



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

---

---

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA  
Y METALURGIA

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FISICO-  
QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE  
LOS BEBEDEROS-ENFRIADORES INSTALADOS  
EN EL AREA 5 DEL CAMPUS CENTRAL DE LA  
UNIVERSIDAD DE SONORA**

Tesis

Que para obtener el Título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Presenta:

**Rodolfo Real Corrales**

Hermosillo, Sonora, México

Octubre 2015

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	01
OBJETIVOS.....	02
Objetivos General.....	02
Objetivos Específicos.....	02
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	03
Sistemas de Purificación del Agua.....	03
Sistemas de ósmosis inversa.....	04
Sistema de destilación de agua.....	05
Sistema de lámpara UV.....	05
Análisis Fisicoquímicos del Agua.....	06
Turbidez.....	06
Conductividad.....	06
Sólidos disueltos totales.....	08
pH.....	09
Temperatura.....	11
Alcalinidad.....	11
Cloruros.....	13
Dureza.....	13
Análisis Microbiológicos del Agua.....	15
Cuenta total estándar.....	16
Coliformes totales.....	16
Coliformes fecales.....	17
MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
Localización de los puntos de muestreo.....	24
Metodología experimental.....	26

## CONTENIDO (Continuación)

	Página
Análisis fisicoquímicos.....	26
Análisis microbiológicos.....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
Condiciones Físicas de los Enfriadores.....	30
Resultados del Primer Muestreo.....	31
Turbidez.....	31
Sólidos Disueltos Totales.....	33
Dureza.....	33
pH.....	34
Calcio y Magnesio.....	34
Sulfatos.....	34
Alcalinidad.....	35
Cloruros.....	35
Conductividad.....	35
Resultados del Segundo Muestreo.....	38
Turbidez.....	38
Sólidos Disueltos Totales.....	38
Dureza.....	38
pH.....	38
Conductividad.....	41
Calcio y Magnesio.....	41
Análisis Microbiológicos.....	42
Análisis Fisicoquímicos del Agua de los Tinacos y Agua de sus Llaves.....	43
Turbidez.....	43
Sólidos Disueltos Totales.....	43
Dureza.....	43
pH.....	44
Conductividad.....	44

## CONTENIDO (Continuación)

	Página
Sulfatos.....	44
Calcio y Magnesio.....	44
Análisis Microbiológicos del Agua de los Tinacos y Agua de sus Llaves....	47
Comparación entre los Resultados de Febrero y Junio.....	49
CONCLUSIONES.....	56
RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....	60

## LISTA DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 1.</b> Efectos adversos debido al consumo de agua contaminada.....	03
<b>Tabla 2.</b> Datos promedio de conductividad en aguas.....	07
<b>Tabla 3.</b> Valores de sólidos totales disueltos recomendados por la OMS para el agua potable.....	09
<b>Tabla 4.</b> Clasificación del tipo de agua relativo a su dureza.....	14
<b>Tabla 5.</b> Comparación de la NOM-127-SSA1-1994 con respecto a la normativa de la FDA (Food and Drug Administration, Estados Unidos) y la recomendación oficial de la Unión Europea.....	22
<b>Tabla 6.</b> Parámetros y metodologías utilizadas en las determinaciones analíticas.....	26
<b>Tabla 7.</b> Condiciones físicas de los enfriadores.....	30
<b>Tabla 8.</b> Resultados de los análisis fisicoquímicos del primer muestreo en agua de los enfriadores-unison.....	32
<b>Tabla 9.</b> Valores de conductividad para aguas.....	36
<b>Tabla 10.</b> Resultados de los análisis microbiológicos del Primer muestreo en los bebederos.....	37
<b>Tabla 11.</b> Resultados de los análisis físico-químicos del segundo muestreo en agua de los bebederos-enfriadores.....	40

## LISTA DE TABLAS (Continuación)

Página

<b>Tabla 12.</b> Resultados de los análisis microbiológicos del segundo muestreo en el agua de los bebederos .....	42
<b>Tabla 13.</b> Resultados de los análisis físico-químicos del agua proveniente de los tinacos y llaves localizados en el área 5.....	46
<b>Tabla 14.</b> Resultados del análisis Microbiológico de los Tinacos y Llaves de los tinacos. ....	48

## LISTA DE FIGURAS

Página

<b>Fig. 1.</b> Sistema de purificación con componentes y accesorios.....	04
<b>Fig. 2.</b> Localización de los bebederos-enfriadores y tinacos, representados con color verde y rojo respectivamente..	24
<b>Fig. 3.</b> Imagen de bebederos instalados en el campus.....	25
<b>Fig. 4.</b> Resultados comparativos de los análisis de Turbidez en el agua de los bebederos-enfriadores.....	49
<b>Fig. 5.</b> Resultados comparativos de los análisis de TDS en el agua de los bebederos-enfriadores.....	50
<b>Fig. 6.</b> Resultados comparativos de los análisis de Conductividad en el agua de los bebederos-enfriadores.....	51
<b>Fig. 7.</b> Resultados comparativos de los análisis de pH en el agua de los bebederos-enfriadores.....	51
<b>Fig. 8.</b> Resultados comparativos de los análisis de Dureza en el agua de los bebederos-enfriadores.....	52
<b>Fig. 9.</b> Resultados comparativos de los análisis de Cloruros en el agua de los bebederos-enfriadores.....	52
<b>Fig. 10.</b> Resultados comparativos de los análisis de Sulfatos en el agua de los bebederos-enfriadores.....	53

## LISTA DE FIGURAS (Continuación)

Página

- Fig. 11.** Resultados comparativos de los análisis de Alcalinidad en el agua de los bebederos-enfriadores. ....53
- Fig. 12.** Resultados comparativos de los análisis de Acidez en el agua de los bebederos-enfriadores. ....54
- Fig. 13.** Resultados comparativos de los análisis de Calcio en el agua de los bebederos-enfriadores. ....54
- Fig. 14.** Resultados comparativos de los análisis de Magnesio en el agua de los bebederos-enfriadores. ....55
- Fig. 15.** Resultados comparativos del análisis microbiológico en el agua de los bebederos-enfriadores. ....55

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue analizar el agua de consumo humano en su calidad físico-química y microbiológica, mediante el muestreo de 24 bebederos-enfriadores y tinacos de agua ubicados en el área 5 de la Universidad de Sonora. Se llevó a cabo un muestreo durante los meses de enero y junio del 2014.

Se recolectaron un total de 48 muestras por mes en los puntos de muestreo aleatorio. Se llevó a cabo la determinación físico-química y microbiológica de las muestras de acuerdo a las técnicas recomendadas por la NOM. Los resultados obtenidos en los parámetros físico-químicos, revelaron que los enfriadores 5J-1, 5J-2 y 5N-2 presentaron valores atípicos en la dureza: 240, 240 y 212 mg/l, alcalinidad: 234.9, 205.7 y 207 mg/l, sulfatos 77.4, 72.8 y 73.8 mg/l, sólidos disueltos totales: 379, 333 y 339 mg/l, conductividad: 640, 629 y 629 mS/cm, calcio: 69.7, 56.1 y 80.1 mg/l, respectivamente. En dichos parámetros los valores son mayores que en el resto de los equipos estudiados, sin embargo se encuentran por debajo de los límites permisibles establecidos por la NOM-041-SSA1-1993, NOM-127-SSA1-1994, NOM-230-SSA1-2002. El resto de los parámetros tales como turbidez, en donde se obtuvo una media de 0.7 y D.E.  $\pm 0.3$ ; pH con una media de 6.7 y una D.E.  $\pm 0.7$ ; cloruros con una media de 28.9 y D.E.  $\pm 6.3$ ; magnesio con una media de 2.9 y D.E.  $\pm 2.4$  se encontraron en niveles por debajo de los límites permitidos.

Al comparar con el estudio de Escobedo y col. (2008), los datos obtenidos en nuestra investigación se apegan más a las normas establecidas. En cuanto a los análisis microbiológicos no se encontró evidencias de contaminación por microorganismos de tipo fecal.

## INTRODUCCION

El agua contaminada es responsable de múltiples enfermedades debido a que gran variedad de microorganismos son habitantes habituales de todo tipo de agua y constituyen el medio más habitual de infección en el hombre. Además, otros contaminantes presentes como metales pesados y compuestos orgánicos afectan de diversas formas la salud del ser humano.

En la mayoría de los países se cuentan con sistemas de abastecimiento de agua potable, los cuales cuentan con normas de calidad físico-química y microbiológica. Para México la Norma Oficial mexicana NOM 127-SSA1-1994, modificada el 22 de noviembre del 2000, establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a los que debe someterse el agua para su potabilización. La Organización mundial de la Salud (WHO) ha publicado una guía para la calidad de agua potable (Geissler, G., 2011).

Entre las principales afectaciones a la salud debido al consumo de agua contaminada por agentes patógenos tenemos: a nivel bacteriano, cólera, tífus, disentería y gastroenteritis; por virus, hepatitis y poliomielitis. Por parásitos y gusanos, la disentería amebiana y la esquistosomiasis. Por sales, la fluorosis dental, la litiasis urinaria y diarreas agudas.

Para la Universidad de Sonora el tema de la purificación del agua para consumo de los estudiantes y trabajadores es una prioridad, por lo que se tienen instalados 150 equipos enfriadores-purificadores los cuales cuentan con un sistema independiente de purificación de 5 etapas. (Dirección de Conservación, UNISON, 2014).

El sistema de distribución de agua en la Universidad de Sonora es de vital importancia, ya que debe establecer la calidad final que se va a ofrecer a los consumidores. Las estrategias para mantener tanto la calidad fisicoquímica como la calidad microbiológica deben tener como base un programa de mantenimiento en todo el sistema de distribución incluyendo los tanques de almacenamiento. También es necesario el control de la corrosión y realizar prácticas apropiadas de limpieza y desinfección en los enfriadores-bebederos, las cuales deben ser aplicadas por personal capacitado.

Este trabajo tiene como finalidad analizar el agua de consumo humano en su calidad fisicoquímica y microbiológica mediante el muestreo de 24 bebederos-enfriadores de agua ubicados en el área 5 de la Universidad de Sonora, mediante un estudio longitudinal y comparativo. Así como también analizar las fuentes abastecedoras que son cuatro tinacos localizados en la misma zona del Campus Universitario.

La primera parte del trabajo consiste en la revisión bibliográfica sobre las enfermedades ocasionadas por el consumo de agua contaminada, así como la revisión de parámetros dentro de la normatividad mexicana e internacional de calidad del agua para consumo humano. Posteriormente en materiales y métodos se indica el área de muestreo, parámetros seleccionados y técnicas utilizadas. Debido a que el trabajo se realizó dentro de dos estaciones del año podremos encontrar al final una comparación entre los resultados obtenidos de las diferentes estaciones en las que se muestreo así como los resultados del estudio realizado a pilas y cisternas. Finalmente se presenta la conclusión acompañada de una serie de recomendaciones obtenidas en base a los resultados obtenidos.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Estudiar la Calidad Físico-Química y Microbiológica del agua de los bebederos-enfriadores instalados en el área 5 del Campus Central de la Universidad de Sonora.

### **Específicos**

1. Describir la situación actual de los bebederos-enfriadores de agua del área 5 del campus Central de la Universidad de Sonora.
2. Evaluar el estado del sistema de purificación de los bebederos-enfriadores de agua del área 5 del campus Central de la Universidad de Sonora.
3. Muestreo y caracterización de 48 muestras en dos períodos estacionales.

## REVISION BIBLIOGRAFICA

### Sistemas De Purificación Del Agua

La importancia de los sistemas de purificación reside en la prevención de diferentes enfermedades debido a que durante siglos el agua fue la causante de un sinnúmero de problemas de salud. El método más antiguo registrado para la purificación del vital líquido es hirviéndola. El hervir el agua durante al menos cinco minutos bastará para destruir a todos los organismos que causan enfermedades.

**Tabla 1. Efectos adversos debido al consumo de agua contaminada**

<b>Padecimiento</b>	<b>Causante</b>
<i>Cólera</i>	<i>Bacteria</i>
<i>Tifus</i>	<i>Bacteria</i>
<i>Disentería</i>	<i>Bacteria</i>
<i>Gastroenteritis</i>	<i>Bacteria</i>
<i>Hepatitis</i>	<i>Virus</i>
<i>Poliomielitis</i>	<i>Virus</i>
<i>Disenteria amebiana</i>	<i>Protozoos</i>
<i>Esquitosomiasis</i>	<i>Gusano</i>
<i>Fluorosis dental</i>	<i>Exceso de flúor</i>
<i>Litiasis urinaria</i>	<i>Exceso de sales o dureza elevada</i>

Sin embargo, hervir el agua no es fácil. Requiere de algún tipo de combustible que es a menudo caro o difícil de encontrar. Además este proceso cambia el sabor del agua, dejando todos los microorganismos disueltos en el agua, además que necesita un tiempo para enfriarse antes de poder consumirla.

Existen otras formas para purificar el agua, las más utilizadas son:

- Sistemas de Osmosis Inversa
- Sistemas de Destilación de agua
- Desinfección solar (método SODIS) o radiación con lámpara UV

## Sistemas de Osmosis Inversa

Dentro de estos métodos el más usado actualmente es el sistema de osmosis inversa debido a su bajo costo y su alta eficacia en la purificación de agua, además de que requiere poco mantenimiento y es un sistema fiable y práctico.

La osmosis inversa es un proceso difusivo mediante el cual una sustancia con una alta concentración pasa a través de una membrana semipermeable (generalmente de poliamida) a un estado de menor concentración. Esto se logra gracias a que la presión ejercida por el sistema es mayor a la presión osmótica de la sustancia.



**Fig. 1. Sistema de purificación con componentes y accesorios.**

El método de ósmosis es muy efectivo en la purificación de agua para usos domésticos o comerciales, de hecho es el método más usado en la industria. A nivel doméstico es muy práctico y económico, además de que es muy fácil de adaptar a la fontanería existente en la vivienda y con total independencia en su utilización, por lo que brinda seguridad a los consumidores.

## **Sistemas de destilación de agua**

Este método es uno de los más antiguos y utilizados en la rama médica ya que con este método se consiguen calidades del 100% libre de impurezas, el método consiste en hervir agua al punto de evaporación y luego recoger los vapores de agua hasta lograr su condensación de esta forma se adquiere agua 100% pura.

## **Sistemas de lámpara UV**

Este sistema es más bien un aditamento para garantizar la ausencia de microorganismos o bacterias en el suministro de agua, ya que se instala justo después del depósito de almacenamiento de agua ya purificada, debido a que el agua almacenada con el tiempo tienden a reproducirse microorganismos y bacterias, por esta razón colocando las lámparas de UV se optimiza la calidad del agua.

## Análisis Físico-Químicos Del Agua

### Turbiedad y transparencia.

La turbiedad es un indicador importante de la calidad general del agua, tanto para la comunidad acuática como para la salud humana. La prevención de la erosión es la mejor manera de minimizar la turbiedad en corrientes de agua y en el agua potable.

Una filtración adecuada removerá la mayor parte de los sólidos suspendidos del efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como de las plantas de potabilización. Reducir la turbiedad durante el tratamiento puede reducir nutrientes, bacterias y virus dañinos tanto en el agua que se trata como en la receptora.

### Conductividad eléctrica

La conductividad es una forma fácil y rápida de estimar los sólidos disueltos en una muestra, y también puede servir como un indicador de problemas más serios relacionados con la calidad del agua.

Visión técnica e histórica. La conductividad, también conocida como "conductancia específica", es una medida de la capacidad que el agua tiene para conducir la electricidad. El recíproco de la conductividad es la resistencia, una medida de cuánto se resiste el agua a conducir una corriente eléctrica. Cuanta menos resistencia presente el agua, mayor será la conductividad.

Lo que hace al agua una buena conductora de electricidad es la presencia de iones, los iones más comúnmente hallados en el agua en estado natural son: calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). La presencia de iones incrementa la conductividad del agua; muchos de ellos son útiles y, de hecho, necesarios.

La temperatura del agua afecta la determinación de la conductividad. Conforme la temperatura aumenta, los iones en solución se mueven más rápidamente y favorecen la conducción de electricidad en el agua, lo que arroja lecturas mayores. Por lo tanto, es importante tomar y registrar la temperatura cuando se esté midiendo la conductividad. Muchos sensores de conductividad tienen integrado un sensor de temperatura, de forma que el medidor de conductividad puede compensar automáticamente el efecto de aquella. Aunque existe una amplia variedad de técnicas de ajuste para la temperatura, es común que la conductividad se estandarice en 25°C, ya sea incrementando "la lectura en un 2% por cada grado inferior a 25°C (o disminuyendo) la lectura un 2% por cada grado por encima de 25°C" (Melbourne Parks & Waterways, 1995).

**Tabla 2. Datos promedio de conductividad en aguas.**

<b>Valores de conductividad promedio</b>	
<b>Agua desionizada:</b>	0-1 $\mu\text{S/cm}$ .
<b>Río sano:</b>	150-500 $\mu\text{S/cm}$ .
<b>Agua marina:</b>	50,000 $\mu\text{S/cm}$ .

