubamiento.....                                                                                                                  | 54        |
| 4.3.4 Instalaciones.....                                                                                                                 | 54        |
| 4.4 Tarjeta de Adquisición de Datos LabQuest.....                                                                                        | 55        |
| 4.5 Prueba de la calidad del agua de los pozos 7 y 8.....                                                                                | 58        |
| 4.5.1 Pozo 7.....                                                                                                                        | 58        |
| 4.5.2 Pozo 8.....                                                                                                                        | 60        |
| <b>Capítulo 5. Conclusiones.....</b>                                                                                                     | <b>61</b> |
| <b>Bibliografía.....</b>                                                                                                                 | <b>63</b> |

# RESUMEN

En este trabajo de Tesis se da un panorama del estado del recurso hídrico en México, en base a su disponibilidad y también al grado de contaminación debido al crecimiento demográfico, agrícola e industrial, además de la importancia de la implementación de sistemas de instrumentación para el monitoreo de la calidad del agua.

El sistema de instrumentación para el análisis de calidad de agua, se implementó en los pozos 7 y 8 de Ciudad Tres Marías de Morelia Michoacán México, en comparativo con indicadores de calidad de agua establecidos en Norma Oficial Mexicana (**NOM-127-SSA1-1994**). El análisis de la calidad del agua fue a través de sensores de Calidad del Agua de la Marca Vernier.

**Palabras clave:** Calidad del agua, Sistema de Instrumentación, Sensores, Implementación, Ciudad Tres Marías de Morelia Michoacán México.

## Abstract

This Thesis provides an overview of the state of water resources in Mexico, based on their availability and the degree of pollution due to population growth, agricultural and industrial, and the importance of the implementation of instrumentation systems for monitoring water quality.

The instrumentation system for analyzing water quality, was implemented in wells 7 and 8 of Ciudad Tres Marias Morelia Michoacan Mexico, in comparison with water quality indicators established in Official Mexican Standard (NOM-127-SSA1-1994). The analysis of water quality was through sensors Water Quality Brand Vernier.

**Keywords:** Water Quality, Instrumentation System, Sensors, Implementation, Ciudad Tres Marias Morelia Michoacan Mexico.

# Capítulo 1

## INTRODUCCION

### 1.1 Medición de la Calidad del Agua

El desarrollo de la instrumentación ha alcanzado un alto nivel de especialización debido a la complejidad de los sistemas a supervisar, entre ellos los procesos ambientales. La preocupación por el saneamiento del agua ha requerido la implementación de sistemas automatizados, que permitan obtener la caracterización de este sistema. El presente trabajo nos permite valorar la importancia de implantar instrumentos *in situ* para la supervisión de la calidad del agua. En este trabajo se muestra un panorama de los requerimientos del agua potable legales existentes en México.

La explosión demográfica, el acelerado incremento de la industria, la explotación inmoderada de los recursos naturales, hacen que cada día los problemas de la calidad del agua, sean más complejos y requieran la participación de grupos interdisciplinarios, para encontrar una solución eficaz e inmediata a las diversas demandas que el uso del recurso hídrico requiere, bajo los límites permisibles de calidad del agua que establece la Norma Oficial Mexicana (**NOM-127-SSA1-1994**).

Unas de las áreas que más apoya a la ingeniería ambiental en el monitoreo de procesos de sistemas ambientales, es la instrumentación mediante sistemas electrónicos y computarizados, permitiendo de una manera eficiente supervisar y controlar las variables involucradas en el índice de calidad del agua. La automatización de este tipo de sistemas trae consigo beneficios económicos, técnicos y de regulación ambiental.



## **1.2 Objetivo**

El objetivo de esta tesis es la utilización y calibración de los sensores de calidad de agua de la marca Vernier, para conocer el estado de la calidad del agua potable de los pozos 7 y 8 que se encuentran ubicados en Ciudad Tres Marías de Morelia Michoacán.

## **1.3 Justificación**

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático, como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico. Es debido a estas circunstancias que es imperiosa la necesidad de un sistema de instrumentación para el monitoreo del recurso hídrico, para garantizar su calidad y de esta manera contrarrestar los daños provocados por ingesta de agua en condiciones insalubres.

La fuente más importante de contaminación del agua es la falta de gestión y tratamiento adecuados de los residuos humanos, industriales y agrícolas.

La calidad del agua necesaria para cada uso humano varía, al igual que los criterios utilizados para evaluarla. Por ejemplo, para el agua potable se exigen altos estándares de calidad, mientras que se admite una menor calidad para su uso, en los procesos industriales.

## **1.4 Metodología**

Como primer paso, comencé el estudio de la calidad del agua, familiarizándome con información referente al agua potable y sus propiedades, así como sus diferentes usos, la problemática existente en México en términos de calidad y suministro de la misma.

El segundo paso consistió, en conocer el índice de calidad del agua (ICA), que muestra las diferentes pruebas que se deben realizar, para conocer el estado químico, físico, bacteriológico y radioactivo en el que se encuentra el recurso hídrico del que se desea hacer uso.

El tercer paso consistió, en el conocimiento de operación de los sensores, principalmente el tiempo que es requerido para su calentamiento y calibración antes de la toma de muestras, así como los cuidados que se deben de tener al momento de su utilización.

El cuarto paso consistió, primeramente en conocer los pozos de extracción de agua potable, donde se me permitió el acceso a la información y a las instalaciones, y en

segundo lugar la implementación del sistema de instrumentación para la calidad del agua.

Y en quinto y último paso, concluí los resultados obtenidos comparándolos con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana (**NOM-127-SSA1-1994**).

### **1.5 Descripción de los Capítulos**

*En el Capítulo 1.* Se da una breve introducción a este trabajo de tesis, donde se muestra la necesidad de implementar sistemas de instrumentación, debido a la preocupación por el saneamiento del agua.

*En el Capítulo 2:* Se da una breve introducción sobre los antecedentes históricos del agua potable, y sus características.

La problemática del recurso hídrico en México, con referente a la contaminación, explotación y la falta administrativa de recursos económicos para una eficiente distribución y aprovechamiento, del recurso hídrico.

*En el Capítulo 3:* Se define la importancia de la calidad del agua y los parámetros que se deben medir para obtener el índice de calidad del agua, y además se describe cada parámetro junto con la descripción del sensor que lo mide.

*En el Capítulo 4:* Se describe en forma breve, los diferentes métodos de construcción de pozos, donde se extrae el agua de los mantos acuíferos, las características de los pozos 7 y 8, y el resultado obtenido de la implementación del sistema de instrumentación junto con una descripción de los valores obtenidos.

*En el Capítulo 5:* Se presentan las conclusiones generales.

# Capítulo 2

## AGUA POTABLE Y SUS CARACTERISTICAS

### 2.1 Antecedentes Históricos del Agua Potable

Históricamente, el desarrollo de los pueblos ha estado estrechamente vinculado con el agua. Los primeros asentamientos humanos de importancia se ubicaron donde el agua estaba disponible. De esta manera tuvieron fácil acceso a ella para usos agrícolas, urbanos y PRE- industriales.

Desde los tiempos más remotos el agua ha constituido un factor fundamental en el desarrollo y la estructuración política, social y económica de los pueblos, considerando que el agua es uno de los elementos fundamentales para la vida, gracias a ella el hombre puede desarrollarse y transformarse.

### 2.2 Características del Agua Potable

La Organización Mundial de la Salud y la Unión Europea consideran el agua potable como aquella que una persona puede beber todos los días, durante toda su vida y sin ningún riesgo para su salud. El término se aplica al agua que ha sido tratada para consumo humano según estándares de calidad determinados por las autoridades locales e internacionales.

El agua potable debe contar con las siguientes características que se verán enmarcadas en torno a los estándares de calidad nacional e internacional.

- Calidad estética: color, olor, sabor, turbiedad, pH, alcalinidad entre otras.
- Calidad microbiológica: debe estar libre de organismos como las coliformes fecales.
- Calidad química: debe estar dentro de límites establecidos por la Organización

Mundial de la Salud para sustancias tóxicas y plaguicidas. Algunos tóxicos importantes son: plomo, mercurio, cadmio, cromo, arsénico, entre otras.

En zonas con intensivo uso agrícola es cada vez más difícil encontrar pozos, donde el agua se ajusta a las exigencias de las normativas. Asimismo, como otras sustancias, el agua potable también contiene pequeñas bacterias, pero por ser comunes no son dañinas para la salud, en este caso, el cloro se propaga en el agua e impide el desarrollo de las bacterias, este es el motivo por la que el agua potable también contiene cantidades mínimas de cloro.

El agua potable puede ser bombeada de la tierra a través de los pozos, en estos casos el agua debe ser depurada, para que pueda ser bebida sin contaminantes, el agua potable, también puede venir de agua superficial, como ríos y lagos, pero el proceso de purificación que debe sufrir es más largo, por tanto, más costoso.

El hombre utiliza grandes cantidades de agua para sus actividades cotidianas (beber, cocinar, lavar, wc, aseo personal entre otras) pero mucho más para producir alimentos, papel, ropa y demás productos que consume.

La dueña de nuestras vidas es el agua, porque constituye un importante porcentaje en la composición de los tejidos de nuestro cuerpo y de todos los seres vivos, el cuerpo humano de una persona adulta está compuesto en un 60 % por agua. El cuerpo de un niño contiene aproximadamente 75 % de agua. El cuerpo humano puede vivir varias semanas sin alimentos, pero puede sobrevivir sólo unos pocos días sin agua. Unos 220 millones de personas que viven en ciudades de países en desarrollo carecen de una fuente de agua potable cerca de sus hogares. El 90 % de las aguas de desechos de las ciudades de los países en desarrollo se descarga sin tratar en ríos, lagos y cursos de aguas costeras. El hombre requiere de 50 y 250 litros de agua diariamente para satisfacer sus necesidades de tipo doméstico. La agricultura consume entre el 60 % y el 80 % de los recursos de agua dulce en la mayoría de los países, y hasta el 90 % en otros. Para la generación de un kilowatt-hora se emplean 4,000 litros promedio. En la industria, para producir un litro de petróleo se necesitan consumir 10 litros de agua; para un kilo de papel 100 litros; para una tonelada de cemento 4,500 litros; y para una tonelada de acero se requieren 20 mil litros.

La realidad que se nos presenta hoy, nos obliga a reflexionar sobre la problemática del agua. El agua es un asunto de seguridad nacional. Entre los gobiernos y la sociedad

están haciendo esfuerzos decididos para mejorar la calidad del agua, garantizar su acceso a todos los mexicanos y preservarla para beneficio de nuestros hijos.

### **2.3 Acceso al Agua Potable.**

El acceso al agua potable se mide por el número de personas que pueden obtener agua potable con razonable facilidad, expresado como porcentaje de la población total. Es un indicador de la salud de la población del país y de la capacidad del país de conseguir agua, purificarla y distribuirla.

El agua es esencial para la vida. Sin embargo, más de Mil millones de personas carecen de acceso al agua potable (ONU). Casi dos mil millones de personas carecen de acceso a servicios de saneamiento. La mayoría de esas personas vive en países de ingreso bajo y mediano.

El agua potable es el agua de superficie tratada y el agua no tratada pero sin contaminación que proviene de manantiales naturales, pozos y otras fuentes. Sin agua potable, la gente no puede llevar una vida sana y productiva. Abundar en el tema de la calidad del agua se torna todavía más complejo, si entendemos que diariamente alrededor de cinco mil personas mueren en el planeta a causa de una enfermedad de origen hídrico y que de éstas, el 90 por ciento son niños. Como la Tifoidea, Paratifoidea, Disentería, Gastroenteritis, la Bilharziasis y el Cólera.

El agua potable escasea porque generalmente se le valora muy poco y se utiliza en forma ineficiente. A medida que la economía de un país se hace más fuerte generalmente un mayor porcentaje de la población tiene acceso al agua potable y servicios de saneamiento.

Cuando el crecimiento urbano asociado con el incremento de las actividades industriales llega a superar la disponibilidad del agua local o cercana, se alteran los usos del agua. Así, la empleada en riego, se cambia a la industria o a las ciudades, o bien, resulta obligado el importarla de otras cuencas, a distancias considerables y con altos costos económicos y a veces sociales.

El concepto “cultura del agua” se relaciona con la cantidad de información y los conocimientos que uno tiene sobre el recurso, porque sólo así uno toma conciencia sobre la realidad del agua en el mundo y sobre el verdadero problema que enfrentamos como humanidad.

## 2.4 El Agua Potable en México

En los últimos cincuenta años, México pasó de ser considerado como un país con alta disponibilidad de agua per cápita, a ser considerado como uno de baja disponibilidad, debido, principalmente, al crecimiento demográfico. Así, mientras que la disponibilidad anual promedio de agua per cápita en Europa es de 8,576 m<sup>3</sup>, en Norte América, de 15,369 m<sup>3</sup>, en Latinoamérica, de 38,562 m<sup>3</sup>, y en África, de 5,488 m<sup>3</sup>, en México es de 4,986 m<sup>3</sup>. De hecho, en algunas cuencas hidrográficas del país, como la del Valle de México, la disponibilidad es al menos cinco veces menor al promedio mundial.

