



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## **[Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)**

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra, incluso con fines comerciales, siempre y cuando den crédito y licencia a las nuevas creaciones bajo los mismos términos. Esta licencia suele ser comparada con las licencias copyleft de software libre y de código abierto. Todas las nuevas obras basadas en la suya portarán la misma licencia, así que cualesquiera obras derivadas permitirán también uso comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## INFORME DE REVISIÓN

Se ha realizado el análisis con el software antiplagio de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga", por parte de los docentes reponsables, al documento cuyo titulo es:

### **EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE TRIHALOMETANOS EN LAS AGUAS DE PROCESO EN LAS PLANTAS AGROINDUSTRIALES DE ICA**

presentado por:

**Briceida Maribel Donaye Vergara  
Carolina del Rosario Carrillo Aparcana**

del nivel **PREGRADO** de la facultad de **INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA** obteniéndose como resultado una coincidencia de **12.15%** otorgándosele el calificativo de:

**APROBADO**

Se adjunta al presenta el reporte de evaluación del software antiplagio.


Observaciones:

El trabajo fue **APROBADO** con el **12.2 %** de coincidencias.

Ica, **20 de Agosto** de **2020**



**SANTOS HUMBERTO OLIVERA MACHADO**  
COORDINADOR  
SOFTWARE ANTIPLAGIO  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y  
PETROQUIMICA



**RAUL GERARDO AVILA MEZA**  
ASESOR  
SOFTWARE ANTIPLAGIO  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y  
PETROQUIMICA

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA  
DE ICA”  
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**

**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química**



TESIS:

**EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE  
TRIHALOMETANOS EN LAS AGUAS DE  
PROCESO EN LAS PLANTAS  
AGROINDUSTRIALES DE ICA**

PRESENTADO POR:

Bach.: DONAYRE VERGARA, Briceida Maribel

Bach.: CARRILLO APARCANA, Carolina del Rosario

**ICA - PERU  
2018**

# INDICE

	Pág.
INDICE	02
INTRODUCCIÓN	04
RESUMEN	06
CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	07
1.1. Definición del problema.	07
1.2. Formulación del problema.	08
1.3. Objetivos del proyecto.	08
1.4. Hipótesis de trabajo.	09
1.5. Variables.	09
1.6. Justificación.	10
CAPITULO II: MARCO TEORICO	11
2.1. Trihalometanos	11
2.2. Formación y extracción de trihalometanos	38
CAPÍTULO III: PARTE EXPERIMENTAL.	59
3.1. Materiales, equipos y reactivos.	59
3.2. Recolección de muestras.	61
3.3. Preparación de la muestra para el análisis.	62
3.4. Análisis fisicoquímico de las muestras.	62
3.5. Determinación de trihalometanos.	70

CAPÍTULO IV: RESULTADOS.	76
4.1. Resultados obtenidos.	76
4.2. Discusión de resultados.	84
CONCLUSIONES.	87
RECOMENDACIONES	88
BIBLIOGRAFÍA	89

## INTRODUCCIÓN

Los llamados trihalometanos, se generan al usar el agua que es tratada con hipoclorito de sodio o calcio en la desinfección de frutas y hortalizas. Conforman elementos altamente peligrosos; en donde la mayor parte de ellas han sido determinadas como cancerígenas. La reacción del hipoclorito con la materia orgánica disuelta; genera estos tipos de sustancias.

La concentración máxima que nos proporciona el Codex Alimentarius en agua para lavado de frutas y hortalizas es 10 mg/l. En un estudio, se determinó que las reglamentaciones de varios países no permiten un nivel superior de concentración. En determinadas industrias de fabricación de alimentos se aplicaban altas concentraciones a diferencias de las industrias que pertenecían al sector agropecuarios.

La bibliografía que se encarga de las posibilidades de formación de subproductos peligrosos como los trihalometanos a causa de la utilización del cloro para la desinfección en el proceso de elaboración del espárrago fresco es escasa y en general se refiere a los sistemas modelo de laboratorio. Sin embargo, hay información importante de la formación de estos subproductos peligrosos cuando el cloro se usa en el agua.

El período de contacto del lavado de frutas y hortalizas, se considera un riesgo de contaminación por trihalometanos debido a la utilización del

suministro de agua potable clorada, incluso después de una cloración en la planta de elaboración.

El cloro se utiliza sobre todo como coadyuvante para una elaboración higiénica de las frutas y hortalizas y no como tratamiento de descontaminación. Se ha visto que en concentraciones máximas de 20 mg/L de cloro libre no se observan mutagenos. Las evidencias de carácter científico que se proporcionan en la actualidad no justifican una alteración en los niveles adecuados por el Codex de 10 mg/L en el fluido que ingresa en contacto directo con los elementos agropecuario. En muchos casos la cloración del agua que se utiliza para la elaboración del espárrago fresco y enlatado y para el mantenimiento de los sistemas de distribución representan un control esencial para prevenir la contaminación por agentes patógenos provenientes del agua y para la reducción del incremento de contaminación cruzada.