Son varias las razones por las que se mide la conductividad. Debido a que es mayor cuando aumenta la cantidad de iones, la conductividad puede permitir una estimación rápida y efectiva de los sólidos disueltos totales (SDT) presentes en una muestra (Melbourne Parks y Waterways, 1995). Medir de manera directa los SDT requiere una técnica gravimétrica más detallada. La conductividad también sirve como un indicador inmediato de que hay problemas en algún sistema natural o de tratamiento de aguas residuales.

Posible remediación. Aunque poco se puede hacer para controlar las fuentes naturales de conductividad, un manejo adecuado de todas las fuentes antropogénicas de iones puede remediar prácticamente cualquier desequilibrio de los mismos en las corrientes de agua. Un manejo adecuado incluye prácticas de riego que permiten la lixiviación de sales y la erosión, así como el tratamiento eficaz de efluentes municipales e industriales. Si ya han llegado sales al agua, ésta puede

recibir tratamiento para disminuir su conductividad. Los métodos respectivos incluyen la dilución, el intercambio de iones y la ósmosis inversa.

### **Sólidos Disueltos Totales**

A medida que el agua escurre sobre el suelo y las rocas, o que reacciona con la atmósfera y la biósfera, disuelve gran parte de las sales, los minerales, elementos y compuestos orgánicos con que entra en contacto, y los arrastra. Compuestos como las sales inorgánicas, que se ionizan cuando se disuelven en el agua, aumentan la cantidad total de sólidos disueltos (SDT) del agua. Los iones, o moléculas con carga positiva o negativa, que conforman los SDT son: calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) y Cloruro ( $\text{Cl}^-$ ).

Los sólidos disueltos totales (SDT) no son un parámetro obligado para la caracterización del agua potable. La Oficina de Protección al ambiente (EPA) ha designado los SDT como un estándar secundario para el agua potable, lo que significa que pueden afectar la estética del agua (el aspecto o el sabor), pero que no resultan dañinos para la salud humana. Sin embargo, los nitratos y fosfatos, que son compuestos que pueden influir en la cantidad de SDT, pueden, de manera particular, ser regulados por la EPA.

Los cambios estacionales de sólidos disueltos obligan a las plantas potabilizadoras a ajustar sus operaciones de potabilización con base en su cantidad y composición.

Además, la cantidad total de sólidos, que incluye los suspendidos y los disueltos, determina el equilibrio osmótico, o sea el flujo de agua hacia dentro y hacia fuera de las células. Es importante mantener este delicado equilibrio, con el fin de facilitar un flujo saludable y así perpetuar la vida acuática.

Resulta evidente que ciertas concentraciones de sólidos disueltos favorecen un sabor agradable del agua que los seres humanos tomamos. Un grupo de catadores determinó la palatabilidad del agua en relación con los SDT, como aparece en el siguiente cuadro (Organización Mundial de la Salud, 1996):

**Tabla 3. Valores de sólidos totales disueltos recomendados por la OMS para el agua potable.**

TDS (mg/l)	Calificación
<i>Muy bajos.</i>	<i>Inaceptable,</i>
	<i>Insípida.</i>
<b>&lt;300</b>	<i>Excelente</i>
<b>300-600</b>	<i>Buena</i>
<b>600-900</b>	<i>Regular</i>
<b>900-1200</b>	<i>Mala</i>
<b>&gt;1200</b>	<i>Inaceptable.</i>

La cantidad de sólidos disueltos en el agua potable afecta su sabor o palatabilidad. Altas concentraciones pueden ocasionar que el agua tenga un sabor a mineral, un tanto desagradable, y también un efecto laxante. Cantidades muy pequeñas pueden ocasionar un sabor insípido. Grandes cantidades de sólidos disueltos causan incrustaciones en los calentadores y tuberías, mientras que el agua con bajas cantidades puede corroer calentadores y tuberías. Ambos extremos pueden reducir la vida útil tanto de calentadores como de tuberías.

Además, bajas concentraciones de sólidos disueltos pueden impedir el crecimiento de organismos acuáticos que dependen de los nutrientes disueltos en el agua. Por ejemplo, el fitoplancton se alimenta de nitratos y fosfatos disueltos en el agua; sin estos constituyentes, el fitoplancton deja de existir.

Una concentración moderada de sólidos disueltos es saludable y deseable tanto para la sobrevivencia de los organismos acuáticos como para la palatabilidad del agua potable. Por lo anterior, no constituye un remedio eliminar todas las fuentes de ellos, sino mantener un equilibrio saludable en la cuenca.

## pH

Una molécula de agua está compuesta por un ión de hidrógeno ( $H^+$ ) y uno de hidróxido ( $OH^-$ ):  $H^+ + OH^- = H_2O$ . La concentración de iones de hidrógeno determina el pH de una solución. El término pH viene del francés *pouvoir hydrogène*,

literalmente, “poder del hidrógeno”, y en español lo llamamos “potencial de hidrógeno”. Generalmente, el pH es considerado como la concentración o actividad del ión de hidrógeno.

Un ácido es una solución con más iones de hidrógeno que de hidróxido. Cuando un ácido es disuelto en agua, el efecto neto es un incremento en la concentración de iones de hidrógeno en ésta. Una solución neutra tiene igual número de iones de hidrógeno que de hidróxido.

Medir el pH significa medir la concentración de iones de hidrógeno, y nos permite inferir cuán ácido o básica es una sustancia. Es más fácil decir que el pH del agua neutra es 7 que decir  $1.0 \times 10^{-7}$  moles/litro. Debido a su naturaleza logarítmica, el pH no puede ser promediado de la misma manera que otros datos.

En general, la mayoría de los organismos acuáticos sobreviven en aguas con un pH entre 5 y 9. Fuera de este rango, la diversidad de las especies disminuye debido a que las fluctuaciones del pH y los cambios en la solubilidad y biodisponibilidad asociados los estresarán e incluso acabarán con ellos.

La mayoría de los organismos acuáticos se han adaptado a un rango específico de pH, fuera del cual simplemente no pueden sobrevivir. Aguas con un pH por debajo de 5 son demasiado ácidas y no pueden ser consumidas por el ser humano, ni pueden sustentar buena parte de la vida acuática. El agua demasiado básica también amenaza a las poblaciones humanas, vegetales y animales. Aguas con un pH por encima de 9 pueden disolver materia orgánica, incluyendo las escamas y la piel de los animales (Sociedad Americana de Química, 2002). Por esta razón, la EPA ha establecido un estándar secundario (no obligatorio por la ley) para el agua potable, consistente en un pH que esté en el rango de 6.5 a 8.5. En general, el pH de las aguas de la naturaleza, en los Estados Unidos, está dentro de este rango, aunque hay excepciones.

## **Temperatura**

La temperatura es un parámetro muy importante, ya que controla otros parámetros de calidad del agua, como el oxígeno disuelto; la tasa de fotosíntesis de las algas y las plantas acuáticas; la susceptibilidad de los organismos acuáticos a enfermedades por bacterias o parásitos, así como la temperatura corporal y el ciclo vital de gran parte de los organismos acuáticos.

Las variaciones de la temperatura del agua afectan otros parámetros críticos de su calidad. En general, conforme la temperatura aumenta, también lo hace la solubilidad de los sólidos, mientras que la solubilidad de los gases disminuye (KRAMP, 1997). Conforme la temperatura del agua aumenta, las concentraciones de oxígeno disuelto disminuyen. Como regla general, el agua fría puede disolver más oxígeno y, en consecuencia, albergar mayor cantidad de organismos acuáticos.

Por otro lado, las aguas tibias pueden sostener más algas y plantas. La tasa de fotosíntesis aumenta con la temperatura; alcanza su máximo nivel a los 32°C, y después de este valor decrece. Igualmente, "las bacterias y otros organismos causantes de enfermedades crecen más rápido en aguas tibias" (KanCRN, 1999).

## **Alcalinidad**

La alcalinidad es una propiedad del agua que ayuda a prevenir cambios violentos de pH, protegiendo así a los seres humanos, la vida salvaje y la vida acuática.

Es una medida de la capacidad del agua para resistir un decremento del pH. Se le conoce también como la capacidad neutralizadora de la acidez o, bien, como la capacidad amortiguadora. Aunque una verdadera sustancia amortiguadora es capaz de neutralizar tanto los ácidos como las bases, la alcalinidad es una medida de la concentración de bases (álcalis) capaces de neutralizar los ácidos.

La alcalinidad de las aguas naturales es principalmente una función de los compuestos carbonatados, los cuales provienen de piedras calizas y otras que contienen carbonato de calcio, mismo que se disuelve al entrar en contacto con el agua. Estas piedras liberan iones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), de

bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) o de ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) dependiendo del pH del agua. Los iones negativos de carbonato y bicarbonato se combinan entonces con los iones positivos del hidrógeno de la solución, reduciendo así la acidez e incrementando el pH. Dependiendo del pH, será el predominio de los compuestos carbónicos:

pH > 10.33 predomina el carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ )

pH 6.4 a 10.33 predomina el bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ )

pH < 6.4 predomina el ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ )

La alcalinidad en concentraciones naturales es benéfica para todos los organismos dependientes del agua. Debido a que la alcalinidad resiste cambios en el pH, ayuda a prevenir el agua ácido ( $\text{pH} < 5$ ), la cual es dañina para los seres humanos, la vida salvaje y los organismos acuáticos. El agua ácida moviliza metales pesados tóxicos y los pone en contacto con el medio ambiente. Los compuestos alcalinos no sólo neutralizan la acidez; también reaccionan con los metales pesados, como el plomo, el arsénico y el cadmio, para removerlos del agua.

Consecuencias. Con un efecto similar al de la tableta del antiácido que alivia la indigestión, la alcalinidad contrarresta los efectos de los efluentes industriales y de la lluvia ácida. Si la alcalinidad no es suficiente, incluso pequeñas cantidades de ácido que se añadan al agua disminuirán el pH a un punto que resulte dañino para los árboles y la vida silvestre, y fatal para los organismos acuáticos. Para que la vida acuática persista y prospere, la alcalinidad del agua debe ser por lo menos de 20 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  (KRAMP, 1977).

Sin embargo, demasiada alcalinidad puede también dañar a los seres humanos y a los organismos acuáticos. Aguas muy básicas pueden ser tan corrosivas como las aguas ácidas. Por lo tanto, en vez de establecer una cantidad máxima de alcalinidad, se dice que la alcalinidad total no debe permitir que el pH exceda de 9.

## Cloruros

El ion cloruro es uno de los iones más difundidos en las aguas naturales. No suele ser un ion que plantee problemas de potabilidad a las aguas de consumo, aunque sí que es un indicador de contaminación de las aguas debido a la acción del hombre. Esto es así porque, aunque la concentración de cloruro en aguas naturales es muy variable pues depende de las características de los terrenos que atraviesan, dicha concentración es menor comparada con la concentración del ion en aguas residuales ya que la actividad humana incrementa necesariamente dicha concentración.

Los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano están establecidos en la NOM127 SSA1-1994. La concentración de cloruros máxima permisible para aguas de consumo humano es de 250 mg/L. Una muestra que contenga esta cantidad de cloruros puede tener un sabor salado fácilmente detectable si el anión está asociado a los cationes sodio o potasio, pero el sabor no es apreciable si la sal disuelta en agua es cloruro de calcio o magnesio ya que en estos casos el sabor salado no se aprecia incluso con concentraciones de cloruro de 1 g/L. No obstante, es de esperar que la concentración de cloruro en aguas corrientes y embotelladas sea sensiblemente inferior. De hecho, la concentración en aguas minerales naturales oscila, según las marcas, desde unas décimas de miligramos por litro hasta varios centenares.

## Dureza

La dureza mide la concentración de minerales disueltos al medir los cationes polivalentes, los cuales son iones con una carga positiva de dos (2) o más. Los cationes polivalentes más comunes que causan dureza son el calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y el Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Aunque el Aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ), bario ( $\text{Ba}^{2+}$ ), hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ), manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ ), estroncio ( $\text{Sr}^{2+}$ ) y zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ ) pueden también contribuir a la dureza, los dos primeros son, usualmente, los únicos iones que están presentes en concentraciones importantes. Por lo anterior, la dureza se considera como una medida del contenido de calcio y magnesio en el agua (Hach Company, 1997).

Los compuestos químicos que, disueltos en el agua, aumentan la dureza son:  $\text{CaCO}_3$  (carbonato de calcio);  $\text{MgCO}_3$  (carbonato de magnesio);  $\text{CaSO}_4$  (yeso);  $\text{MgSO}_4$  (sulfato de magnesio), y  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (dolomita). Aunque pueden variar, el agua tiene normalmente concentraciones de 4-400 mg/l de calcio y 1-1350 mg/l de magnesio (Brunlow, 1996). Cuando se mide ese parámetro, se suele expresar como valor total de dureza en mg/l de carbonato de calcio. La dureza total incluye la que aportan los iones tanto de calcio como de magnesio. Ciertas pruebas pueden medir específicamente la dureza del calcio, que puede entonces ser restada del valor total y así determinar la dureza del magnesio.

Idóneamente, el agua potable contiene entre 10 y 500 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  (Organización Mundial de la Salud, 1993). No existen estándares primarios ni secundarios de dureza para el agua potable, debido a que no es una amenaza para la salud humana.

Si bien los límites de clasificación varían ligeramente entre las organizaciones, el United States Geological Survey (Briggs y Ficke, 1977) y la Water Quality Association (Asociación para la Calidad del Agua, 2000) establecen los siguientes como niveles de dureza del agua:

**Tabla 4. Clasificación del tipo de agua relativo a su dureza.**

Concentración (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	Clasificación Del agua
0 a 60	Blanda.
61 a 120	Moderadamente dura
121 a 180	Dura.
180 o más	Muy dura.

El agua se hace dura cuando recibe y disuelve minerales, metales, sales y otras moléculas. Por otra parte, disuelve el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que toma de la atmósfera, y forma el ácido carbónico, que es un ácido débil.

Conforme esta agua ligeramente ácida escurre por el suelo, las rocas y la materia orgánica, disuelve más y más minerales, metales, sales y moléculas, en un proceso que forma parte de otro, más amplio, conocido como "intemperismo".

Si bien existen efectos adversos para la salud asociados con el consumo de metales pesados, beber agua dura parece no tener ningún efecto negativo en los seres humanos. Los peces y la vida acuática pueden verse beneficiados del agua dura que pueda haber en su medio. Metales pesados como el plomo (Pb), arsénico (As), mercurio (Hg) y cadmio (Cd) forman compuestos (complejos) con los aniones asociados a la dureza, como el carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), con lo que se crean compuestos insolubles. Estos compuestos insolubles evitan que los metales sean absorbidos por los peces y otros organismos acuáticos vía las branquias, o que sean ingeridos por ellos o adsorbidos por sus tejidos (Murphy, 2001).

Posible remediación. Existen varias maneras de reducir la dureza del agua. Algunas medidas correctivas implican el uso de sustancias conocidas como antiincrustantes y dispersantes, así como la tecnología llamada "intercambio de cationes".

## **ANALISIS MICROBIOLÓGICO**

Los análisis microbiológicos del agua sirven para determinar focos de organismos de importancia para la salud pública, así como para establecer procedimientos adecuados que permitan describirlos, identificarlos y eliminarlos. También se usa para calificar la calidad sanitaria del agua y tener el control de los sistemas de potabilización y de fijar las normas de calidad referentes al número de bacterias permisibles dependiendo del uso al que se destine el agua.

Debido a lo complejo y retardado de los métodos para determinar la presencia de organismos patógenos, se han implementado las técnicas de análisis para organismos indicadores de contaminación microbiológica: cuenta estándar en placa, Coliformes totales y coliformes fecales.

Los microorganismos indicadores son utilizados como referencia microbiológica en relación a la calidad del agua, ya que siempre acompañan a los patógenos pero no necesariamente causan enfermedades.

### **Cuenta total estándar**

Los organismos totales son todos aquellos que crecen en las siguientes condiciones estandarizadas:

Medio de agar nutritivo sencillo, temperatura de  $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  de 24-48 horas y presencia de oxígeno. El criterio que se sigue en el caso del agua potable, es que representa mayor peligro para la salud cuando presenta pocas bacterias pero de variedad patógena que cuando contiene mayor cantidad pero del tipo no patógena. El límite permisible es de 200 bacterias/mL para el agua de consumo humano (OMS, 2000).

### **Coliformes Totales**

Estos microorganismos son bacilos cortos, gram negativos, no esporulados, aerobios y facultativos, que fermentan la lactosa con producción de gas y acidez a una temperatura de  $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  en 48 horas. Las ventajas del grupo coliforme como indicador son: su ausencia es evidencia de un agua microbiológicamente segura, estos microorganismos se presentan en un número mucho mayor que los de origen intestinal y persisten por mayor tiempo en el medio acuático que las bacterias patógenas.

La prueba estándar para el grupo coliforme se realiza por medio de la técnica de fermentación múltiple en tubo. El resultado del análisis de las diluciones se reporta como el número más probable (NMP), que consiste en una estimación basada en fórmulas de probabilidad que tiende a ser más exacta conforme se use un mayor número de tubos en cada dilución.