En México, se precipita anualmente una lámina promedio de 772 mm sobre el territorio nacional, que equivalen a un volumen de 1,511 km<sup>3</sup> de agua, pero dos terceras partes de ella ocurren en forma torrencial de junio a septiembre, lo que hace muy difícil su aprovechamiento. Además, el 30% de la superficie del país, en el norte, se genera tan solo el 4% del escurrimiento, mientras que en el 20% del territorio, en el sureste y zonas costeras, se genera el 50% del escurrimiento. Estas irregularidades espaciales y temporales plantean un reto especial en el manejo del agua.

La distribución de la población y de las actividades económicas agrava ese desequilibrio natural. Así, en las regiones que alojan al 76% de la población, la precipitación pluvial representa solamente el 20% del total en el país. Esto ha producido una muy fuerte competencia por el recurso, contaminación y sobreexplotación de acuíferos.

De acuerdo con los últimos balances disponibles, se estima que el 76.3% del volumen de agua consumido en México se destina a la agricultura, el 17% al uso público, el 5.1% a la industria, el 1.4% a la acuicultura y el 0.2% a procesos de enfriamiento en plantas termoeléctricas (Figura 2.1).



Figura 2.1 Usos del agua en México

En la mayor parte del territorio se emplean ineficientes métodos de riego. Se ha estimado que la eficiencia promedio de riego es del 37%. Dicha cifra incluye las pérdidas de conducción, distribución y aplicación parcelaria, e implica que de los 60.5 km<sup>3</sup> de agua que se consumen anualmente para uso agrícola, se desperdician 38.1 km<sup>3</sup> al año. La deficiente aplicación del agua en zonas de riego ha provocado el ensalitramiento de alrededor de 600 mil hectáreas en los distritos de riego, es decir, casi el 20% de las 3.4 millones de hectáreas que se ubican en ellos. Esto ha provocado una importante disminución en la producción de las tierras afectadas.

El cobro de derechos por uso agrícola es nulo. A los usuarios agrícolas del recurso sólo se les cobra una cuota por el servicio de riego. La falta de cobro de derechos por el uso agrícola del agua ha fomentado una cultura de desperdicio del líquido en la agricultura.

La problemática del agua en nuestro país es enorme. Es urgente atenderla, no solamente a través de planes y programas de gobierno, sino también mediante la participación social y la educación. Es indispensable que el estado mexicano y la sociedad en su conjunto unan esfuerzos para enfrentar la severa crisis hídrica en la que está inmersa nuestra nación. De no hacerlo en el cortísimo plazo, la escasez del recurso en cantidad y calidad apropiadas seguirá siendo un freno de magnitud creciente para el desarrollo del país. Por ello, la Ley de Aguas Nacionales de 1992, contempla la creación de Consejos de Cuenca, como instrumentos de coordinación y concertación entre la Comisión Nacional de Agua, instancias federales, estatales y

municipales, y los representantes de los usuarios de la respectiva cuenca hidrológica. La lógica de gestión del agua es distinta de la correspondiente a otros recursos naturales o producidos por el hombre. Se puede vivir sin electricidad, se puede vivir sin petróleo, pero nunca sin agua. El agua no sólo es un recurso, natural vulnerable y finito, también es un insumo y como tal, debe tener un valor económico. El agua toca todas las esferas de la actividad humana.

De acuerdo con la Global Water Partnership, la gestión moderna del agua debe ser integral, sustentable, eficiente, incluyente y equitativa, y por cuenca. La *gestión integral* relaciona los aspectos físicos, con los institucionales, con los económicos y de participación social. La *gestión sustentable* busca aprovechar el recurso de modo que se logre el crecimiento económico y la equidad social, con respecto al medio ambiente.

La *gestión eficiente* aspira lograr una mayor productividad del agua. La *gestión incluyente y equitativa* promueve la participación social en la toma de decisiones y la vía de la negociación entre usos y usuarios en conflicto, de modo que se logre el mayor beneficio para los habitantes de una cuenca. La *gestión por cuenca* reconoce la unidad geográfica natural que capta las aguas precipitadas de la atmósfera y, como tal, se constituye en eslabón prominente del ciclo hidrológico de ser el marco más apropiado para el balance de aguas, y por lo tanto, de la planeación hídrica.

## **2.5 Problemática del Agua en México**

La crisis del agua potable en el país alcanza cada vez niveles más preocupantes: cada año se pierden 5 mil millones de metros cúbicos debido a fugas y tomas clandestinas, lo que representa un costo financiero de alrededor de 20 mil millones de pesos; es decir, unos 55 millones de pesos diarios aproximadamente, según información del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## **2.6 Recurso Financiero**

Los problemas que enfrenta el país en la materia también tienen que ver con las altas necesidades de inversión y la escasez de recursos financieros.

A esto se suma la necesidad de sustituir y rehabilitar gran parte de la infraestructura que ha rebasado su vida útil, alguna data de principios de la segunda década del siglo



pasado, además de la baja eficiencia operativa de los sistemas. Uno de los puntos centrales es que los usuarios no pagan el costo real del líquido.

En virtud de que el servicio es cada vez más caro, fundamentalmente en 38 ciudades del país (entre ellas la Ciudad de México, Ensenada, Monterrey, Acapulco y Zimapán) donde independientemente de la sobreexplotación de los mantos se requiere una mayor inversión para traer agua de otros sitios.

Además se suma la insuficiencia de los servicios de cobro, es decir, que no se factura la totalidad de los metros cúbicos de agua que se utilizan en el país.

## **2.7 Contaminación**

Por contaminación se entiende generalmente una presencia de sustancias químicas o de otra naturaleza en concentraciones superiores a las condiciones naturales. Entre los contaminantes más importantes se encuentran los microbios, los nutrientes, los metales pesados, los químicos orgánicos, aceites y sedimentos; el calor también puede ser un agente contaminante, al elevar la temperatura del agua.

Los contaminantes constituyen la principal causa de la degradación de la calidad de agua en el mundo.

En México se han destinado más esfuerzos para suministrar agua para el consumo humano que para el alcantarillado y drenaje. En 2004, la cobertura nacional de alcantarillado fue de 77.5 %. La cobertura en las zonas urbanas de este servicio ese mismo año fue de 90.7 % y en las zonas rurales fue de 38.5 %. El tratamiento de aguas residuales municipales es aún bajo en nuestro país. En 2003 se contaba con una capacidad instalada para procesar  $89.6 \text{ m}^3/\text{s}$  en los sistemas municipales, pero sólo se trataron alrededor de  $60.2 \text{ m}^3/\text{s}$ . En ese mismo año, los centros urbanos generaron  $255 \text{ m}^3/\text{s}$  de aguas residuales, de las cuales 80 % se colectó en alcantarillas y de éstas sólo 29.7% fue tratada antes de ser vertidas a los cuerpos de agua. En 2003, las industrias en todo el país descargaron alrededor de  $8 \text{ km}^3$  ( $258 \text{ m}^3/\text{s}$ ) de aguas residuales. Esto equivale a más de 9.5 millones de toneladas de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), de las cuales sólo el 18 % se removieron mediante los sistemas de tratamiento. A diciembre de 2004 el país contaba con 1875 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, las cuales procesaban cerca de  $27.4 \text{ m}^3/\text{s}$  (10.6%) del volumen generado. Las bacterias coliformes fecales no suelen causar enfermedades, pero son buenos indicadores de la contaminación por descargas de aguas residuales

domésticas y pecuarias y son fáciles de detectar. El escurrimiento del agua hacia la parte baja de las cuencas hidrológicas acarrear nutrientes y pesticidas procedentes de superficies agrícolas y pecuarias, junto con los aportados en las descargas de aguas residuales, contribuyen a que se deteriore la calidad del agua de ríos y lagos.

Los hidrocarburos son un tipo de contaminantes que afectan la calidad del agua de manera importante. Los derrames de petróleo cada día son más frecuentes en los océanos, dejan estelas de contaminación de efectos a muy largo plazo. La formación de una película impermeable sobre el agua en las zonas de derrame afecta rápida y directamente a las aves y a los mamíferos acuáticos ya que obstruye el intercambio gaseoso y desvía los rayos luminosos que aprovecha el fitoplancton para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis.

## **2.8 Cobertura de Agua Potable y Suministro**

La cobertura de agua potable en México fue en 2004 de 89.5%. Sin embargo, la cobertura de este servicio aún es mucho mayor en zonas Urbanas (95.6%) que en zonas rurales (71.3%). El suministro de agua de buena calidad en los sistemas de abastecimiento es importante para la salud e higiene de la población. A nivel nacional, se suministraron más de 320 mil litros de agua por segundo para consumo humano, de los cuales el 95% fue desinfectado. En promedio se suministran 264 litros diarios por habitante. Por entidad federativa, algunos estados como Hidalgo y Puebla apenas sobrepasan los 150 litros diarios por habitante y en Oaxaca reciben apenas 100 litros diarios por habitantes, en promedio.

## **2.9 Extracción de Acuíferos**

Un manto acuífero sobreexplotado, significa que la extracción es superior a la recarga. El agua no se encuentra disponible en cantidad suficiente o con la calidad adecuada, ni en todos los sitios donde se requiere, ni durante todo el tiempo que se necesita; es decir, la distribución espacial y temporal del agua no coincide necesariamente con la distribución de su demanda, aunque este elemento tiene la propiedad de que puede almacenarse y transportarse con el objeto de hacer coincidir su oferta y demanda.

# Capítulo 3

## Definición e Importancia de la Calidad del Agua.

### 3.1 Introducción

La calidad del agua es el estado de la masa de agua o los recursos hídricos en relación con sus usos designados.

Se puede definir en términos cualitativos y / o cuantitativos. Los parámetros en la definición de la calidad del agua se pueden agrupar en tres categorías: Físicas, químicas y biológicas. *Los factores físicos* incluyen la temperatura, sedimentos y material de cama, sedimentos en suspensión, turbidez, color y olor. *Los factores químicos* constarán de los elementos mayores y menores, y otros parámetros químicos como el pH, oxígeno disuelto (OD), demanda biológica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO). Los principales elementos son los agro-nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, y elementos menores incluyen elementos como el arsénico (As), plomo (Pb) y mercurio (Hg), etc. *Constituyentes biológicos* incluyen coliformes fecales y *E. coli*. Convencionalmente la calidad del agua se expresa en términos del valor medido (s) de uno o más de estos parámetros en relación con sus límites aceptados o implícitos. Se expresan en unidades diferentes, y sus magnitudes pueden variar significativamente de un lugar a otro y con el tiempo. Por ejemplo, la temperatura se expresa en grados Celsius o Fahrenheit, y coliformes en números, y la mayoría de los productos químicos y nutrientes en miligramos por litro (mg/l) o en partes por millón (ppm).

El enfoque convencional de expresar diferentes parámetros de calidad del agua en unidades diferentes es bien aceptado por los expertos en recursos de agua. Sin embargo, no se entiende fácilmente por el público en general y los políticos que tienen un profundo impacto en las políticas de recursos hídricos. Por lo tanto, la necesidad de expresar la calidad del agua en un formato que es simple y fácil de entender por la gente común ha sido reconocida durante mucho tiempo. Los expertos han trabajado a nivel internacional, incluyendo en los Estados Unidos durante los últimos años el término *Índice de Calidad del Agua (ICA)*. El ICA toma la información científica compleja y sintetiza en un único número entre 0 y 100, por la normalización de los valores observados para las curvas de calibración subjetivos.

ICA se comprende fácilmente y apreciado por los ciudadanos comunes y políticos. También puede ayudar en el cumplimiento de las regulaciones y / o cómo se puede adaptar el estilo de vida personal en beneficio del medio ambiente. Varias organizaciones en los Estados Unidos y alrededor del mundo, incluyendo las Naciones Unidas han adoptado el concepto de ICA para expresar la calidad del agua.

En este trabajo se profundiza en los conceptos del ICA y reseñas de diferentes modelos del ICA. Todos estos modelos del ICA se han desarrollado para hacer fluir los recursos hídricos como lagos, ríos, arroyos, y tal. No hay ninguna referencia en la literatura para ICA para el agua de escorrentía de los campos agrícolas. El documento también hace hincapié en la necesidad de desarrollar un modelo ICA que podría utilizarse para evaluar los efectos de la gestión agrícola y las prácticas de conservación en tierras privadas con el apoyo y el costo compartido por el Departamento de Agricultura / Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE.UU. (USDA / NRCS).