## RESUMEN

La tesis “Evaluación de los niveles de trihalometanos en las aguas de proceso en las plantas agroindustriales de Ica”, es un estudio experimental en el que se demuestra la presencia, en pequeñas cantidades, de trihalometanos, sustancias altamente peligrosas para la salud humana y que son generadas por la reacción entre el cloro libre y la materia presente en el agua de proceso, empleada en las plantas esparragueras, Se ha establecido experimentalmente que el agua de proceso de las plantas esparragueras de Ica, contienen hasta 1,5 mg/L de trihalometanos cuando la norma dada por DIGESA, estipula un máximo de 1mg/L.

El estudio tiene dos partes fundamentales: la teórica que describe las diversas cuestiones teóricas relacionadas con los trihalometanos y su formación al reaccionar el cloro libre con la materia orgánica y una parte experimental con los resultados obtenidos.

# **CAPÍTULO I**

## **FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.**

Cuando se disuelve hipoclorito de sodio o calcio, se genera el cloro libre, reactivo muy activo que reacciona con los compuestos inorgánicos y compuestos orgánicos formando los trihalometanos, compuestos químicos clorados que tienen acción cancerígena.

Se ha detectado hasta 140 microgramos en aguas que han sido tratadas con hipoclorito disuelto en una concentración de 100 ppm, lo que es sumamente preocupante pues en las plantas agroindustriales se emplea hipoclorito de sodio en concentraciones que van desde 100 a 150 ppm, en el lavado del espárrago que llega a la planta, sin medir las consecuencias que puedan haber con el cloro libre como contaminante, como reactivo actuando sobre la materia orgánica, del espárrago, alcachofa o cualquier otro fruto o vegetal. Entonces bajo estas condiciones es evidente que se esté generando una cantidad significativa de trihalometanos, que no solo afecten el agua de proceso en estas plantas sino a los productos que son tratados con estas aguas, durante las diferentes operaciones desarrolladas.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **1.2.1. Problema general.**

¿En qué medida se puede evaluar los niveles de trihalometanos en las aguas de proceso de las plantas agroindustriales de Ica?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

- a. ¿Qué niveles de trihalometanos posee el agua de proceso empleada en las plantas agroindustriales de Ica?
- b. ¿Cuáles son los trihalometanos más comunes y de mayor concentración que existen en los efluentes de las aguas de proceso de las plantas agroindustriales de Ica?

## **1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.**

### **1.3.1. Objetivo General.**

Evaluar los niveles de trihalometanos en las aguas de proceso de las plantas agroindustriales de Ica

### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- a. Determinar los niveles de trihalometanos posee el agua de proceso empleada en las plantas agroindustriales de Ica.

- b. Establecer que trihalometanos son los más comunes y de mayor concentración que existen en los efluentes de las aguas de proceso de las plantas agroindustriales de Ica.

#### **1.4. HIPÓTESIS DE TRABAJO.**

##### **1.4.1. Hipótesis general.**

Mediante la evaluación experimental se puede determinar los niveles de trihalometanos en las aguas de proceso de las plantas agroindustriales de Ica.

##### **1.4.2. Hipótesis específicas.**

- a. El agua de proceso empleada en las plantas agroindustriales de Ica, posee elevados niveles de trihalometanos.
  
- b. Los trihalometanos más comunes y de mayor concentración que existen en los efluentes de las aguas de proceso de las plantas agroindustriales de Ica, son diversos.

## **1.5. VARIABLES.**

### **Variables Independientes:**

- Tipo de trihalometanos formados en el agua de proceso.
- Cantidad de hipoclorito añadido al agua de proceso.

### **Variable Dependiente.**

- Concentración de trihalometanos en el agua de proceso.

## **1.6. JUSTIFICACIÓN.**

La presente investigación se justifica en tanto cuantitativamente se va determinar la presencia de compuestos secundarios resultantes de la cloración del agua de proceso, lo que permitiría modificar los métodos empleados para el tratamiento de los productos agroindustriales y a la vez salvaguardar la salud de los consumidores los mismos que podrían contraer el cáncer por el consumo de productos contaminados, que contienen una alta carga de trihalometanos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. TRIHALOMETANOS.**

##### **2.1.1. Generalidades.**

Los trihalometanos, comúnmente se les llama subproductos de desinfección; que se originan a partir del tratamiento de agua; en pocas palabras resultan de la aplicación del cloro como desinfectante. Los THM encontrados más comunes son el cloroformo, el Bromodiclorometano, el Dibromoclorometano y el Bromoformo.

La desinfección del agua mediante el uso de cloro es adecuada para la eliminación de sustancias infecciosas que causan enfermedades, sin embargo, causa una serie de subproductos tóxicos, habiendo encontrado en mayor proporción los trihalometanos (THM) y asimismo los ácidos haloacéticos (HAA). Cuando el cloro reacciona con la materia orgánica producida por sustancias húmicas (SH) y fúlvicas, se producen trihalometanos.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha fijado como valor máximo permisible para la sumatoria de los cuatro THM más comunes un valor de 80 µg/L. Se ha examinado una relación entre los trihalometanos y el riesgo de cáncer de vejiga, colon y recto,

teniendo como resultado que los que incluyen cloro y/o bromo, son cancerígenos en ensayos con animales.