## **Coliformes Fecales**

Los agentes patógenos transmitidos por el agua constituyen un problema mundial que demanda un urgente control mediante la implementación de medidas de protección ambiental a fin de evitar el incremento de las enfermedades relacionadas con la calidad del agua.

El agua de calidad apta para consumo humano cuando entra al sistema de distribución, puede contaminarse a través de las conexiones cruzadas, retrosfonaje, rotura de las tuberías del sistema de distribución, conexiones domiciliarias, cisternas y reservorios defectuosos, grifos con trancendios dañados y durante el tendido de nuevas tuberías o reparaciones realizadas sin las mínimas medidas de seguridad (OMS, 1985; OMS, 1995). Así mismo defectos en la construcción o en las estructuras de pozos, depósitos, ausencia o irregular mantenimiento de dichas instalaciones son causas que predisponen el ingreso y proliferación de microorganismos desde distintas fuentes. Además existen factores secundarios que permiten el crecimiento de microorganismos en el agua dentro de los sistemas de distribución y almacenamiento como: cantidad y tipo de nutrientes, oxígeno, temperatura, pH, concentración de desinfectante y material de las tuberías.

La determinación de microorganismos intestinales normales como indicadores de contaminación fecal, en lugar de patógenos, es un principio de aceptación universal en la vigilancia y evaluación de la seguridad microbiana en los sistemas de abastecimiento de agua. Estos microorganismos deben cumplir diferentes requisitos como: ser inofensivos para humanos, permanecer más tiempo que los microorganismos patógenos y con su ausencia demostrar un agua segura libre de microorganismos patógenos (Larios de Anda, 2005).

El objetivo de las normas y estándares es el de controlar la cantidad de un determinado microorganismo en el agua, siendo este microorganismo la causa de una enfermedad específica o un indicador de las condiciones dentro de las cuales se podría transmitir esa enfermedad.

Los coliformes son bacterias que se hallan en las plantas y los animales, y los "coliformes totales" es una prueba de laboratorio que puede indicar la presencia, en el agua, de bacterias patógenas, o sea que causan enfermedades.

Las bacterias pueden clasificarse por el grado de oxígeno en que prefieren vivir (Alcamo, E. 1996):

- Aerobios estrictos (u obligados): requieren presencia de oxígeno (Por ejemplo, *Pseudomonas fluorescens*).
- Anaerobios estrictos (u obligados). Requieren la ausencia de oxígeno, pues éste resulta tóxico para sus células (por ejemplo, *Clostridium botulinum*).
- Anaerobios facultativos: pueden sobrevivir con o sin oxígeno (por ejemplo, *Escherichia coli*).
- Microaerófilos: necesitan una baja concentración de oxígeno, por lo que no sobreviven sin oxígeno atmosférico ni en ambientes sin nada de oxígeno (por ejemplo, *Sphaerotilus natans*).

Las bacterias se reproducen mejor en ambientes con ciertas temperaturas, puesto que no pueden controlar la suya propia. Su clasificación, según la temperatura, es la siguiente:

- Psicrófilos: su rango de temperatura óptima es de 0 a 20 C
- Mesófilos: su rango de temperatura óptima es de 20 a 45 C
- Termófilos: su rango de temperatura óptima es de 45 a 60 C

Desafortunadamente, algunas bacterias producen toxinas o causan enfermedades (son patógenas). Muchas de ellas se transmiten por el agua y pueden contaminar nuestras fuentes de abastecimiento de agua potable. Como no podemos percibir su presencia, nos auxiliamos de pruebas que nos confirman si están o no presentes en el agua. La Oficina de Protección al Medio Ambiente (EPA) ha establecido un límite de cero bacterias en el agua potable que distribuyen los organismos municipales de su país, por lo que las potabilizadoras deben efectuar pruebas de frecuencia. Asimismo, en México, la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-1994, establece cero bacterias en el agua potable.

“Desde 1880, las bacterias coliformes se han usado para evaluar la calidad del agua y la probabilidad de que haya organismos patógenos en ella. Aunque algunas de tales bacterias no son patógenas, sirven como indicador de una potencial contaminación por bacterias patógenas. En general, es más sencillo, rápido y seguro analizar el agua en busca de estos organismos que de los patógenos que pudieran estar presentes” (Bartenhagen et al. 1995).

Los coliformes son un grupo de bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas que incluyen los géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*. Se encuentran en toda la naturaleza. La EPA exige que las plantas potabilizadoras municipales hagan pruebas buscando bacterias coliformes. Si se encuentra una muestra que dé positivo en coliformes, entonces la planta está obligada a someter la misma muestra a la prueba de “coliformes fecales”.

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes y se distinguen de éstos por su capacidad de soportar muy altas temperaturas (44.5 grados centígrados). Los coliformes fecales se encuentran en el tracto intestinal de los animales y seres humanos de sangre caliente, y son transmitidos al agua y al suelo por sus heces. El ser humano promedio, esté enfermo o sano, excreta diariamente miles de millones de coliformes fecales (Bartenhagen et al., 1995). La presencia de éstos en el agua indica contaminación por heces humanas o animales, las cuales podrían haber transmitido también bacterias patógenas.

*Escherichia coli* (*E. coli*) pertenece a un subgrupo de coliformes fecales. Estas bacterias pertenecen al género *Escherichia* y a la especie *coli*, conocido cada uno de ellos como cepas únicas. Casi todas las cepas de *E. coli* viven en nuestros intestinos y producen vitaminas importantes para nosotros, como la vitamina K y las del complejo B; sin embargo, algunas cepas de *E. coli* producen en nuestros intestinos toxinas que producen enfermedades, desde una leve diarrea hasta un sangrado intestinal grave. Cuando la materia fecal de animales de sangre caliente entra en contacto con el agua, es posible la contaminación bacteriana.

Ejemplos de fuentes puntuales son los drenajes con fugas, el equipo de tratamiento de aguas residuales que no funcione bien y los derrames de drenajes sanitarios. En general, las fuentes no puntuales se hallan en los escurrimientos, y pueden ser desechos fecales de mascotas o del ganado, derrames de drenajes combinados y desechos de animales salvajes.

En las ocasiones en que el escurrimiento se prolonga por largos periodos -como el deshielo primaveral-, los valores de coliformes fecales resultan muy elevados, ya que el agua que escurre arrastra heces tanto de fuentes puntuales como de fuentes no puntuales.

“La oficina de Protección al Ambiente (EPA) exige a todos los sistemas públicos de abastecimiento de agua la detección de coliformes en los sistemas de distribución” (EPA, 1999). Las bacterias coliformes crecen en el tracto intestinal de los animales de sangre caliente y las excretan junto con las heces. Por ello, estas bacterias se registran como un indicador de posible contaminación fecal de las fuentes de agua. Las bacterias coliformes no necesariamente son dañinas; sin embargo, las heces pueden acarrear bacterias patógenas que sí deben ser removidas de las aguas para consumo humano y para usos recreativos.

Consecuencias. *E. coli* puede contaminar agua potable, hielo y lugares recreativos. Las frutas y verduras pueden alojar *E. coli* cuando se les riega con agua contaminada; la carne se contamina cuando no es procesada y manejada adecuadamente. Los alimentos y bebidas contaminados pueden originar diarrea, sangrado intestinal, deficiencia renal e infecciones en ojos, oídos, nariz y garganta (Bartenhagen et al., 1995).

Las *E. coli* dañinas o patógenas, producen toxinas en el cuerpo, algunas de las cuales hacen que los intestinos liberen fluidos en exceso y, con ello, causar diarrea. Otras toxinas – como las Vero, producida por la *E. coli* 0157: H7-, causan hemorragias (sangrado grave) en los intestinos, además de diarrea con sangre.

Posible remediación. La mejor manera de prevenir la contaminación bacteriana es evitar el contacto de las heces humanas o animales con el agua. Algunas de las mejores prácticas (MP) tienen la finalidad de mitigar los escurrimientos contaminados con bacterias provenientes de terrenos de pastoreo, granjas y áreas para el almacenamiento de estiércol.

Las bacterias que contaminan el agua pueden ser removidas mediante filtración y desinfección. La filtración del agua no necesariamente elimina las bacterias, pero si las prepara para una desinfección efectiva mediante la remoción de desechos que pueden albergar dichas bacterias. El agua puede ser desinfectada usando cloro, yodo, ozono, luz ultravioleta y métodos físicos como la ebullición o la esterilización (Davis, M.L., 2005).

Los análisis se llevaron a cabo de acuerdo a las Técnicas recomendadas por la NOM 127 SSA1-1994.

**Tabla 5. Comparación de la NOM-127-SSA1-1994 con respecto a la normativa de la FDA (Food and Drug Administration, Estados Unidos) y la recomendación oficial de la Unión Europea para el agua de consumo humano.**

	<b>NOM 127</b>	<b>Unión Europea</b>	<b>FDA (U.S.)</b>
<b>Turbidez</b>	5UNF	1 UNF	5UNF
<b>TDS</b>	1000 mg/l	-	500 mg/l
<b>Conductividad</b>	-	2500 µS/cm	-
<b>pH</b>	6.5-8.5	6.5-9.5	-
<b>Dureza</b>	500 mg/l	-	-
<b>Cloruros</b>	250 mg/l	250 mg/l	250 mg/l
<b>Sulfatos</b>	400 mg/l	250 mg/l	250 mg/l
<b>Alcalinidad</b>	-	-	-
<b>Acidez</b>	-	-	-
<b>Calcio</b>	-	-	-
<b>Magnesio</b>	-	-	-
<b>Coliformes Totales</b>	0	0	0
<b>Coliformes Fecales</b>	0	0	0
<b>Cuenta Estándar</b>	-	100	-

#### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-230-SSA1-2002.**

Salud Ambiental, Agua para uso y Consumo Humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo de agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.

La vigilancia de la calidad del agua es fundamental para reducir los riesgos de transmisión de enfermedades a la población por su consumo, como las de tipo gastrointestinal y las producidas por contaminantes tóxicos; esta vigilancia se ejerce a través del cumplimiento de los límites permisibles de calidad de agua y complementariamente inspeccionando que las características de las construcciones, instalaciones y equipos de las obras hidráulicas de captación,

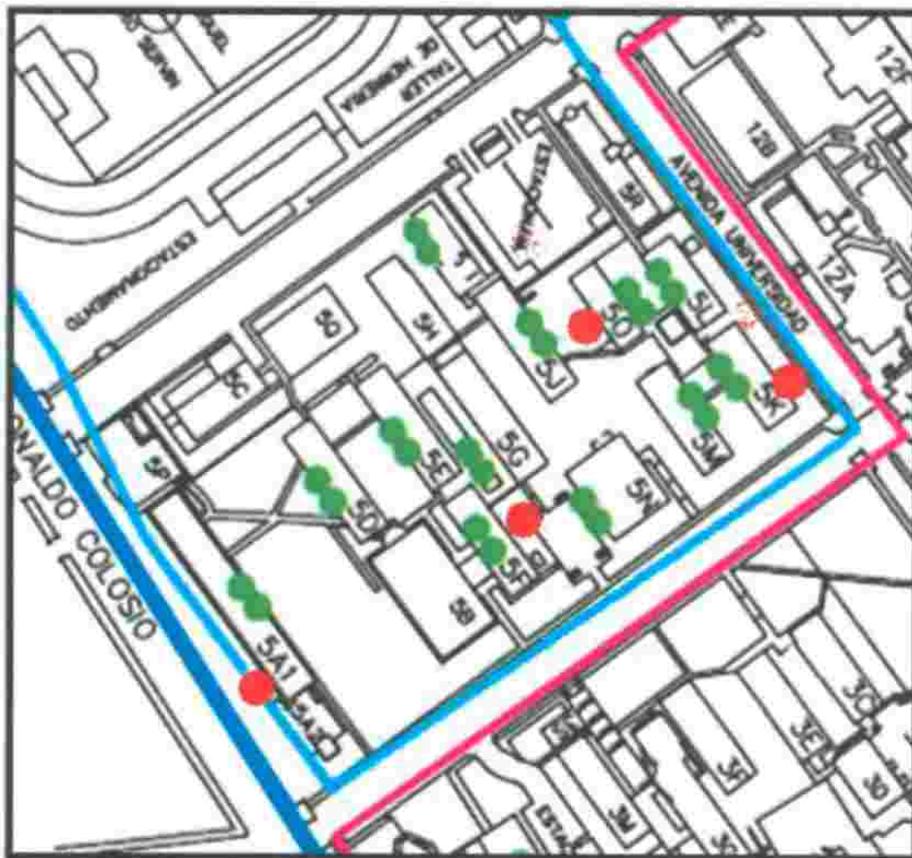
plantas cloradoras, plantas de potabilización, tanques de almacenamiento o regulación, líneas de conducción, redes de distribución, cisternas de vehículos para el transporte y distribución y tomas domiciliarias protejan el agua de contaminación. El resultado de la verificación e inspección de las características mencionadas, se evalúa comparando las condiciones que presentan los sistemas de abastecimiento, con los requisitos sanitarios que permiten preservar la calidad del agua.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua, para preservar la calidad del agua para uso y consumo humano, así como los procedimientos sanitarios para su muestreo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización de los puntos de muestreo

Con el fin de obtener datos representativos, se llevó a cabo un programa de muestreo durante los meses de enero a marzo y de septiembre a noviembre del 2014 recolectándose un total de 40 muestras por mes a partir de 20 puntos de muestreo de los bebederos localizados en la zona 5 del campus central de la Universidad de Sonora.



**Fig. 2. Localización de los bebederos-enfriadores y tinacos, representados con color verde y rojo respectivamente.**

Los bebederos muestreados se encuentran instalados en pares, para el nombramiento de estos se tomó como referencia el bebedero del lado izquierdo (posicionándose frente a estos) como el número uno y el de lado derecho como número 2, anteponiendo el área y edificio. Ejemplo 5E-1: Correspondería al bebedero de lado izquierdo (posicionándose frente a estos) instalado en el edificio "E" del área 5.



**Fig. 3. Imagen de bebederos instalados en el campus.**

En el caso del nombramiento de los tinacos, solo se utilizó el número de área y letra de edificio debido a que por edificio máximo se encontró un tinaco o pila. Dado que por equipo se realizaron dos muestreos (Uno tomado en la llave de carga y otro al agua almacenada) se encontrara el prefijo "Llave o Tinaco" respectivamente para identificar el punto de muestreo. Ejemplo EF-Llave: Correspondería al equipo instalado en el edificio F área 5 y el punto de muestreo tomado de la llave.

## Metodología experimental

Las muestras de los puntos seleccionados se tomaron de manera aleatoria. Primeramente se anotaron las condiciones como se encontraba el bebedero, posteriormente se purgó y limpió la boquilla con un algodón empapado de alcohol y se tomó la muestra para la realización de los análisis fisicoquímicos. Para realizar las determinaciones microbiológicas se flameó la boquilla previamente empapada con alcohol. Las muestras recolectadas fueron llevadas inmediatamente al laboratorio de análisis del edificio 5Q del Depto. de Ingeniería Química y Metalurgia.

## Análisis fisicoquímicos

- Los análisis fisicoquímicos de las muestras se realizaron con las técnicas listadas en la siguiente Tabla.

**Tabla 6. Parámetros y metodologías utilizadas en las determinaciones analíticas**

<b>Parámetros</b>	<b>Técnica/Equipo</b>
<b>Fisicoquímicos</b>	
<i>pH</i>	<i>Potenciómetro (HANNA H199163)</i>
<i>Conductividad</i>	<i>Método electrométrico (HANNA)</i>
<i>Turbiedad</i>	<i>Método turbidimétrico (Oaktont T-100)</i>
<i>Acidez</i>	<i>Titulación por volumetría</i>
<i>Alcalinidad</i>	<i>Titulación por volumetría</i>
<i>Cloruros</i>	<i>Titulación por volumetría</i>
<i>Dureza</i>	<i>Titulación por volumetría</i>
<i>Sólidos totales</i>	<i>Método por secado</i>
<i>Calcio y Magnesio</i>	<i>Titulación por E.D. T.A.</i>
<i>Sulfatos</i>	<i>Espectrofotometría</i>

## **Análisis Microbiológicos.**

### **Cuenta Estándar**

El medio de cultivo utilizado fue: Agar Standar Plate Count, con pH de  $7.0 \pm 0.1$  a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para su preparación se pesaron 22.5 g en un litro. Se dejó remojar por 15 minutos y se esterilizó a una temperatura de  $121\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 15 minutos.

Se utilizaron cajas de Petri, pipetas de 1 mL y Agar Estándar Plate Count preparado conforme se especifica en el instructivo. Se colocó la muestra en las placas y se agregó 20 mL de agar agitando las placas con movimientos circulares suaves para homogenizar. Una vez solidificado el agar por medio del método de vaciado en placa se incubó a  $35 \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24-48 horas. Para el conteo se seleccionaron aquellas diluciones que presentaron de 30 a 300 colonias en las cajas de Petri.