### **3.2 Índice de Calidad del Agua (ICA)**

ICA es un número adimensional que combina múltiples factores de calidad del agua en un sólo número por la normalización de los valores de las curvas de calibración subjetivos (Miller et al. 1986). Los factores a ser incluidos en el modelo de ICA podrían variar dependiendo de los usos del agua designada y preferencias locales. Algunos de estos factores incluyen oxígeno disuelto (OD), potencial de hidrógeno (pH), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), bacterias, coliformes fecales, la temperatura, y nutrientes (nitrógeno y fósforo), entre otros. Estos parámetros se producen en diferentes rangos y expresarse en unidades

distintas. El ICA toma la información científica compleja de estas variables y sintetiza en un solo número. Varios autores han trabajado sobre estos conceptos y presenta ejemplos con escenarios (Bolton et al. 1978 Bhargava, 1983, Casa 1989, Mitchell y Stapp 1996, Pesce y Wunderlin 2000, Cude 2001, Liou et al. 2004, Said et al. 2004, Nasiri et. al 2007, NSF 2007).

Este índice, conocido como Índice de Calidad del Agua, o (ICA), utiliza las primeras nueve pruebas mostradas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Índice de Calidad del Agua

|                                        | <b>Índice de Calidad del Agua (ICA) Pruebas</b> | <b>Prueba completa</b> |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|
| 1. Temperatura                         | <b>x</b>                                        | <b>x</b>               |
| 2. pH                                  | <b>x</b>                                        | <b>x</b>               |
| 3. Turbiedad                           | <b>x</b>                                        | <b>x</b>               |
| 4. Solidos Totales                     | <b>x</b>                                        | <b>x</b>               |
| 5. Oxígeno Disuelto                    | <b>x</b>                                        | <b>x</b>               |
| 6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) | <b>x</b>                                        | <b>x</b>               |
| 7. Fosfatos                            | <b>x</b>                                        | <b>x</b>               |
| 8. Nitratos                            | <b>x</b>                                        | <b>x</b>               |
| 9. Nitrato de Amonio                   |                                                 | <b>x</b>               |
| 10. Alcalinidad                        |                                                 | <b>x</b>               |
| 11. Solidos Disueltos Totales          |                                                 | <b>x</b>               |
| 12. Calcio y la dureza del Agua        |                                                 | <b>x</b>               |

|                           | Indice de Calidad del Agua (ICA) Pruebas | Prueba completa |
|---------------------------|------------------------------------------|-----------------|
| 13. Dureza total del Agua |                                          | x               |
| 14. Cloruro y Salinidad   |                                          | x               |

### 3.3 Descripción de Pruebas de Calidad del Agua con Equipo VERNIER

#### 3.3.1 Temperatura

La temperatura de un cuerpo de agua influye en su calidad general. La temperatura del agua fuera del Rango "normal" de un arroyo o río puede causar daño para los organismos acuáticos que viven allí. Es por esta razón por la que el cambio en la temperatura del agua sobre una sección de una corriente se mide, no sólo la temperatura en una ubicación. Si el agua sufre cambios de temperatura de incluso unos pocos grados por encima de un tramo de la corriente de un kilómetro, podría indicar una fuente de contaminación térmica.

La contaminación térmica causada por la actividad humana es un factor que puede afectar la temperatura del agua.

Muchas industrias utilizan agua de los ríos en sus procesos. El agua se trata antes de que sea devuelto al río, pero es más caliente de lo que era antes.

La sombra es muy importante para la salud de una corriente debido a la influencia de calentamiento directo de la luz del sol. Algunas actividades humanas pueden quitar árboles de sombra de la zona, lo que permitirá más luz del sol para alcanzar el agua, haciendo que la temperatura del agua se eleve.

Otro factor que puede afectar a la temperatura del agua es la temperatura del aire por encima del agua. El alcance de su influencia tiene mucho que ver con la profundidad del agua. Una corriente superficial es más susceptible a los cambios en la temperatura, que una corriente profunda.

Mientras que muchos factores pueden contribuir al calentamiento de las aguas superficiales, pocos hacen que se enfría. Una forma que el agua puede enfriarse es

por temperaturas de aire frío. Un segundo método, el enfriamiento natural de un río o lago proviene de la introducción de agua más fría de un afluente.

### 3.3.1.1 Descripción del Sensor

La sonda de temperatura de acero inoxidable, es un sensor de temperatura, de uso general que se puede utilizar en líquidos orgánicos, soluciones salinas, ácidos y bases. Se utiliza como un termómetro para experimentos de química, física, biología, ciencias de la Tierra y las ciencias ambientales. El sensor de temperatura se ilustra en la Figura 3.1.



Figura 3.1 Sonda de temperatura de acero inoxidable

### 3.3.1.2 Especificaciones

- Rango de temperatura: -40 a 135 ° C (-40 a 275 ° F)
- La temperatura máxima que el sensor puede tolerar sin daño: 150 ° C
- Resolución (LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, Ir Link, LabPro!)
  - 0.17 ° C (-40 a 0 ° C)
  - 0.03 ° C (0 a 40 ° C)
  - 0.1 ° C (40 a 100 ° C)
  - 0.25 ° C (100 a 135 ° C)
- Sensor de temperatura: 20 k $\Omega$  Termistor NTC
- Precisión:  $\pm 0.2$  ° C a 0 ° C,  $\pm 0.5$  ° C a 100 ° C
- Tiempo de respuesta (tiempo de cambio del 90% en la lectura)
  - 10 segundos (en el agua, con agitación)
  - 400 segundos (en aire)

- 90 segundos (en el aire en movimiento)
- Dimensiones de la sonda:
  - Longitud de la sonda (mango, más cuerpo): 15.5 cm
  - Cuerpo de acero inoxidable: longitud 10.5 cm , diámetro de 4.0 mm
  - Mango de la sonda: longitud 5.0 cm , diámetro de 1.25 cm

### **3.3.1.3 Método**

La temperatura del agua debe ser medida en el sitio, colocando la sonda directamente en la corriente e inmediatamente la medición de su temperatura.

Está diseñado para ser utilizado como lo haría con un termómetro para experimentos de química, física, biología, ciencias de la Tierra y las ciencias ambientales.

### **3.3.2 pH**

El pH es una escala que se utiliza para medir la acidez de una sustancia. Cuando se trabaja con un líquido, los químicos utilizan la concentración de hidrógeno (H) para calcular los niveles de pH. Cuanto mayor sea la concentración de hidrógeno, menor es el pH, lo que indica una alta acidez. A la inversa, las bajas concentraciones de hidrógeno significan que la sustancia tiene baja acidez (o es más básica, o alcalina, en lugar de ácida) y tiene un pH alto.

Las precipitaciones por lo general tienen un valor de pH entre 5 y 6.5. Es ácida porque el dióxido de carbono disuelto y los contaminantes del aire, como el azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos. Si el agua de lluvia fluye sobre suelo que contiene minerales de agua dura, su pH normalmente aumenta.

Como resultado, los arroyos y los lagos con frecuencia tienen, valores de pH entre 7 y 8, y a veces tan alto como 8.5. La medida del pH de un cuerpo de agua es muy importante como una indicación de la calidad del agua, ya que existen organismos acuáticos sensibles al pH de su medio ambiente. Pequeños cambios en el pH puede poner en peligro a muchas clases de plantas y animales, por ejemplo, la trucha y varias clases de ninfas sólo puede sobrevivir en aguas entre pH 7 y pH 9. Si el pH de las aguas en la que viven está fuera de ese rango, no pueden sobrevivir o reproducirse.



Los cambios en el pH también pueden ser causados por la proliferación de algas (más básico), en los procesos industriales cuando se liberan bases o ácidos (elevación o descenso del pH), o la oxidación de los sedimentos que contienen sulfuro (más ácido).

Para obtener una comprensión más completa de la relación entre el pH y la calidad del agua, es necesario hacer mediciones del pH de una corriente, como se describe en esta prueba, así como determinar la alcalinidad del arroyo. La alcalinidad es una medición de la capacidad o habilidad del cuerpo de agua para neutralizar los ácidos en el agua. Precipitaciones ácidas pueden tener muy poco efecto sobre el pH de un arroyo o lago si la región es rica en minerales que dan lugar a altos valores de alcalinidad. Mayores concentraciones de carbonato, bicarbonato, e iones de hidróxido de piedra caliza pueden proporcionar una capacidad de taponamiento natural, capaz de neutralizar muchos iones del ácido. Otras regiones pueden tener bajas concentraciones de iones de alcalinidad para reducir los efectos de los ácidos en la precipitación. Si el agua es muy ácida, algunos metales pesados pueden ser liberados en el agua y se puede acumular en las branquias de los peces o causar deformidades que reducen la probabilidad de la supervivencia. En algunos casos, los peces de más edad podrán seguir viviendo, pero no serán capaces de reproducirse por la sensibilidad de la parte reproductiva del ciclo de crecimiento.

### **3.3.2.1 Descripción del Sensor**

Utilicé el sensor de pH tal como lo haría un medidor de pH tradicional con las ventajas adicionales de toma automatizada de datos, gráficos, datos y análisis. Las actividades típicas del sensor de pH son:

- Valoraciones ácido-base
- Estudios de ácidos y bases hogar
- Seguimiento de los cambios de pH durante las reacciones químicas o en un acuario como resultado de la fotosíntesis
- Las investigaciones de la lluvia ácida y los amortiguadores
- Análisis de la calidad del agua en ríos y lagos

El sensor de pH se ilustra en la Figura 3.2



Figura 3.2 Sensor de pH

### 3.3.2.2 Especificaciones

Tipo: Sellado relleno de gel, cuerpo, epoxi, Ag/AgCl

Tiempo de respuesta: 90% de la lectura final en 1 segundo

Rango de temperatura: 5 a 80 ° C

12 mm OD Rango: pH 0-14

Resolución: 0.005 unidades de pH (LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, Go Link, LabPro!)

Isopotencial pH: pH 7 (punto en el que la temperatura no tiene efecto)

### 3.3.2.3 Método

El método para utilizar un sensor de pH es realizar mediciones en el lugar ya sea en un arroyo o lago.

Como alternativa, la muestra de agua se toma del río o lago y se almacena en una hielera o refrigerador. Después de regresar al laboratorio, las muestras se les permite volver a temperatura ambiente, para medir su pH usando un sensor de pH.

### 3.3.3 Turbiedad

La turbidez es una medida de la falta de claridad de agua. El agua con alta turbidez está nublada, mientras que el agua con baja turbidez es clara. La turbidez es producido por la luz que refleja de las partículas en el agua, por lo tanto, entre más partículas en el agua, mayor es la turbidez.

Muchos factores pueden contribuir a la turbidez del agua. Un aumento en el caudal debido a las fuertes lluvias o un disminución de la vegetación puede acelerar el proceso de erosión del suelo. Esto agregará partículas suspendidas, tales como arcilla y limo, al agua. Los escurrimientos de varios tipos, contienen sólidos suspendidos que pueden aumentar la turbidez de un arroyo.

Los escurrimientos de tipo agrícola a menudo contienen suciedad suspendida. Otros tipos de escurrimientos incluyen residuos industriales, planta de tratamiento de aguas residuales y urbanas, escurrimiento de los aparcamientos, carreteras y tejados. Organismos acuáticos que habitan en el fondo de un lago o arroyo, como el bagre, puede contribuir a la turbidez del agua por agitación, debido al sedimento que se ha acumulado en la parte inferior de la corriente. La materia orgánica como el plancton o descomposición de materia vegetal y animal que se suspende en el agua también puede aumentar la turbidez en un arroyo.

Alta turbidez disminuye la cantidad de luz del sol capaz de penetrar en el agua, disminuyendo de ese modo la tasa de fotosíntesis. La claridad reducida también hace, que el agua sea estéticamente menos agradable. Si bien esto no puede que sea perjudicial directamente, sin duda es deseable para muchos usos del agua.

Cuando el agua está turbia, la luz del sol calienta el agua de manera más eficiente. Esto ocurre porque las partículas suspendidas en el agua absorben la luz del sol, y por lo tanto calienta el agua circundante. Esto puede llevar a otros problemas asociados con el aumento de los niveles de temperatura.

Mientras que el agua muy turbia puede ser perjudicial para el ecosistema acuático, no es correcto asumir que el agua clara es siempre saludable. Agua Ligeramente turbia puede ser perfectamente saludable, mientras el agua clara podría contener toxinas invisibles.

### 3.3.3.1 Descripción del Sensor

El sensor de turbidez, mide la turbidez del agua, muestras en NTU (unidades nefelométricas de turbidez) es la unidad estándar utilizada por la mayoría de los organismos y organizaciones de recolección de agua.

Además de los estudios de calidad del agua, puede ser usado para monitorear la formación de algas y las poblaciones de levadura. El sensor de turbidez incluye alta calidad estándar de 100 NTU para una calibración rápida. En la Figura 3.5 se muestra un sensor de turbidez.



Figura 3.3 Sensor de turbidez

### 3.3.3.2 Especificaciones

- Rango: 0 a 200 NTU
- Resolución: 0.25 NTU (LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, Ir Link, LabPro)
- Estándar: StablCal Formazin estándar 100 NTU
- Precisión:
- $\pm 2$  NTU para lecturas menores de 25 NTU
- $\pm 5\%$  de las lecturas por encima de 25 NTU
- LED de longitud de onda: 890 nm

### 3.3.3.3 Método

Esta prueba se puede realizar in situ o en el laboratorio. Obtener la muestra en una botella, que tiene una tapa para permitir un mezclado suave justo antes de la prueba. Se requiere aproximadamente 100 ml de agua.

