

**UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA" DE ICA**  
**FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA**



**TESIS:**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**QUÍMICO FARMACÉUTICO**

**DETERMINACIÓN DE LA DUREZA TOTAL DEL  
AGUA Y TIEMPO ÓPTIMO DE TEMPERATURA  
EBULLICIÓN PARA SU MÁXIMO  
ABLANDAMIENTO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. PAMELA ROCIO DONAYRE MEDINA**  
**Bach. JORGE LUIS ACOSTA NEYRA**

**ASESORES:**

**Q.F. JUAN PEDRO ANGULO MENDOZA**  
**Q.F. JORGE ALCIDES CAPCHA QUISPE**

**ICA - PLRÚ**  
**2014**

## SUMARIO

RESUMEN .....	4
INTRODUCCIÓN .....	6
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
1.1. AGUA .....	8
1.1.1. DEFINICIÓN .....	8
1.1.2. PRESENTACIÓN .....	8
1.1.3. PROPIEDADES FÍSICOS QUÍMICAS .....	8
1.1.4 EL AGUA Y LA VIDA .....	12
1.1.5 EL CICLO DEL AGUA .....	13
1.1.6 EI AGUA DULCE EN LA NATURALEZA .....	14
1.1.7 DECLARACIÓN DE LA ONU SOBRE EL AGUA .....	15
1.1.8 CUERPO HUMANO Y AGUA .....	15
1.1.9 USO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA .....	15
1.1.10 GUA Y TRSMISION DEL CALOR .....	17
1.2. DUREZA DEL AGUA .....	18
1.2.1. DEFINICIÓN .....	18
1.2.2. FORMAS DE EXPRESAR LA DUREZA DEL AGUA .....	18
1.2.3. CLASIFICACIÓN DE DUREZAS DEL AGUA .....	19
1.2.4. MÉTODOS PARA DETERMINAR LA DUREZA DEL AGUA..	20
1.2.5. IMPACTOS GENERALES DE LAS AGUAS DURAS Y BLANDAS .....	21
1.2.6. IMPACTOS EN USO INDUSTRIAL .....	28
<b>CAPÍTULO II: PARTE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>31</b>
2.1. MATERIAL Y MÉTODOS .....	31
2.1.1. MATERIALES .....	31
2.1.2. OBJETO DE ESTUDIO .....	32
2.1.3. TOMA DE MUESTRA .....	32
2.1.4. ANÁLISIS A LA MUESTRA SIN TRATAMIENTO .....	32

2.1.4.1. Análisis Organoléptico .....	32
2.1.4.2. Análisis físicos químicos .....	32
2.1.5. TRATAMIENTO PARA DETERMINAR EL TIEMPO ÓPTIMO DE HERVIDO DEL AGUA DURA PARA ALCANZAR SU MÁXIMO ABLANDAMIENTO. ....	39
2.1.6. ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO Y FÍSICO QUÍMICO AL AGUA TRATADA .....	40
<b>2.2. RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
2.2.1. DEL MATERIAL OBJETO DE ESTUDIO.....	40
2.2.2. DE LAS DETERMINACIONES ORGANOLEPTICAS Y FÍSICO QUÍMICAS DEL AGUA SIN TRATAMIENTO.....	40
2.2.3. DEL TRATAMIENTO TÉRMICO PARA DETERMINAR EL TIEMPO ÓPTIMO DE HERVIDO DEL AGUA DURA PARA QUE ALCANZE SU MÁXIMO ABLANDAMIENTO.....	43
2.2.4. DE LAS DETERMINACIONES ORGANOLEPTICAS Y FÍSICO QUÍMICAS DEL AGUA ABLANDADA. ....	46
COMENTARIO .....	48
CONCLUSIONES .....	60
RECOMENDACIONES .....	51
BIBLIOGRAFÍA .....	52

## RESUMEN

El presente trabajo contiene un estudio sobre el agua que llega a los cinco grifos o caños del laboratorio de química analítica de la facultad de Farmacia y Bioquímica. El agua proviene del pozo de agua que surte Agua a la ciudad Universitaria. Esta agua se bombea del pozo y directamente llega a los destinos trazados. El estudio tiene el propósito de determinar las características organolépticas y físicas químicas del agua sin tratamiento y del agua tratada térmicamente hasta la temperatura de ebullición y mantenida este estado en diferentes tiempos. La contribución es determinar el tiempo óptimo de ebullición del agua para que alcance su máximo ablandamiento. Se coge agua de cada uno de los grifos del laboratorio y se analizan por separados determinándose las características organolépticas de aspecto, color, sabor y olor las mismas que califican al agua estudiada como aceptable para su consumo. De esta misma agua se determinan las características físicas químicas siguientes pH, sólidos solubles totales, conductividad eléctrica, cloruros, sulfatos y dureza total. De cada muestra se trabajó por triplicado. Los resultados de las determinaciones de cada muestra se promedian y se tienen los valores basales de las características físico químicas mencionadas. Siendo los resultados los siguientes: pH 7.1, sólidos solubles totales 512.32 mg/litro, conductividad eléctrica 452.3 su/cm, cloruros 97.74 ppm, sulfatos 109.16, dureza total 10.25 meq de EDTA / L, dureza expresada como ppm  $\text{CaCO}_3$  435 y dureza de mg expresada como ppm de  $\text{MgCO}_3$  63.22. Fijadas las características del agua en estudio se procede al tratamiento térmico. Para esta parte del estudio se coge agua de cada uno de los grifos o caños se homogeniza y se procede al tratamiento que consistió en llevar a hervir un volumen de 6 litros de agua sobre una olla de acero inoxidable y como fuente de calor una cocina a gas. Cuando el agua alcanza la temperatura de ebullición se retira 500 ml, se deja hervir por cinco minutos y se retira 500 ml de agua este proceso de retirar 500 ml agua se repite a los 10, 15 y 20 minutos. En todos los casos se dejó

enfriar las muestras retiradas hasta al día siguiente aproximadamente 18 horas. Después de este tiempo se procede a la filtración. De las aguas filtradas se determina el contenido de la dureza total. De esta parte del trabajo se determina que las aguas hervidas a los 15 y 20 minutos tienen el mismo contenido de dureza total. Concluyéndose que el tiempo óptimo para alcanzar el máximo ablandamiento está entre los minutos 10 y 15; motivo por lo cual se repitió la tarea es decir hervir 6 litros de agua y sacar la primera alícuota a los 10 minutos de hervido y de allí cada minuto de hervido hasta llegar al minuto 15. Se determina que en el minuto 13, 14 y 15 el contenido de dureza total de agua son los mismos. Concluyéndose que son trece los minutos de hervido del agua para que alcance su máximo ablandamiento. La dureza total a partir de los trece minutos de hervido del agua es 6.7 meq EDTA/L, la dureza de Ca expresada como  $\text{CaCO}_3$  es 295 ppm y la dureza de magnesio expresada como  $\text{MgCO}_3$  es de 33.72 ppm.

## INTRODUCCIÓN

El agua es el compuesto químico indispensable para la presencia de todo tipo de vida en la tierra y es el componente más abundante del cuerpo humano.

Antes de su consumo humano el agua viaja a través de las rocas y suelos como parte de su ciclo hidrológico y debido a su alto poder disolvente, va incorporando materiales orgánicos e inorgánicos durante su recorrido. En ocasiones, estos elementos pueden suponer un riesgo para la salud o, por otro lado, ser compuestos fundamentales para el organismo. La concentración de sustancias disueltas en el agua varía dependiendo de la localización geográfica y la estación del año. En lo que respecta a componentes activos, los iones calcio y magnesio son dos de los componentes químicos más importantes presentes en las aguas de consumo público y constituyen el mayor porcentaje de lo que se conoce como Dureza del Agua. También pueden contribuir a la dureza del agua las sales de hierro, manganeso y aluminio. Las aguas blandas, aguas con bajo contenido de calcio y magnesio, suelen haber estado en contacto con rocas impermeables como el granito. Las aguas superficiales en general, suelen ser más blandas que las aguas subterráneas. El agua, además, es una sustancia ampliamente utilizada en la industria, desempeñando diversas funciones: producción de energía por vaporización, transferencia de calor, transporte de materias primas, fabricación de productos, lavado, entre otras.

Las concentraciones de calcio y magnesio en el agua industrial juegan un rol fundamental, ya que pueden causar problemas como incrustación o corrosión de tuberías. Por tal motivo el agua debe someterse generalmente a una serie de procesos que la acondicionen ó ablanden, con el fin de lograr una eficiencia y costos óptimos para la producción. En nuestros laboratorios para la obtención de agua destilada se utilizan

destiladores del agua potable; el equipo tiene una fuente de calor que hace hervir el agua la que se vaporiza, el vapor de agua se condensa en refrigerantes lo que permita la obtención del agua destilada. Durante los procesos de calentamiento del agua van apareciendo sedimentos y posteriormente incrustaciones que poco a poco van ganando tamaño y espesor disminuyéndose la trasmisión del calor y consecuentemente el consumo de energía para obtener agua destilada cada vez es mayor. Aunque existen varias técnicas para ablandar el agua el proceso casero de eliminar la dureza temporal del agua mereció nuestra tención para fijar el tiempo de ebullición en el que se produce el máximo ablandamiento del agua y hacer la propuesta de tener agua ablandada para que se utilice en la obtención de agua destilada con los destiladores de nuestro laboratorio. Motivo por el cual desarrollamos el plan de tesis *DERTERMINACIÓN DE LA DUREZA TOTAL DEL AGUA Y TIEMPO ÓPTIMO DE TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PARA SU MAXIMO ABLANDAMIENTO*. Trabajo que tiene como principal propósito determinar el tiempo optimo de hervido del agua para que alcance su máximo ablandamiento. Este trabajo lo presentamos en tres capítulos, En el primero presentamos el marco teórico del tema: Agua y dureza del agua. En el capítulo dos detallamos la parte experimental o trabajo desarrollado en el Laboratorio de Química Analítica de nuestra facultad y los resultados de las determinaciones efectuadas. En el último capítulo se dan a conocer las conclusiones, recomendaciones y la bibliografía utilizada para cumplir con los objetivos tratados.

Los autores.

## **CAPITULO I: MARCO TEÓRICO**

### **1.1. AGUA**

#### **1.1.1. DEFINICIÓN**

Es un compuesto químico cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida.

#### **1.1.2. PRESENTACIÓN.**

El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor.