En el recuento de las cajas que se sembró 1 mL de muestra, se reportó el total de las bacterias por mL; y donde se sembró 0.1 mL se multiplicó por 10 y se reportó por mL (# total de bacterias).

### **Coliformes Totales**

Los medios de cultivo utilizados fueron:

Caldo Lactosado. Para su preparación se pesó lo recomendado en el recipiente y se esterilizó a  $121\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 15 minutos. El pH final fue de  $6.8 \pm 0.1$ .

Caldo lactosado Bilis Verde Brillante. Para su preparación se pesó 40 g y se disolvió en un litro de agua destilada. Se esterilizó a  $121\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 15 minutos. El pH final fue de  $7.2 \pm 0.2$ .

Prueba de Fermentación Múltiple en tubo. Prueba presuntiva.

- a) Se seleccionó el # de tubos para cada tamaño de muestra (10, 1 y 0.1 mL)
- b) Se preparó el caldo lactosado para cada tubo según el instructivo del medio, se agregó a los tubos y se colocó un tubo Durham dentro del medio.
- c) Se esterilizaron los tubos con el caldo lactosado y se pipeteó de 10, 1 y 0.1 mL por cada muestra a analizar.

- d) Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se llevó a cabo la siembra en los tubos.
- e) Se incubaron los tubos a  $35 \pm 0.5$  °C durante 48 horas.
- f) Se observó si alguno de los tubos produjo gas en el tubo invertido en cada dilución.

### **Coliformes fecales**

Esta prueba se realiza cuando la prueba de coliformes totales haya dado positiva. El medio de cultivo utilizado es caldo EC, y se utiliza la misma metodología que en coliformes totales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de las condiciones físicas de los enfriadores así como los análisis físico-químicos y microbiológicos de las 20 muestras de agua recolectadas en los enfriadores-bebederos de la zona 5, en el campus universitario.

En la tabla 7, se muestran las condiciones físicas de los 20 equipos enfriadores-bebederos, en los cuales se consideró para su evaluación la limpieza de la boquilla y de la bandeja, las condiciones de las tapas y cables, fugas de agua y el funcionamiento del sistema de enfriamiento.

En términos generales la limpieza de la boquilla es "mala" ya que de los 20 equipos solo 2 fueron evaluados como "buena", así también la limpieza de la bandeja fue evaluada como "mala", ya que solo 9 (37%) de los enfriadores fue "buena".

En la revisión de tapas y cables la mayoría de los enfriadores presentaron buenas condiciones excepto el 5J-2y el 5N-2, ya que los cables se encontraban sueltos. Con respecto a las fugas, no se encontró algún equipo que presentara derrames o pérdidas de líquido.

En relación al funcionamiento del sistema de enfriamiento, la mayoría de los equipos se encontraron en buen estado, sin embargo se observó que los enfriadores 5J-1, 5J-2, 5L-1, 5F-2, 5M-2y 5K-1, presentan una insuficiente presión en el flujo para la toma de agua. En el enfriador 5N-2, se detectó una tubería que al parecer proviene de un mini Split y desagua sobre el enfriador.

Por otro lado, en el enfriador 5I-1, el agua proviene de una cisterna y no tiene un tratamiento adecuado para el consumo humano. En general el 83 % de los bebederos estudiados se encuentran en funcionamiento.

**TABLA 7. Condiciones físicas de los enfriadores.**

EQUIPO	OBSERVACIONES					
	LIMPIEZA BOQUILLA	LIMPIEZA BANDEJA	TAPAS Y CABLES COMPLETOS	FUGAS	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	NOTAS
5D-1	Buena	Buena	Si	Ninguna	Si	-
5A-1	Mala	Buena	Si	Ninguna	Si	-
5E.-2	Mala	Mala	Si	Ninguna	Si	-
5A-2	Mala	Buena	Si	Ninguna	Si	-
5G-2	Mala	Mala	Si	Ninguna	Si	Presenta una pésima limpieza.
5J-1	Mala	Mala	Si	Ninguna	Si	El enfriador no tiene la presión necesaria.
5O-1	Mala	Buena	Si	Ninguna	Si	
5J-2	Mala	Mala	No	Ninguna	Si	El enfriador no tiene la presión necesaria y hay un cable colgando del enfriador.
5O-2	Mala	Buena	Si	Ninguna	Si	-
5F-1	Mala	Mala	Si	Ninguna	Si	-
5L-1	Mala	Mala	Si	Ninguna	No	El enfriador no tiene presión necesaria.
5M-1	Mala	Buena	Si	Ninguna	Si	El enfriador no tiene la presión necesaria.
5I-2	NO EXISTE	-	-	-	-	-
5F-2	Mala	Mala	Si	Ninguna	Si	El enfriador se encuentra desnivelado y no tiene la presión necesaria
5M-2	Mala	Mala	Si	Ninguna	Si	El enfriador no tiene la presión necesaria.
5K-1	Mala	Mala	Si	Ninguna	No	El enfriador no tiene la presión necesaria
5E.-1	Mala	Mala	Si	Ninguna	Si	-
5G-1	Mala	Mala	Si	Ninguna	Si	Presenta una pésima limpieza y se encuentra tapado el desagüe.
5K-2	Mala	Mala	Si	Ninguna	No	-
5N-2	Mala	Mala	Si	Ninguna	No	Se encuentra una tubería que desagua sobre el enfriador, al parecer proviene de un mini Split.
5D-2	Buena	Buena	Si	Ninguna	Si	El enfriador no tiene la presión necesaria
5L-2	Mala	Buena	Si	Ninguna	Si	
5N-1	Mala	Mala	Si	Ninguna	No	La limpieza es pésima y no tiene la presión necesaria
5I-1	Mala	Buena	No	Ninguna	Si	El agua proviene de una cisterna, y no tiene un tratamiento adecuado para su consumo.

## Resultados del primer muestreo

En la tabla 8, se presentan los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos del primer muestreo de agua. Se describen los parámetros estudiados así como los valores arrojados y la comparación con los límites máximos permisibles por las normas mexicanas (NOM-041-SSA1-1993, NOM-230-SSA1-2002, NOM-127-SSA1-1994).

Se presentan los valores obtenidos en el análisis de turbidez de las muestras de agua, los cuales se encontraron en el rango de 0.5 -1.2 UTN con una media de 0.68 y D.E. de 0.28. Al comparar con los límites máximos establecidos se encuentran dentro de los valores recomendados por la NOM-127-SSA1-1994, la cual establece valores menores de 5 UTN. Estos, representan en metros la claridad del agua en unidades de turbidez nefelométricas (UTN) y la cantidad de luz reflejada por las partículas suspendidas en el líquido. Estudios realizados de la calidad de agua en despachadores reportan valores menores a 5 UTN. (Escobedo, 2006; Geissler y Arroyo, 2011).

**TABLA 8. Resultados de los análisis físicoquímicos del primer muestreo en agua de los enfriadores-Unison**

	TurbidezUTN	TDS mg/L	Conductividad $\mu$ S/cm	pH	Dureza ppm	Cloruros ppm	Sulfatos ppm	Alcalinidad ppm	Acidez ppm	Calcio ppm	Magnesio ppm
5D-1	1.00	24.1	41.8	5.65	12	25.21	-	32.24	37.76	3.21	0.97
5A-1	0.30	20.8	35.5	6.5	12	36.02	-	13.82	30.68	4.81	-
5E-2	0.60	19.9	34.7	5.6	24	28.31	-	36.85	16.52	3.30	3.89
5A-2	0.60	19.9	34.3	5.7	24	25.21	-	27.64	18.88	3.21	0.97
5G-2	0.65	39.5	67.6	6.1	32	34.22	-	29.94	37.76	4.01	5.35
5J-1	1.17	379	640	6.9	240	81.04	77.42	234.93	94.40	69.74	16.04
5O-1	0.86	9.6	19.4	6.8	8	32.41	-	25.33	14.16	3.21	-
5J-2	0.55	333	629	8.0	240	63.03	72.84	205.72	82.60	56.11	24.30
5O-2	0.8	9.6	19.4	6.8	36	34.22	-	20.73	23.60	4.81	5.83
5F-1	0.50	17.6	34.7	6.8	24	36.02	-	23.03	18.88	3.21	3.89
5L-1	0.6	12.1	24.3	6.7	20	30.61	-	25.33	23.60	8.02	-
5M-1	0.25	17.4	34.2	6.6	26	24.31	-	27.64	18.88	8.02	1.46
5F-2	0.55	15.8	31.4	6.7	24	32.41	-	27.64	9.44	3.21	3.81
5M-2	0.11	21.1	41.50	6.8	40.00	25.21	-	32.24	18.88	6.41	7.29
5E.-1	0.8	14.5	31.50		40.00	10.80	-	34.55	18.88	4.81	6.80
5G-1	0.86	21.4	55.20		24.00	32.41	-	41.46	18.88	3.21	3.89
5N-2	0.8	66.4	135.2		34	34.22	-	57.58	23.60	4.81	5.35
5D-2	0.75	15	31.5		12	27.01	-	13.82	14.16	4.81	-
5L-2	0.7	10.2	21.7		24	23.41	-	25.33	9.44	3.21	3.89
5I-1	1.2	339	629	8	212	68.43	73.82	207.30	94.40	80.16	2.92
<b>MEDIA</b>	0.68	20.8	40.82	6.68	24.47	28.97	0.00	29.13	20.82	4.49	2.97
<b>DESV.STD</b>	0.28	13.7	27.20	0.74	9.76	6.37	0.00	10.30	8.23	1.62	2.45

Se presentan los valores obtenidos en la prueba de sólidos disueltos totales, los cuales se encontraron en el rango de 9.6 - 66.40 mg/L con una media de 20.88 y una D.E. 13.70. Encontrándose por debajo de los valores recomendados por la NOM-041-SSA1-1993, el cual tiene un máximo permisible de 500 mg/L, y la NOM-127-SSA1-1994, con un máximo permisible de 1000 mg/L. Este valor representa en mg/L los iones y partículas que atravesarán un filtro con poros que miden de 2 a 4 micras. La FDA (2000), establece valores de TDS de un máximo permisible de 50 mg/L en el agua para consumo humano obtenida de procesos de ósmosis inversa, micro filtración, destilación, etc., considerando los valores de 500 mg/L o más, en niveles de contaminación. Se encontró que en tres de los bebederos (5J-1, 5J-2 y 5N-2) los valores de TDS se consideran altos en relación al resto de muestras analizadas. Estos fueron: 379, 333 y 339 mg/L, sin embargo al comparar con los límites permisibles, se encuentran por debajo de dichos valores.

Se presentan los valores obtenidos en la prueba de dureza del agua los cuales se encontraron en el rango de 8 – 40 ppm, con una media de 24.47 y D.E. de 9.76. Este dato representa (mg/L de CaCO<sub>3</sub>), la concentración de minerales disueltos, midiendo los cationes polivalentes. De 0 -60 ppm se considera un agua blanda, de 60 -120 ppm, moderadamente dura y 120-180 ppm un agua dura (IMTA, 2011). De acuerdo a la NOM -127- SSA1 -1994, el límite permisible de dureza es de 500 mg/L. En este estudio, el total de muestras analizadas se encontraron por debajo de 60 ppm, excepto las muestras 5J-1, 5J-2y 5N-2 que presentaron valores de 240, 240 y 212 ppm respectivamente, sin embargo, estos valores se encuentran dentro de la NOM referida. Estos resultados coinciden con los datos reportados en la dureza del agua de la llave de los laboratorios del Departamento de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad de Sonora, el cual fue de un promedio de 300 ppm. (García- Lares y colab., 2012).

La dureza se define como la cantidad de sales de elementos alcalino-térreos (berilio, magnesio, calcio, estroncio, bario y radio) presentes en el agua y que normalmente se asocia a la formación de incrustaciones. Sin embargo, en la práctica, la dureza de un agua se asocia con la cantidad de calcio y magnesio existentes.

Los valores obtenidos en el pH de las muestras los cuales se encontraron en el rango de 5.6 – 8.0 con una media de 6.68 y D.E. 0.74

Según el lineamiento de la norma oficial (NOM-127-SSA1-1993), el pH permisible en el agua para consumo humano es de 6.5 – 8.5, por lo que las muestras estudiadas caen dentro de este valor. Aunque el pH no suele afectar directamente a los consumidores, es uno de los parámetros operativos más importantes de la calidad del agua. Se debe prestar mucha atención al control del pH en todas las fases del tratamiento del agua para garantizar que su clarificación y desinfección sean satisfactorias.

- Unicamente en las muestras 5J-1, 5J-2 y 5N-2, se detectó la presencia de sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) con valores de 77.42, 72.84 y 73.82 ppm respectivamente. La Norma oficial mexicana (NOM-127-SSAI-1994) establece valores límites permisibles para sulfatos (como  $\text{SO}_4$ ) de 400 ppm, por lo que los valores detectados se encuentran por debajo de dicho límite. Al comparar estos datos con lo reportado por Escobedo, (2006) en el estudio de Evaluación de los procesos de purificación de una despachadora, quedan por debajo de éste el cual es de 114 ppm.

El calcio y el magnesio son los principales componentes de la dureza de las aguas. Proviene generalmente de las mismas fuentes (depósitos de yeso y caliza) y sus sales forman el sarro en tuberías y recipientes. Pequeñas concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  evitan la corrosión de tuberías de metal al formar una capa protectora. En forma de cal viva ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), el calcio se puede usar para ablandar el agua o para controlar la corrosión por medio del ajuste del valor del pH.

Los valores obtenidos de Calcio en las muestras de agua estuvieron en un rango de 3.21 – 8.02 ppm con una media de 4.49 y una DE 1.62. Se encontró que en las muestras 5J-1, 5J-2 y 5N-2, se obtuvieron valores altos: 69.74, 56.11 y 80.16 ppm respectivamente. La OMS 2000, recomienda un máximo recomendable de 75 ppm y un máximo permisible de 200 ppm.

En relación a los valores obtenidos en el análisis de magnesio en las muestras de agua, el rango fue de 0 – 7.29 ppm, con una media de 2.97 y una D.E. 2.45. Como en el caso del Calcio, se observan valores altos en las muestras 5J-1 y 5J-2, los

cuales fueron de 16.04 y 24.3 ppm respectivamente. Sin embargo, los valores permisibles que recomienda la OMS (2000) son un mínimo de 30 ppm y un máximo de 150 ppm, por lo que los valores obtenidos se encuentran por debajo de lo recomendado.

Era de esperarse que en los enfriadores de las muestras 5J-1, 5J-2 y 5N-2 las tuberías y sistema de enfriamiento presentaran pequeñas incrustaciones de sarro y con ello la dureza del agua aumentara como se comentó anteriormente.

En cuanto a los valores obtenidos en la prueba de alcalinidad en las muestras de agua, el rango fue de 13.82 – 57.58 ppm, con una media de 29.13 y D.E. 10.30.

Para las muestras 5J-1, 5J-1 y 5N-2 los datos arrojados fueron de 234.93, 205.72 y 207.30 ppm respectivamente. La alcalinidad del agua suele oscilar entre 30 y 90 mg/L, por lo que los datos obtenidos caen dentro de este rango, exceptuando las tres muestras que arrojaron valores elevados. Esto pudiera deberse a agentes limpiadores, al intemperismo y piedra caliza y/o corrosión. (I.M.T.A. 2011)

Los valores en la prueba de cloruros, los cuales se encontraron en un rango de 10.8 y 81.0 ppm. El límite máximo permisible es de 250 ppm, por lo que están dentro de lo establecido. Escobedo (2006), reportó un valor de 378.77 ppm de cloruros, el cual es un indicador importante para la evaluación del proceso de purificación del agua que llevaron a cabo.

La conductividad eléctrica esta representa una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica, la cual depende de los iones presentes y de su temperatura. El rango de valores se encontró en 19.40 – 135 mS/cm, con una media de 40.8 y D.E. de 27.20. En las muestras 5J-1, 5J-2 y 5N-2, se pudo observar la tendencia ya discutida, en donde los valores se elevaron en forma considerable: 640, 629 y 629 mS/cm respectivamente. Estos datos son de importancia ya que dan una idea del grado de mineralización del agua natural o potable.