Es importante obtener la muestra de agua de debajo de la superficie del agua.

### **3.3.4 Sólidos Totales (ST)**

Sólidos Totales (ST), es una medida de todos los sólidos en suspensión tipo coloidal, que se disolvió en una muestra de agua. Esto incluye sales disueltas tales como cloruro de sodio, y las partículas sólidas, tales como limo y plancton. Un exceso de sólidos totales en los ríos y arroyos es un problema muy común. La sedimentación es uno de los principales colaboradores de sólidos totales, es el más común de los contaminantes de ríos y arroyos.

Hay muchos factores que pueden contribuir a los sólidos totales en el agua. La erosión del suelo es un gran contribuyente. Un aumento en el flujo de agua, o una disminución en la vegetación puede acelerar el proceso de erosión de los suelos y contribuir a los niveles de partículas en suspensión, tales como arcilla y limo.

Las rocas o minerales en el suelo, como Halita, cloruro de sodio, o piedra caliza, también pueden disolverse en el agua, añadiendo a los sólidos totales. Sólidos totales también pueden provenir de diferentes tipos de escurrimientos, los escurrimientos agrícolas a menudo contienen fertilizantes y partículas suspendidas del suelo.

Los sólidos disueltos a menudo hacen una contribución significativa a la cantidad de sólidos totales en agua. La masa de los sólidos disueltos es a veces mayor que la masa de la suspensión partículas. Sólidos disueltos en las muestras de agua dulce incluyen sales solubles, tales como calcio, cloruro, bicarbonato, nitratos, fosfatos, y hierro.

Si los niveles de sólidos totales son demasiado altos o demasiado bajos, pueden afectar la salud de la corriente y de la organismos que viven allí. Los altos niveles de sólidos totales reducirá la claridad del agua. Este disminuye, la cantidad de luz capaz de penetrar en el agua, disminuyendo de ese modo la tasa de fotosíntesis. Como se mencionó anteriormente, los sólidos disueltos suelen hacer una gran contribución a los sólidos totales. El equilibrio correcto de sólidos disueltos en el agua es esencial para la salud de los organismos acuáticos por varias razones. Una razón es que muchos de estos materiales son nutrientes disueltos esenciales para la salud en general de los ecosistemas acuáticos. Demasiadas sales disueltas en el agua pueden deshidratar los organismos acuáticos. Muy pocas sales disueltas, pueden limitar el crecimiento de organismos acuáticos que dependen de ellos como nutrientes.

### **3.3.4.1 Método**

Esta prueba se puede realizar in situ o en el laboratorio. Obtener la muestra en una botella que tenga una tapa para permitir un mezclado suave justo antes de la prueba. Se requiere aproximadamente 100 ml de agua.

Es importante obtener la muestra de agua debajo de la superficie del agua.

### **3.3.5 Oxígeno Disuelto**

De gas de Oxígeno Disuelto (OD), el agua es vital para la existencia de la mayoría de los organismos acuáticos. El oxígeno es un componente clave en la respiración celular para la vida, tanto acuáticas como terrestres. La concentración de oxígeno disuelto, en un medio ambiente acuático es un indicador importante de la calidad del agua del medio ambiente.

Algunos organismos, como el salmón, las moscas de mayo, y trucha, requieren altas concentraciones de oxígeno disuelto. Otros organismos, como el bagre, larvas de mosquito, y la carpa, pueden sobrevivir en entornos con concentraciones más bajas de oxígeno disuelto. La diversidad de los organismos es mayor a concentraciones de OD más altos.

El oxígeno gaseoso se disuelve en el agua por una variedad de procesos de difusión entre la atmósfera y el agua en su superficie, la aireación como los flujos de agua sobre las rocas y otros desechos y la fotosíntesis de los recursos acuáticos. Hay muchos factores que afectan a la concentración de oxígeno disuelto en un medio ambiente acuático. Estos factores incluyen: temperatura, el caudal, la presión del aire, las plantas acuáticas, materia orgánica en descomposición, y las actividades humanas.

Como resultado de la actividad de la planta, los niveles de OD pueden fluctuar durante el día, el aumento de toda la mañana y alcanzando un pico en la tarde. La fotosíntesis cesa en la noche, pero las plantas y animales continúan respirando, causando una disminución en los niveles de OD. Las grandes fluctuaciones en los niveles de oxígeno disuelto, de más de un corto período de tiempo pueden ser el resultado de una floración de algas. Mientras que la población de algas está creciendo a un ritmo acelerado, los niveles de oxígeno disuelto aumentan. Pronto las algas empiezan a morir y se descomponen por bacterias aeróbicas, que utilizan el oxígeno. Como un mayor número de algas mueren, la necesidad de oxígeno de la

descomponedores aeróbicos aumenta, dando lugar a una fuerte caída en los niveles de oxígeno disuelto. Después de una floración de algas, los niveles de oxígeno puede ser tan bajo que los peces y otras organismos acuáticos se asfixian y mueren.

La temperatura es importante para la capacidad de disolver el oxígeno, porque el oxígeno, al igual que todos los gases, tiene diferentes solubilidades en diferentes temperaturas. Aguas más frías tienen una mayor capacidad para oxígeno disuelto que las aguas más cálidas. Las actividades humanas, tales como la eliminación de follaje a lo largo de una corriente o la liberación de agua caliente utilizada en los procesos industriales, puede causar un aumento de temperatura en el agua a lo largo de un tramo determinado de la corriente. Esto se traduce en una capacidad de oxígeno disuelto menor para la corriente.

#### **3.3.5.1 Descripción del Sensor**

La sonda de oxígeno disuelto es ideal para biología, química, ecología, o cursos de ciencias integradas. Se puede utilizar para realizar una amplia variedad de experimentos para determinar los cambios en los niveles de oxígeno disuelto, uno de los indicadores principales de la calidad de un ambiente acuático.

La compensación de temperatura le permite calibrar en el laboratorio. Tapas desechables con membranas pre-ajuste permiten cambiar rápida y cómodamente las membranas.

Calibrar en las unidades que usted elija: % de oxígeno disuelto, mg/lit o ppm de oxígeno disuelto. En la Figura 3.5 se ilustra el sensor de oxígeno disuelto.



Figura 3.5 Sensor de oxígeno disuelto

### 3.3.5.2 Especificaciones

- Rango: 0 a 15 mg/lit (o ppm )
- Precisión:  $\pm 0.2$  mg/lit
- Tiempo de respuesta: 95% de la lectura final en 30 segundos, el 98% en 45 segundos
- Resolución: 0.014 mg/lit (LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, Ir Link, LabPro!)
- Compensación de temperatura: automático 5-35 ° C
- Compensación de presión: manual
- Compensación de salinidad: manual
- Flujo de la muestra mínima: 20 cm/segundo

### 3.3.5.3 Método

El oxígeno disuelto se puede medir directamente en el sitio o a partir de muestras de agua o recogiendo una muestra de agua con un recipiente o taza y a continuación, tomar medidas con la sonda de oxígeno disuelto. El transporte de las muestras no es recomendado, ya que reduce la precisión de los resultados de prueba.

### 3.3.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

El oxígeno disponible para los organismos acuáticos se encuentra en la forma de oxígeno disuelto. Gas oxígeno es disuelto en una corriente a través de la aireación, la



difusión de la atmósfera, y la fotosíntesis de plantas acuáticas y algas. Plantas y animales consumen oxígeno con el fin de producir energía a través de la respiración.

En algunos flujos de agua, las bacterias aeróbicas descomponen un volumen tan grande de material orgánico que el oxígeno es agotado de la corriente, más rápido de lo que puede ser reemplazado. La disminución resultante del oxígeno disuelto se conoce como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Cuando llueve, el material orgánico que se encuentra en el suelo se transporta en el agua de lluvia a los arroyos y ríos. Material orgánico adicional se acumula en la corriente cuando los organismos acuáticos mueren. Las bacterias y otros microorganismos descomponen este material orgánico. En un cuerpo sano de agua, este proceso tiene sólo un ligero impacto en los niveles de oxígeno disuelto. Sirve para liberar vitales nutrientes como nitratos y fosfatos, que estimulan las algas y crecimiento de las plantas acuáticas. Si la cantidad de materia orgánica en descomposición, es demasiado alta los niveles de oxígeno, pueden ser severamente reducidos. En un cuerpo de agua con grandes cantidades de descomposición orgánica los niveles de oxígeno disuelto pueden reducir en un 90%, esto representaría una alta DBO.

La materia orgánica, como hojas, árboles caídos, cadáveres de peces y desechos animales que terminan en el agua, son importantes en el reciclaje de nutrientes a través del ecosistema. La materia orgánica que entra en el agua, como resultado del impacto humano se puede considerar fuente de contaminación.

### 3.3.6.1 Método

En esta prueba se incluyen los procedimientos de alto y bajos niveles de DBO. Decida basado en los niveles de DBO esperados (Tabla 3.1), sólo una de las dos pruebas a realizar.

Tabla 3.1 Intepretación de los niveles de DBO

| Nivel DBO (mg/lit) | Estado                                           |
|--------------------|--------------------------------------------------|
| 1-2 (mg/lit)       | Agua limpia con un poco de desperdicio orgánico. |
| Nivel DBO (mg/lit) | Estado                                           |

|              |                                                                                     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 2-3 (mg/lit) | Agua moderadamente limpia con un poco de residuos orgánicos.                        |
| 6-9 (mg/lit) | Abundante cantidad de materia organica y bacterias                                  |
| >10 (mg/lit) | La calidad del agua es muy pobre. Grandes cantidades de materia orgánica en el agua |

### **Método 1: Niveles bajos de DBO (0-6 mg/lit)**

La DBO se calcula a partir de dos mediciones de oxígeno disuelto separadas usando la Sonda de Oxígeno Disuelto. La lectura inicial de oxígeno disuelto se toma en el sitio de muestreo usando el procedimiento que se indica en el capítulo **3.3.5 Oxígeno Disuelto**. La muestra se transporta al laboratorio y se incuba a 20 ° C durante un total de cinco días.

Después de cinco días, la muestra incubada se prueba para el oxígeno disuelto. La lectura de oxígeno en el final de los cinco días se resta de la lectura inicial. El valor resultante es el nivel de DBO.

### **Método 2: Altos niveles de DBO (> 6 mg/lit)**

Este método se recomienda en aguas estancadas o contaminadas, en la que todo el oxígeno disuelto puede ser consumido antes del período de 5 días. La prueba inicial de oxígeno disuelto, toma de muestras, almacenamiento y la incubación, se llevan a cabo de la misma manera como se describe en el método 1. Las diferencias para el Método 2 son:

- Se extraen cinco muestras de agua.
- Una muestra es la prueba de oxígeno disuelto cada 24 horas durante cinco días.
- Si, antes de que el quinto día, la concentración de oxígeno disuelto cae por debajo de 4.0 mg/lit, el oxígeno es añadido a las muestras restantes por aireación.
- Añadir cambio de cada botella en la concentración de oxígeno disuelto para obtener el valor de DBO.

### 3.3.7 Total de Fosfatos

El fósforo es un nutriente esencial para todas las plantas acuáticas y algas. Sólo se necesita una cantidad muy pequeña, por lo que un exceso de fósforo puede ocurrir fácilmente. El exceso de fósforo es generalmente considerado como un contaminante, ya que puede conducir a eutrofización, una condición en la que un exceso de nutrientes, como fósforo, provoca aumento de la planta y el crecimiento de algas. La eutrofización puede disminuir los niveles de el oxígeno disuelto en el agua y puede hacer que el agua sea inhabitable por muchos organismos acuáticos.

El fósforo es a menudo el factor limitante que determina el nivel de eutrofización que se produce.

La mayoría de fósforo en el agua superficial está presente en la forma de fosfatos. Hay cuatro clasificaciones de fosfatos que se refiere a menudo en la literatura del medio ambiente:

- **Ortofosfatos:** Estas son las formas de fosfatos que se utilizan en gran medida en los fertilizantes y, a menudo se introducen aguas superficiales por escurrimientos.
- **Fosfatos ligados:** Orgánicamente se encuentran en los desechos humanos y animales o en descomposición orgánica.
- **Fosfatos condensados:** (también llamado polifosfatos), esta es la forma de fosfato que se encuentra comúnmente en detergentes.
- **Fosfatos totales:** son la suma de los tres de las formas descritas anteriormente. Este es el más comúnmente comunicado, forma de concentración de fosfato. Los fosfatos se añaden a las aguas superficiales por una variedad de medios. Los seres humanos añaden fosfatos al agua a través de industrias y desechos agrícolas. Los fertilizantes contienen altos niveles de fosfatos y entrarán en el agua por medio de escurrimientos y la erosión del suelo. En las zonas donde la tierra y la vegetación han sido perturbados, la erosión del suelo aumenta. Esto conducirá a aún más fosfatos que se lavan fuera de la tierra y en la agua. Los fosfatos también pueden provenir de los excrementos de los animales que viven en o cerca del agua.