Los trihalometanos en el agua depende de:

- Cloro añadido.
- Componentes orgánicos.
- Bromuros del agua.
- pH
- Temperatura.

El cloroformo es el trihalometano más común y abundante.

### **2.1.2. Trihalometanos en el agua clorada**

El agua que fluye a través de los canales naturales generalmente no cumple con los mínimos higiénicos que garantizan el consumo sin riesgo sanitario. El agua por definición, debe ser incolora, inodora e insípida, pero se le agregan contaminantes orgánicos. En general, en los nacimientos en ríos el agua es segura, pero a medida que desciende encuentra restos de materia fecal animal, heces que son restos naturales que provienen de animales que pueden estar enfermos o transmitir enfermedades peligrosas (tuberculosis, brucelosis, ántrax, infecciones de piel con abscesos o bolsas de pus, entre otros).

A medida que este canal corre, puede contactar los cadáveres de animales que tienen un alto nivel de contaminación, materia fecal de centros urbanos que no están adecuadamente tratados o de

granjas o ganado, incluso de parques naturales controlados. Por ejemplo, la agricultura orgánica aboga por el uso de fertilizantes naturales, entre los cuales se pueden considerar los materiales fecales con alta contaminación microbiológica. Los microorganismos pueden pasar al agua y desde aquí ser distribuidos a importantes centros de población. Según la Organización Mundial de la Salud, enfermedades relacionadas con el agua potable y el tratamiento inadecuado de aguas residuales y excretas, se encuentran entre las tres principales causas de muerte del mundo.

Cada año, casi 1.500 millones de personas padecen enfermedades prevenibles transmitidas por el agua, como el cólera, la fiebre tifoidea, la disentería, la giardiasis, la esquistosomiasis y la hepatitis A. Según la OMS más de nueve millones de personas mueren anualmente por todo el mundo por agua contaminada. La ONU estima que para 2025, más de dos tercios de la población mundial vivirán en países con graves problemas de falta de suministro de agua limpia.

El reto que enfrenta la cloración es lograr altos beneficios del uso del cloro como desinfectante, con un impacto ambiental mínimo y toxicidad de sus subproductos. No hay razón para discutir la

necesidad de desinfectar el agua potable; El problema radica en evaluar y comparar el riesgo de su toxicidad y potencia cancerígena de los subproductos de cloración, en comparación con el beneficio obtenido en el control de enfermedades por aguas contaminadas.

### **2.1.3. Capacidad bactericida del cloro**

En 1774, el cloro fue descubierto por el químico Karl Wilhelm Scheele como resultado de la reacción entre el ácido clorhídrico y el dióxido de manganeso. El cloro y sus compuestos son oxidantes muy potentes y reaccionan con muchos materiales orgánicos e inorgánicos en el agua antes de obtener una desinfección suficiente.

El recorrido de las aguas hacia una planta de tratamiento líquido, incluye elementos reductores tales como, compuestos orgánicos e inorgánicos; así como la presencia de nitritos, iones de hierro, materiales de plomo y sulfuros; así como también la aparición de microorganismos bacterias.

El cloro se aplica en exceso para que pueda satisfacer la demanda de oxidar estos compuestos y eliminar estas bacterias, y restar una cantidad de cloro residual en las tuberías de agua.

Este cloro residual es el cloro libre que permanece en el agua después de desinfectarse en la planta. Su función es continuar desinfectando el agua desde que sale de la planta de tratamiento hasta que llega al consumidor. Este cloro residual debe estar en niveles seguros para el consumo. Si es excesivo, el cloro puede ser tóxico para el consumo humano.

El gas de cloro, hipoclorito de sodio y calcio, ozono y otros compuestos son los desinfectantes más usados. Otros como el permanganato de potasio, los rayos ultravioletas, el bromo, el yodo y la plata no se han utilizado ampliamente. Estos desinfectantes tienen sus ventajas y desventajas dependiendo de su costo, eficiencia, estabilidad, facilidad de aplicación y de la formación de subproductos de desinfección.

Se ha usado el cloro como desinfectante del agua potable desde 1904, en Estados Unidos. Queda totalmente demostrado que el uso de cloro en los procedimientos de desinfección ha resultado tener un efecto positivo en la salud de las personas. Las enfermedades transmitidas por el agua, como la fiebre tifoidea, el cólera, la disentería, la amebiasis, la salmonelosis, la shigelosis y la hepatitis A, han disminuido en los Estados Unidos durante los últimos 80 años debido a la cloración.

A pesar de haber llevado a cabo varias investigaciones sobre la cloración del agua, todavía no se han resuelto todas las dudas sobre sus riesgos. Existen enigmas en las investigaciones más comunes de la cloración, como su efectividad para reducir ciertos microorganismos. A medida que ha pasado el tiempo, se ha conseguido información acerca de utilidad del cloro; los procedimientos de eliminación de microbios resistentes que originan patologías de carácter hídrico; tales como el virus de la hepatitis A y los quistes de Giardia lamblia.