**Tabla 9. Valores de conductividad para aguas (Melbourne Parks & waterway, 1995).**

---

<b>Agua desionizada</b>	<b>0-1 mS/cm</b>
<b>Agua sana</b>	<b>150- 500 mS/cm</b>

---

En la tabla 10 se presentan los resultados de los análisis microbiológicos del 1er. Muestreo en el agua de los bebederos. Como se puede observar, para la prueba de cuenta estándar de los equipos número 5A-1, 5E.-2, 5J-1, 5O-1, 5J-2, 5F-1, 5I-2, 5M-2, 5K-1, 5E-1 y 5K-2 se reporta un bajo número de microorganismos, mientras que el resto de equipos que fueron muestreados se arrojaron resultados incontables de microorganismos, lo cual se interpreta que dichos resultados se obtuvieron considerando las condiciones físicas (externas) de los equipos en estado de suciedad, lo que ocasionó que hubiera crecimiento de microorganismos oportunistas-ambientales. Esto se confirma ya que en las pruebas de coliformes totales y coliformes fecales no hubo evidencias de estos contaminantes en las muestras analizadas. La norma oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994) establece que para el uso y consumo humano los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización es de 0 NMP/100 mL de coliformes totales (incluyendo coliformes fecales)

**Tabla 10. Resultados de los análisis microbiológicos del primer muestreo en los bebederos.**

<b>Equipo</b>	<b>Coliformes Totales (NMP/100 mL)</b>	<b>Cuenta Estándar</b>
5D-1	0	Incontable
5A-1	0	60
5E-2	0	77
5A-2	0	Incontable
5G-2	0	Incontable
5J-1	0	18
5O-1	0	63
5J-2	0	44
5O-2	0	Incontable
5F-1	0	2
5L-1	0	Incontable
5M-1	0	Incontable
5F-2	0	3
5M-2	0	Incontable
5E-1	0	53
5G-1	0	66
5N-2	0	46
5D-2	0	Incontable
5L-2	0	3
5I-1	0	Incontable

## Resultados del segundo muestreo

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos del 2do muestreo en agua de los bebederos seleccionados (Tabla 11). A continuación se describen los valores encontrados en los parámetros.

Los datos determinados en la turbidez de las muestras de agua, los cuales se encontraron en el rango de 0.3 – 1.3 UTN con una Media de 0.83 y D.E. 0.46. Al comparar con los límites máximos permisibles se encuentran dentro de los valores recomendados por la NOM-127-SSA1-1994, la cual establece valores menores de 5 UTN.

Para el caso de los sólidos disueltos totales (TDS), los cuales se encontraron en el rango de 13.7 – 129.2 mg/L con una media de 16.71 y una D.E. 16.03. Encontrándose por debajo de los valores recomendados por la NOM-041-SSA1-1993, el cual tiene un máximo permisible de 500 mg/L, y la NOM-127-SSA1-1994, con un máximo permisible de 1000 mg/L. Al igual que en el primer muestreo de agua realizado, los valores de TDS de 3 de los bebederos (5J-1, 5J-2 y 5N-2), estuvieron muy por encima de la media: 475, 458 y 461 mg/L respectivamente y cerca del máximo permisible de la NOM 041-SSA1-1993.

Se presentan los valores obtenidos en la prueba de dureza, los cuales se encontraron en el rango de 0 – 32 ppm, con una Media de 7.12 y D.E. 10.42, lo cual representa (en mg de CaCO<sub>3</sub>) la concentración de minerales disueltos, midiendo los cationes polivalentes. Los valores estuvieron por debajo de 60 ppm (lo que se considera agua blanda), y en las muestras de los bebederos 5J-1, 5J-2 y 5N-2 los valores fueron de 237, 168 y 194 ppm respectivamente lo que clasifica como un agua dura.

El pH de las muestras los cuales se encontraron en el rango de 5.1 – 7.4, con una Media de 6.03 y D.E. 0.94. El pH aceptable en el agua para consumo humano es de 6.5 - 8.5, por lo que las muestras analizadas caen dentro de dicho rango. Este parámetro es uno de los más importantes para determinar la calidad del agua para el consumo humano.

Tabla 11. Resultados de los análisis físico-químicos del segundo muestreo en agua de los bebederos-enfriadores.

Equipo.	Turbidez UTN	TDS mg/ L	Conductivida d $\mu$ S/cm	pH	Dureza ppm	Cloruro s ppm	Sulfatos ppm	Alcalinidad d ppm	Acidez ppm	Calcio ppm	Magnesio ppm
5D-1	0.8	31.6	66.6	5.19	0	22.51	0	4	41.6	0	0
5A-1	0.4	22.4	48.3	5.26	4	24.31	7.02	0	20.2	0.8	0.49
5E.-2	1.3	29.9	64	5.1	18	28.82	0	4	20.2	2	3.16
5A-2	0.45	22.6	48.7	5.2	4	30.2	0	0	20.2	0.8	0.49
5G-2	2	73.7	156	5.32	26	18.01	0	6	41.6	4.41	3.64
5J-1	1.2	475	918	6.93	237	53.12	111.39	28	83.2	60.92	20.65
5O-1	1.2	15.6	32.1	7.33	0	13.51		2	20.2	0	0
5J-2	0.8	458	884	6.91	168	46.82	122.17	26	83.2	78.56	19.82
5O-2	0.9	16	32.8	7.39	0	19.81	0	2	20.2	0	0
5F-1	0.8	30.4	66.1	5.12	0	28.82	0	3	41.6	0	0
5L-1	0.2	27.7	55.8	7.18	2	19.81	0	2	41.6	0	0
5M-1	0.8	35.6	71.3	7.01	0	16.21	0	4	20.2	0	0
5F-2	0.3	31.2	66.8	5.1	4	19.81	0	3	41.6	0.8	0.49
5M-2	1.05	34.8	70.7	6.71	0	18.91	0	2	41.6	0	0
5E.-1	0.6	28.9	61.4	5.25	11	29.71	0	5	20.2	1.6	1.7
5G-1	1.2	68.7	145.3	5.33	20	21.61	0	5	62.4	2.4	3.4
5N-1	0.3	129	273	5.3	32	20.71	10.94	8	20.2	8.02	2.92
5D-2	0.85	29.6	63.4	5.22	0	27.91	0	4	20.2	0	0
5L-2	0.15	13.7	28.1	7.05	0	18.91	0	2	20.2	0	0
5I-1	1.2	461	888	6.65	194	74.73	122.49	26	124.8	72.14	3.402

Para la conductividad se observan los valores obtenidos en el rango de 28.1 – 273 mS/cm, con una Media de 55.44 y D.E. 15. De igual tendencia que el primer muestreo las muestras de agua de los bebederos 5J-1, 5J-2 y 5N-2 presentan valores mucho más altos que la Media: 918, 884 y 888 mS/ cm respectivamente, lo que representa el grado de mineralización del agua y la baja eficiencia del sistema de filtración.

Se pone de manifiesto que solo en 5 bebederos se detectó la presencia de sulfatos, estos fueron en el 5A-1y 5K-2 con valores de 7.02 y 10.94 ppm respectivamente, mientras que en las muestras de agua de los bebederos 5J-1, 5J-2y 5N-2 los valores arrojados fueron de 111.39, 122.17 y 122.49 ppm respectivamente, los cuales se encuentran por debajo del límite permisible (NOM-127 SSA1-1994) que es de 400 ppm (de SO<sub>4</sub>).

Los valores obtenidos de Calcio en las muestras de agua, los cuales estuvieron en un rango de 0 – 8.02 ppm. De igual forma en las muestras 5J-1, 5J-2 y 5N-2 se presentaron valores altos con respecto a la media: 60.92, 78.56 y 72.14 ppm respectivamente. La OMS (2000), recomienda un valor máximo de 75 ppm.

Con respecto a los valores obtenidos de Magnesio en las muestras de agua el rango fue de 0 – 3.4. Las muestras de los bebederos 5J-1y 5J-2, evidencian la misma tendencia de valores por arriba de la media: 20.65 y 19.82 ppm respectivamente. La OMS (2000) recomienda para este parámetro un mínimo de 30 ppm y un máximo de 150 ppm en agua para consumo humano, por lo que los resultados son aceptables.

En la tabla 12 se muestran los resultados de los análisis microbiológicos, donde se muestra la proliferación de algunos microorganismos oportunistas. No se detectó con la presencia de coliformes.

**Tabla 12. Resultados de los análisis microbiológicos del segundo muestreo en los bebederos.**

Equipo	Coliformes	Cuenta
	Totales	Estándar
5D-1	0	3
5A-1	0	4
5E.-2	0	0
5A-2	0	8
5G-2	0	80
5J-1	0	58
5O-1	0	0
5J-2	0	40
5O-2	0	4
5F-1	0	52
5L-1	0	0
5M-1	0	0
5F-2	0	0
5M-2	0	0
5E.-1	0	0
5G-1	0	36
5N-1	0	5
5D-2	0	0
5L-2	0	0
5I-1	0	80

## **Análisis fisicoquímicos del agua de los tinacos y agua de sus llaves**

En la tabla 13. Se presentan los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos del agua de los Tinacos y del agua de sus respectivas llaves.

En el Tinaco 5A, se encontró un valor medio de 458 UTN, mientras que en el agua de la llave del mismo fue de 133 UTN. En el Tinaco 5F, un valor medio de 858 UTN y en la llave respectiva 640 UTN. En el tinaco 5 O, el valor medio fue de 850 UTN, mientras que en el agua de la llave fue de 175 UTN y en el Tinaco K, el valor medio fue de 885 UTN y en la llave fue de 440 UTN. Evidentemente que estos datos obtenidos se encuentran por arriba de los valores recomendados por la NOM- 127-SSA1-1994 para un agua de consumo humano, y es de esperarse ya que esta agua aún no ha sido tratada en el sistema de enfriadores para poder conseguir la claridad del agua en unidades de turbidez nefelométricas que es de menos de 5.

En el Tinaco 5A, el valor medio de sólidos totales disueltos fue de 310 mg/L, mientras que en la llave respectiva fue de 299 mg/L. En el Tinaco 5 F, el valor medio fue de 328 mg/L y en la llave del mismo fue de 296 mg/L. En el Tinaco 5 O, el valor medio determinado fue de 335 mg/L y en la llave respectiva el valor fue de 272 mg/L y en el Tinaco 5 K, se obtuvo el dato promedio de 316 mg/L y en la llave respectiva de 298 mg/L. En base a la NOM-041-SSA1-1993 y la NOM-127-SSA1-1994 que establecen valores de máximo permisible de 500 y 1,000 mg/L respectivamente, dichos valores se encuentran por debajo de lo permitido. En relación a estos datos obtenidos del agua de los cuatro tinacos, son comparables a los que se obtuvieron en los enfriadores 5J-1, 5J-2 y 5N-2, lo cual hace pensar que en estos equipos el sistema de ósmosis inversa no estuvo realizando el tratamiento en forma eficaz.

En el Tinaco 5A, se obtuvo un valor medio de dureza del agua de 196.95 ppm y en su respectiva llave fue de 186.85 ppm. El Tinaco 5 F, arrojó un valor medio de 212.10 ppm y en el agua de la llave respectiva de 186.85 ppm. El Tinaco 5 O, el valor medio de dureza fue de 192 ppm y en el agua de la llave del mismo presentó valor similar y el Tinaco 5 K, el valor medio fue de 212 ppm y el agua de llave fue de 181.8 ppm. Considerando que estos valores representan en mg/L de  $\text{CaCO}_3$  y tomando de base la clasificación el tipo de agua, el agua de los tinacos queda como

un agua dura (FDA 2000). De igual manera, al comparar estos datos con los obtenidos en los enfriadores 5J-1, 5J-2 y 5N-2, se puede ver que son muy parecidos a esa agua clasificada como agua dura.

Los datos obtenidos en la determinación de pH en el agua de los tinacos fueron los siguientes: Tinaco 5 A, un valor de 7.5 y en el agua de la llave fue de 6.48; en el Tinaco 5 F, se obtuvo el valor de pH de 7.49 mientras que en el agua de la llave del mismo fue de 6.58; en el Tinaco 5 O el valor fue de 7.48 y en el agua de la llave se obtuvo un valor de 6.59. El último Tinaco, 5 K, presentó un valor de 7.47 y en el agua de la llave fue de 6.61. Estos valores promedio del pH, se encuentran dentro de lo permisible por la NOM-041-SSA1-1993 que es de 6.5 a 8.5.

El rango del valor promedio de la conductividad electrolítica del agua analizada en los cuatro tinacos estuvo entre 625 y 658 microS/cm, mientras que en el agua de las respectivas llaves fue de 551 y 600 microS/cm. Estos valores se encuentran por encima de los promedios encontrados en los equipos enfriadores de agua, con excepción de los 5J-1, 5J-2 y 5N-2 los cuales sobrepasaron al resto de equipos (918, 884 y 888 microS/cm. respectivamente).

Los valores promedio obtenidos en la determinación de Sulfatos en el agua de los tinacos estuvo en un rango de 943.5 y 1721.7 ppm, mientras que el agua de sus llaves fue de 542.4 y 943.5 ppm. Estos datos se encuentran por arriba de lo arrojado en el agua de los equipos enfriadores. La NOM- 127 SSA1-1994 recomienda un límite permisible de 400 ppm (de  $SO_4$ ) para un agua de consumo humano. Lo que se observa es que al pasar por el sistema de ósmosis inversa la concentración de sulfatos se retiene en forma aceptable como se muestra en los resultados del agua de los bebederos.

En relación a la determinación de calcio en el agua de los tinacos, los datos promedio se encuentran en el rango de 50.6 y 60.72 ppm y el de agua de las respectivas llaves en el rango de 47.56 y 54.65 ppm. Los cuales están por debajo de lo recomendado por la OMS (2000) que es de un máximo de 75 ppm. Con respecto a la determinación de magnesio, los valores promedio en el agua de los tinacos fueron de 15.34 y 83.45 ppm mientras que en sus respectivas llaves el rango

fue de 11.04 y 17.8 ppm. La OMS (2000), recomienda para este parámetro un mínimo de 30 ppm y un máximo de 150 ppm para aguas tratadas por lo que son aceptables.

Tabla 13 Resultados de los análisis físico-químicos del agua proveniente de los tinacos y llaves localizados en el área 5.

Parámetro	Turbidez UTN	TDS mg/L	Conductividad µS/cm	pH	Dureza ppm	Cloruros ppm	Sulfatos ppm	Alcalinidad ppm	Acidez ppm	Calcio ppm	Magn ppm
5A-TINACO	458	310	627	7.5	196.95	57.36	1250	175	57.2	50.6	17
5A-LLAVE	133	299	589	6.48	186.85	65.55	589.6	175	57.2	54.65	12
5F-TINACO	858	328	654	7.49	212.1	96.96	943.4	210	72.8	59.71	15
5F-LLAVE	640	296	598	6.58	186.85	65.55	707.54	277.5	59.8	54.65	12
5O-TINACO	850	335	658	7.48	191.9	71.02	1721.7	150	62.4	60.72	83
5O-LLAVE	175	272	551	6.59	191.9	58.72	943.5	170	54.6	47.56	17
5K-TINACO	885	316	625	7.47	212.1	73.75	943.5	195	72.8	54.65	18
5K-LLAVE	440	298	600	6.61	181.8	68.28	542.4	180	52	54.65	11

Parámetro	Turbidez UTN	TDS mg/L	Conductividad µS/cm	pH	Dureza ppm	Cloruros ppm	Sulfatos ppm	Alcalinidad ppm	Acidez ppm	Calcio ppm	Magn ppm
PROMEDIO DE TINACOS	762.8	322.3	641.0	7.5	203.3	74.8	1214.7	182.5	66.3	56.4	33
PROMEDIO DE LLAVES	347.0	291.3	584.5	6.6	186.9	64.5	695.8	200.6	55.9	52.9	13
DESVIACION ESTANDAR DE TINACOS	203.7	11.3	17.4	0.0	10.4	16.4	367.6	26.0	7.8	4.7	33
DESVIACION ESTANDAR DE LLAVES	238.0	12.9	22.8	0.1	4.1	4.1	179.2	51.4	3.4	3.5	3

## **Análisis Microbiológicos del agua de los Tinacos y agua de sus llaves.**

En la Tabla 14 se muestran los resultados de los análisis microbiológicos del agua de los Tinacos (5A, 5F, 5O, 5K) y del agua de sus respectivas llaves. Se encontró que en las muestras obtenidas durante el período del mes de Octubre de 2014, no hubo evidencias de crecimiento de microorganismos de tipo Coliformes y en la Prueba de Cuenta Estándar se encontró los siguientes resultados: Tinaco 5A, crecimiento de 5 bacterias / campo; agua de la llave, 3 bacterias /campo mL (1.0mL.). En el Tinaco 5 F, el crecimiento de bacterias fue incontable y en la llave del mismo se encontraron 2 bacterias/ campo. En el Tinaco 5 O, el crecimiento fue de 2 bacterias /campo y en el agua de la llave fue resultado negativo. En el tinaco 5 K, se encontró crecimiento de una bacteria /campo y en el agua de la llave fue negativo.

Estos resultados muestran que el agua de los tinacos, desde el punto de vista microbiológico es aceptable, con excepción del Tinaco 5 F, en el cual se encontró un crecimiento incontable de bacterias (cuenta estándar) en la muestra tomada en ese punto de muestreo.

**Tabla 14. Resultados del análisis Microbiológico de los Tinacos y Llaves de los tinacos.**

	Cuenta Estándar.		Coliformes Fecales	Coliformes Totales
	Bacterias/mL			
	0.1	1.0		
5A-Llave	negativo	3	negativo	negativo
5A-Tinaco	negativo	5	negativo	negativo
5F-Llave	negativo	2	negativo	negativo
5F-Tinaco	negativo	incontables	negativo	negativo
5O-Llave	negativo	negativo	negativo	negativo
5O-Tinaco	negativo	2	negativo	negativo
5K-Llave	negativo	negativo	negativo	negativo
5K-Tinaco	Negativo	1	negativo	negativo

## Comparación Entre los Resultados de Febrero y Junio

En las gráficas correspondientes se presenta la comparación entre los resultados de Febrero y junio así como también el límite permisible por la NOM 127 SSA1-1994.