Cubre el 71 % de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos donde se concentra el 96,5 % del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74 %. El agua es un elemento común del sistema solar, hecho confirmado en descubrimientos recientes. Puede ser encontrada, principalmente, en forma de hielo; de hecho, es el material base de los cometas y el vapor que compone sus colas.

Desde el punto de vista físico, el agua circula constantemente en un ciclo de evaporación o transpiración (evapotranspiración) y precipitación.

#### **1.1.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

El agua es una sustancia que químicamente se formula como  $H_2O$ ; es decir, que una molécula de agua se compone de dos átomos de hidrógeno enlazados covalentemente a un átomo de oxígeno.

Fue Henry Cavendish quien descubrió en 1781 que el agua es una sustancia compuesta y no un elemento, como se pensaba desde la antigüedad. Las propiedades físico químicas más notables del agua son:

- El agua es líquida en condiciones normales de presión y temperatura. El color del agua varía según su estado: como líquido, puede parecer incolora en pequeñas cantidades, aunque en el espectrógrafo se prueba que tiene un ligero tono azul verdoso. El hielo también tiende al azul y en estado gaseoso (vapor de agua) es incolora.
- El agua bloquea sólo ligeramente la radiación solar UV fuerte, permitiendo que las plantas acuáticas absorban su energía.
- Ya que el oxígeno tiene una electronegatividad superior a la del hidrógeno, el agua es una molécula polar. El oxígeno tiene una ligera carga negativa, mientras que los átomos de hidrógenos tienen una carga ligeramente positiva del que resulta un fuerte momento dipolar eléctrico. La interacción entre los diferentes dipolos eléctricos de una molécula causa una atracción en red que explica el elevado índice de tensión superficial del agua.
- La fuerza de interacción de la tensión superficial del agua es la fuerza de van der Waals entre moléculas de agua. La aparente elasticidad causada por la tensión superficial explica la formación de ondas capilares. A presión constante, el índice de tensión superficial del agua disminuye al aumentar su temperatura. También tiene un alto valor adhesivo gracias a su naturaleza polar.
- La capilaridad se refiere a la tendencia del agua de moverse por un tubo estrecho en contra de la fuerza de la gravedad. Esta propiedad es aprovechada por todas las plantas vasculares, como los árboles.

- Otra fuerza muy importante que refuerza la unión entre moléculas de agua es el enlace por puente de hidrógeno.
- El punto de ebullición del agua (y de cualquier otro líquido) está directamente relacionado con la presión atmosférica. Por ejemplo, en la cima del Everest, el agua hierve a unos 68° C, mientras que al nivel del mar este valor sube hasta 100°. Del mismo modo, el agua cercana a fuentes geotérmicas puede alcanzar temperaturas de cientos de grados centígrados y seguir siendo líquida. Su temperatura crítica es de 373,85 °C (647,14 K), su valor específico de fusión es de 0,334 kJ/g y su índice específico de vaporización es de 2,23kJ/g. El agua es un disolvente muy potente, al que se ha catalogado como el disolvente universal, y afecta a muchos tipos de sustancias distintas. Las sustancias que se mezclan y se disuelven bien en agua —como las sales, azúcares, ácidos, álcalis, y algunos gases son llamadas *hidrófilas*, mientras que las que no combinan bien con el agua —como lípidos y grasas— se denominan sustancias *hidrófobas*.
- El agua es miscible con muchos líquidos, como el etanol, y en cualquier proporción, formando un líquido homogéneo. Por otra parte, los aceites son *inmiscibles* con el agua, y forman capas de variable densidad sobre la superficie del agua. Como cualquier gas, el vapor de agua es miscible completamente con el aire.
- El agua pura tiene una conductividad eléctrica relativamente baja, pero ese valor se incrementa significativamente con la disolución de una pequeña cantidad de material iónico, como el cloruro de sodio.
- El agua tiene el segundo índice más alto de capacidad calorífica específica —sólo por detrás del amoníaco— así como una elevada entalpía de vaporización (40,65 kJ mol<sup>-1</sup>);

ambos factores se deben al enlace de hidrógeno entre moléculas. Estas dos inusuales propiedades son las que hacen que el agua "modere" las temperaturas terrestres, reconduciendo grandes variaciones de energía.

- La densidad del agua líquida es muy estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión. A la presión normal (1 atmósfera), el agua líquida tiene una mínima densidad (0,958 kg/l) a los 100 °C. Al bajar la temperatura, aumenta la densidad (por ejemplo, a 90 °C tiene 0,965 kg/l) y ese aumento es constante hasta llegar a los 3,8 °C donde alcanza una densidad de 1 kg/litro. Esa temperatura (3,8 °C) representa un punto de inflexión y es cuando alcanza su máxima densidad (a la presión mencionada). A partir de ese punto, al bajar la temperatura, la densidad comienza a disminuir, aunque muy lentamente (casi nada en la práctica), hasta que a los 0 °C disminuye hasta 0,9999kg/litro. Cuando pasa al estado sólido (a 0 °C), ocurre una brusca disminución de la densidad pasando de 0,9999 kg/l a 0,917 kg/l.
- El agua puede descomponerse en partículas de hidrógeno y oxígeno mediante electrólisis.
- Como un óxido de hidrógeno, el agua se forma cuando el hidrógeno (o un compuesto conteniendo hidrógeno) se quema o reacciona con oxígeno (o un compuesto de oxígeno).
- Los elementos que tienen mayor electro positividad que el hidrógeno —como el litio, el sodio, el calcio, el potasio y el cesio— desplazan el hidrógeno del agua, formando hidróxidos. Dada su naturaleza de gas inflamable, el hidrógeno liberado es peligroso y la reacción del agua combinada con los más electropositivos de estos elementos es una violenta explosión.

#### 1.1.4. EI AGUA Y LA VIDA

La existencia de agua en estado líquido —en menor medida en sus formas de hielo o vapor— sobre la Tierra es vital para la existencia de la vida tal como la conocemos. La Tierra está situada en un área del sistema solar que reúne condiciones muy específicas, pero si estuviésemos un poco más cerca del Sol —un 5 %, o sea 8 millones de kilómetros— ya bastaría para dificultar enormemente la existencia de los tres estados de agua conocidos. La masa de la Tierra genera una fuerza de gravedad que impide que los gases de la atmósfera se dispersen. El vapor de agua y el dióxido de carbono se combinan, causando lo que ha dado en llamarse el efecto invernadero. Aunque se suele atribuir a este término connotaciones negativas, el efecto invernadero es el que mantiene la estabilidad de las temperaturas, actuando como una capa protectora de la vida en el planeta. Si la Tierra fuese más pequeña, la menor gravedad ejercida sobre la atmósfera haría que ésta fuese más delgada, lo que redundaría en temperaturas extremas, evitando la acumulación de agua excepto en los casquetes polares (tal como ocurre en Marte).

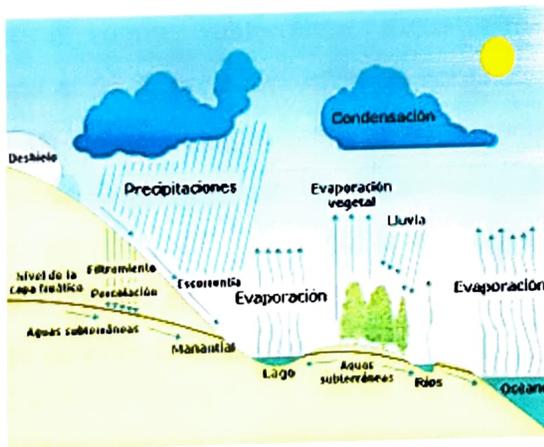
El agua es fundamental para todas las formas de vida conocidas. El hombre posee del 65 % al 75 % de su peso en agua y el porcentaje es menor a medida que la persona crece, en y algunos animales supera el 99 %. Los recursos naturales se han vuelto escasos, y dentro de ellos el agua, con la creciente población mundial y su disposición en varias regiones habitadas es la preocupación de muchas organizaciones gubernamentales. Según la ONU, actualmente 80 países del mundo sufren debido a la falta de agua. En la China, donde se concentra 1/5 de la población mundial y

menos de 1/10 del agua del planeta Tierra, se han secado el 35 % de los pozos.

### 1.1.5. EL CICLO DEL AGUA

Con ciclo del agua —conocido científicamente como el *ciclo hidrológico*— se denomina al continuo intercambio de agua dentro de la hidrosfera, entre la atmósfera, el agua superficial y subterránea y los organismos vivos. El agua cambia constantemente su posición de una a otra parte del ciclo de agua, implicando básicamente los siguientes procesos físicos:

- evaporación de los océanos y otras masas de agua y transpiración de los seres vivos (animales y plantas) hacia la atmósfera,
- precipitación, originada por la condensación de vapor de agua, y que puede adoptar múltiples formas,
- escorrentía, o movimiento de las aguas superficiales hacia los océanos.



La energía del sol calienta la tierra, generando corrientes de aire que hacen que el agua se evapore, ascienda por el aire y se condense en altas altitudes, para luego caer en forma de lluvia. La mayor parte del vapor de agua que se desprende de

los océanos vuelve a los mismos, pero el viento desplaza masas de vapor hacia la tierra firme, en la misma proporción en que el agua se precipita de nuevo desde a la tierra como lluvia, nieve o granizo.

#### 1.1.6. **EI AGUA DULCE EN LA NATURALEZA**

El agua dulce en la naturaleza se renueva gracias a la atmósfera que dispone de 12.900 km<sup>3</sup> de vapor de agua. Sin embargo, se trata de un volumen dinámico que constantemente se está incrementando en forma de evaporación y disminuyendo en forma de precipitaciones, estimándose el volumen anual en forma de precipitación o agua de lluvia entre 113 500 y 120 000 km<sup>3</sup> en el mundo. Estos volúmenes suponen la parte clave de la renovación de los recursos naturales de agua dulce. En los países de clima templado y frío la precipitación en forma de nieve supone una parte importante del total.

También el agua subterránea dulce almacenada, que representa el 96 % del agua dulce no congelada de la Tierra, supone un importante recurso. Los sistemas de aguas subterráneas empleados en abastecimiento de poblaciones suponen entre un 25 y un 40 % del agua potable total abastecida. Así la mitad de las grandes megalópolis del mundo dependen de ellas para su consumo.