### 3.3.7.1 Descripción del Sensor

Este colorímetro de longitud de onda mide la cantidad de luz transmitida a través de una muestra a una longitud de onda seleccionable por el usuario con el fin de determinar la concentración de una solución. Características tales como la identificación automática del sensor y la calibración de un solo paso hacen este sensor fácil de usar. En la figura 3.6 se muestra un Colorímetro.



Figura 3.6 Colorímetro

### 3.3.7.2 Especificaciones

- Rango: 0 a 3 (absorbancia)
- Rango útil:
  - 0.05 1.0 (absorbancia)
  - 90% a 10% de transmitancia (% T)
- Longitudes de onda: 430 nm , 470 nm , 565 nm , 635 nm
- Resolución: 0,035% T (2 LabQuest, LabQuest, LabQuest Mini, Ir Link, LabPro!)
- Tensión de alimentación: 5V DC +/- 25mV
- Consumo de corriente: 40 mA (típico)
- Encienda tiempo: 700 ms (máximo)
- Rango de voltaje de salida: 0-4 V

- Función de transferencia:  $V_{out} = 0,035 \times (\% T) + 0$

### **3.3.7.3 Método**

Los dos métodos mencionados a continuación incluyen los procedimientos para la determinación de los niveles de ortofosfatos y fosfatos totales. La única diferencia entre los métodos es el número de normas que utilizan para crear la curva estándar.

Los ortofosfatos son relativamente fáciles de medir y por lo general dar una indicación aproximada del nivel total de fosfatos en el agua. La concentración de ortofosfatos se determina por medio de una reacción química, que resulta en un cambio de color que depende de la concentración de ortofosfatos. La intensidad del color se mide a continuación con el colorímetro.

La prueba para los fosfatos totales implica el tratamiento de la muestra con un ácido y un oxidante, y el punto de ebullición durante 30 minutos para convertir todos los fosfatos en ortofosfatos. La prueba de ortofosfato se lleva a cabo a continuación, en la muestra. Los resultados se informan como fosfatos totales.

#### **Método 1: Estandar simple**

El colorímetro de Vernier, se utiliza para crear una curva de 2 puntos, de absorbancia vs concentración, utilizando un estándar de fosfato. Este método es más rápido y más fácil que el Método 2 de múltiple estándar, pero debido a que depende de un estándar, las posibilidades de error son más altas.

#### **Método 2: Estandar multiple**

El colorímetro de Vernier, se utiliza para crear una curva estándar de 4 puntos, de absorbancia vs concentración, utilizando un conjunto de cuatro normas de fosfato. Este método toma más tiempo y esfuerzo que el método de un solo estándar, pero la curva estándar se basa en cuatro puntos, por lo cual existe una reducción de la posibilidad de error.

### 3.3.8 Nitratos

Los ensayos descritos aquí se utilizan para medir la concentración de iones nitrato, en una muestra de agua. La concentración de nitrato se expresa a lo largo de esta sección en unidades de mg/lit  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ . La unidad,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ , significa simplemente "nitrógeno que se encuentra en la forma de nitrato."

Los iones nitrato se encuentran en muestras de agua dulce resultado de una variedad de fuentes naturales y artificiales. Los Nitratos son una fuente importante de nitrógeno necesaria para plantas y animales para sintetizar aminoácidos y proteínas. La mayor parte de nitrógeno en la tierra se encuentra en la atmósfera en forma de gas nitrógeno. A través de un proceso conocido como el ciclo del nitrógeno, el gas nitrógeno es cambiado en formas que son utilizables por las plantas y animales. Estos valores incluyen la producción industrial de fertilizantes, así como los procesos naturales, tales como la fijación de nitrógeno en leguminosas, plantas y descomposición de animales y los residuos animales.

Aunque los niveles de nitrato en el agua dulce son generalmente menos de 1 mg/lit, las fuentes artificiales de nitrato puede elevar los niveles por encima de 3 mg/lit. Estas fuentes incluyen engorde de animales, los escurrimientos de fertilizado de campos, o aguas residuales municipales tratadas se devuelven a los arroyos. Los niveles superiores a 10 mg/lit en agua potable puede causar una enfermedad potencialmente mortal en los bebés llamada metahemoglobinemia, o Síndrome del bebé azul. En esta enfermedad, el nitrato convierte la hemoglobina en una forma que ya no permite el transporte de oxígeno.

Las altas concentraciones de nitrato también contribuyen a una condición en lagos y estanques llamado eutrofización, el crecimiento excesivo de plantas acuáticas y algas causan un olor y sabor desagradable del agua, así como la reducción de la claridad, a menudo acompañan a este proceso.

Finalmente, la biomasa muerta se acumula en el fondo del lago, donde se descompone y agrava el problema de reciclaje nutrientes. Si otros nutrientes necesarios están presentes, las floraciones de algas, puede ocurrir en un lago con tan poco como 0.50 mg/lit de  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ .

La contaminación por nitratos de las aguas superficiales y subterráneas se ha convertido en un principal problema ecológico en algunas zonas agrícolas. Aunque a los fertilizantes se culpa más a menudo, hay evidencia de que la concentración de nitrato en corrales de engorda es ahora la principal fuente de la contaminación por nitratos agrícolas.

### 3.3.8.1 Descripción del Sensor

La concentración de nitratos, que se puede aumentar por las lluvias ácidas, los fertilizantes de los campos, y la decadencia o desperdicios de la planta o animal, es un parámetro importante en casi todos los estudios de calidad de agua. Utilice el Electrodo selectivo de iones (ESI) de nitrato para determinar la concentración del ion nitrato en una muestra de agua.

Al igual que todas las demás membranas, la membrana en el ESI tiene una esperanza de vida limitada. Sin embargo, el módulo reemplazable de ESI le permite simplemente desechar el módulo de membrana utilizada, y sustituirlo por uno nuevo. En la figura 3.7 se ilustra Nitrato electrodo selectivo de iones.



Figura 3.7 Nitrato electrodo selectivo de iones

### 3.3.8.2 Especificaciones

- Rango: 0.10 a 14.000 mg/lit o ppm ( $7 \times 10^{-6}$  M a 1.0 M)
- Resolución (LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, Ir Link, LabPro!):
  - % De la lectura: 0.7%

- Lectura de la escala baja:  $0.10 \pm 0.0007$
- Lectura de la escala de alta:  $14,000 \pm 98$  mg/lit
- Rango de pH: 2.5 a 11
- Pendiente del electrodo (registro de tensión frente a la concentración): -56 mV/década
- Electrodo Resistencia: 1 a 4 M $\Omega$
- Reproducibilidad:  $\pm 5\%$  de la lectura
- Rango de temperatura (se puede colocar en): 0 a 50 °C (sin compensación de temperatura)
- Mínimo de inmersión: 1 pulgada
- Electrodo Longitud: 155 mm
- Diámetro del cuerpo: 12 mm
- Diámetro del casquillo: 16 mm
- Longitud del cable: 100 cm

### 3.3.8.3 Método

El nitrato electrodo selectivo de iones (ESI) se utiliza para medir la concentración de nitrato de litio en el agua, en mg/lit de  $\text{NO}_3\text{-N}$ , en el sitio o después de volver al laboratorio.

### 3.3.9 Nitrato de Amonio

El electrodo selectivo de iones de amonio,  $\text{NH}_4^+$ , es un miembro importante del grupo de que contiene compuestos de nitrógeno que actúan como nutrientes para plantas y algas acuáticas. En la superficie del agua, se concentra la mayor parte del amoniaco  $\text{NH}_3$ , se encuentra en la forma de el ion de amonio,  $\text{NH}_4^+$ . Este hecho permite que nosotros para aproximar la concentración de todo el nitrógeno en forma de amoníaco y de amonio se combine, comúnmente llamado de nitrógeno amoniaco, mediante la medición de sólo la concentración de iones de amonio.

Todas las plantas y los animales necesitan nitrógeno como nutriente para sintetizar aminoácidos y proteínas. Más nitrógeno en la tierra se encuentra en la atmósfera en forma de  $\text{N}_2$ , pero las plantas y los animales no pueden utilizarla de esta forma. El nitrógeno primero se debe convertir en una forma utilizable, tal como nitrato,  $\text{NO}_3^-$ . Estas conversiones entre las diferentes formas de nitrógeno forman un ciclo complejo llamado ciclo del nitrógeno. En el ciclo del nitrógeno, las bacterias convierten el



nitrógeno en amonio, en un proceso llamado nitrógeno fijación. Este proceso a menudo se produce en las raíces de plantas leguminosas como la alfalfa, frijoles y guisantes. Las bacterias también pueden convertir el nitrógeno en descomposición, materia vegetal y animal y los productos de desecho en el suelo o el agua de amonio en un proceso llamado amonificación. Otras fuentes de materia orgánica para amonificación incluye residuos industriales, agrícolas y las aguas residuales de tratamiento de efluentes.

Algunos árboles y hierbas son capaces de absorber directamente los iones de amonio, pero la mayoría requieren su conversión a nitrato. Este proceso, llamado nitrificación, se realiza normalmente por las bacterias en el suelo o el agua. En el primer paso de la nitrificación, se oxidan los iones amonio en nitrito. El nitrito se convierte a continuación en nitrato, que posteriormente puede ser utilizado por las plantas y las algas. Los animales requieren nitrógeno así. Ellos obtienen el nitrógeno que necesitan alimentándose de plantas o por el consumo de otros animales, que a su vez han comido plantas. Si los niveles de nitrógeno de amonio en las aguas superficiales son demasiado altos, pueden ser tóxicos para algunos organismos acuáticos. Si los niveles de crecimiento son moderadamente altos, plantas y algas suelen aumentar debido a la abundancia de nitrógeno disponible como un nutriente. Esto tendrá un efecto dominó en otros atributos de la calidad del agua, tales como el aumento de DBO y la reducción de los niveles de oxígeno disuelto. Los niveles de oxígeno disuelto también se pueden reducir cuando el nitrógeno de amonio es alto debido a la mayor cantidad de nitrificación que ocurre.

Si suficientes nutrientes están presentes, se puede producir la eutrofización. La eutrofización se produce cuando hay tal abundancia de nutrientes disponibles que hay un aumento significativo de la planta y el crecimiento de algas. A medida que estos organismos mueren, y se acumularán en el fondo y se descomponen, liberando más nutrientes y agravando el problema. En algunos casos, este proceso de eutrofización puede llegar a ser tan avanzado que la masa de agua puede llegar a ser un pantano.

Si demasiado o poco nitrógeno de amonio está presente, puede ser el factor limitante en la cantidad de planta y el crecimiento de algas. Rápidamente el Nitrógeno de amonio se puede convertir en nitritos o nitratos; por lo tanto, un bajo nivel de nitrógeno amoniacal no necesariamente indica un bajo nivel de nitrógeno en general.

### 3.3.9.1 Descripción del Sensor

Utilice el electrodo selectivo de iones (ESI) para medir los niveles de iones de amonio introducidos por fertilizantes. También puede indicar los niveles de amoníaco acuoso si las soluciones de muestra se acidifican.

Al igual que todas las demás membranas, la membrana en el ESI tiene una esperanza de vida limitada. Sin embargo, el módulo reemplazable de ESI le permite simplemente desechar el módulo de membrana utilizada, y sustituirlo por uno nuevo. En la Figura 3.8 se muestra el sensor de amonio.



Figura 3.8 Amonio electrodo selectivo de iones

### 3.3.9.2 Especificaciones

- Rango: 0.10 a 18,000 mg/lit o ppm ( $5.5 \times 10^{-6}$  M a 1,0 M)
- Resolución (LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, Ir Link, LabPro!)
  - % De la lectura: 0.7%
  - Lectura de la escala baja:  $1.8 \pm 0.013$
  - Lectura de la escala de alta:  $35,500 \pm 250$  mg/lit
- Rango de pH: 4-7.5
- Los iones que interfieren:  $K^+$
- Pendiente del electrodo (registro de tensión frente a la concentración): 56 mV/década
- Electrodo Resistencia: 1 a 4 M $\Omega$

- Reproducibilidad:  $\pm 5\%$  de la lectura
- Rango de temperatura (se puede colocar en): 0 a 50 °C (sin compensación de temperatura)
- Mínimo de inmersión: 1 pulgada
- Electrodo Longitud: 155 mm
- Diámetro del cuerpo: 12 mm
- Diámetro del casquillo: 16 mm
- Longitud del cable: 100 cm

### **3.3.9.3 Método**

El amonio electrodo selectivo de iones (ESI) se utiliza para medir la concentración de nitrógeno de amonio en el agua, ya sea en el lugar o después de volver al laboratorio.

### **3.3.10 Alcalinidad**

La alcalinidad del agua es una medida de cuánto ácido se puede neutralizar. Si se realiza algún cambio en el agua que podría aumentar o disminuir el valor de pH, la alcalinidad actúa como un amortiguador, protegiendo el agua y sus formas de vida de los cambios repentinos del pH. Esta capacidad para neutralizar el ácido, es particularmente importante en las regiones afectadas por la lluvia ácida.