En los gráficos correspondientes a Turbidez, Conductividad, pH, sulfatos y acidez, se observa que el mes de junio supero en su mayoría los resultados obtenidos en Febrero, en el resto de los parámetros Febrero arrojó resultados más altos comparados con los observados en Junio. Cabe mencionar que en la figura 7 se puede observar en algunos casos un pH inferior al permisible por la normativa. La diferencia obtenida en la comparación de los parámetros pudo deberse a que después del primer muestreo, se realizó el cambio de filtros en la mayor parte de los equipos.

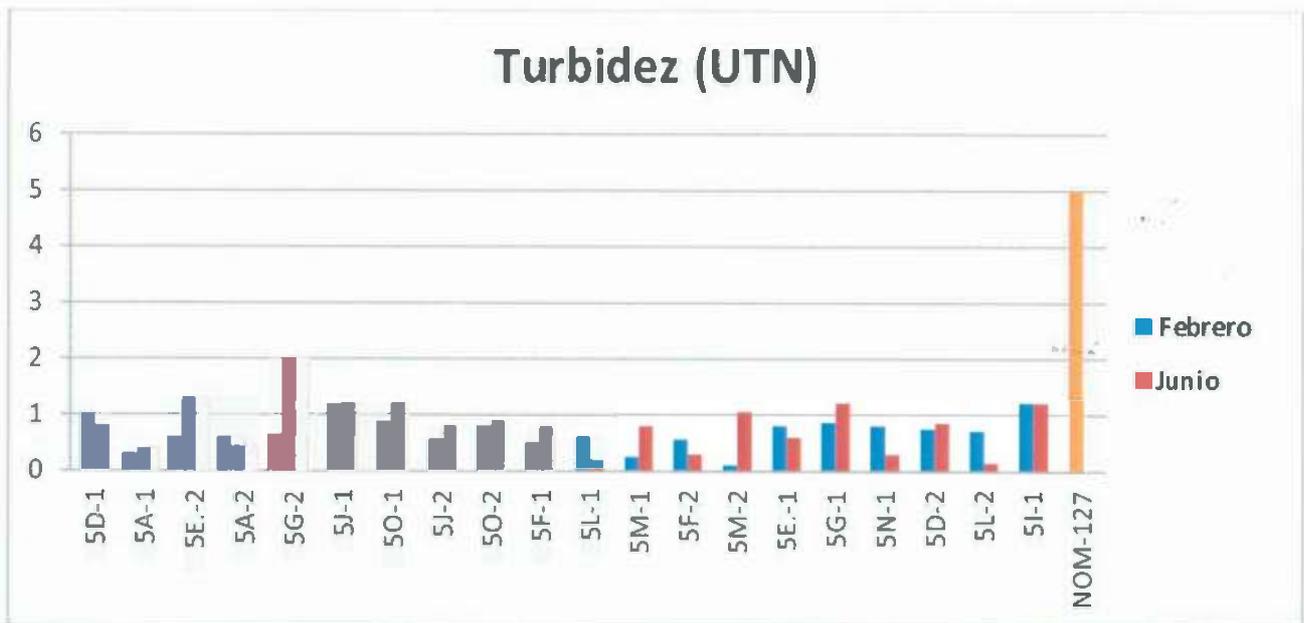
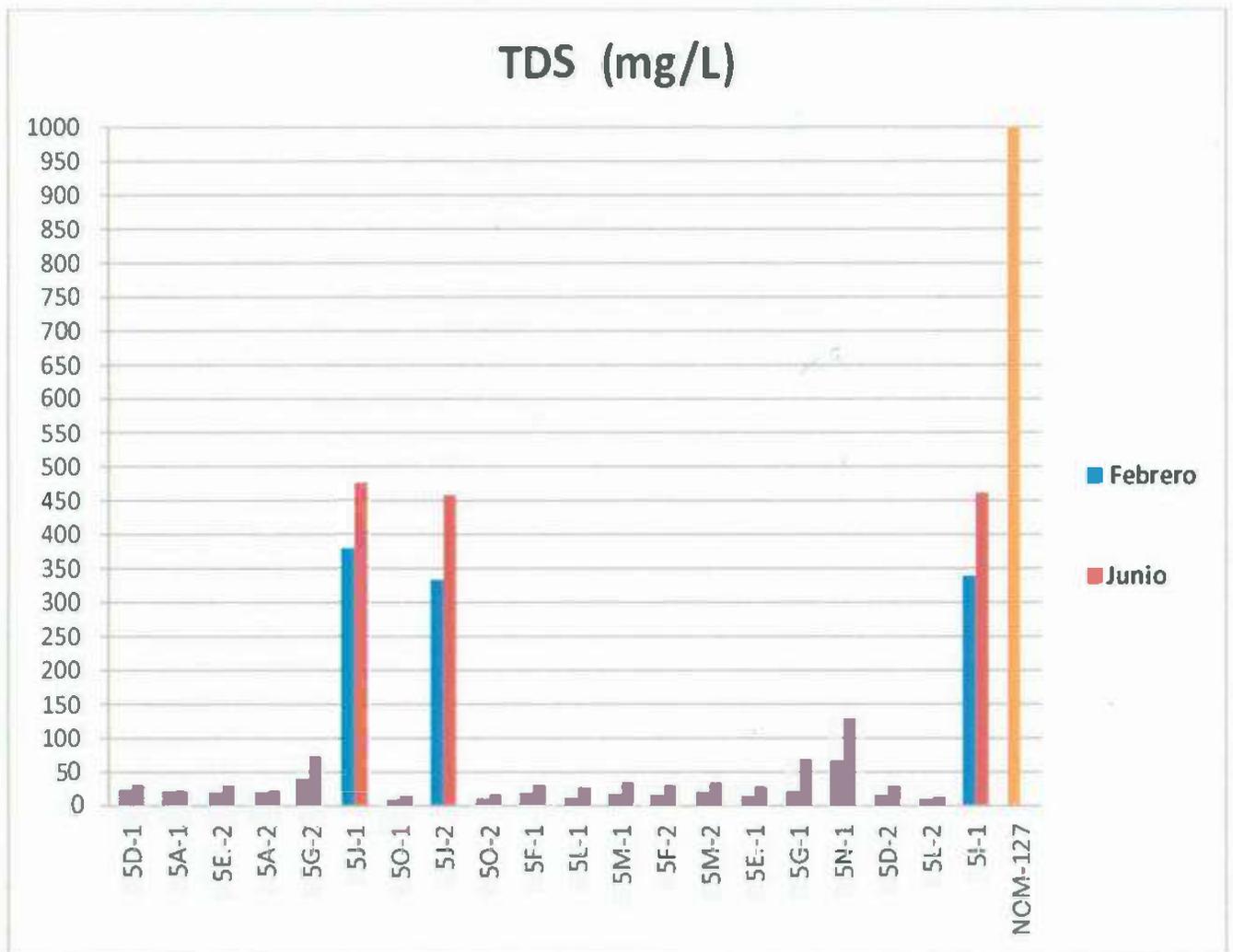
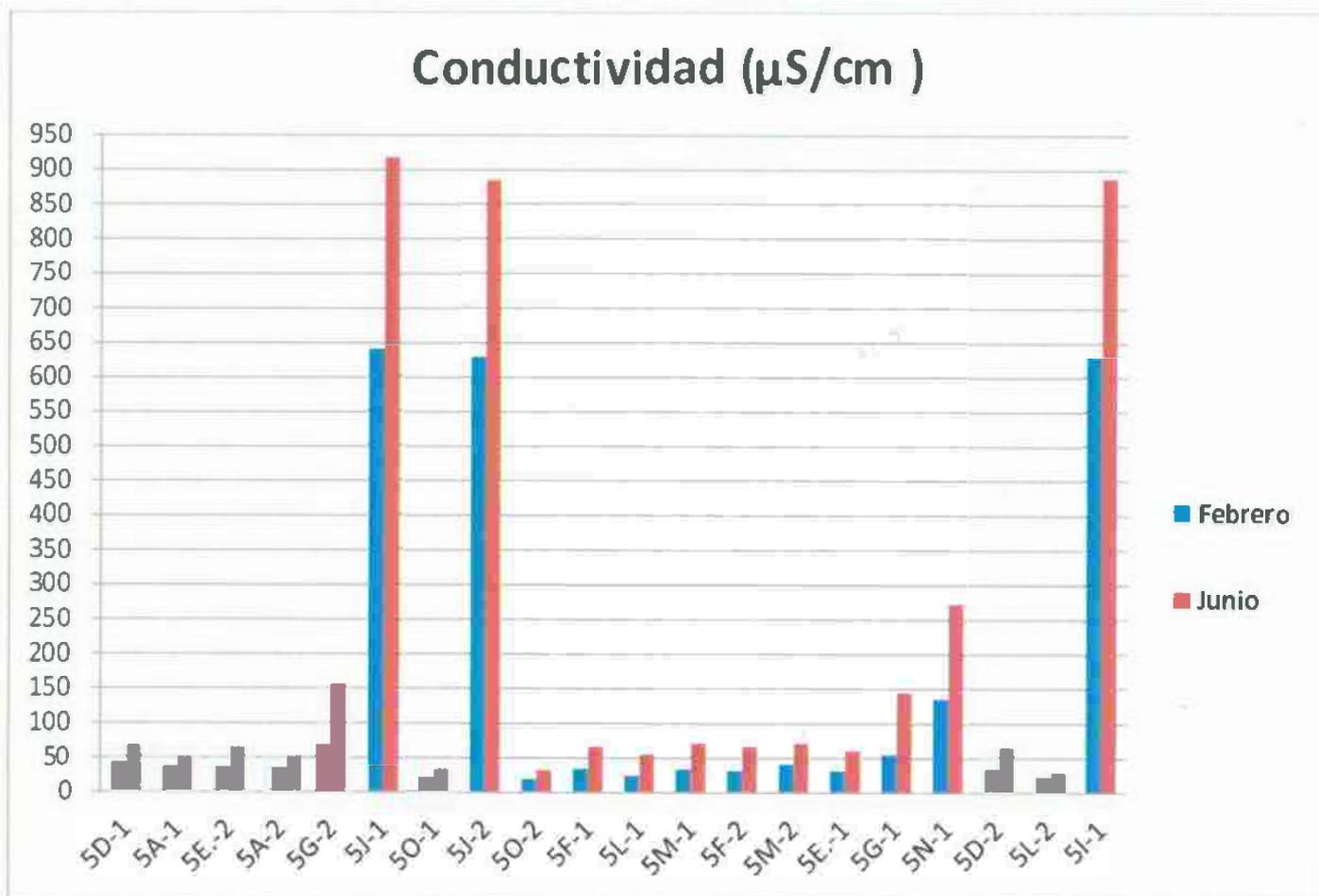


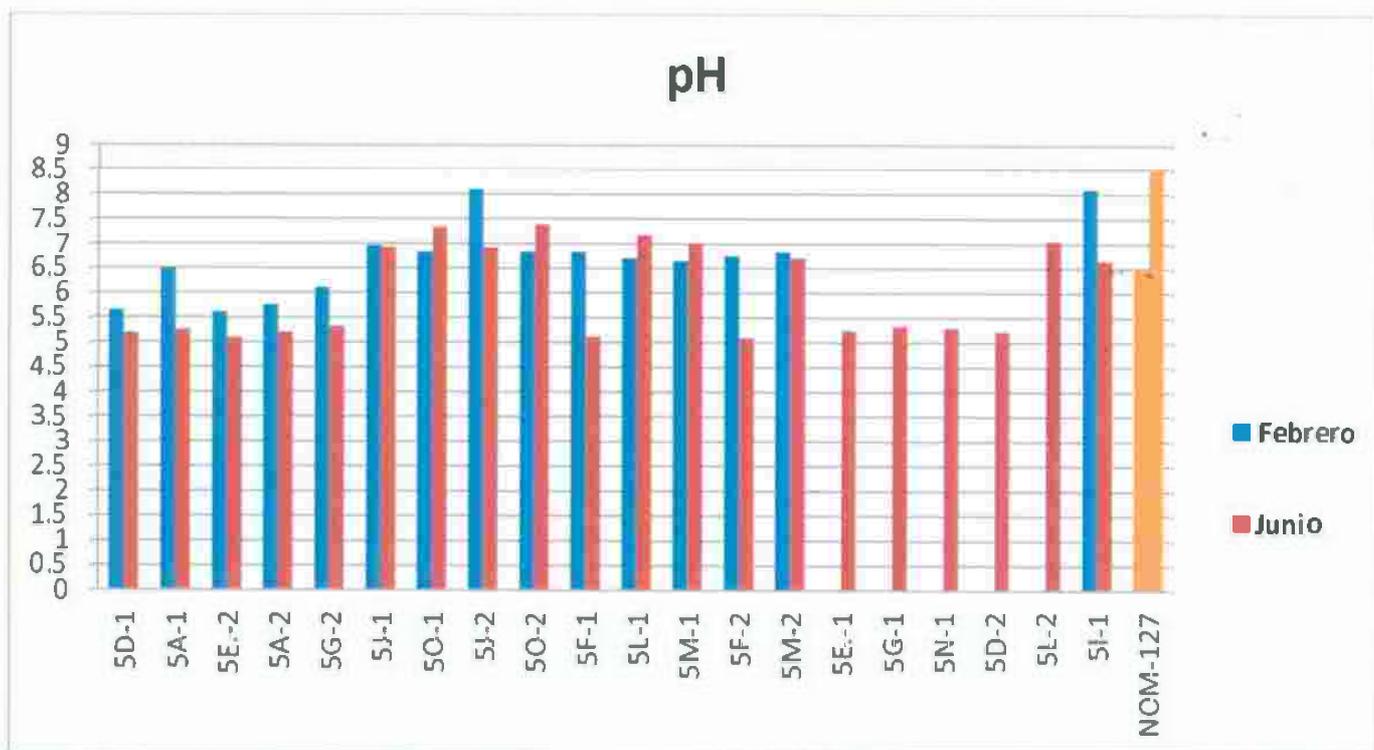
Fig. 4. Resultados comparativos de los análisis de Turbidez en el agua de los bebederos-enfriadores.



**Fig. 5. Resultados comparativos de los análisis de TDS en el agua de los bebederos-enfriadores.**



**Fig. 6.** Resultados comparativos de los análisis de Conductividad en el agua de los bebederos-enfriadores.



**Fig. 7.** Resultados comparativos de los análisis de pH en el agua de los bebederos-enfriadores.

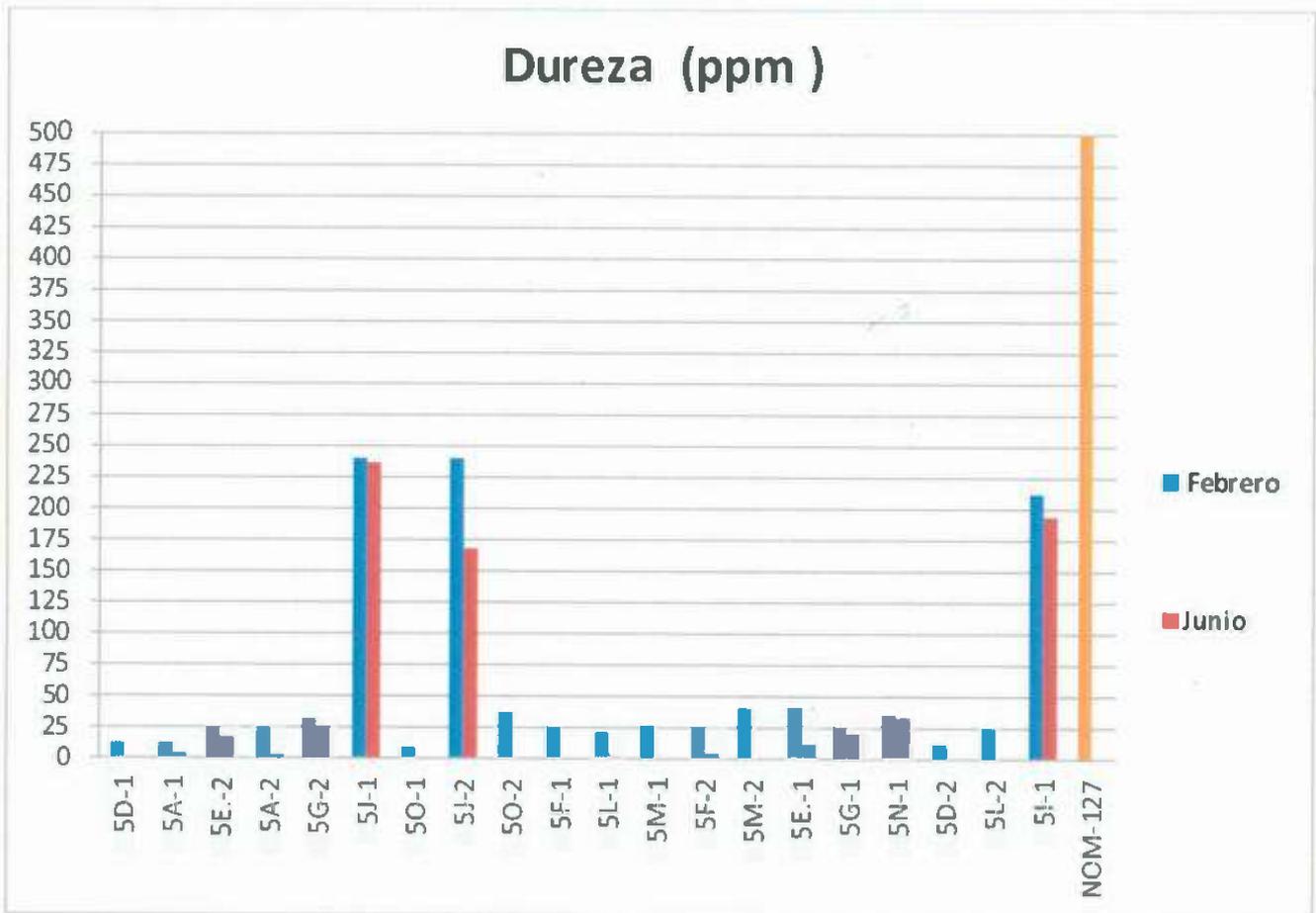


Fig. 8. Resultados comparativos de los análisis de Dureza en el agua de los bebederos-enfriadores.