Es un compuesto esencial para la fotosíntesis y la respiración. Las células fotosintéticas utilizan la energía del sol para dividir el oxígeno y el hidrógeno presentes en la molécula de agua. El hidrógeno es combinado entonces con CO<sub>2</sub> (absorbido del aire o del agua) para formar glucosa, liberando oxígeno en el proceso. Todas las células vivas utilizan algún tipo de

"combustible" en el proceso de oxidación del hidrógeno y carbono para capturar la energía solar y procesar el agua y el CO<sub>2</sub>. Este proceso se denomina respiración celular. El agua es también el eje de las funciones enzimáticas y la neutralidad respecto a ácidos y bases.

#### **1.1.7. DECLARACIÓN DE LA ONU SOBRE EL AGUA**

La Asamblea General de Naciones Unidas, aprobó el 28 de julio de 2010, en su sexagésimo cuarto período de sesiones, una resolución que reconoce al agua potable y al saneamiento básico como derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos.

#### **1.1.8. CUERPO HUMANO Y AGUA**

El cuerpo humano está compuesto de entre un 55 % y un 78 % de agua, dependiendo de sus medidas y complejidad. Para evitar desórdenes, el cuerpo necesita alrededor de 2,5 litros diarios de agua; la cantidad exacta variará en función del nivel de actividad, la temperatura, la humedad y otros factores. La mayor parte de esta agua se absorbe con la comida o bebidas. No se ha determinado la cantidad exacta de agua que debe tomar un individuo sano, aunque una mayoría de expertos considera que unos 6-7 vasos de agua diarios (aproximadamente dos litros) es el mínimo necesario para mantener una adecuada hidratación.

#### **1.1.9. EL USO DEL AGUA EN LA INDUSTRIA**

La industria precisa el agua para múltiples aplicaciones, para calentar y para enfriar, para producir vapor de agua o como disolvente, como materia prima o para limpiar. La mayor parte, después de su uso, se elimina devolviéndola nuevamente a la naturaleza. Estos vertidos, a veces se tratan, pero otras el agua

residual industrial vuelve al ciclo del agua sin tratarla adecuadamente. La calidad del agua de muchos ríos del mundo se está deteriorando y está afectando negativamente al medio ambiente acuático por los vertidos industriales de metales pesados, sustancias químicas o materia orgánica. También se puede producir una contaminación indirecta: residuos sólidos pueden llevar agua contaminada u otros líquidos, el lixiviado, que se acaban filtrando al terreno y contaminando acuíferos si los residuos no se aíslan adecuadamente.

El agua es utilizada para la generación de energía eléctrica. La hidroelectricidad es la que se obtiene a través de la energía hidráulica. La energía hidroeléctrica se produce cuando el agua embalsada previamente en una presa cae por gravedad en una central hidroeléctrica, haciendo girar en dicho proceso una turbina engranada a un alternador de energía eléctrica. Este tipo de energía es de bajo coste, no produce contaminación, y es renovable.

El agua es fundamental para varios procesos industriales y maquinarias, como la turbina de vapor, el intercambiador de calor, y también su uso como disolvente químico. El vertido de aguas residuales procedentes de procesos industriales causan varios tipos de contaminación como: la contaminación hídrica causada por descargas de solutos y la contaminación térmica causada por la descarga del refrigerante.

Otra de las aplicaciones industriales es el agua presurizada, la cual se emplea en equipos de hidro demolición, en máquinas de corte con chorro de agua, y también se utiliza en pistolas de agua con alta presión para cortar de forma eficaz y precisa

varios materiales como acero, hormigón, hormigón armado, cerámica, etc. El agua a presión también se usa para evitar el recalentamiento de maquinaria como las sierras eléctricas o entre elementos sometidos a un intenso rozamiento.

#### 1.1.10. EL AGUA Y TRASMISION DEL CALOR

El agua y el vapor son usados como transmisores de calor en diversos sistemas de intercambio de calor, debido a su disponibilidad, por su elevada capacidad calorífica, y también por su facultad de enfriar y calentar. El vapor condensado es un calentador eficiente debido a su elevado calor de vaporización. Una desventaja del agua y el vapor es que en cierta manera son corrosivos. En la mayoría de centrales eléctricas, el agua es utilizada como refrigerante, la cual posteriormente se evapora y en las turbinas de vapor se genera energía mecánica, permitiendo el funcionamiento de los generadores que producen electricidad.

En la industria nuclear, el agua puede ser usada como moderador nuclear. En un reactor de agua a presión, el agua actúa como refrigerante y moderador. Esto aumenta la eficacia del sistema de seguridad pasivo de la central nuclear, ya que el agua ralentiza la reacción nuclear, manteniendo la reacción en cadena.

## 1.2. LA DUREZA DEL AGUA

### 1.2.1. DEFINICIÓN

Se denomina agua dura a aquella cuyo contenido de iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  disueltos excede aquello permitido para el uso al que se destina dicha agua. La concentración de sustancias disueltas en el agua puede variar, considerablemente, según la localización geográfica y la estación del año. Frecuentemente, en lo que respecta a componentes activos, la concentración relativa de los iones ó microcomponentes más importantes del agua, en orden decreciente, es la siguiente:

$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$  para los cationes  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$  para los aniones

Estos iones están generalmente presentes en concentraciones que oscilan de 1 a 250 mg/L.

Los restantes iones o microcomponentes se encuentran en menores concentraciones, inferiores a 1  $\mu\text{g/L}$ . Los iones de calcio y magnesio son los principales cationes constituyen el 95% de lo que se conoce como dureza del agua, la cual es una mezcla compleja y variable de cationes y aniones.

### 1.2.2. FORMAS DE EXPRESAR LA DUREZA DEL AGUA

Por lo general la dureza se expresa en mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , pero existen otras diversas unidades que se utilizan en distintos países tales como:

Grado Francés ( $^{\circ}\text{F}$ )  $1^{\circ}\text{F} = 10.00 \text{ mg CaCO}_3 / \text{L}$

Grado Alemán ( $^{\circ}\text{D}$ )  $1^{\circ}\text{D} = 17.85 \text{ mg CaCO}_3 / \text{L}$

Grado Inglés ( $^{\circ}\text{E}$ )  $1^{\circ}\text{E} = 14.25 \text{ mg CaCO}_3 / \text{L}$

El calcio es el principal componente de la dureza en el agua y generalmente se encuentra en un rango de 5 a 500 mg/L en la forma de  $\text{CaCO}_3$ , (2-200 mg/L, como Ca). El magnesio, por lo general, corresponde aproximadamente a una tercera parte de

la dureza total, siendo las dos terceras partes restante la dureza causada por el calcio. El magnesio varía en forma típica entre 40 y 200 mg/L en la forma de  $\text{CaCO}_3$  (10-50 mg/l, como Mg). Además de los ya mencionados, a la dureza total del agua pueden contribuir, en menor proporción, iones polivalentes como el zinc, manganeso, aluminio, estroncio, bario y hierro, disueltos a partir de minerales como la escalerita, armangita, bauxita, estroncianita, witerita y fosfosiderita.

### 1.2.3. CLASIFICACION DE LA DUREZA EN AGUAS

#### 2.3.1 Clasificación de la dureza según aniones asociados al calcio y magnesio.

La dureza puede ser temporal o permanente según los aniones asociados a los cationes causantes de la dureza.

**Dureza Temporal:** Corresponde a los contenidos de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio. Puede ser eliminada por ebullición del agua y posterior eliminación por filtración de los precipitados formados. También se le conoce como dureza de carbonatos.

**Dureza Permanente:** Corresponde a la dureza que queda en el agua después de la ebullición, incluye sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio. También se le conoce como dureza de no carbonatos.

#### 2.3.2 Clasificación de aguas según grado de dureza

En el mundo existen una serie de clasificaciones del agua respecto a su contenido de dureza, siendo una de las más utilizadas la de la Organización Mundial de la Salud (OMS) esquematizada.

$\text{CaCO}_3$ (mg/L)	Tipo de Agua
0 – 60	Blanda
61 - 120	Moderadamente dura
121 - 180	Dura
>180	Muy dura

#### 1.2.4. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE DUREZA DEL AGUA

La dureza del agua se puede determinar mediante métodos clásicos como el Método del Jabón, Método Gravimétrico, Método del EDTA o Volumétrico y también se pueden utilizar métodos avanzados como absorción atómica y plasma.

**Método del Jabón:** Inicialmente se aceptaba que la dureza era la capacidad del agua para precipitar el jabón, por lo que el método consiste en titular el agua con una solución de jabón de concentración conocida, donde el indicador es la propia espuma del jabón, que sólo se forma cuando toda la dureza se ha consumido (o sea después que el jabón de sodio se ha combinado con los iones  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  formando jabones insolubles) con un volumen de solución de jabón que se puede determinar.

**Método Gravimétrico:** Es el método analítico más preciso para determinar la dureza total en aguas de composición desconocida. El calcio se determina por precipitación como oxalato, que luego se calcina para transformarlo en óxido de calcio. El magnesio se analiza precipitándolo como orto fosfato de magnesio y amonio, que también se calcina para convertirlo en pirofosfato de magnesio. La dureza total se calcula sumando el calcio y el magnesio de los residuos calcinados.

**Método del EDTA:** Es un análisis químico cuantitativo volumétrico; Este método analítico es uno de los más utilizados y consiste en una titulación volumétrica, en la que se titula una muestra de agua, cuyo pH se ha amortiguado y se procede a titular con una solución valorada de sal de sodio del ácido

etilendiaminotetracético (EDTA) en presencia del indicador ericromo negro T. Por este método se determina el contenido total de calcio y magnesio de la dureza. En otra alícuota de la muestra en presencia del indicador murexida y un amortiguador de pH más alto, se titula con la misma solución valorada de EDTA y se determina el contenido de solamente calcio. Lo cual permite precisar el contenido de calcio y magnesio en la muestra analizada.

**Métodos avanzados:** El contenido de calcio y magnesio puede ser determinado por espectroscopia de absorción atómica, pero el uso como métodos de control rutinario es económicamente alto por el alto costo del instrumental, mantenimiento e infraestructura requeridos. Por esta razón el método EDTA es el más recomendado y de mayor uso en el mundo.