Cuando cae la lluvia ácida en un lago, el ácido está parcialmente neutralizado y el pH del agua se mantiene bastante constante. De este modo, un alto nivel de alcalinidad ayuda a mantener la salud del agua y los organismos que viven allí. La alcalinidad no debe confundirse con el pH. El pH de una solución es una medida de la concentración de ácido, o  $H^+$  iones, en el agua. La alcalinidad es una medida de la capacidad del agua para neutralizar un ácido, o  $H^+$  iones, manteniendo así el pH a un nivel bastante constante.

La alcalinidad en el agua superficial proviene de carbonato de calcio, de rocas y el suelo. Este proceso se ve favorecido si las rocas y el suelo ha sido roto por cualquier motivo, como la minería o desarrollo urbano. La piedra caliza contiene niveles especialmente altos de carbonato de calcio.

La alcalinidad es importante en el tratamiento de las aguas residuales y el agua potable, ya que influirá en el tratamiento procesos tales como la digestión

anaeróbica. El agua también puede ser inadecuada para su uso en el riego si el nivel de alcalinidad en el agua es más alto que el nivel natural de la alcalinidad en el suelo.

### **3.3.10.1 Método**

La alcalinidad se mide por valoración de una muestra de agua con ácido sulfúrico. El sensor de pH Vernier se utiliza para controlar el pH durante la valoración. El punto de equivalencia será un pH de aproximadamente 4.5, pero pueden variar ligeramente, dependiendo de la composición química del agua. El volumen del ácido sulfúrico añadido en el punto de equivalencia de la titulación se utiliza entonces para calcular la alcalinidad del agua.

### **3.3.11 Sólidos Disueltos Totales**

Los sólidos en las corrientes se encuentran de dos formas, suspendidos y disueltos. Los sólidos en suspensión incluyen cieno, sedimentos agitados del fondo, la materia vegetal en descomposición, o aguas residuales de tratamiento de efluentes, los sólidos suspendidos no pasarán a través de un filtro, mientras que los sólidos disueltos si lo harán. Los sólidos disueltos en el agua dulce incluyen sales solubles como son el sodio, calcio, magnesio, bicarbonato y sulfatos entre otros.

El total de sólidos disueltos o (TSD), se puede determinar mediante la evaporación de una muestra de pre-filtrado hasta sequedad, y luego encontrar la masa de el residuo seco por litro de muestra. Un segundo método utiliza una sonda de conductividad de Vernier para determinar la capacidad de las sales disueltas y sus iones resultantes en una muestra no filtrada a conducir una corriente eléctrica. La conductividad luego se convierte en TSD. Con cualquiera de estos métodos se obtiene un valor de TSD en unidades de mg/lit. La concentración de TSD en un cuerpo de agua se ve afectada por muchos factores diferentes. Una alta concentración de iones disueltos no es, por sí misma, una indicación de que una corriente esté contaminada o insalubre. Es normal que las corrientes disuelvan y acumulen altas concentraciones de iones a partir de los minerales en las rocas y los suelos sobre los que el flujo circula.

TSD se utiliza a veces como un "perro guardián" prueba ambiental. Cualquier cambio en la composición iónica entre los sitios de prueba en una corriente puede rápidamente ser detectado mediante un sensor de conductividad. Los valores de TSD cambiarán cuando los iones se introducen al agua a partir de sales, ácidos, bases,

minerales de agua dura, o gases solubles que se ionizan en solución. Sin embargo, la pruebas descritas aquí no le dirán el ión específico responsable para el aumento o la disminución del TSD. Ellos se limitan a dar una indicación general del nivel de sólidos disueltos en el río o lago.

Hay muchas posibles fuentes artificiales de iones que pueden contribuir a las lecturas de TSD elevadas.

Los fertilizantes de los campos y el césped pueden agregar una variedad de iones en una secuencia. Los aumentos de TSD también son resultado de los escurrimientos de los caminos que se han salado en el invierno. La materia orgánica de las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden contribuir a niveles más altos de iones nitrato o fosfato. Tratamiento de aguas residuales también puede tener lecturas más altas de TSD que rodea corrientes si el agua potable en zonas urbanas ha sido altamente clorada. El agua de riego que se devuelve a una corriente tendrá a menudo más altas concentraciones de iones de sodio o cloruro. Los niveles de TSD son altos, sobre todo debido a las sales disueltas, muchas de las formas de vida acuática se ven afectados.

Las sales actúan para deshidratar la piel de los animales. Las altas concentraciones de sólidos disueltos pueden añadir un efecto laxante al agua o hacer que el agua tiene un sabor mineral desagradable. También es posible para los iones disueltos afectar el pH de un cuerpo de agua, que a su vez puede influir en la salud de los especies acuáticas.

#### **3.3.11.1 Descripción del Sensor**

La sonda de conductividad tiene tres rangos, proporcionando una precisión óptima en cualquier intervalo dado. Características adicionales:

Rápido tiempo de respuesta: alcanza el 98% del valor total en menos de 5 segundos.

Calibración rápida y fácil.

La compensación de temperatura permite calibrar la sonda en el laboratorio, y luego hacer las mediciones al aire libre, sin que los cambios de temperatura afecten los datos.

EL cuerpo del electrodo está constituido por un material grafito-epoxi, lo que elimina la preocupación por la corrosión de los electrodos metálicos. En la Figura 3.9 se muestra el sensor de conductividad.



Figura 3.9 Sonda de conductividad

### 3.3.11.2 Especificaciones

- Rango:
  - Rango bajo: 0 a 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0 a 100 mg/lT TSD)
  - Rango medio: 0 a 2,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0 a 1,000 mg/lT TSD)
  - Rango alto: 0 a 20,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0 a 10,000 mg/lT TSD)
- Resolución (LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, Ir Link, LabPro!):
  - Rango bajo: 0.1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0.05 mg/lT TSD)
  - Rango Medio: 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0.5 mg/lT TSD)
  - Rango alto: 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (5 mg/lT TSD)
- Precisión con calibración de fábrica:
  - $\pm 8\%$  de la lectura de escala completa de rango bajo
  - $\pm 3\%$  de la lectura de escala completa de rango medio
  - $\pm 4\%$  de la lectura de escala completa de rango alto
- Precisión con calibración personalizada:  $\pm 2\%$  a escala completa para cada rango
- Tiempo de respuesta: 98% de la lectura de escala completa en 5 segundos, el 100% de la escala completa en 15 segundos
- Compensación de temperatura: automática de 5 a 35 °C
- Rango de temperatura (se puede colocar en): 0 a 80 °C
- Constante de la celda: 1.0  $\text{cm}^{-1}$
- Descripción: Cuerpo ABS, carbono paralelo (grafito) electrodos
- Dimensiones: 12 mm de diámetro exterior y 150 mm de longitud

### 3.3.11.3 Método

La sonda de conductividad Vernier se utiliza en el sitio, o colocada la sonda en muestras recogidas en los sitios, para medir la concentración de TSD de la solución. Ofrece la ventaja de que se puede realizar sin filtración, proporcionando información instantánea sobre la concentración de sólidos totales disueltos en un arroyo.

### 3.3.12 Calcio y la Dureza del Agua

El calcio, es uno de los principales cationes inorgánicos, en agua salada y de agua dulce. Se puede originar a partir de la disociación de sales, tales como cloruro de calcio o sulfato de calcio, en el agua. La mayoría de calcio en el agua superficial proviene de corrientes que fluyen sobre piedra caliza, yeso, y otros que contienen calcio en las rocas y minerales.

A las aguas subterráneas y los acuíferos subterráneos se filtran aún mayores concentraciones de calcio de las rocas y el suelo.

El carbonato de calcio es relativamente insoluble en agua, pero se disuelve más fácilmente en agua que contiene significativos niveles de dióxido de carbono disuelto.

La concentración de calcio en agua dulce se encuentra en un rango de 0 a 100 mg/lit. Un nivel de 50 mg/lit es recomendado como límite superior para el agua potable. Los niveles altos no se consideran un problema de salud, sin embargo, niveles por encima de 50 mg/lit puede ser un problema en la formación de depósitos de carbonato de calcio en las tuberías o en la disminución de la acción de limpieza de jabones.

Cuando el agua pasa a través de o sobre los depósitos minerales tales como piedra caliza, los niveles de calcio, magnesio, y bicarbonato de sodio presentes en el agua aumentan en gran medida, y hacen que el agua se clasifique como agua dura. Este término resulta del hecho que el calcio o magnesio en el agua se combinan con moléculas de jabón, formando una pegajosa escoria que interfiere con la acción de jabón y lo hace "difícil" conseguir espuma. Uno de los signos más evidentes de agua dura es una película de color blanco a la izquierda en la superficie de duchas. Dado que la mayoría del agua dura se origina a partir de carbonato de calcio, siempre se puede obtener multiplicando la concentración de calcio por un factor de 2.5.

Otra medida común de la dureza del agua se conoce como dureza total como carbonato de calcio. Esta medición tiene en cuenta tanto los iones calcio y magnesio. En promedio, la dureza de magnesio representa aproximadamente 1/3 de la dureza total y la dureza de calcio alrededor de 2/3. Si usted está comparando sus resultados de las pruebas propias de la dureza del calcio como carbonato de calcio con resultados en publicaciones que utilizan las unidades del total dureza como carbonato de calcio, se puede estimar la dureza total multiplicando la dureza de calcio por 1.5. Ver capítulo **3.3.13 Dureza total del Agua**, para obtener más información acerca de este tema.

### 3.3.12.1 Descripción del Sensor

Los datos del ESI de calcio pueden dar una buena indicación de la dureza del agua. La concentración de calcio también se utiliza como un indicador de punto final en EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) estándar de -Ca/Mg para conocer la dureza del agua. En la Figura 3.9 se muestra el sensor de calcio.



Figura 3.9 Calcio electrodo selectivo de iones

### 3.3.12.2 Especificaciones

- Rango: 0.20 a 40,000 mg/lit o ppm ( $5 \times 10^{-6}$  M a 1.0 M)
- Resolución (LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, Ir Link, LabPro!)
  - % De la lectura: 1.4%
  - Lectura de la escala baja:  $0.20 \pm 0.0028$
  - Lectura de la escala de alta:  $40,000 \pm 560$  mg/lit
- Rango de pH: 3 a 10



- Los iones que interfieren:  $Pb^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$
- Electrodo Resistencia: 1 a 4 M $\Omega$
- Pendiente del electrodo (registro de tensión frente a la concentración): 28 mV/década
- Reproducibilidad:  $\pm$  5% de la lectura
- Rango de temperatura (se puede colocar en): 0 a 50 °C (sin compensación de temperatura)
- Mínimo de inmersión: 1 pulgada
- Electrodo Longitud: 155 mm
- Diámetro del cuerpo: 12 mm
- Diámetro del casquillo: 16 mm
- Longitud del cable: 100 cm

### 3.3.12.3 Método

El electrodo de calcio selectivo de iones (ESI), se utiliza para medir el calcio en la concentración del agua en mg/lit, ya sea en el lugar o después de volver al laboratorio. Este valor a continuación, se multiplica por un factor de 2.5 para obtener un valor para la dureza de calcio como carbonato de calcio en mg/lit.

### 3.3.13 Dureza Total del Agua

Cuando el agua pasa a través de o sobre los depósitos, tales como piedra caliza, los niveles de calcio, magnesio, y bicarbonato en el agua pueden aumentar en gran medida, y el agua puede ser clasificada como agua dura. En la sección **3.3.13 Calcio y la Dureza del Agua**, se utilizó un (ESI) para determinar el calcio en una solución de agua, en mg/lit como carbonato de calcio. En esta prueba, se determinó la dureza total, la dureza total se define como la suma de calcio y de magnesio en mg/lit como carbonato de calcio.

Los niveles altos de calcio y magnesio puede causar depósitos escamosos en las tuberías, electrodomésticos y calderas. Estos dos iones también se combinan químicamente con moléculas de jabón, lo que disminuye la acción de limpieza. La *Association American Water Works* indica que la calidad del agua no debe contener más de 80 mg/lit, de dureza total como carbonato de calcio. Los altos niveles de dureza total no se consideran un problema de salud. Por el contrario, el calcio es un

componente importante de las paredes celulares de las plantas acuáticas, y de los huesos o caparazones de organismos acuáticos.

El magnesio es un nutriente esencial para las plantas, y es un componente de la clorofila.

#### **3.3.13.1 Método**

La muestra se ajusta primero a un pH de 10 usando una solución tapón. La muestra se titula para su punto de equivalencia con una EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) estándar. EDTA extrae iones del calcio y el magnesio en un complejo, por lo que ninguno de los dos tiene iones libres en solución. El indicador Calmagita, inicialmente se vuelve rojo en presencia de magnesio, a continuación, se vuelve azul cuando suficiente solución de EDTA ha sido añadida para combinar con todos los iones de calcio y magnesio.