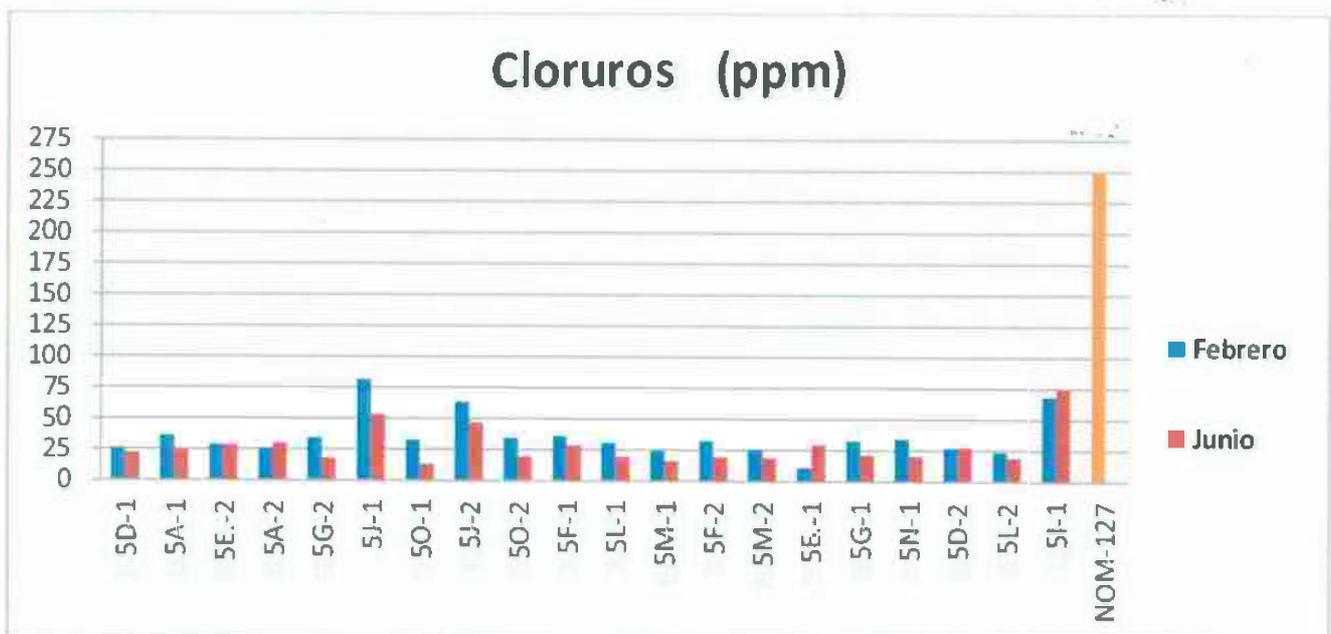
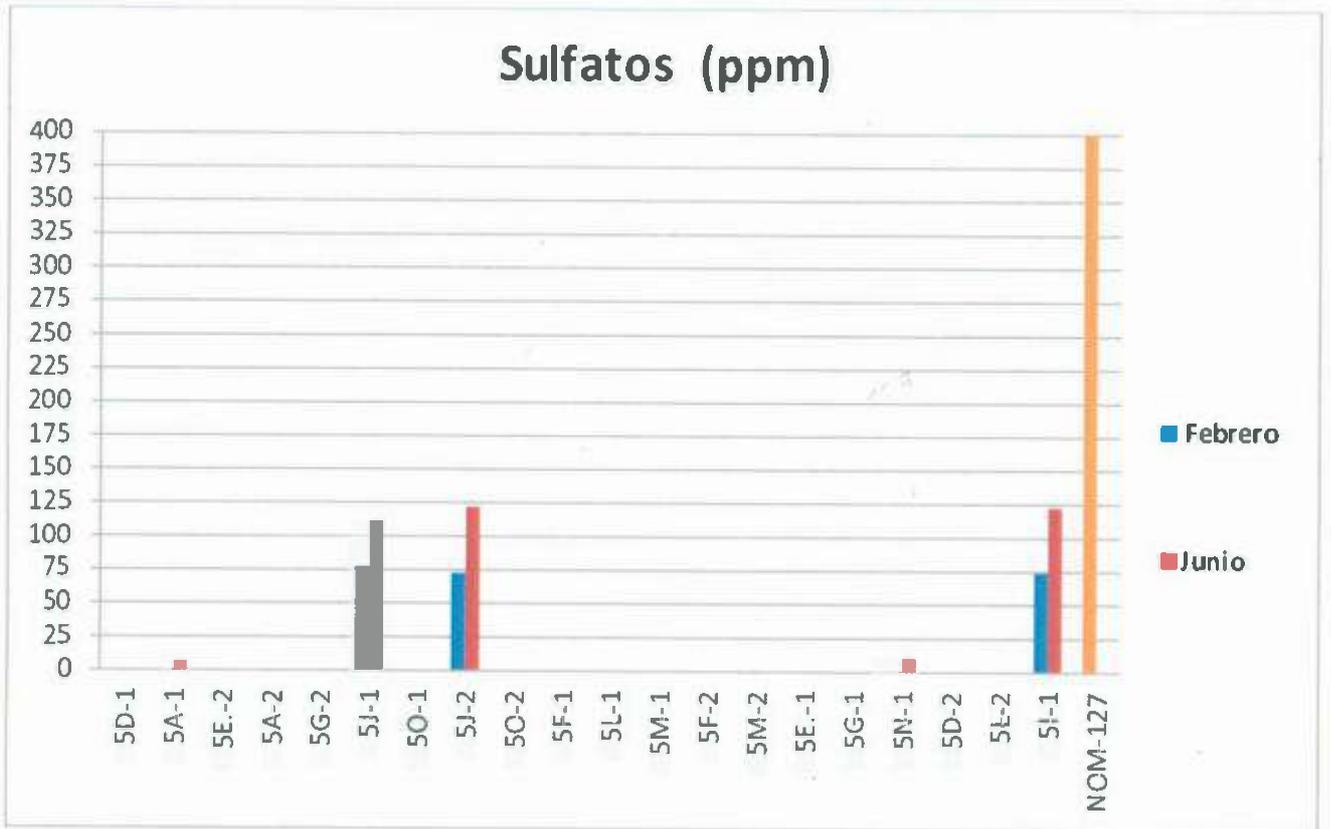
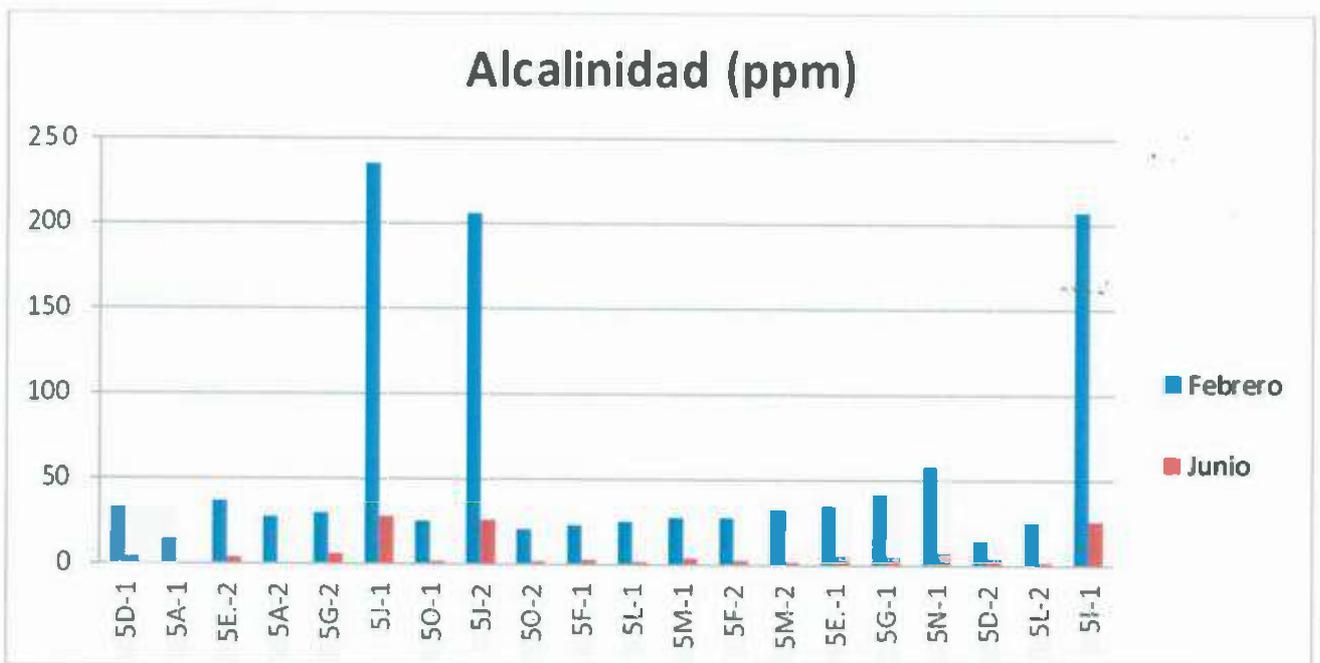


Fig. 9. Resultados comparativos de los análisis de Cloruros en el agua de los bebederos-enfriadores.



**Fig. 10. Resultados comparativos de los análisis de Sulfatos en el agua de los bebederos-enfriadores.**



**Fig. 11. Resultados comparativos de los análisis de Alcalinidad en el agua de los bebederos-enfriadores.**

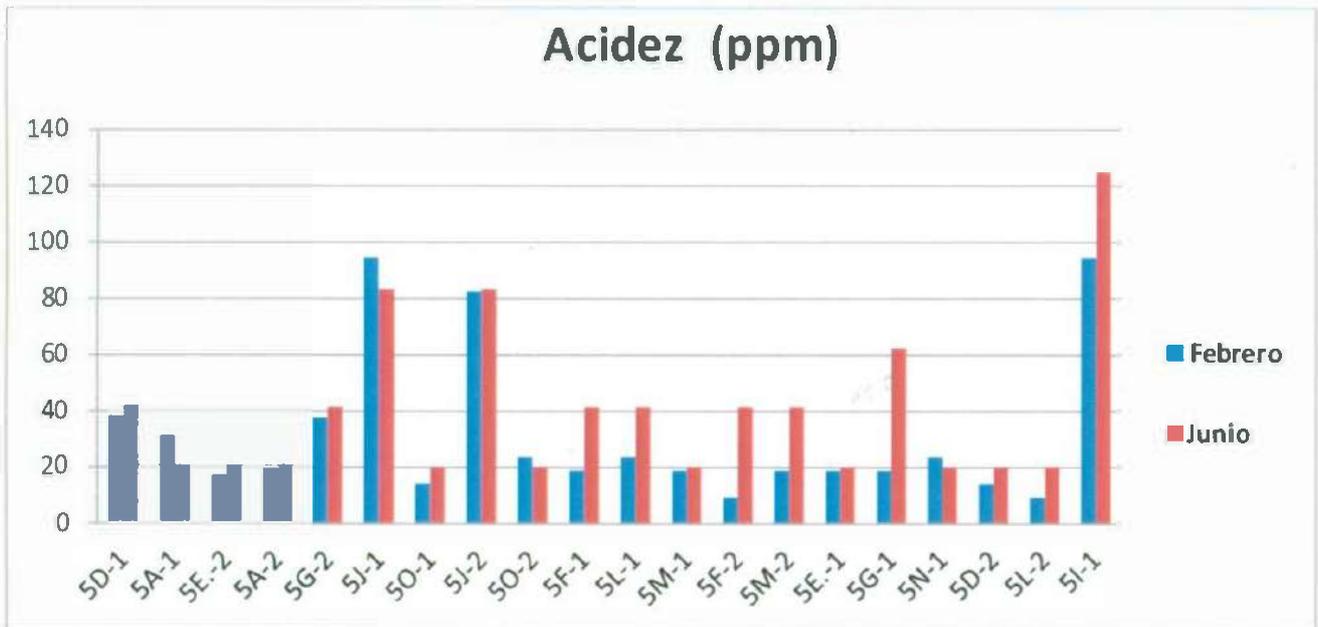


Fig. 12. Resultados comparativos de los análisis de Acidez en el agua de los bebederos-enfriadores.

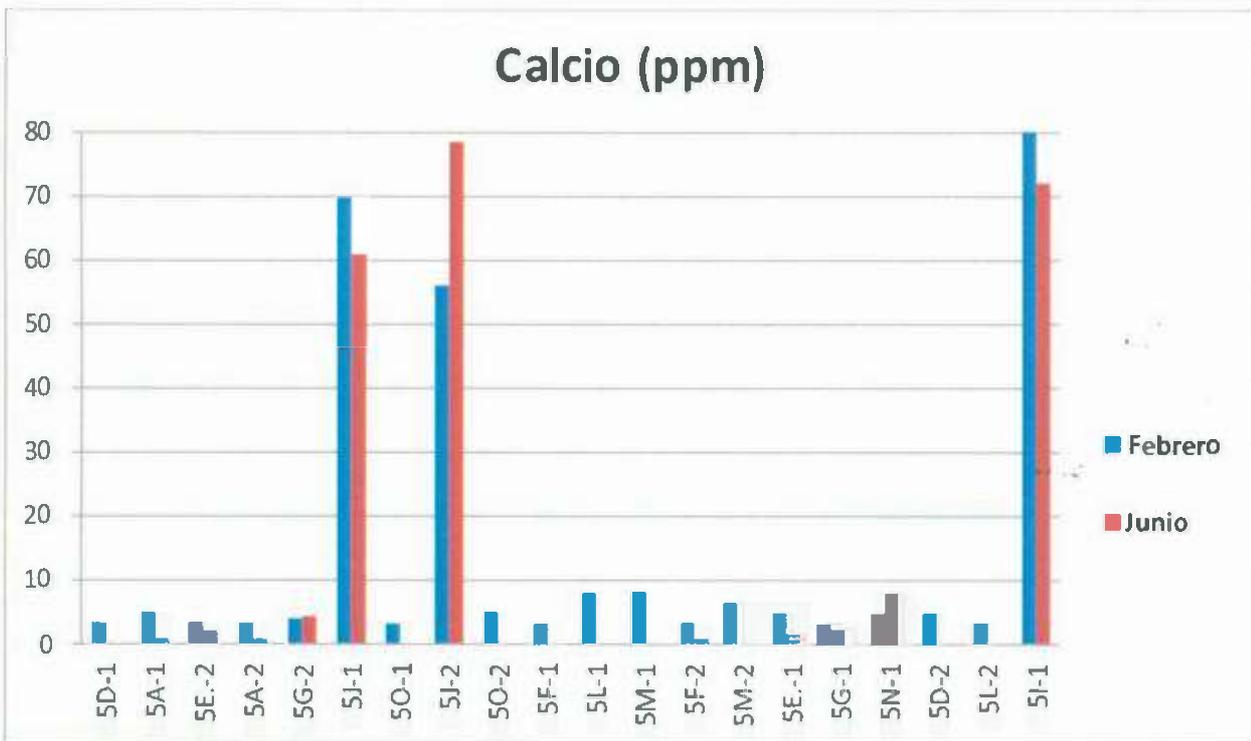


Fig. 13. Resultados comparativos de los análisis de Calcio en el agua de los bebederos-enfriadores.