Además de proporcionar protección contra patógenos virales y bacterianos, los desinfectantes a base de cloro también mejoran la estética del agua, que puede ser dañada por algas y restos de materia orgánica de origen vegetal (color, sabor y olor). La OMS ha informado que la concentración umbral promedio de sabor y olor del cloro residual aumenta de 0.075 ppm a 0.450 ppm cuando el pH aumenta de 5.0 a 9.0. A pH 7.0 el umbral promedio fue de 0.156 ppm con un rango de variación de 0.02 -0.29 ppm; Sin embargo, cuando el cloro se combina con sustancias fenólicas y otros compuestos orgánicos, el sabor y los olores agradables pueden exacerbarse sustancialmente. El cloro ayuda a controlar el crecimiento de bacterias por eso tendrá un nivel residual de desinfectante en el sistema de distribución.

En países desarrollados y en desarrollo, las tuberías de distribución no son reemplazadas ni, lo que causa que tengan óxido, escamas, formación de biopelículas, fugas y grietas, lo que puede causar eventos de contaminación que comprometen la calidad del agua.

El proceso de cloración está considerado como uno de los procedimientos más utilizados en los países en desarrollo; de modo que es la tecnología de mayor impacto por sus resultados; costo de aplicación y por qué ya ha sido tratada con anterioridad. Por estas razones, en sus directrices de calidad del agua, la OMS recomienda que, para tener la garantía sanitaria de la calidad del agua para consumo y para garantizar su efecto en caso de contaminación posterior. Se tenga de:

- Cloro residual: 0.3 mg/L
- Turbidez: menor a 1 UNT

#### **2.1.4. Cloro residual: efectos tóxicos**

Se cree que la toxicidad de las soluciones que incluyen cloro, ácido hipocloroso e hipoclorito; es parecido, debido a que estos elementos permanecen en equilibrio dinámico; a consecuencia de las comparaciones de toxicidad; que puede derivarse en relación de la evaluación de concentración de cloro utilizado.

El grupo de individuos de alto riesgo está formado por asmáticos o aquellos que tienen reacciones alérgicas después de la exposición al cloro.

Los estudios de Watson y Kibler en 1933, Sheldon y Lovell en 1949, y Cohen en 1933 describen tablas de precipitación de asma como resultado del consumo de agua clorada.

Muegge, en 1956, sintetiza los resultados de informes sobre los efectos negativos en la salud, de aguas altamente cloradas que se han consumido durante períodos que se han visto afectados desde unos pocos días hasta varias semanas, y que causaron algunos casos clínicos de toxicidad relacionada con el cloro, ácido hipocloroso o hipoclorito en el agua potable. Sin embargo, el autor presenta los datos de forma anecdótica y sin especificar qué concierne a las pruebas realizadas.

Asimismo, la información que presenta Muegge; acerca del acontecimiento sobre las 150 personas que pertenecían a una base militar en donde consumieron agua con 50 ppm de cloro esto es aproximadamente 1.4 mg Cl/ kg /día; durante un tiempo de varios meses en proceso de desinfección; en donde no se ha presentado secuelas negativas.

Se informó que el personal militar que bebió agua durante varios meses, con niveles de cloro entre 5 y 32 ppm (aproximadamente 0.14 a 0.91 mg Cl / kg / día), no tuvo problemas. Por el contrario, los que bebieron agua con concentraciones mayores a 90 ppm de cloro tuvieron sensación de estrangulamiento e irritación en la boca y garganta.

La población evita el consumo de agua con concentraciones de 25 ppm de cloro, esto es aproximadamente 0.7 mg / kg / día, a consecuencia del olor y sabor que da el cloro.

La ingestión de cloro más común ocurre en niños que toman cloro por accidente. Soluciones que comúnmente contienen concentraciones de hipoclorito de 3-6% con un potencial hidrogeno de 11. Las cantidades que los niños tragan accidentalmente son de 4 a 5 ml, y causan irritaciones en la laringe y el esófago y, en raras ocasiones, daño al esófago, con perforación u formación de obstrucción.

Lubbers estudio las consecuencias de la ingesta continua de agua clorada en un grupo de hombres.

En la primera fase del estudio, la dosis de cloro en el agua aumentó progresivamente. Cada tres días, durante un período de 18 días, las concentraciones aumentaron de 0, 0.1, 1.0, 5.0, 10.0, 18.0 a 24.0 mg / L.

En la segunda fase, 10 personas ingirieron cloro a una concentración diaria de 5 mg / L en un volumen de 500 ml, durante 12 semanas consecutivas.

Los exámenes médicos para la fase I se realizaron el segundo y tercer día, después del final del tratamiento. Para la fase II, los exámenes se realizaron semanalmente y después de 8 semanas de comenzar el tratamiento. Se observaron desviaciones estadísticamente significativas en los niveles de creatinina, calcio, gamma glutamiltransferasa y recuento de linfocitos, al comparar los niveles antes y después del tratamiento. Finalmente, la investigación concluyó que ninguno de los análisis estadísticos mostró consecuencias fisiológicas.