La dureza total de la muestra se calcula utilizando el volumen exacto de solución de EDTA añadido cuando el indicador cambio de color , así como la concentración de EDTA, en mol/lit. Si la concentración de calcio se determinó en capítulo (**3.3.13 Calcio y la Dureza del Agua**), la concentración de magnesio también se puede calcular (en mg/lit de Magnesio).

#### **3.3.14 Cloruro y Salinidad**

##### **3.3.14.1 Cloruro**

El cloruro, en la forma de cloro, es uno de los principales aniones inorgánicos, o iones negativos, en agua salada y de agua dulce. Se origina a partir de la disociación de sales, tales como cloruro de sodio o cloruro de calcio, en agua.

Estas sales y sus iones cloruro resultantes, se originan a partir de minerales naturales, la intrusión de agua salada en los estuarios, y la contaminación industrial.

Hay muchas fuentes posibles de sales artificiales que podría contribuir a resultados elevados de cloruro.

El sabor salado en el agua potable, es producido por la concentración de cloruro. El agua que contiene 250 mg/lit de cloruro puede tener un sabor salado si fue partir de

cloruro de sodio. El nivel máximo recomendado de cloruro en el agua potable en EE.UU. es de 250 mg/lit.

### **3.3.14.2 Salinidad**

La salinidad es el total de todas las sales que no son carbonatos disueltos en el agua, generalmente se expresa en partes por mil (1 ppt = 1000 mg/lit). Se puede pensar en la salinidad, como medida de la concentración total de sal, principalmente de sodio y cloro. La salinidad es una medida importante en agua de mar o en los estuarios donde el agua dulce de los ríos y arroyos se mezcla con el agua salada del océano. El nivel de salinidad en el agua de mar es bastante constante, en alrededor de 35 partes por mil (35000 mg/lit), mientras algunos estuarios pueden tener niveles de salinidad entre 1 y 10 ppt.

La salinidad también se puede medir en agua dulce. En comparación con el agua de mar o agua salada, el agua dulce tiene niveles mucho más bajos de "iones de sal", tales como sodio y cloruros, De hecho, estos iones son a menudo más bajos en la concentración de iones de agua dura, calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). Porque lecturas de salinidad en el agua dulce será significativamente menor que en el agua de mar o agua salobre, lecturas a menudo se expresan en mg/lit en lugar de PPT (1 ppt = 1000 mg/lit).

El aumento de los niveles de salinidad se han observado en el curso inferior del río Colorado y Río Bravo, debido al retorno de agua de riego. En estas regiones áridas de los Estados Unidos, el agua se evapora fácilmente durante la irrigación, lo que resulta en altas concentraciones de sal en el agua devuelta a los ríos. La salinidad es también de interés en los cuerpos de agua donde se mezcla el agua de mar con agua dulce, ya que los organismos acuáticos tienen diferentes habilidades para sobrevivir y prosperar en diferentes niveles de salinidad. Algunos organismos de agua salada pueden sobrevivir a los niveles de salinidad de hasta 40 ppm, sin embargo, muchos organismos de agua dulce no pueden vivir en los niveles de salinidad por encima de 1 ppm.

### 3.3.14.3 Descripción del Sensor

La concentración del ion cloruro, da una medición rápida de la salinidad de las muestras de agua. El ESI de cloruro mide los niveles de cloro en el agua salada del océano o la sal en muestras de alimentos.

El ESI de cloruro está compuesto por un electrodo no recargable y relleno de gel. A diferencia de otros ESI disponibles en Vernier, el ESI de cloruro tiene una membrana de estado sólido que no necesita ser reemplazado.



Figura 3.9 Electrodo Selectivo de Iones de Cloruro

### 3.3.14.4 Especificaciones

- Rango: 1.8 a 35500 mg/lit o ppm ( $5 \times 10^{-5}$  M a 1.0 M)
- Resolución (LabQuest 2, LabQuest, LabQuest Mini, Ir Link, LabPro!)
  - % De la lectura: 0.7%
  - Lectura de la escala baja:  $1.8 \pm 0.013$
  - Lectura de la escala de alta:  $35,500 \pm 250$  mg/lit
- Rango de pH: 2-12
- Los iones que interfieren:  $\text{NC}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$
- Pendiente del electrodo (registro de tensión frente a la concentración): -56 mV/década
- Electrodo Resistencia: 1 a 4  $\text{M}\Omega$
- Reproducibilidad:  $\pm 5\%$  de la lectura

- Rango de temperatura (se puede colocar en): 0 a 50 °C (sin compensación de temperatura)
- Mínimo de inmersión: 1 pulgada
- Electrodo Longitud: 155 mm
- Diámetro del cuerpo: 12 mm
- Diámetro del casquillo: 16 mm
- Longitud del cable: 100 cm

### 3.3.14.5 Método

#### **Método 1: Concentración Cloruro y Salinidad (ESI)**

Un electrodo selectivo de iones de Cloruro (Vernier), se usa para medir la concentración de iones cloruro en el agua (en mg/lit) en el sitio o después de volver al laboratorio. La salinidad se puede determinar utilizando la relación, la salinidad (ppt) =  $0.0018066 \times \text{Cl}^- (\text{mg/lit})$ .

#### **Método 2: Salinidad Usando una sonda de conductividad (agua de mar o agua salobre).**

Una sonda de conductividad de Vernier se utiliza para medir el valor de la salinidad del agua en ppt (partes por mil). Si los valores de salinidad exceden 13 ppt, la dilución de las muestras, como se describe en el procedimiento, será necesario. Este método utiliza la suposición de que la mayor parte de los iones en la solución son iones de sal no carbonatada (por ejemplo,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , o  $\text{Cl}^-$ ).

# Capítulo 4

## **Implementación del sistema de instrumentación para la calidad del agua en los pozos 7 y 8 de Ciudad Tres Marías.**

### **4.1 Introducción**

Antiguamente se creía que las aguas subterráneas procedían del mar y habían perdido su salinidad al filtrarse entre las rocas. Hoy se sabe que es agua procedente de la lluvia. Las aguas subterráneas forman grandes depósitos que en muchos lugares constituyen la única fuente de agua potable disponible. A veces, cuando circulan bajo la tierra, forman grandes sistemas de cuevas y galerías. En algunos lugares regresan a la superficie, brotando de la tierra en forma de fuentes o manantiales. Otras, hay que ir recogerlas a distintas profundidades excavando pozos.

Un pozo es un hoyo hecho por el hombre en la tierra para llegar a un líquido. El líquido que más se utiliza en estos es el agua. Alrededor del 97% del agua dulce del mundo se encuentra en acuíferos. Los pozos pueden ser excavados solo para monitorear la calidad del agua o también se utiliza para proveer agua potable luego de que pase por unos tratamientos de purificación.

La mayoría de los acuíferos se encuentran en la profundidad del nivel freático, que son llamados acuíferos no confinados ya que el material sobre ellos es poroso. Los acuíferos confinados están cubiertos por capas no porosas, que, a pesar de empujar el nivel estático del agua sobre la parte superior del acuífero, son más difíciles de perforar.

Aunque es menos útil que los registros de perforación, los mapas pueden mostrar la ubicación general de los acuíferos, así como las formaciones de roca en el área. Los mapas topográficos muestran las características de la superficie y sus elevaciones y estos se pueden utilizar para trazar lugares. Juntos, los registros geológicos y los mapas topográficos, puede ayudar a determinar si el agua subterránea es suficiente para perforar un pozo.

Los pozos se clasifican en cinco tipos de acuerdo con el método de construcción.

- a) **Perforación excavada.** Es aquel que se construye por medio de picos, palas, etc., o equipos para excavación como cucharones de arena. Son de poca profundidad y se usan donde el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie. Su principal ventaja es que pueden construirse con herramientas manuales, además su gran diámetro proporciona una considerable reserva de agua dentro del pozo mismo como se muestra en la Figura 4.1.



Figura 4.1 Pozo excavado

- b) **Perforación por taladro.** Es aquel en que la excavación se hace por medio de taladros rotatorios, ya sean manuales o impulsados por fuerza motriz. Su principal ventaja es que pueden construirse con herramientas manuales. Usualmente se instala una bomba en el fondo del pozo para que bombee el agua hacia la superficie, este tipo de pozos son como los que muestra la Figura 4.2.



Figura 4.2 Pozo Taladrado

- c) **Pozo a chorro.** Es aquel en que la excavación se hace mediante un chorro de agua a alta velocidad. El chorro afloja el material sobre el cual actúa y lo hace resbalar fuera del hueco.
- d) **Pozo clavado.** Es aquel que se construye clavando una rejilla con punta, llamada puntera. A medida que esta clava en el terreno, se agregan tubos o secciones de tubos enroscados. Son de pequeño diámetro.
- e) **Pozo perforado.** La excavación se hace mediante sistemas de percusión o rotación. El material cortado se extrae del hueco con un achicador y mediante presión hidráulica o con alguna herramienta hueca de perforar, etc. Cada tipo de pozo tiene sus ventajas particulares, que pueden ser, la facilidad de construcción, tipo de equipo requerido, capacidad de almacenamiento, facilidad de penetración o facilidad de protección contra la contaminación.

## 4.2 Características del Pozo 7

### 4.2.1 Corte Litológico

El material que se encontró durante la perforación se describe en la Tabla 4.2.



Tabla 4.2 Características del Corte Litológico

| METROS |     | MATERIAL ENCONTRADO                                         | ESPESOR (MTS) |
|--------|-----|-------------------------------------------------------------|---------------|
| DE     | A   |                                                             |               |
| 0      | 040 | Gravas y arenas.                                            | 40            |
| 040    | 046 | Cenizas volcánicas semiconsolidadas.                        | 6             |
| 046    | 058 | Gravas, clastos y fragmentos de roca tipo volcánica.        | 12            |
| 058    | 068 | Roca volcánica básica textura vesicular.                    | 10            |
| 068    | 084 | Roca volcánica básica ligeramente fracturada.               | 16            |
| 084    | 096 | Fragmentos de roca volcánica con arcillas y sedimentos.     | 12            |
| 096    | 114 | Brecha volcánica básica fracturada.                         | 18            |
| 114    | 146 | Roca volcánica básica textura vesicular.                    | 32            |
| 146    | 196 | Roca volcánica básica fracturada y alterada.                | 50            |
| 196    | 210 | Clastros y fragmento de roca volcánica básica con arcillas. | 14            |
| 210    | 422 | Ausencia de muestras por pérdida de circulación.            |               |

#### 4.2.2 Perforación

La perforación y entubamiento se realizaron con una máquina rotatoria Franks 3500 con capacidad de 1000 metros. El pozo cuenta con un total de 422 metros de profundidad, con un diámetro de 24 pulgadas en los primeros 40 metros y de 17 1/2 pulgadas a partir de los 40 hasta 422 metros de profundidad.

El nivel estático del aforo al final de la perforación del pozo, se encontró a una profundidad de 74 metros y el nivel dinámico a una profundidad de 96 metros. Se realizó un primer aforo con una bomba de 6" de diámetro y con una profundidad de columna de 200 metros. Permitiendo obtener un litraje de 45.21 litros/segundo con

un nivel dinámico estabilidad de 93.80 metros, lo que determino un abatimiento de 19.80 metros en nivel estático.

### 4.2.3 Entubamiento

La tabla 4.3 muestra el tipo de material que se utilizo y sus características, para el entubamiento del pozo a lo largo de su profundidad.

Tabla 4.3 Características del material para el entubamiento.

| METROS |     | CARACTERISTICAS                             |
|--------|-----|---------------------------------------------|
| 0      | 40  | Tubería de contra ademe de 20" x 1/4" lisa. |
| 40     | 422 | Tubería de 12" x 5/16" lisa.                |

### 4.2.4 Instalaciones

La instalación del pozo 7, cuenta con un transformador de 150 kVA (Figura 4.3), que alimenta al cuarto de control (Figura 4.4). El cuarto de control tiene una protección termomagnética de 400 Amperes que protege a la bomba de extracción de agua, asimismo tiene un banco de capacitores con una capacidad de 100 kVAR.



Figura 4.3 Transformador de 150 kVA



Figura 4.4 Cuarto de control

Lo que se aprecia en la Figura 4.5 es el cableado que conduce hasta el fondo del pozo para la alimentación de la bomba de extracción de agua. El entubamiento cuenta con un medidor de flujo de agua (Figura 4.6).



Figura 4.5. Alimentación eléctrica de la bomba de extracción.



Figura 4.6. Medidor de flujo de agua.

Y por último la Figura 4.7 muestra el entubamiento completo desde su extracción hasta la salida que suministra de agua a una parte desarrollo del Club del Golf Tres Marías.