#### 1.2.5. **IMPACTOS GENERALES DE AGUAS DURAS Y BLANDAS.**

##### 1.2.5.1. **Impactos del Agua Dura**

El que más frecuentemente se observa en el que hacer doméstico, se manifiesta sobre la acción de los jabones. Cuando se utiliza jabón, el cual es una sal de sodio de un ácido graso superior (generalmente de 16 a 18 átomos de carbono por molécula), en aguas duras, se forman precipitados debido a la presencia de calcio, magnesio y hierro. Los iones de calcio de esta agua se unen con los iones disueltos del jabón para formar sales insolubles. Este proceso gasta el jabón impidiendo la formación de espuma y produce un sólido grumoso indeseable, el cual no presenta ninguna utilidad. Con el agua dura se pueden perder hasta 2/3 partes del detergente usado y, además de producirse un mayor desgaste de la ropa por la

rugosidad de los tambores de las lavadoras, se producen manchas de cal en las vajillas, griferías y sanitarios.

El agua muy dura, además puede empeorar las características de las bebidas o de los alimentos preparados con ella; por ejemplo, se produce una capa en la superficie del café o del té, se pierde gran parte de las sustancias aromáticas de los alimentos y bebidas (debido a la unión con el carbonato de calcio) y muchos consumidores han reportado un sabor desagradable en aguas con durezas elevadas (el umbral de sabor del calcio está entre 100 a 300 mg/L, el sabor desagradable se reporta con niveles sobre los 500 mg/L; contenidos de magnesio sobre los 170 mg/L, asociados además a aniones cloruro y sulfato, son responsables del sabor amargo del agua). Según algunos registros, el tiempo de cocción de los vegetales y de la carne aumenta con el agua dura. Algunos estudios indican que las concentraciones de calcio en vegetales aumentan si éstos son cocidos en aguas duras y disminuyen notablemente si son cocidos en aguas blandas.

El agua con niveles de dureza superior a los 200 mg/L puede causar la aparición de incrustaciones en los sistemas de distribución, dependiendo además de la interacción con otros factores, como el pH y la alcalinidad. Estas incrustaciones afectan a las redes de distribución tanto domésticas como industriales y se producen principalmente por una descomposición térmica de los bicarbonatos de calcio y magnesio solubles en el agua por calentamiento, en donde se elimina el dióxido de carbono y se precipitan los carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) que son insolubles, los que luego se depositan sobre las superficies de tuberías y calderas. Las incrustaciones están compuestas principalmente por calcita en mayor proporción, y por dragonita en menor proporción. Ambos son carbonatos de

calcio con igual composición química, sin embargo, la calcita tiene una capacidad incrustante superior a la dragonita.

De no aplicarse un efectivo control de estas reacciones naturales, la adhesión constante y progresiva de carbonatos de calcio y magnesio provoca el crecimiento de una costra incrustante de importantes espesores en las paredes de los sistemas de distribución, la cual es mecánicamente dura de remover y térmicamente muy aislante, lo cual reduce enormemente la eficiencia de la transferencia de calor al agua. Esto no solo implica pérdida de la capacidad de caudal en las tuberías, sino que también un exceso de consumo de energía para producir calentamiento o enfriamiento.

#### **1.2.5.2. Impactos del Agua Blanda**

El agua blanda, cuya dureza es inferior a 100 mg/L, puede tener una capacidad amortiguante reducida y resultar, por tanto, más corrosiva para las tuberías, por lo que ciertos metales pesados como el cobre, zinc, plomo y cadmio pueden estar presentes en el agua potable que se distribuye. El grado de corrosión de los metales también depende del pH, la alcalinidad y de la concentración de oxígeno disuelto. Así como el agua muy dura posee un sabor desagradable, según sus consumidores, para el agua muy blanda, como por ejemplo, el agua destilada o el agua de lluvia, también se reportan un sabor desagradable, que es expresado por mucha gente como de un sabor jabonoso. Es esencial un mínimo contenido de minerales, de los cuales las sales de calcio y magnesio son las más importantes, para que el agua tenga un sabor agradable y refrescante para el consumidor.

### **1.2.5.3. Impactos en la salud**

La dureza del agua está compuesta esencialmente por dos elementos, calcio y magnesio, los cuales son fundamentales para el organismo. El Calcio es el catión divalente más abundante en el organismo humano y aporta cerca de 1.5 a 2.0% del peso total. Es responsable de funciones estructurales que afectan el esqueleto y los tejidos blandos; además, juega un papel importante en la transmisión neuromuscular de estímulos químicos y eléctricos, en el buen funcionamiento del sistema de conducción miocárdica, en la transmisión de información intracelular y la coagulación de la sangre. Más del 99% del contenido de calcio se encuentra en el esqueleto, en la estructura de huesos y dientes. Debido a su función en la transmisión neuromuscular ejerce un papel importante en la contracción muscular y cardíaca, aumentando la amplitud del latido cardíaco a medida que su concentración se eleva. La osteoporosis y la osteomalacia son las manifestaciones más comunes de la deficiencia de calcio, y en menor grado, pero no menos importante, se ha comprobado que una deficiencia de calcio en el organismo puede causar hipertensión. El consumo diario de calcio recomendado para un adulto está entre el rango de 1000 a 1300 mg/día, siendo estos valores diferentes en estados patológicos. Considerando un consumo de 2 litros de agua con una concentración de 100 mg/L de calcio, esta aportaría aproximadamente el 20% del calcio recomendado para el adulto (1000 mg/día), aumentando este porcentaje para los niños e infantes. El Magnesio (Mg) tiene un papel esencial como cofactor y activador de más de 300 reacciones enzimáticas incluyendo la glicólisis, el metabolismo del ATP, el transporte de elementos como el sodio, el potasio y calcio a través de membranas celulares, síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, en la excitabilidad neuromuscular y la contracción y

relajación muscular. Actúa como antagonista natural del calcio. Se encuentra en un 60 a 65% en los huesos, 27% en los músculos, de 6 a 7% en otras células y 1% en los líquidos extracelulares. Una deficiencia de magnesio en el organismo, incrementa el riesgo en el ser humano de desarrollar variadas patologías, tales como, vasoconstricción, hipertensión, arritmia cardíaca, aterosclerosis vascular, infarto agudo al miocardio, eclampsia en mujeres embarazadas, posiblemente diabetes tipo II y osteoporosis. El consumo diario recomendado de magnesio para un adulto está en el rango de 300 a 400 mg/día. Al igual que para el calcio, considerando un consumo de 2 litros de agua con una concentración de 50 mg/L de magnesio, esta aportaría aproximadamente el 12,5% del magnesio recomendado para el adulto (400 mg/día), aumentando este porcentaje para los niños e infantes. El agua de consumo humano es una fuente esencial de elementos como el calcio y magnesio para la dieta diaria, por lo cual algunas enfermedades podrían relacionarse con la dureza presente en el agua de consumo.

#### **1.2.5.4. Dureza del agua y enfermedades cardiovasculares**

Las enfermedades cardiovasculares están entre las principales causas de mortalidad en el mundo. Las enfermedades cardiovasculares, por ejemplo, la enfermedad cardíaca coronaria, la enfermedad cardíaca isquémica y la hipertensión, pueden llegar a tener consecuencias fatales, e incluso, llevar a la muerte, la que se produce generalmente por infarto agudo al miocardio, provocado principalmente por la obstrucción de una arteria coronaria o arteria periférica que impide el acceso de oxígeno al músculo cardíaco. Los principales factores de riesgo para estas patologías son la hipertensión, el tabaquismo, el abuso de alcohol, los hábitos alimenticios y la inactividad física.

Sin embargo, estos factores clásicos no explican totalmente la variabilidad de la mortalidad por enfermedades cardiovasculares en los diferentes países, por lo que se debe poner particular atención en factores ambientales como el clima, la polución del aire o el contenido de minerales del agua de consumo. El alto consumo de calcio y magnesio por ingesta de agua dura proporciona un suministro adecuado de estos minerales a la dieta. El rol de estos minerales, en el desarrollo de la hipertensión, ha sido investigado extensamente, mostrando una baja incidencia de esta enfermedad en poblaciones con una dieta rica en calcio y magnesio. Las aguas blandas pueden producir pérdidas de calcio y magnesio en la elaboración de los alimentos, limitando su disponibilidad en el organismo.

#### **1.2.5.5. Dureza del agua y litiasis urinaria**

La urolitiasis es una enfermedad multifactorial en la que se han implicado aspectos epidemiológicos, raciales, geográficos y hereditarios de las poblaciones estudiadas. Se describen como factores de riesgo para la urolitiasis la hipercalciuria, la hiperuricosuria, el volumen urinario bajo, los hábitos alimentarios, el sexo, y factores genéticos, climáticos y sociales. El impacto económico de la enfermedad es considerable debido a la recurrencia infecciones urinarias, a la necesidad de extracción quirúrgica y en el peor de los casos, a la progresión hacia una insuficiencia renal crónica. Los cálculos que contienen calcio (principal componente de la dureza) más frecuentemente identificados son los de oxalato y fosfato. La tendencia de la orina a formar cálculos de oxalato cálcico, por ejemplo, depende de la actividad iónica de los iones  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{C}_2\text{O}_4$  (oxalato). La actividad iónica, es la concentración de cada ión disponible para combinarse con uno de carga opuesta y,

por tanto, iniciar un proceso de formación de cristales (nucleación). Esta nucleación depende de algunos factores como el pH que aumenta o disminuye la solubilidad de productos susceptibles de formar cálculos, la diuresis (volumen de orina) y la presencia de inhibidores de cristalización, como los iones pirofosfato o los citratos, que inhiben la nucleación espontánea de los cristales de calcio.

#### **1.2.5.6. Dureza de agua y otras enfermedades**

Los resultados de diversos estudios han sugerido que una variedad de otras enfermedades están relacionadas con la dureza de agua. Éstas incluyen ciertos defectos y anomalías del sistema nervioso como la anencefalia, mortalidad perinatal y varios tipos de cáncer. Con respecto a los tipos de cáncer relacionados con la dureza estudiados en los últimos años, se encuentran el cáncer rectal, cáncer de colon, cáncer de páncreas, cáncer de pulmón y cáncer de próstata, todos ellos estudiados por Chun-Yang, científico taiwanés que analizaba esta relación mediante estudios epidemiológicos de caso-control, los cuales presentan variables muy locales. Otro efecto en la salud causado por la dureza del agua son las alteraciones en la piel la cual posee originalmente un pH ácido que evita la proliferación de bacterias. El contacto con el agua dura alcaliniza este pH, dificultando la acción del jabón posibilitando el desarrollo de infecciones y, por consiguiente, la aparición de granos, picazones, sequedad de la dermis y tacto rugoso. Si bien algunos de estos hallazgos han sido demostrados en diferentes países, todavía existen grandes dudas acerca de su significado. Estas relaciones pueden simplemente estar reflejando pautas de enfermedades que pueden explicarse teniendo en cuenta los factores sociales, climatológicos y ambientales, más que la dureza del agua en sí.