### **2.1.5. Subproductos derivados de la cloración.**

Durante la cloración, se produce una serie de subproductos generados por la reacción del cloro con compuestos orgánicos. Estos componentes permanecen presentes mientras el agua incluya cloro o hipoclorito, así como también precursores orgánicos. Es por eso que la proporción de cloro residual debe mantenerse internamente dentro de los límites.

En el agua de algunos lugares se observan los ácidos húmicos y fúlvicos como consecuencia de la degradación de la materia vegetal, que da color al agua. Otras sustancias provienen de la degradación del material animal. En consecuencia, cuando algunas aguas con altas cargas orgánicas se cloran, por ejemplo, aguas contaminadas con efluentes municipales, forman subproductos como: cloro fenoles, ácido acético, ácido dicloroacético, ácido tricloroacético, tricloro acetaldehído monohidrato, 1-1-dicloropropanona, dicloroacetanitrilo, dibromoacetanitrilo, tricloroacetanitrilo, bromato, cloropicrina y cloruro de cianógeno.

<b>Compuestos formados durante la cloración.</b>		
Benzaldehido	Bromoclorometano	Bromotricloroetileno
Cloropicrina	Diclorodibromometano	Hexacloropentadieno
Benzilcianida	Bromocloropropano	Tetracloruro de carbono
Dibromoacetanitrilo	1,2 - dicloroetano	p-hidroxibenzilcianida
Bromoetano	Bromodiclorometano	Cloral
Dibromiodometano	Dicloriodometano	Iodoetano
Bromobutano	Bromoformo	Clorobutano
Dibromometano	Diclorofenol	Metilbromodicloroacetato
Bromocloroacetanitrilo	Bromopentacloroetano	Clorodibromometano
Acido dicloro acético	Dicloropropano	1,1,1 - tricloro acetanitrilo
Bromocloriodometano	Bromo propano	Clorodimetano
Dicloroacetanitrilo	Hexacloroetano	Tricloro fenol

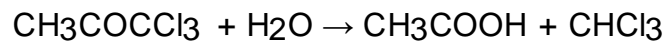
Fuente: Propia.

La Tabla muestra algunos compuestos que se pueden formar durante la cloración. Conocemos que los elementos que han resultado del proceso de cloración del agua, son los trihalometanos ( $\text{CHX}_3$ ); estos compuestos se originan a partir de la desinfección con cloro; dentro de estos compuestos podemos mencionar a los triclorometano (cloroformo,  $\text{CHCl}_3$ ), Bromodiclorometano ( $\text{CHBrCl}_2$ ), clorodibromometano ( $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ) y tribromometano ( $\text{CHBr}_3$ ).

Si bien es cierto que estos compuestos se relacionan con metanos clorados y bromados; las reacciones son entre el cloro y el metano.

Lo niveles de concentración de los trihalometanos son mayores en las aguas superficiales en el verano, debido al aumento de temperatura y materia orgánica presente. Asimismo, la concentración de trihalometanos es mayor en aguas superficiales que en aguas subterráneas, por la variación de materia orgánica.

Las pruebas de laboratorio determinan que los THM se forman por reacciones entre acetona y cloro. La acetona se oxida a tricloroacetona. El cloroformo se forma por hidrolisis de acetona.



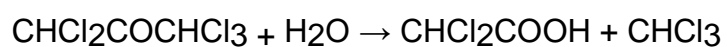
Cuando hay bromo presente, se genera acetona bromada y se genera THM bromado. Los THM se generan durante las reacciones de hidrólisis de diversos subproductos de desinfección trihalogénicos y productos de transición, tales como trihalonitrilos, trihaloacetilaldehídos y ácidos acéticos trihalobromados.

La OMS da los siguientes valores guía para los trihalometanos más comunes:

- Bromodiclorometano - 60 µg / L
- Bromoformo - 100 µg / L
- Cloroformo - 200 µg / L

Los ácidos haloacéticos (HAA) se componen de tres átomos de hidrógeno unidos a un grupo COOH. Estos átomos de hidrógeno son reemplazados por átomos de halógeno. Los HAA son compuestos no volátiles que ocasionalmente se pueden encontrar en el agua en concentraciones superiores a THM dependiendo del pH del agua. Cuando el pH es bajo, hay una mayor formación de HAA que a un pH más alto en el que se forman más THM.

Los ácidos haloacéticos se pueden generar en las reacciones de cloro y acetona. Si el pH es bajo, la tricloroacetona se oxida en tetra-, penta y hexacloroacetona. Si se hidrolizan, se forman mono, di y tricloroácidos acéticos.



Los haloacetos nitrilos (HAN), los haloaldehídos y las haloacetonas son subproductos de la desinfección que están presentes en cantidades más pequeñas que THM y HAA.

La reacción entre el cloro y el acetos nitrilo forman los haloacetos nitrilos, pero se pueden descomponer si el tiempo de reacción es bajo.