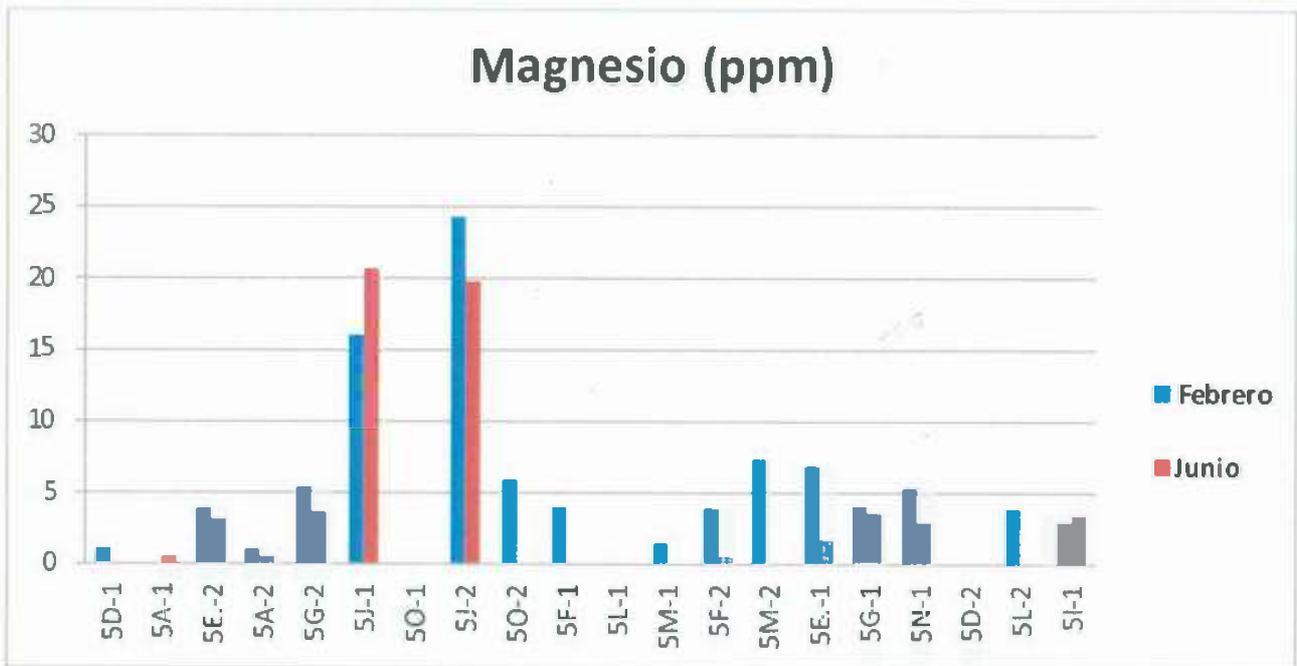


Fig. 14. Resultados comparativos de los análisis de Magnesio en el agua de los bebederos-enfriadores.

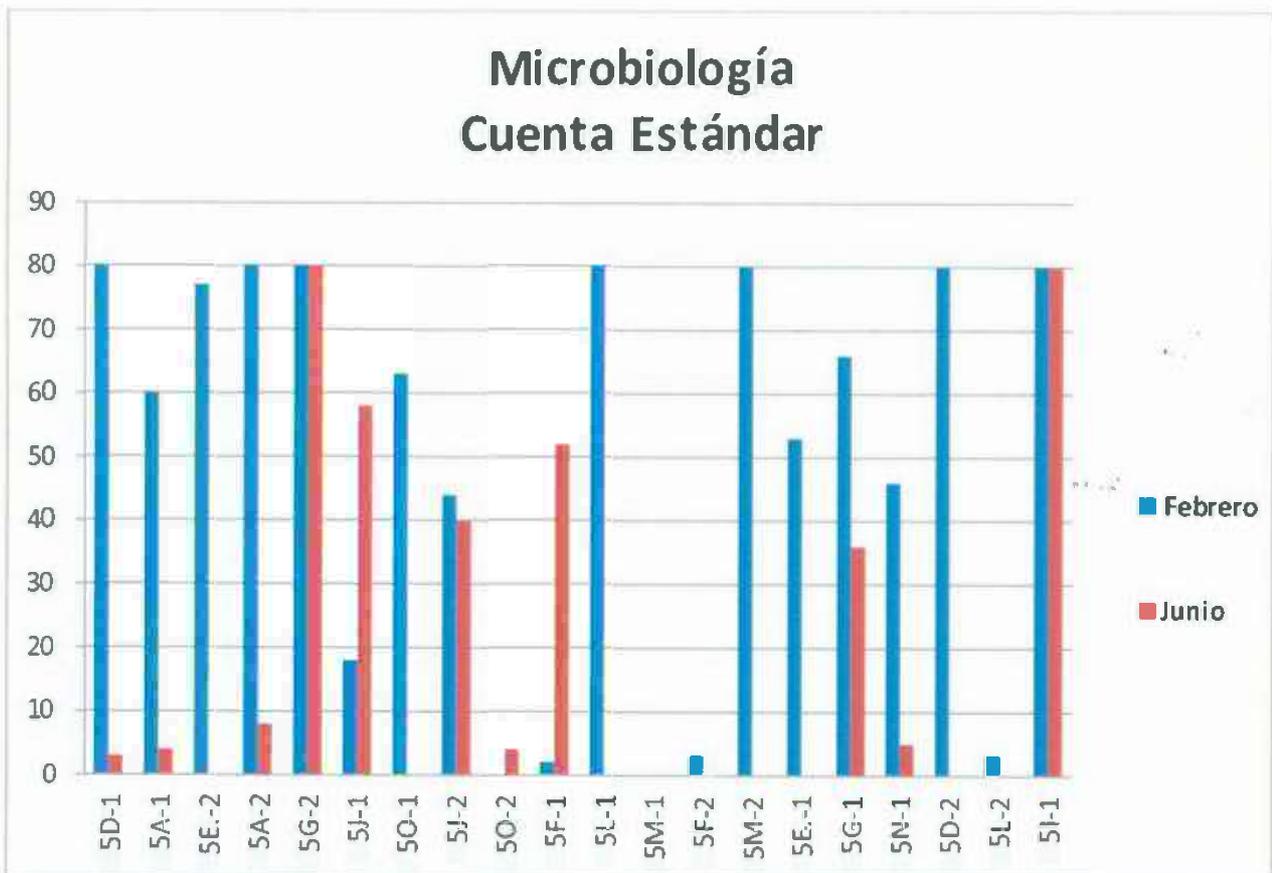


Fig. 15. Resultados comparativos del análisis microbiológico en el agua de los bebederos-enfriadores.

## CONCLUSIONES

Los procesos de tratamiento de agua adecuadamente utilizados son efectivos para suministrar una barrera a los microorganismos que alcanzan el sistema de distribución. Esto no es, sin embargo, preludio del paso de todos los organismos patógenos que alcanzan el sistema de distribución.

Se utiliza un solo tipo de filtro de carbón (Filtro de carbón activado Block), por lo que el filtro de carbón activado granular (GAC), no lo aplican. Se considera que este último también debiera de utilizarse ya que el diámetro del carbón es muy diferente y con una finalidad más específica que el carbón activado en bloque.

En los empaque de los filtros de carbón activado se observó claramente como el filtro de sedimentos permite el paso de materia sólida (y muy evidente por el color café en la parte superior de estos filtros). Y al pasar los sedimentos a través de los filtros de carbón, éstos se tapan y el carbón pasa a desactivarse.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye que los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los valores que marcan las normas oficiales mexicanas actuales NOM-127-SSA1-1994, NOM-041-SSA1-1993, NOM-230-SSA1-2002 salvo en algunos casos que se presentaron valores incongruentes de pH respecto a lo estipulado en la norma.

Por otro lado, los datos revelan que en los resultados obtenidos en los análisis microbiológicos hubo crecimiento de microorganismos del tipo de contaminantes ambientales. Estos datos fueron encontrados en el agua proveniente de bebederos que no cubrieron los requisitos de limpieza en la bandeja y boquilla, en el 20% de los casos.

La eficacia de los sistemas de purificación por la técnica de ósmosis inversa en términos generales fue buena excepto en los bebederos-enfriadores 5J-1, 5J-2, 5N-2 los cuales presentaron valores de solutos sumamente altos lo que significa que no hubo retención de sólidos en los filtros correspondientes.

Se debe investigar las interacciones entre los parámetros y las maneras en que unas afectan a las otras específicamente la relación entre temperatura y oxígeno

disuelto, y entre flujo y turbidez. La temperatura ejerce una influencia directa en la cantidad de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua.

La prueba de cuenta estándar fue útil como prueba de control de rutina de la calidad del agua en los tinacos y en el proceso de tratamiento en los enfriadores y como un método de estimación de la calidad sanitaria de la misma. El ensayo sirvió para indicar la eficiencia de la filtración y desinfección del agua; fue útil para estimar las condiciones sanitarias de los tinacos que fueron muestreados, de las tuberías de distribución y de las condiciones físicas de los bebederos, y lo más importante como un indicador de contaminación súbita de abastecimientos. Para la interpretación de los resultados obtenidos se tomó muy en cuenta la temperatura y el tiempo de incubación para el crecimiento microbiano. En el presente estudio se puso en evidencia las malas condiciones de higiene y limpieza de las bandejas y boquillas de casi la totalidad de los bebederos- enfriadores estudiados, ya que en algunos de ellos, tanto en el primer como en el segundo muestreo se reportó como "incontable" el número de bacterias resultantes. Se conoce que un incremento súbito en el valor del conteo total en placa es indicativo de contaminación de la fuente de la muestra. Aunque no existe establecida una norma sobre el máximo número de bacterias permisibles para aguas seguras, se acepta generalmente un valor de 200 bacterias /mL a 35 °C.

Se puso de manifiesto que no hubo crecimiento de microorganismos coliformes, los cuales crecen normalmente a 35 °C. Su presencia en el agua es considerada como un índice evidente de la ocurrencia de contaminación fecal y con organismos patógenos.

El presente estudio representa una fuente útil de información que pretende coadyuvar a optimizar los procesos involucrados en la potabilización, suministro y manejo del agua para consumo humano y factores que afecten la calidad del agua en beneficio de la comunidad universitaria.

## RECOMENDACIONES

1. Es de relevante importancia darle un mayor seguimiento al estado del equipo, tanto sanitario como funcional:
  - Se detectó durante la realización de este trabajo que el servicio de cambio de filtros no se realiza en el tiempo recomendado, por lo que se desearía que hubiera un control de esto.
  - Más del 60% de los bebederos-enfriadores analizados se encuentran en condiciones pésimas de limpieza por lo que se recomienda un programa sanitario, así como la concientización para hacer buen uso de ellos.
2. Debido a que los bebederos-enfriadores se alimentan de una serie de cisternas diferentes instaladas por todo el campus, se recomienda realizar el análisis de agua tanto para el equipo como para la cisterna en diferentes estaciones del año.
3. Se recomienda continuar con el estudio y determinar otros parámetros como metales (As, Cu, Mn, Fe, Pb) ya que las tuberías que abastecen el agua potable en la Universidad de Sonora, son de las más antiguas de la ciudad, por lo que habría que prestar mayor atención.
4. Es necesario un sistema para llevar un registro en tiempo real del estado tanto físico como funcional del equipo, ya que este no existe. En base a una serie de sencillas pruebas, se podría comprobar su funcionamiento y así darle los servicios necesarios para garantizar la calidad de agua que los estudiantes del campus requieren.

5. Al Comité Consultivo Nacional de Normalización, Regulación y Fomento Sanitario de la Secretaría de Salud y a la Comisión Federal para la protección contra riesgos sanitarios (COFEPRIS), que se encarga de establecer las reglas, especificaciones y directrices de la Norma Oficial Mexicana, se recomienda una revisión rigurosa de los valores límites permisibles de los parámetros físico-químicos y microbiológicos estudiados ya que varios de éstos se encuentran por debajo de los valores límites establecidos en otros Países.

## BIBLIOGRAFIA

Alcamo, E. 1996. Microbiology. Wiley Publishing, Inc. Págs. 101-109.

Asociación para la Calidad del Agua, Water hardness classifications, 2000.

Tomado del sitio <http://www.wqa.org/sitelogic.cfm?ID=362>

Bartenhagen, K., m. Turner y D. Osmond, Bacteria, 1995.

- Brown, J., What the Heck is an E. coli; 1997. Tomado del sitio <http://people.ku.edu/%7Ejbrown/ecoli.html>

Brown, T.L., H. E. LeMay y B. E. Bursten, 1998. Química, la ciencia central, séptima edición, Prentice Hall, México.

Chang, R., Química. 1998. Sexta edición, Mc.Graw-Hill, México, D.F.

Davis, M.L. & Masten, S.J. 2009. Ingeniería y Ciencias Ambientales, Mc. Graw-Hill, págs. 66-71.

Escobedo, M.T., Salas, P.J., Muñoz, M.G. 2006. Evaluación de los Procesos de Purificación de una Despachadora de agua potable en Ciudad Juárez. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. CULyT.año3,no.13. pag: 17-25

Galal-Gorchev, h., Hazardous chemical in human and environmental health, 2000. Tomado del sitio [http://www.who.int/pcs/training\\_material/hazardous\\_chemical/section\\_1.htm](http://www.who.int/pcs/training_material/hazardous_chemical/section_1.htm)

García Lares, E., Flores Trujillo, G. y Montaña Escalante, M. 2012. Estimación del consumo de agua en los laboratorios del Departamento de Ciencias Químico-Biológicas y Alternativas de ahorro. Editorial Trillas. 1era edic. pags.108-109.

Gregory, G. y E. Frick, Fecal-coliform bacteria concentrations in streams of the Chattahoochee

Geissler, G. y Arroyo, M. 2011. El agua como un recurso natural renovable.

River National Recreation Area, Metropolitan Atlanta, Georgia, May-October 1994 and 1995, Water-Resources. Investigation Report 00-4139, 2002.

<http://www.ga.usgs.gov/publications/wrir00-4139.pdf>

Holliday, P., The Chattahoochee: A river facing peril and possibility. Tomado del s./f. sitio

[http://sherpaguides.com/georgia/chattahoochee/chattahoochee\\_in\\_peril/index.html](http://sherpaguides.com/georgia/chattahoochee/chattahoochee_in_peril/index.html)

IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del agua (2013). Revista Digital núm. 4. [http://www. aguasimple.org.mx](http://www.aguasimple.org.mx)

Inversionista, Periódico. Sectores. 31/01/2014, págs. 18-19.

Jawetz, E., J.L. Melnick, y E.A. Adelberg, Manual de Microbiología médica, quinta edición, El Manual Moderno, S.A., México, D.F., 1973.

Larios de Anda, G. 2005. Manual de parámetros de la calidad del agua, Project WET. International Foundation. Instituto Mexicano de Tecnología del agua. (IMTA)

Larios de Anda, G. 2005. Agua Saludable, Gente Saludable. Guía para educadores de la calidad del agua. Project WET International Foundation. Instituto mexicano de Tecnología del agua.

Lawrence, S. Chattahoochee Riverway Project, 2002. Tomado del sitio <http://ga2.er.usgs.gov/bacteria/SummaryIntroduction.cfm>

Mitchell, m. y W. Stapp, 1997. Field manual for water quality monitorin, kendall/Hunt Publishing Co. Dubuque.

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002.

Oficina de Protección al Medio Ambiente (EPA), Drinking water pathogens and their indicators: A reference resource, 1999. Tomado del sitio web: <http://Wilkes.edu/~eqc/coliform.htm>

Organización Mundial de la Salud, 1996. Guidelines for drinking water quality, 2nd. Ed., Vol 2. Health criteria and other supporting information. Sitio [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/EDWO/chemicals/tdsfull.htm](http://www.who.int/water_sanitation_health/EDWO/chemicals/tdsfull.htm)

Physical and Chemical tests: Turbidity. 1995. Sitio: <http://redtail.eov.edu/streamwatch/swm19.html>

Physical and Chemical tests: Conductivity, 1995. Tomado del sitio de Melbourne Parks and Waterways: <http://redtail.eou.edu/streamwatch/swm18.html>

Pineda, P. N. 1998. Hermosillo y el agua. El Colegio de Sonora. Pag. 139-145.

Sociedad Americana de Microbiología (American Society for Microbiology), Microbial Reproduction, 1999. Tomado del sitio web: <http://ww.microbe.org/microbes/reproduction.asp>

Sociedad Americana de Química, 2002. ChemCom: Chemistry in the community, W. H. Freeman and Company, N.Y.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. 21 th Ed. Washington D.C. 2005. E.U.A.

Turbidity in drinking water. 2001. Sitio de Everpure:

<http://www.everpure.com/waterU/11-turbidity>

USEPA, 1996. En: Instituto Mexicano de Tecnología del agua, 2005. La Calidad del agua. Wet International Foundation.

Valdivia Z.B., Ormachea M.M., García M.E. (2009). Estudio de la calidad de los recursos hídricos en la localidad de Apolo, departamento de la Paz. Revista Boliviana de Química. V.26 n.2 la Paz.

Water Quality Index: turbidity, 1999. Sitio <http://www.kancrn.org/stream/>

[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual7tesis/basic/marchand\\_p\\_e/anteced.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual7tesis/basic/marchand_p_e/anteced.htm)