Figura 4.7. Entubamiento del pozo

### **4.3 Características del Pozo 8**

#### **4.3.1 Corte Litológico**

El material que se encontró durante la perforación se describe en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Características del Corte Litológico

| METROS |     | MATERIAL ENCONTRADO                                                                            | ESPESOR (MTS) |
|--------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| DE     | A   |                                                                                                |               |
| 0      | 030 | Clasticos y arenas, gravillas con cenizas.                                                     | 30            |
| 030    | 040 | Clastos y fragmentos pequeños de roca con cenizas y arenas.                                    | 10            |
| 040    | 072 | Gravillas y clastos de roca – basaltitos con arenas y sedimentos de la calidad de las cenizas. | 32            |
| 072    | 130 | Roca Volcánica intermedia (andesita)                                                           | 58            |
| 130    | 152 | Roca Volcánica basáltica fracturada.                                                           | 22            |
| 152    | 158 | Roca Volcánica basáltica compacta.                                                             | 6             |
| 158    | 198 | Roca Volcánica basáltica fracturada.                                                           | 40            |
| 198    | 210 | Roca Volcánica compacta.                                                                       | 12            |
| 210    | 232 | Brecha volcánica compacta.                                                                     | 22            |
| 232    | 332 | Materiales clasticos, gravas, arenas y esco con cenizas y segmentos arcillosos.                | 100           |
| 332    | 406 | Roca Volcánica intermedia ligeramente fracturada (dacita).                                     | 74            |
| 406    | 425 | Roca Volcánica intermedia fracturada (dacita).                                                 | 19            |

#### 4.3.2 Perforación

La perforación y entubamiento se realizaron con una máquina rotatoria Franks 3500 con capacidad de 1000 metros. El pozo cuenta con un total de 450 metros de profundidad, con un diámetro de 24 pulgadas en los primeros 40 metros y de 17 1/2 pulgadas a partir de los 40 hasta 422 metros de profundidad.

El nivel estático del aforo al final de la perforación del pozo, se encontró a una profundidad de 70 metros. Se realizó un aforo con una bomba de 8" de diámetro y con una profundidad de columna de 150 metros. Permitiendo obtener un litraje de 68.82 litros/segundo con un nivel dinámico estabilidad de 130 metros.

### 4.3.3 Entubamiento

La tabla 4.5 Muestra el tipo de material que se utilizó y sus características, para el entubamiento del pozo a lo largo de su profundidad.

Tabla 4.5 Características del material para el entubamiento.

| METROS |     | CARACTERISTICAS                             |
|--------|-----|---------------------------------------------|
| 0      | 60  | Tubería de contra ademe de 20" x 1/4" lisa. |
| 60     | 450 | Tubería de 12" x 5/16" lisa.                |

### 4.3.4 Instalaciones

La instalación del pozo 8, cuenta con un transformador de 225 kVA (Figura 4.8), que alimenta al cuarto de control (Figura 4.9). El cuarto de control tiene una protección termomagnética de 400 Amperes que protege a la bomba de extracción de agua, asimismo tiene un banco de capacitores con una capacidad de 100 kVAR.



Figura 4.8 Transformador de 225 kVA



Figura 4.9 Cuarto de control

Lo que se aprecia en la Figura 4.10 es el cableado que conduce hasta el fondo del pozo para la alimentación de la bomba de extracción de agua. El entubamiento cuenta con un medidor de flujo de agua (Figura 4.11).



Figura 4.10. Alimentación de la bomba de extracción.



Figura 4.11. Medidor de flujo de agua.

Y por ultimo la Figura 4.12 muestra el entubamiento desde su extracción y en la Figura 4.13, la salida que suministra de agua a una parte del desarrollo del Club del Golf Tres Marías.



Figura 4.12. Entubamiento del pozo



Figura 4.13. Salida del pozo

#### 4.4 Tarjeta de Adquisición de Datos LabQuest

La tarjeta LabQuest está diseñada con un sobre moldeo de caucho como lo muestra la Figura 4.14, además cuenta con un diseño mecánico robusto, que proporciona protección contra golpes, caídas e incluso salpicaduras de agua, que fue de utilidad cuando realicé las pruebas en campo.



Figura 4.14 Tarjeta LabQuest

La tarjeta cuenta con una interfaz táctil intuitiva, que facilita la recolección y el análisis de datos, ya sea directamente en campo o en el laboratorio de forma autónoma, o a través de una interfaz al ordenador.

Cabe señalar que fue necesario realizar un reconocimiento de cada sensor, de sus características de operación y cuidados. Principalmente el tiempo de espera para el calentamiento del sensor, y posteriormente la calibración que fue necesaria para la recolección adecuada de datos y análisis de las muestras.

Los sensores que requirieron calibración fueron los siguientes: Sensor de turbidez, y sonda de nitratos.

En el caso del sensor de turbidez, el sensor se debe conectar a uno de los puertos de entrada de la tarjeta, y esperar 180 segundos para el calentamiento del sensor; después del calentamiento se procede a la calibración del sensor, con dos muestras con valores previamente conocidos de cero y de cien NTU:

- a) Para calibrar el valor de 0 NTU, se requiere el frasco que se muestra en la Figura 4.15 (que viene incluido en el kit del equipo), libre de suciedad por dentro y por fuera.



Figura 4.15 Muestra con valor de 0 NTU

Se debe de introducir dentro del sensor, tomando el frasco por medio de la tapa como lo muestra la Figura 4.16



Figura 4.16 Colocación de las muestras en el sensor

Por medio de la tarjeta se calibra el sensor con un valor de 0 NTU.

- b) Para calibrar el valor de 100 NTU, se requiere el frasco con el valor de 100 NTU como el que se muestra en la Figura 4.17 (que viene incluido en el kit del equipo), libre de suciedad por dentro y por fuera.



Figura 4.17 Muestra con valor de 100 NTU



Se debe retirar el frasco de la muestra de 0 NTU e introducir dentro del sensor por medio de la tapa, la muestra con valor de 100 NTU como lo muestra la Figura 4.5. Finalmente por medio de la tarjeta se calibra el sensor con un valor de 100 NTU.

Ya una vez calibrado el sensor con los parámetros de 0 y 100 NTU, la muestra que deseamos analizar se debe depositar en el frasco que se muestra en la Figura 4.15 y colocarse en el sensor como lo muestra la Figura 4.16, y esperar aproximadamente 15 segundos hasta que se estabilice el valor, el resultado final será el mostrado en la pantalla de la tarjeta.

De igual forma para el sensor, sonda de nitratos; se debe proceder a su uso de acuerdo a las especificaciones de uso y operación que vienen dentro de cada sensor.

En el caso de los sensores de pH, conductividad y temperatura no es requerida una calibración, por lo que se puede proceder directamente a la toma y análisis de datos teniendo siempre en cuenta el tiempo de espera para el calentamiento del sensor.

## 4.5 Prueba de la Calidad del Agua de los Pozos 7 y 8

### 4.5.1 Pozo 7

La prueba de Calidad del Agua se realizó el día 30 de septiembre a las 01:50 pm. Los parámetros que se midieron fueron los siguientes:

- a) **pH: Con un valor de 7.71:** Las Agencias de protección del medio ambiente recomiendan que el agua potable tenga un pH entre 6.5 a 8.5. El agua con un pH alto contiene una gran concentración de minerales disueltos. Aunque es sana para el cuerpo, los minerales como el calcio pueden causar problemas de sarro en superficies de cerámica y por su gusto agrio. El agua con bajo pH, tiende a llevar grandes concentraciones de metales como el manganeso y hierro. Estos metales pueden ser potenciales corrosivos de los caños en las casas antiguas.
  
- b) **Olor: Sin olor:** Los sabores u olores del agua potable puede revelar la existencia de algún tipo de contaminación, o el funcionamiento deficiente de algún proceso durante el tratamiento o la distribución del agua. Por lo tanto, puede indicar la presencia de sustancias potencialmente dañinas. Lo

que puede generar preocupación por su calidad.

- c) **Temperatura: Con un valor de 24 °C:** La temperatura tendrá un efecto medible aunque muy ligero sobre el pH del agua. De hecho, el agua pura tiene un pH de 7 sólo exactamente a 25 grados centígrados. A medida que la temperatura del agua sube, el pH disminuye. Lo contrario también es cierto, de que el agua más fría tiene un valor de pH más alto. A los 60 grados centígrados, el agua pura registra un valor de pH de 6,96.
- d) **Turbiedad: 0.3 NTU:** La turbidez indica la cantidad de materia sólida suspendida en el agua y se mide por la luz que se refleja a través de esta materia. A mayor intensidad de luz dispersa, mayor nivel de turbidez. La materia que causa turbidez en el agua incluye arcilla, fango, materia orgánica e inorgánica, plancton y organismos microscópicos. Las Agencias de protección del medio ambiente recomiendan que el agua potable se ubique por debajo de 5 NTU, por lo que el valor obtenido durante la prueba lo hace un valor que se encuentra muy por debajo de lo estipulado.
- e) **Conductividad: Con un valor de 667  $\mu\text{S}/\text{cm}$ :** La conductividad eléctrica de una muestra de agua es la expresión numérica de su capacidad para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de ácidos, bases y sales, que son relativamente "buenos conductores", de una corriente eléctrica. Inversamente, las soluciones orgánicas, que no se disocian en medio acuoso, poseen conductividades eléctricas muy bajas o nulas.

La conductividad del agua de consumo humano no debe sobrepasar los 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Estipulado en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas DIRECTIVA 98/83/CE DEL CONSEJO de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.

Por lo que el valor obtenido se encuentra por debajo del rango estipulado en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas.

- f) **Nitratos: 1.791 mg/lit:** El nitrato es una sal, un contaminante que puede ocasionar enfermedades agudas, lo que significa que una sola exposición

puede afectar a la salud de alguien. Es por esta razón que las normas de la calidad del agua en diferentes países incluyendo México, exigen en el agua potable valores menores 10 mg/lit.

#### 4.5.2 Pozo 8

La prueba de Calidad del Agua se realizó el día 01 de octubre a las 03:00 pm. Los parámetros que se midieron fueron los siguientes:

- a) **pH:** Con un valor de 7.74
- b) **Olor:** Sin olor
- c) **Temperatura:** Con un valor de 24 °C
- d) **Turbiedad:** 0.6 NTU
- e) **Conductividad:** Con un valor de 760  $\mu\text{S}/\text{cm}$
- f) **Nitratos:** 2.213 mg/lit

Como se puede observar, los valores obtenidos de los parámetros de la calidad del agua en el pozo 8, se encuentran en el mismo rango que el pozo 7. Lo que nos indica que el agua extraída también se encuentra dentro de los límites permisibles, mencionados en el pozo 7, por las organizaciones que regulan la calidad del agua.

# Capítulo 5

## Conclusiones

Al finalizar este trabajo de tesis obtuve las siguientes conclusiones:

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, químicas y radiactivas.

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización.

La Norma Oficial Mexicana (**NOM-127-SSA1-1994**) establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

En la Tabla 5.1, muestra los resultados totales que se obtuvieron del Pozo No. 7 y del Pozo No. 8, en comparación a lo que establece la Norma Oficial Mexicana (**NOM-127-SSA1-1994**). Pudiéndose observar que los valores obtenidos en las diferentes pruebas de la calidad del agua de los Pozos 7 y 8, se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana (**NOM-127-SSA1-1994**).

Tabla 5.1 Resultados finales

| <b>Parámetro</b> | <b>Unidades</b> | <b>Pozo No. 7</b> | <b>Pozo No. 8</b> | <b>NOM-127<br/>SSA1-1994</b> |
|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------------------|
| pH               | —               | 7.71              | 7.74              | 6.5 – 8.5                    |
| Olor             | N/A             | Sin olor          | Sin olor          | Sin olor                     |
| Temperatura      | °C              | 24                | 24                | —                            |
| Turbiedad        | NTU             | 0.2               | 0.4               | 5                            |
| Conductividad    | μS/cm           | 908               | 835               | —                            |
| Nitratos         | mg/lt           | 1.791             | 2.213             | 10                           |

Finalmente, es importante señalar que se alcanzaron los objetivos establecidos en este trabajo de tesis, conociendo las características de la calidad del agua, utilizando los sensores de la calidad del agua y la tarjeta de adquisición de datos (LabQuest), y aplicación experimental en dos pozos para conocer las propiedades del agua de extracción de dichos pozos.

## **Bibliografía**

1. Water Quality with Vernier, Water Quality Tests Using Vernier Sensors; Robyn L. Johnson, Kelly Redding, Dan D. Holmquist
2. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwg/gdwg3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwg3_es_full_lowres.pdf)
3. <http://eur-ex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1998:330:0032:0054:ES:PDF>
4. <http://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/Pubs/331-214s.pdf>
5. [http://www.waterefficiency.net/WE/Articles/The Introduction to the Water Quality Index 15374.aspx](http://www.waterefficiency.net/WE/Articles/The_Introduction_to_the_Water_Quality_Index_15374.aspx)
6. <http://www.emasagra.es/ESP/191.asp>
7. <http://aguapotable224a.blogspot.mx/>
8. <http://civilgeeks.com/2010/09/22/proyecto-agua-potable-antecedentes-historicos/>
9. <http://www.jornada.unam.mx/2010/08/02/eco-k.html>