En 1986 se descubrió un nuevo subproducto de desinfección: 3-cloro -4 (dicloro-metil) -5-hidroxi -2 (5H) furano, también llamado MX. Alrededor del 30% de la actividad mutagénica total en el agua puede atribuirse a estos subproductos de la desinfección. No existen pautas para el MX disuelto, debido a la falta de información toxicológica sobre esta sustancia. En la tercera edición de la Guía de la OMS para la calidad del agua potable (2004), se establece una concentración máxima de MX de 1.8 µg / L según lo recomendado.

Otros subproductos que también se forman en la cloración del agua son halofenoles, halofuranos y halonitrometanos.

La presencia de compuestos halogenados (especialmente cloroformo y otros THM) en el agua potable pública despierta un interés creciente desde la perspectiva de la salud pública. La desinfección del agua por cloración es una práctica común. Sin embargo, en presencia de materia orgánica, se produce THM clorado, y en los últimos años ha habido una acumulación de datos que muestran que la exposición a THM está asociada con un mayor riesgo de cáncer.

#### **2.1.6. Efectos tóxicos de los trihalometanos**

Se sabe que el cloro tiene muchas ventajas para la salud y para tratar el agua, sin embargo, últimos estudios dan a conocer que existe una relación causal entre la desinfección del cloro y el cáncer a largo plazo.

Desde 1974, se han llevado a cabo una serie de estudios descriptivos-geográficos y epidemiológicos-analíticos en los Estados Unidos, que tiene como finalidad evaluar la influencia de la calidad de agua sobre el riesgo de cáncer.

Debido que ambos estudios son diferentes en diseño y metodología, no se pueden comparar los resultados.

Los primeros estudios realizados fueron los de carácter geográfico descriptivo; Finalmente, se estableció la necesidad de desarrollar estudios epidemiológicos-analíticos que brinden estimaciones de la magnitud del riesgo, considerando las exposiciones individuales y los posibles factores de confusión. Los resultados de ambos tipos de estudios han mostrado un pequeño aumento en el riesgo de contraer cáncer de vejiga y de colon. A pesar del hecho de que, en cada generación de investigación, se logra una mayor calidad en sus diseños y análisis, la existencia de una relación causal de cáncer y agua clorada no se puede inferir con total certeza, porque todavía hay varias deficiencias de diseño y en la metodología de investigación.

Con respecto a los resultados de los estudios descriptivos geográficos, Wigle y Cols. Informaron una correlación entre contaminantes específicos en el agua potable y los riesgos de contraer cáncer. El estudio se realizó en diferentes ciudades de Canadá con un mínimo de 10,000 habitantes. Los datos de calidad del agua se extrajeron de tres encuestas nacionales sobre el suministro de agua urbana, así como de un informe sobre fluoración y mortalidad por cáncer en ese país.

Las variables consideradas en el análisis incluyeron: fuente de agua, concentración de asbesto, carbono orgánico total, THM con y sin cloroformo, concentración de cloro, dureza del agua, tiempo de residencia de la población (al menos 10 años) y nivel educativo de la misma. Como conclusión no se encontró entre niveles de concentración de cloro y muerte por diferentes tipos de cáncer.

En el caso del segundo tipo de estudios (epidemiológicos-analíticos) Cragle y Cols. investigaron la relación entre la cloración del agua y el cáncer de colon, utilizando 200 casos de siete hospitales en Carolina del Norte, así como 407 casos de control sin evidencia de cáncer o antecedentes familiares de pólipos, colitis ulcerosa, pólipos adenomatosos o cualquier otro trastorno de la parte superior crónica intestino. Tanto para los casos como para los controles, los sujetos en estudio tuvieron que residir en el Estado, al menos durante los últimos diez años. Los datos de los sujetos de comparación se cruzaron por edad, raza y sexo. Además, se obtuvo información adicional sobre el consumo de alcohol, los riesgos genéticos, la dieta, la región, la población de residencia, la educación y el embarazo. Estas características fueron evaluadas y

controladas durante todo el período de análisis. El tipo de servicio de suministro de agua se verificó y clasificó para su análisis como clorado o no clorado. En conclusión, el riesgo de cáncer de colon se relacionó con antecedentes genéticos, consumo de alcohol y una dieta alta en grasas. Asimismo, se encontró cierta relación entre el agua clorada y el cáncer, según la edad y el tiempo de exposición. Las propiedades fisicoquímicas del agua no fueron consideradas en estos estudios.

En 1987, Cantor y cols. investigaron respecto a la relación de cáncer de vejiga, durante un estudio epidemiológicos-analíticos en 4,657 personas, entre hombres y mujeres, que consumieron agua clorada y no clorada. En el primer año del estudio, se analizaron datos de 1,630 personas diagnosticadas con cáncer de vejiga y las 3,027 personas restantes sin problemas de cáncer. Finalmente, los investigadores reportaron una relación entre el cáncer de vejiga y el suministro de agua clorada. La presencia de cáncer de vejiga no se informó en personas que consumieron agua subterránea no clorada. Finalmente, la incidencia de cáncer de vejiga se asoció con aguas superficiales cloradas, pero no con niveles de cloro residual o subproductos de oxidación.