### 1.2.6. **IMPACTOS EN USO INDUSTRIAL**

El agua es esencial prácticamente en todas las operaciones industriales, pero sólo en raras ocasiones es posible utilizarla tal y como se extrae de un río, lago o un pozo. Si no se toman las precauciones necesarias, las impurezas que contiene a causa de la contaminación natural o artificial pueden afectar gravemente tanto a los equipos como a los productos. Hay pocas aplicaciones importantes del agua que son exclusivas de una sola industria. Las principales, generación de vapor, enfriamiento y procesamiento, son comunes a todas las industrias. Los diferentes procesos en que interviene el agua tales como el transporte y lavado, pueden aplicarse en diversas industrias, que no tienen ninguna relación entre sí.

Un contaminante específico puede ser perjudicial en diversas operaciones industriales. En este caso el calcio y el magnesio son los principales contaminantes que forman incrustaciones en la mayoría de los abastecimientos de agua cruda. Casi todos los métodos de tratamiento para agua de calderas tienen como principal objeto evitar o reducir la formación de los depósitos de calcio y magnesio. Estos dos iones producen, sobre las superficies de transferencia térmicas y otras partes internas del sistema de calderas, depósitos voluminosos y pesados, que varían desde incrustaciones duras hasta precipitados suaves. Si en una caldera se utiliza agua de alimentación no tratada, en un lapso muy corto, las superficies de transferencia de calor se cubren con incrustaciones de sulfato de calcio (que produce un depósito duro y cristalino) y carbonato de calcio, que puede existir ya sea como depósito suave o como capas duras. El carbonato de calcio es uno de los principales constituyentes de los depósitos en los sistemas

de precalentamiento. Las sales de magnesio, tales como el silicato de magnesio y el hidróxido de magnesio, generalmente forman depósitos suaves y lodo. Estos depósitos, entre otros provienen de la dureza, interfieren gravemente con la transferencia de calor y reducen la eficiencia. Si no se evitan o eliminan a intervalos apropiados, se producirán fallas frecuentes en la tubería. Puesto que el calcio y el magnesio a las condiciones químicas existentes en las calderas reaccionan de un modo distinto, ambos deben determinarse en el análisis de agua de alimentación, en lugar de combinarse como una determinación total de la dureza. Las concentraciones de calcio y magnesio encontradas en las aguas industriales, fluctúan desde varios cientos de miligramos por litro en los abastecimientos de agua cruda hasta  $1\mu\text{g/L}$  o menos en el agua de alimentación para calderas de alta presión. En los sistemas de enfriamiento abiertos pueden formarse incrustaciones y depósitos debido a la concentración de sólidos disueltos que se produce durante el enfriamiento por evaporación. Cuando se sobrepasan los límites de solubilidad, el carbonato de calcio se precipita en la forma de depósitos o lodos. También puede depositarse sulfato de calcio en algunos sistemas abiertos de recirculación, a menos que se ajuste debidamente la purga.

En industrias específicas se tiene, por ejemplo, que los iones de calcio y magnesio son elementos importantes en el teñido de los textiles. Pueden precipitar ciertas anilinas, dando como resultado manchas o estrías en los artículos teñidos, o bien, pueden actuar como mordentes, originando una mayor absorción de la tintura y coloraciones más profundas. En la industria petrolera las incrustaciones naturales que más preocupan a los productores de petróleo son el carbonato de

calcio y sulfato de calcio, las cuales se producen por temperatura, presión y sales disueltas totales en los diferentes procesos. En esta industria también puede producirse corrosión, la cual está muy ligada a la presencia de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

## **CAPITULO II: PARTE EXPERIMENTAL**

### **2.1. MATERIALES, MÉTODOS Y TÉCNICAS.**

#### **2.1.1. MATERIALES**

##### **Material de vidrio:**

- Vasos de precipitados
- Pipetas
- Fiolas
- Erlenmeyer
- Varillas agitadoras
- Tubos de ensayo
- Embudos
- Buretas
- Frascos viales

##### **Otros Materiales:**

- Capsulas de porcelana
- Papel filtro
- Porta embudos
- Rejillas porta tubos
- Espátulas
- Mortero
- Soporte universal
- Pinzas
- Ollas de acero inoxidable

##### **Equipos**

- Balanza analítica
- Estufa
- Cocinilla eléctrica
- Cocina a gas
- Potenciómetro digital

- Reloj

### **2.1.2. OBJETO DE ESTUDIO.**

Para desarrollar el trabajo se tuvo como objeto de estudio el agua que llega en los diferentes grifos del laboratorio de química analítica de la facultad de farmacia y bioquímica.

### **2.1.2. TOMA DE MUESTRA**

La muestra a analizar se recogió directamente de cada uno de los cinco grifo o caños que tiene instalado el laboratorio de química analítica. La muestra se receptiona en botellas de plástico, enjuagadas con agua destilada, que antes de su uso contuvieron agua de mesa. La toma de muestra se realizó una o dos horas antes de la determinación.

## **3.4 ANALISIS A LA MUESTRA SIN TRATAMIENTO**

### **3.4.1 Análisis Organoléptico.**

Se coge un vaso de precipitados de 100 ml por cada muestra analizada y desde la botella, que contiene el agua a estudiar, se vierte agua hasta las dos terceras partes del vaso y desde aquí se miden 20 ml de agua que se colocan en tubos de ensayo. Desde el vaso y los tubos de ensayo se procede al estudio organoléptico observándose el: color, olor presencia de materias extrañas.

Especificación: debe ser líquido transparente e incoloro.

### **3.4.2. Ensayos físicos y químicos**

**A. Determinación de pH.** Se usó el método propuesto por la USP 34.

**Procedimiento.**

Por cada muestra que se analiza se coge una fiola de 100 ml y se agrega un volumen de unos 30 40 ml agua en estudio y 0,3 ml de solución saturada de cloruro de potasio, y se completa a 100 ml con la misma agua a estudiar. Se homogeniza y unos 60 ml del agua homogenizada se trasvasa a un vaso de precipitados para que haciendo uso de un potenciómetro se determine el pH de la muestra analizada.

**B. Determinación de la conductividad.** Se usó el método propuesto por la USP 34

Procedimiento.

Por cada muestra que se analiza se coge una fiola de 100 ml y se completa con la misma agua a estudiar. Se homogeniza y unos 60 ml del agua homogenizada se trasvasa a un vaso de precipitados para que haciendo uso de un potenciómetro-conductímetro se determine la conductividad eléctrica del agua en estudio. Este trabajo se ejecutó con control de la temperatura del agua en estudio.

### **C) DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES**

#### **1. Método**

Se utilizó el método gravimétrico

#### **2. Fundamento**

Un volumen de muestra que se analiza es puesto a la acción del calor moderado hasta la evaporación total del agua. Dejando como residuo los sólidos solubles de la muestra analizada que se pesa y expresa en mg/litro

#### **3. Procedimiento**

En una cápsula de porcelana de peso conocido se colocan 100 ml de la muestra a analizar y se lleva a la estufa a 80 - 85 °C hasta completa desecación. Se enfría y se vuelve a

pesar. Por diferencias de pesos se determinan los sólidos solubles.

#### **4. Cálculos**

$$\text{S.S. (mg/litro)} = R \times 10$$

Dónde:

S.S. = Sólidos solubles

R = Residuo sólido de la muestra tratada

10 = Factor para llevar a litro

### **D) Determinación de Sulfatos.**

#### **1. Método**

Se utilizó el método de análisis químico analítico cuantitativo de gravimetría

#### **2. Fundamento**

Los iones sulfatos de los sulfatos solubles presentes en el agua en estudio reaccionan con el ion bario que se introduce al sistema de trabajo con una solución de cloruro de bario. Como producto de ambos reactantes se forma sulfato de bario que es un precipitado de color blanco difícilmente soluble que se separa por filtración y posteriormente se pesa y desde aquí se juzga el contenido de sulfatos solubles en el material que se analiza.

#### **3. Procedimiento.**

De cada muestra que se analiza se colocan 100 ml en sus respectivos vasos de precipitados, se añade 2 ml de solución de ácido clorhídrico 1 % y se calienta entre 60 – 65 ° C para inmediatamente añadir 5 ml de solución de cloruro de bario 5 %. Se deja en reposo en baño María de 70 ° C por 4 horas tiempo después del cual se procede a la filtración la que se ejecutó con papel de filtro libre de cenizas. Se realiza el traspaso cuantitativo del sólido formado y se lava el residuo hasta reacción negativa a acidez controlándose con papel tornasol de color azul. Los residuos son llevados a la estufa

para que sequen e inmediatamente se procede a la calcinación del papel de filtro lo cual se hizo a la estufa a una temperatura de 650 – 660 °C por 3 horas. Las capsulas se retiran de la mufla y se pasan al desecador para que enfrié hasta temperatura ambiente y se procede al pesado.

#### **4. Cálculos**

$$\text{ppm SO}_4^{-2} = g \times F \times 10$$

donde:

g = gramos de sulfato de barrio en el material tratado

F = Factor gravimétrico  $\text{SO}_4^{-2} = / \text{BaSO}_4$

10 = para referir a litro.

### **C. Determinación de Cloruros.**

#### **1. Método**

Se utilizó el método de análisis químico cuantitativo volumétrico.

#### **2. Fundamento**

El ión cloruro presente en el agua en estudio cuando se hace reaccionar con solución de nitrato de palta se produce una de reacciona rápida, cuantitativa y que se puede observar el punto de equivalencia de la reacción merced al uso de indicadores de termino de reacción.

#### **3. Procedimiento**

De cada muestra que se analiza se cogen 100 ml y se colocan en un erlermeyer de 250 ml, se añaden 2 ml de solución de cromato de potasio al 5 % y se homogeniza. Se coloca en el campo magnético de un agitador magnético, se introduce la pastilla magnética giratoria, se inicia la agitación y simultáneamente la titilación con solución de nitrato de plata

0.100 N. Hasta que deje de formarse precipitado de color blanco y aparezca un precipitado de color rojo ladrillo que se hace permanente.