Con respecto a las pruebas de laboratorio con animales, el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos informa datos de las pruebas realizadas con una sola dosis de cloroformo y concluye que con 1 dg / L, el riesgo de contraer cáncer es de aproximadamente 1 en 10 millones, con 95 % confianza. nivel, datos obtenidos por extrapolación de pruebas realizadas en animales experimentales.

Desde el punto de vista toxicológico, es muy difícil extrapolar los resultados obtenidos de los estudios de cáncer en animales experimentales y extenderlos a los humanos. Además, estos estudios se han llevado a cabo con un número limitado de animales y compuestos, además de llevarse a cabo por un corto tiempo.

El agua con cloro; compromete al consumidor final, a que puede padecer de un daño severa en donde no está determinado con claridad, estudios demuestran diferentes situaciones y controles que han evidencia un leve incremento en la posibilidad de adquirir cáncer de vejiga; en comunidades que consumen gran cantidad de agua clorada.

El THM se puede incorporar al cuerpo humano de varias maneras: ingestión de agua del grifo, inhalación de THM evaporado y absorción dérmica. Independientemente de las actividades diarias de consumo de agua, bañarse o ducharse, nadar en la piscina también puede contribuir a la exposición total al THM.

Los estudios epidemiológicos relacionan algunas exposiciones a THM y, en general, la exposición a subproductos de desinfección con efectos sobre la salud, como el cáncer de vejiga y ciertos defectos de nacimiento en los recién nacidos de madres expuestas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece los valores de referencia recomendados (VG) como concentraciones individuales máximas de cada uno de los THM en el agua para consumo humano.

Cloroformo:	300 µg/L
Bromodiclorometano (BDCM):	60 µg/L
Dibromoclorometano (DBCM):	100 µg/L
Bromoformo:	100 µg/L

Según establece la OMS, si se quiere considerar la toxicidad conjunta de los cuatro THM se debe cumplir este requisito:

$$\frac{C_{\text{cloroformo}}}{VG_{\text{cloroformo}}} + \frac{C_{\text{BDCM}}}{VG_{\text{BDCM}}} + \frac{C_{\text{DBCM}}}{VG_{\text{DBCM}}} + \frac{C_{\text{bromoformo}}}{VG_{\text{bromoformo}}} < 1$$

(siendo C la concentración y VG el valor guía)

En España y en la Unión Europea, los criterios sanitarios para la calidad del agua para consumo humano establecen una concentración máxima permitida de THM total (suma de cloroformo, Bromodiclorometano, dicloroclorometano y Bromoformo) de 100 µg / L. Estos límites legislativos se establecen al establecer la seguridad. márgenes que garantizan un alto grado de protección para la población.

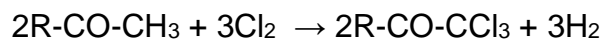
## 2.2. FORMACIÓN Y EXTRACCIÓN DE TRIHALOMETANOS.

### 2.2.1. Formación de trihalometanos

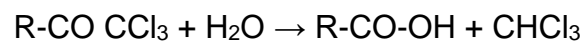
El mecanismo de formación de trihalometanos durante el proceso de desinfección del agua con cloro libre; es un procedimiento difícil; donde las sustancias que el halógeno forman con el agua, reaccionan con los derivados del humus que comúnmente tiene este medio.

Cloro residual libre + Precursores (Ac. Húmicos) → THM's

La formación de trihalometanos se presenta en la siguiente "reacción halomorfo":



Después una hidrolisis:



Cuando hay bromo presente se genera acetona brominada y genera THM's brominados.

Aparecen cuatro definiciones básicas para THM's:

- THM's instantáneos: Que se define como la concentración al momento de muestrear.
- THM's final: concentración final al mayor espacio de la distribución principal.
- Formación potencial de THM's: Es establecida por la diferencia de la concentración instantánea de THM's y de la THM's terminal.
- Potencia máxima total de THM's: Este valor significa el nivel de la concentración máximo de THM's bajo las condiciones más favorables para la formación de THM's.

### **2.2.2. Factores en la formación y concentración de trihalometanos.**

- Temperatura: mayor es la formación de cloroformo, al aumentar la temperatura, a la vez que se mantengan el pH y dosis de cloro.
- Efecto del pH: a mayor pH más formación de trihalometanos, a causa de la acción de catalítica del haloformo.

- Cloro residual: a más cloro residual en agua más generación de cloroformo.
- Precursores orgánicos o sustancias húmicas: al haber más cantidad de compuestos derivados del humus mayor es la formación de trihalometanos
- Concentración de bromo (Br) en agua: el bromo es un elemento que se encuentra en agua de forma natural, forma ácido hipobromoso al reaccionar con el cloro.
- Tiempo de contacto con el cloro: tiempo en el que el agente desinfectante está en contacto con la materia orgánica.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que los trihalometanos no se forman exclusivamente durante la fase de tratamiento del agua. Dependiendo de la concentración materia orgánica y cloro residual, por la tanto la formación de trihalometanos puede continuar en los sistemas de distribución de agua.