#### 4. Cálculos

$$\text{Mg Cl}^-/\text{L} = \text{gasto de AgNO}_3 \times \text{N AgNO}_3 \times \text{valor meq Cl}^- \times 10$$

Donde:

mg Cl<sup>-</sup>/L = mg de cloruros por litro de agua en estudio

gasto de AgNO<sub>3</sub> = gasto de solución de AgNO<sub>3</sub> en la determinación

N AgNO<sub>3</sub> = 0.1

valor meq Cl<sup>-</sup> = 35.5 mg

10 = factor para llevar a litro

#### D. DETERMINACIÓN DE LA DUREZA TOTAL.

Se empleó el método volumétrico. Utilizando solución valorada de complexión III en medio alcalino y como indicador eriocromo negro T se determina la dureza de calcio y magnesio en la muestra. Si un mismo volumen de muestra a analizar se trata con solución de NaOH para llevar el pH a 13 y como indicador se utiliza murexida se determina solo la presencia de calcio en el material analizado.

##### 1. Preparación De Reactivos

##### a) PREPARACIÓN DE UNA SOLUCIÓN VALORADA DE EDTA 0.1 N

El peso molecular del complexón III o EDTA es 372.24 g. El equivalente química es  $\frac{PM}{2}$ , luego el Eqq = 186.12 g. Se pesan 18.612 g de EDTA y se disuelven en 1,000 de agua destilada.

**b) SOLUCIÓN VALORADA DE  $\text{CaCl}_2$  0.1 N**

-Disolver 7.3483 g  $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$  y completar a un volumen de 1000 ml en una fiola.

**c) INDICADOR ERIOCROMO NEGRO T**

Eriocromo negro T ----- 0.1

NaCl p.a. ----- 19.9 g

Se colocan en una un mortero de porcelana, se mezcla uniformemente y tritura finamente.

**d) INDICADOR MUREXIDA**

Murexida 0.1 g

NaCl 19.9 g

Se colocan en un mortero de porcelana se homogeniza y se tritura

**e) SOLUCIÓN REGULADORA AMONICAL**

Hidróxido de amonio (D = 0.88) ----- 57 ml

Cloruro de amonio p.a. 6.75 g.

Agua destilada ----- c,s,p ----- 100 ml

**f) SOLUCIÓN DE NaOH 2 M**

Se pesan 8.00 g de hidróxido de sodio y se disuelven hasta completar 100 ml de disolución.

**2. Valoración de la Solución de EDTA**

Se miden 25 ml de la solución valorada de  $\text{CaCl}_2$  0.1 N se pasan a un Erlenmeyer de 250 ml agréguese 1 ml. de la solución reguladora más 30 mg de la mezcla del indicador. Se adquiere un color rojo.

-Cargar una bureta con la solución de EDTA y dejar caer poco a poco sobre el Erlenmeyer hasta que el color del indicador vire

de color rojo a azul nítido anotase el número de ml de solución de EDTA que utilizó en hacer virar el color del indicador.

El trabajo se realiza por triplicado

### **CÁLCULOS**

$$N \text{ EDTA} = 25 \times 0.1 / \text{gasto}$$

### **3. Determinación de la dureza de calcio y magnesio del agua**

-Con una probeta graduada medir 100 ml del agua en estudio y transferirla a un Erlenmeyer de 500 ml

-Agregar 4 ml de la solución reguladora amoniacal más 30 mg del indicador eriocromo negro T. Se obtiene un color rojizo.

-Desde una bureta dejar caer poco a poco la solución de EDTA valorada, hasta que se perciba un color azul.

-Repetir dos titulaciones más las diferencias de gastos de solución EDTA no se diferente de 0.1 ml.

### **4. Determinación de la dureza de calcio**

-Con una probeta graduada medir 100 ml del agua en estudio y transferirla a un Erlenmeyer de 500 ml

-Agregar 4 ml de la solución hidróxido de sodio 2 M más 30 mg del indicador murexida. Se obtiene un color rosado.

-Desde una bureta dejar caer poco a poco la solución de EDTA valorada, hasta que se perciba un color azul violáceo

- Se repiten tres titulaciones

### **2.1.5. TRATAMIENTO PARA DETERMINAR EL TIEMPO ÓPTIMO DE HERVIDO DEL AGUA DURA PARA ALCANZAR SU MÁXIMO ABLANDAMIENTO.**

Para cada muestra analizada se trabajó como se indica: En un recipiente de acero inoxidable se colocan 6,000 ml del agua en estudio, se lleva al plato calefactor, se enciende y acondiciona un termómetro para registrar la temperatura de ebullición. Alcanzada la temperatura de ebullición y con la ayuda de un cucharón de acero inoxidable se retiraron 1,000 ml de agua en los tiempos siguientes:

Tiempo 0.-Al inicio de la ebullición

Tiempo 1: A los 5 minutos de iniciada la ebullición

Tiempo 2.- A los 10 minutos de iniciada la ebullición

Tiempo 3.- A los 15 minutos de iniciada la ebullición

Tiempo 4: A los 20 minutos de hervido

Las muestras se dejaron enfriar hasta el día siguiente (aproximadamente 18 horas) y se procede a la filtración. Obteniéndose la misma agua de diferentes tiempos de hervido. Cada una de estas aguas con diferentes tiempos de hervido sirvieron para determinarse la dureza total y dureza de calcio para lo cual se empleó el mismo método utilizado en el agua sin tratamiento.

Después del análisis de dureza total y de calcio en todas las muestras de diferentes tiempos de hervido se observa que el agua con 15 y 20 minutos de hervido tenían las mismas concentraciones de calcio y magnesio respectivamente. Pero diferente al contenido de calcio y magnesio en el agua con 10 minutos de hervido.

Se repite el hervido de 6,000 ml de agua en estudio y cuando transcurren 10 minutos de hervido se retiran 500 ml de muestra, y cada minuto hasta el minuto quince se retiraron 500 ml de muestra. Todas estas muestras se dejan enfriar hasta el día siguiente, se filtran y se determinan en ellas la dureza de calcio y magnesio por el método complexométrico utilizado en este trabajo.

Esta parte del trabajo nos permitió investigar cual es el tiempo óptimo de ebullición del agua para alcanzar su máximo ablandamiento o eliminación de la dureza temporal del agua.

#### **2.1.6. ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO Y FÍSICO QUÍMICO EN EL AGUA ABLANDADA**

Después de determinarse el tiempo óptimo de hervido del agua dura para alcanzar su máximo ablandamiento esta fue sometida a los mismos ensayos del agua sin tratamiento empleándose las mismas técnicas y métodos detallados en el ítem 3.3

### **2.2. RESULTADOS**

#### **2.2.1. DEL MATERIAL OBJETO DE ESTUDIO.**

Para el presente estudio se tomó como muestra problema el agua que llega a los grifos o caños del Laboratorio de Química analítica. Para el análisis organoléptico y físico químico de la muestra sin tratamiento se trabajó con agua de grifo. Determinadas las características del agua sin tratamiento se promedian y sirven de puntos de comparación con los resultados de las mismas determinaciones efectuadas al agua después del tratamiento térmico.

**2.2.2. DE LAS DETERMINACIONES ORGANOLEPTICAS Y FISICO QUIMICAS DEL AGUA SIN TRATAMIENTO.**

**A) De las determinaciones organolépticas**

Los resultados se presentan en el cuadro siguiente:

**CUADRO N° 1. RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES ORGANOLÉPTICAS DEL AGUA DEL LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA**

<b>MUESTRA</b>	<b>ASPECTO</b>	<b>COLOR</b>	<b>OLOR</b>	<b>SABOR</b>
GRIFO 1	Límpido sin partículas	Incoloro	Inodoro	agradable
GRIFO 2	Límpido sin partículas	Incoloro	Inodoro	agradable
GRIFO 3	Límpido sin partículas	Incoloro	Inodoro	agradable
GRIFO 4	Límpido sin partículas	Incoloro	Inodoro	agradable
GRIFO 5	Límpido sin partículas	Incoloro	Inodoro	Agradable

Fuente: Los autores del trabajo

## B) De las determinaciones físico químicas

Los resultados se presentan en el cuadro siguiente:

**CUADRO N° 2. RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES FÍSICO QUÍMICAS EN CINCO MUESTRAS DE AGUA SIN TRATAMIENTO DEL LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA**

MUESTRA		pH	S.S.	c.e.	Cl	SO4	Dureza Meq/l
1	A	7.1	516.4	454	98.4	109.4	10.2
	B	7.1	509.5	449	96.60	108.2	10.3
	C	7.1	508.4	450	98.90	108.2	10.2
	X	7.1	511.4	451	97.96	108.6	10.23
2	A	7.1	512.4	451	96.10	109.1	10.4
	B	7.1	514.7	453	98.20	109.6	10.3
	C	7.1	516.2	456	100.8	107.3	10.3
	X	7.1	514.4	453.3	98.36	108.66	10.33
3	A	7.1	509.1	450	95.53	106.8	10.3
	B	7.1	505.8	442	94.30	106.1	10.2
	C	7.1	507.6	448	95.90	109.4	10.3
	X	7.1	507.5	446.6	95.24	107.43	10.26
4	A	7.1	512.1	452	97.13	108.1	10.3
	B	7.1	511.3	450	95.40	109.5	10.2
	C	7.1	514.2	455	98.30	109.7	10.2
	X	7.1	512.5	452.3	96.94	109.1	10.23
5	A	7.1	514.4	457	99.10	111.3	10.2
	B	7.1	516.2	458	100.6	110.2	10.2
	C	7.1	517.0	460	100.9	114.6	10.2
	X	7.1	515.8	458.3	100.20	112.03	10.20
Total promedio		7.1	512.32	452.3	97.74	109.16	10.25

Leyenda:

pH = potencial de hidrogeniones (unidades)

S.S. = solidos solubles mg/litro

c.e = Conductividad eléctrica (uS/cm – micro Siemens)

Cl<sup>-</sup> = cloruros (ppm)

SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> = sulfatos (ppm)

Dureza total= (meq/L)

### 2.2.3. DEL TRATAMIENTO TERMICO PARA DETERMINAR EL TIEMPO ÓPTIMO DE HERVIDO DEL AGUA DURA PARA QUE ALCANZE SU MÁXIMO ABLANDAMIENTO.

Para esta parte del trabajo se coge agua que proviene de cada uno de los grifos del laboratorio de química analítica se homogeniza y se llevó al tratamiento térmico. Inicialmente solo determino el contenido de dureza total. Una vez establecido la temperatura optima de máximo ablandamiento se repite la tarea y se ejecuta sobre el agua ablanda las mismas determinaciones efectuadas en el agua sin tratamiento. Teniendo como información, para fines de comparación, los promedios de las determinaciones efectuadas en el agua sin tratamiento. Estos resultados se presentan en el cuadro siguiente:

**CUADRO Nº3.DETERMINACIÓN DUREZA TOTAL DEL AGUA EN DIFERENTES TIEMPOS DE HERVIDO EXPRESADO COMO MEQ EDTA/L GASTADO EN LA DETERMINACIÓN CON ERIOCROMO NEGRO T Y MUREXIDA.**

TIEMPO DE HERVIDO	ERIOCROMO NEGRO T	MUREXIDA
0 minutos	10.2	8.7
5 minutos	9.3	8.0
10 minutos	7.6	6.6
15 minutos	6.8	6.0
20 minutos	6.8	6.0

**Fuente: Los autores del trabajo**

**CUADRO N°4. DETERMINACIÓN DE LA DUREZA TOTAL DEL AGUA EN DIFERENTES TIEMPOS DE HERVIDO. EXPRESADO COMO meq Y mg/L DE CALCIO Y MAGNESIO RESPECTIVAMENTE.**

<b>TIEMPO DE HERVIDO</b>	<b>meqCaCO<sub>3</sub>/L</b>	<b>mgCaCO<sub>3</sub>/L</b>	<b>meqMgCO<sub>3</sub>/L</b>	<b>mgMgCO<sub>3</sub>/L</b>
<b>0 minutos</b>	<b>8.7</b>	<b>435</b>	<b>1.5</b>	<b>63.22</b>
<b>5 minutos</b>	<b>8.0</b>	<b>400</b>	<b>1.3</b>	<b>54.79</b>
<b>10 minutos</b>	<b>6.6</b>	<b>330</b>	<b>1.0</b>	<b>42.15</b>
<b>15 minutos</b>	<b>5.9</b>	<b>295</b>	<b>0.8</b>	<b>33.72</b>
<b>20 minutos</b>	<b>5.9</b>	<b>295</b>	<b>0.8</b>	<b>33.72</b>

**Fuente: Los autores del trabajo**

Esta parte del trabajo se dedujo que las características de pH y dureza total eran ya iguales en aguas hervidas por 10 y 15 minutos respectivamente; motivo por el cual se repitió el hervido de agua y de esta parte del trabajo se cogió la primera muestra a los 10 minutos de hervido del agua, seguidamente al minuto y así sucesivamente hasta el minuto 15. Los resultados de las determinaciones de pH y dureza total se presentan el cuadro siguiente:

**CUADRO N°5. DETERMINACIÓN DE LA DUREZA TOTAL DEL AGUA EN TIEMPOS DE HERVIDO DE 10- 15 MINUTOS**

<b>TIEMPO DE HERVIDO</b>	<b>meqCaCO<sub>3</sub>/L</b>	<b>mgCaCO<sub>3</sub>/L</b>	<b>meqMgCO<sub>3</sub>/L</b>	<b>mgMgCO<sub>3</sub>/L</b>
<b>10 minutos</b>	<b>6.6</b>	<b>330.00</b>	<b>1.0</b>	<b>42.15</b>
<b>11 minutos</b>	<b>6.4</b>	<b>320.00</b>	<b>0.9</b>	<b>37.93</b>
<b>12 minutos</b>	<b>6.1</b>	<b>305.00</b>	<b>0.9</b>	<b>37.97</b>
<b>13 minutos</b>	<b>5.9</b>	<b>295.00</b>	<b>0.8</b>	<b>33.72</b>
<b>14 minutos</b>	<b>5.9</b>	<b>295.00</b>	<b>0.8</b>	<b>33.72</b>
<b>15 minutos</b>	<b>5.9</b>	<b>295.00</b>	<b>0.8</b>	<b>33.72</b>

**Fuente: Los autores del trabajo**

De esta parte del trabajo se deduce que a partir del agua con catorce y quince minutos el pH y la dureza total es igual. Concluyéndose que el tiempo óptimo de hervido para que el agua tratada alcance su máximo ablandamiento es el minuto trece.

Se repite la tarea de ablandamiento de agua y esta vez se permite que el agua hierva por trece minutos, se deja enfriar hasta el día siguiente se filtra y esta agua es el agua ablandada. Los resultados de las determinaciones físicas químicas se presentan en el cuadro siguiente:

**CUADRO N° 06. DETERMINACIONES FÍSICO QUÍMICAS DEL  
AGUA ABLANDADA.**

MUESTRA	DETERMINACIONES								
	pH	s.s.	c.e.	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Dur. total	Dur. Ca	Dur. Mg	
A	7.3	380.90	352.8	158.10	135.4	6.7	295	33.72	
B	7.3	376.40	351.4	154.70	135.2	6.7	295	33.72	
C	7.3	379.16	349.4	155.68	137.7	6.7	295	33.72	
X	7.3	378.82	351.2	156.16	136.10	6.7	295	33.72	

Leyenda:

pH = potencial de hidrogeniones (unidades)

S.S. = solidos solubles mg/litro

c.e = Conductividad eléctrica (uS/cm)

Cl<sup>-</sup> = cloruros (ppm)

SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> = sulfatos (ppm)

Dureza total= (meq/l)

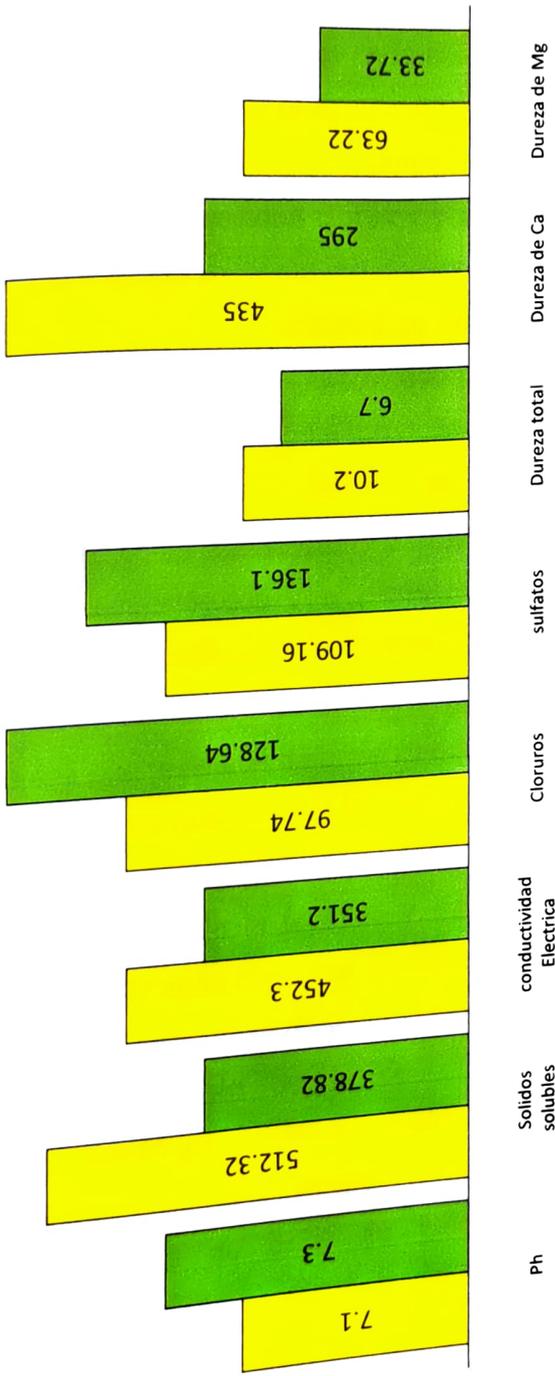
Dur.Ca= Dureza de calcio expresada como mg CaCO<sub>3</sub>/L

Dur.Mg = dureza de magnesio. Expresada como mg

MgCO<sub>3</sub>/L

**GRAFICO N° 1. COMPARACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS DEL AGUA POTABLE DURA Y DESPUES DE TRECE MINUTOS DE HERVIDO.**

GRAFICO N° 01. COMPARACION DE CARACTERISTICAS FISICO - QUIMICAS DEL AGUA POTABLE SIN TRATAMIENTO Y AGUA POTABLE DESPUES DE 13 MINUTOS DE HERVIDO



**Leyenda**  
■ Agua Potable  
■ Agua potable ablandada

## COMENTARIO

La importancia del consumo del agua es aprendida desde que el hombre entra en el uso de sus facultades propias para la toma de decisiones de su quehacer diario. Y esto se refleja en la actividad que desarrolla. Así un campesino debe de cuidar que el agua que va a utilizar para el regadío de sus cultivos tenga un contenido de cloruros permisibles para el cultivo dado que de tener demasiados cloruros y ser usada de seguro que la producción estará tremendamente disminuida con respecto a la esperada. Similarmente en nuestros laboratorios se instalan equipos para obtener agua destilada a partir de agua potable que llega a través de una red de tuberías que reciben el agua que procede de un pozo de la ciudad universitaria. Los conocimientos teóricos con respecto a estos tipos de aguas las señalan como aguas duras y el grado de dureza depende de varios factores climatológicos y edáficos pero independientemente de cualquier factor que contribuya a la dureza del agua el agua dura su uso resultará en un problema si el sistema o equipo donde actuará el agua no tuvo diseño para que resista el tratamiento con agua dura. Este es el caso del uso del agua dura que llega al laboratorio de química analítica de la facultad de farmacia y bioquímica, y probablemente, por extensión, a todos los laboratorios de la facultad y de la universidad; cuando es utilizada para obtener agua destilada. Los equipos de destilación de agua paulatinamente van llenándose de incrustaciones de carbonatos de calcio y magnesio que resultan de la descomposición térmica de los bicarbonatos de calcio y magnesios inicialmente disueltos en el agua. A medida que esto progresa la eficacia del rendimiento del equipo se pierde hasta llegar al límite de dejar de funcionar si no es limpiado convenientemente. Las propuestas para lograr el ablandamiento del agua es un tema bastante estudiado, y una técnica propuesta es ablandándola al hacerla pasar por resinas intercambiadoras de iones. Si el equipo intercambiador de iones se instala en el laboratorio obtendríamos agua blanda para uso de todas las actividades en el laboratorio desde lavado

de materiales hasta para el uso en la limpieza personal y los volúmenes a usar serían altos y por ende los costos. A fin de proteger los equipos destiladores de agua para obtener agua destilada se deben usar con agua ablandada la que se puede lograr de varias formas. La instalación de equipos intercambiadores de iones y su mantenimiento genera un costo y sería de provecho para impedir el deterioro de los destiladores si se instala exclusivamente para ese fin, Sin embargo si el agua ablandada utilizada para la obtención de agua destilada no se recicla los costos aumentarían por pérdida de agua ablandada. La obtención de agua ablandada después de 13 minutos de mantenerla en ebullición y colocada en un sistema que permita su uso y su reciclamiento resulta en una alternativa fácil de aplicación y probablemente el mantenimiento lo efectúe el mismo personal que labora en el laboratorio. Pues obtener agua hervida esperar que enfrié, de un día para otro, y filtrarla es una tarea compatible con nuestra realidad. En lo demás los procesos para reciclar el agua ablandada obtenida de la forma que fuere generará los mismos costos. En nuestro trabajo demostramos que después de 13 minutos de hervido del agua se alcanza su máximo ablandamiento bajando la dureza expresada como mg carbonato de ca / L en 32.18 %; mientras que la dureza expresada como mg de carbonato de magnesio / L en 46.66 %.

## CONCLUSIONES

El agua potable que llega al Laboratorio de química analítico es dura. Tiene una dureza total equivalente a 10.25 meq EDTA / L y una dureza de 435 ppm expresada como carbonato de calcio y 63.22 ppm expresada como carbonato de magnesio.

El tiempo óptimo de hervido para que el agua potable dura que llega al laboratorio alcance su máximo ablandamiento es de 13 minutos con lo que la dureza total disminuye en 34.31 %, la dureza expresada como ppm de carbonato de calcio disminuye en 32.18 % y la dureza expresada como ppm de carbonato de magnesio disminuye en 46.66%.

Aunque se pierde algo de las características organolépticas del agua poblé con respecto al agua ablandada esto resultará irrelevante si el agua tratada es usada exclusivamente para obtener agua destilada.

## **RECOMENDACIONES**

Que se efectúen estudios para el uso y reciclamiento del agua ablandada en la obtención de agua destilada con los destiladores de agua que tienen los laboratoruios de la facultad de farmacia y bioquímica.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AYRES, R.S. AND D.W.WESTCOT. 1976. Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper No. 29. rev. 1 reprinted 1989, 1994 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome.
2. AQUASALUD, Monraval i Grau SL. 2003. "Descalcificación". Disponible en: <<http://www.aquasalud.com/descalcificacion>> [consulta: 14 marzo de 2006]
3. ACUÑA A. 2005. Presencia de pesticidas en fuentes de agua potable en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de la Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 165 p [consulta: 20 Mayo de 2006]
4. ARNAO, A. "Química Analítica Cualitativa". Edit. Mac Graw Hill – 1992.
5. AYRES, GILBERT "Análisis Químico Cuantitativo". Edit Harper & Row Latinoamericana. México – 1996.
6. BELL, C.F. "Quelación de Metales: Principios y Aplicaciones". Edit. El Manual Moderno – México 1980.
7. BORNEMISZA, ELMER "Introducción a la Química de Suelos". Monografía N° 25. Organización de Estados Americanos. 1982.
8. CAUDARELLA R, RIZZOLI E, BUFFA A, BOTTURA A, STEFONI S. 1998 Comparative study of the influence of 3 types of mineral water in patients with idiopathic calcium lithiasis. J Urol 159: 658-663.
9. CEPIS/OPS-OMS.2005 Comparación de las normas de calidad de agua potable entre la OMS y los países. En: <<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/normas.html>
10. CEPIS/OPS-OMS. TRUQUE P, 2005. Armonización de los Estándares de Agua Potable en las Américas. Disponible en: <<http://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>> [consulta: 4 abril de 2006]

11. DESPOUY I. 2005. Caracterización de fuentes y análisis crítico de los tratamientos de agua potable en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de la Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 197 p
12. DZEGEDE S. 1982 Water hardness and urinary stone disease. *J Urol.* 128:422-425.
13. INDUAMBIENTAL.CL. 2006, El Agua, Funciones y Usos. Disponible en: <<http://www.induambiental.cl> lca, Mayo del 2014
14. FISCHER Y PETER "Análisis Químico Cuantitativo". Edit. Interamericana
15. GALON W.E. "Métodos Instrumentales de Análisis Químico". Edit. Mac. Graw Hill – 1979
16. GOLDWHITE "Química Universitaria". Edit. Harcourt Brace
17. HAMILTON SIMPSON "Cálculos de Química Analítica". Edit. Mac Graw Hill – 1992.
18. HARRIS C. DANIEL "Análisis Químico Cuantitativo". Edit. Iberoamérica – 1992.
19. KOZÍSEK F, M.D., 2003 Health significance of drinking water calcium and magnesium..
20. NERBRAND C, AGREUS L, LENNER R, NYBERG P, SVARDSUDD K. 2003 The influence of calcium and magnesium in drinking water and diet on cardiovascular risk factors in individuals living in hard and soft water areas with differences in cardiovascular mortality. *BMC Public Health.* 3 (1): 21.
21. MORA D, PORTUGUÉS C, ALFARO N. Agua para consumo humano: Aporte de calcio y magnesio a la dieta del costarricense y su efecto sobre la salud. 22º Congreso de Centroamérica y Panamá de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 21-24 Agosto. Tegucigalpo.
22. MONARCA S, ZERBINI I, DONATO F. 2004 World Health Organization (WHO). Drinking-water hardness and cardiovascular diseases: A review of epidemiological studies. 1979-2004. 27 p

23. MERCK Laboratorios "Schnelltest Handbuch: Manual de Pruebas". Darmstad – Alemania – 1988.
24. MURGEL BRANCO, SAMUEL "Limnología Sanitaria, Estudio de la Polución de Aguas Continentales". Monografía N° 28. Organización de Estados Americanos. 1984.
25. MEDINA E, ZAIDI M, REAL E, OROZCO S. 2003 Prevalencia y factores de riesgo en Yucatán, México, para litiasis urinaria. Sal. Pub. Méx. 44 (6): 541-545.
26. PITALUGA L, GONZÁLEZ M, FERNÁNDEZ M. 2001. Problemática derivada del ablandamiento de Domésticos de Aguas. Documento de trabajo, Laboratorio del Colegio Oficial de Farmacéuticos de Alicante.
27. PÉREZ O. 1979. Métodos de enfriamiento control de dureza en aguas industriales. Aplicación a un caso práctico. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil de la Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 146 p
28. RODIER J.R. "Análisis de las Aguas". Edit. Omega 1996.
29. ROBINSON J. "Análisis Químico Contemporáneo". Edit. Hardcover – 1998.
30. SPIELMAN Jovanovich. Orlando Florida – 1988..
31. SAGAN- GEA. 2006. Otros Métodos de Tratamiento de Aguas Residuales. Ablandamiento del agua con carbonato bórico y cal. En: [http://www.sagangea.org/hojared\\_Agua/paginas/29agua.html](http://www.sagangea.org/hojared_Agua/paginas/29agua.html).
32. SÁMANO M. 2005. Estudios de opciones eficientes de tratamientos de agua para remoción de algunos contaminantes a bajos costos considerando los impactos ambientales resultantes de los mismos. Tesis para optar a la Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Química de la Universidad de las Américas, Puebla.
33. SCHWARTZ B, SCHENKMAN N, BRUCE J, LESLIE S, STOLLER M. 2002 Calcium nephrolithiasis: effect of water hardness on urinary electrolytes. Urology 2002; 60:23-27.

34. SHUSTER J, FINLAYSON B, SCHEAFFER R, SIERAKOWSKI R, ZOLTEK J,
35. VOGEL, A.I. "Química Analítica Cualitativa". Edit. Kapeluz – 1996.
36. VITORIA I. 2002. Calcio en el agua de bebida en la infancia: ¿molesto o necesario? Acta Pediátrica Española 60: 99-109
37. VITORIA I, ARIAS T. 2000. Importancia nutricional del agua de consumo público y del agua de bebida envasada en la alimentación del lactante. Estudio descriptivo de base poblacional. Asociación Española de Pediatría. 70 p
38. VALENZUELA T. 2004. Exploración de posibilidades para proponer un tren de tratamiento para remoción de dureza que logre la optimización técnica y económica del proceso. Tesis para optar a la Licenciatura en Ingeniería Química de la Universidad de las Américas. Puebla.
39. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). 1996. Guidelines for drinking-water quality. Vol 2. Health criteria and other supporting information, 2nd ed. Geneva.
40. <http://www.scimedia.com/chem-ed/analytic/ac-intro.htm> Introducción a la Química Analítica.
41. <http://www.scimedia.com/chem-ed/analytic/ac-meths.htm> Encyclopedia of Analytical Chemistry and Instrumentation.
42. <http://redquimica.pquin.unam.mx/quimianalitica/> Química Analítica de la UNAM.
43. <http://chemcca10.ucsd.edu/~chem215/lectures/> UCSD: Chem 215/115 Home Page Modeling Biological Macromolecules (eng).



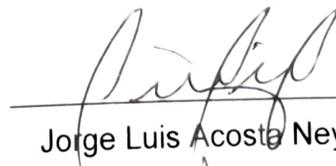

---

Pamela R. Donayre Medina




---

Q.F. Juan P. Angulo Mendoza




---

Jorge Luis Acosta Neyra




---

Q.F. Jorge A. Capcha Quispe

## CONSTANCIA

Conste por el presente documento que nosotros: Q.F. Juan Pedro Angulo Mendoza y Q.F. Jorge Alcides Capcha Quispe. Asesores del plan de tesis:

**DETERMINACIÓN DE LA DUREZA TOTAL DEL AGUA Y TIEMPO ÓPTIMO DE TEMPERATURA DE EBULLICIÓN PARA SU MÁXIMO ABLANDAMIENTO**; presentado y desarrollado por los bachilleres:

Pamela Rocio Donayre Medina

Jorge Luis Acosta Neyra

Hemos revisado el informe final y lo consideramos apto para su presentación, y previo tramites, se proceda a su sustentación a fin de que los referidos bachilleres continúen en sus trámites que deberán conducirlos a la obtención de su título profesional de Químico Farmacéutico.

Damos fe de este hecho a los veinticinco días del mes de Abril del año dos mil catorce.

Q.F. Juan P. Angulo Mendoza

Q.F. Jorge A. Capcha Quispe