### 2.2.3. Técnicas de extracción de trihalometanos volátiles

Un proceso analítico típico consiste en varios pasos discretos: muestreo, preparación de muestras, separación, cuantificación y análisis de datos. Por ejemplo, en el análisis de compuestos semivolátiles en agua, los análisis de interés se extraen primero en un compuesto orgánico. La solución resultante se introduce luego en un instrumento analítico para su separación, cuantificación y posible identificación. Cada uno de estos pasos afecta la precisión y velocidad del análisis. Aunque las técnicas de narración multidimensional, como la cromatografía de gases / espectrometría de masas (GC / MS) tienen una mejor separación y cuantificación, los pasos de preparación aún varían mucho tiempo y a menudo usan un volumen significativo de solventes orgánicos.

La micro extracción en fase sólida (SPME) es una técnica de micro extracción, lo que significa que la cantidad de extracción es muy pequeña si se compara con la cantidad de muestra a analizar. Como resultado, no hay una extracción exhaustiva de los trihalometanos en la fase de extracción, sino que se obtiene un equilibrio entre la matriz de muestra y la fase de extracción.

Es necesario desarrollar y mejorar el tratamiento de las muestras para el análisis, principalmente la extracción de la matriz y los pasos de preconcentración de las muestras, para alcanzar los niveles de concentración que pueden medirse mediante métodos analíticos específicos.

Se han informado varios métodos para la extracción y preconcentración de muestras para la determinación de THM, como la extracción líquido-líquido basada en la división entre dos o más fases a través de las cuales el análisis se transfiere de la matriz al extracto orgánico. Las técnicas de espacio de cabeza (HS), historias como métodos estáticos (cromatografía de gases de HS (GC)) y espacio de cabeza dinámico con purga y trampa y SPME, principalmente en modo de espacio de cabeza, se han utilizado ampliamente para la determinación de estos analitos.

Más recientemente, la extracción de micro fases de fibra hueca en fase líquida (HFLPME) implica la miniaturización de la extracción líquido-líquido (LLE) basada en el soporte de membrana líquida que posee. Utiliza una membrana de fibra hueca semipermeable donde el disolvente orgánico impregna

los poros de la membrana y actúa como una interfaz entre la solución de muestra y la extracción de la fase contenida en la luz en la que se extrae el analito.

#### **2.2.4. Análisis por cromatografía de gases.**

La cromatografía de gases fue la técnica cromatográfica desarrollada hace cinco décadas, se usó recientemente para compuestos volátiles que no se descomponen cuando se calientan, pero ahora se han extendido a polímeros que cuando se calientan los monómeros volátiles.

Su velocidad y buena resolución se han aplicado al análisis de mezclas complejas de hidrocarburos, pesticidas en el suelo, que se consideran contaminantes ambientales, aromas, saborizantes utilizados en alimentos, fragancias utilizadas en la industria del perfume y en ciencias forenses para identificar sustancias inflamables que causa de incendios.

Para una aplicación exitosa de la técnica cromatográfica, se requiere una selección cuidadosa de las columnas cromatográficas utilizadas, hay una gran cantidad de fases estacionarias para aplicaciones específicas.

La cromatografía agrupa un conjunto importante y diverso de métodos que facilitan la separación, identificación y configuración de componentes estrechamente relacionados en mezclas complejas; Muchas de las separaciones son imposibles por otros medios. En todas las separaciones cromatográficas, la muestra se disuelve con una fase móvil, que puede ser un gas, un líquido o un fluido supercrítico, la cualidad pasa a través de una fase estacionaria inmisible fijada en una columna o en una superficie rígida.

Las dos fases se eligen de tal manera que los componentes de la muestra se distribuyan en diferentes grados entre la fase móvil y la fase estacionaria. Los componentes que están fuertemente retenidos por la fase estacionaria se mueven muy lentamente con el flujo de la fase móvil. En contraste, los componentes débilmente unidos a la fase estacionaria se mueven rápidamente.

Como resultado de las variaciones de rapidez de migración, los componentes de la muestra se separan en diferentes bandas o zonas que pueden analizarse cualitativa y cuantitativamente.

### **Componentes de un cromatógrafo de gases (GC)**

En la cromatografía de gases, la mezcla de solutos en la separación, una vez volatilizada, se pasa a través de un tubo (columna) largo y estrecho con la ayuda de un gas portador inerte, especificando la separación en la diferencia de velocidad de los solutos en su paso a través de la columna, que luego llegará al sistema de detección. Las señales del detector se registran automáticamente obteniendo una serie de picos que especifican el cromatograma. La posición de los picos (tiempo de retención) se usa con fines cualitativos, mientras que su tamaño está relacionado con la concentración de solutos.

En la Figura 1 se muestra un diagrama general de las partes de un cromatógrafo de gases, seguido de una descripción de la ruta tomada por la muestra, así como una descripción de cada parte del equipo.

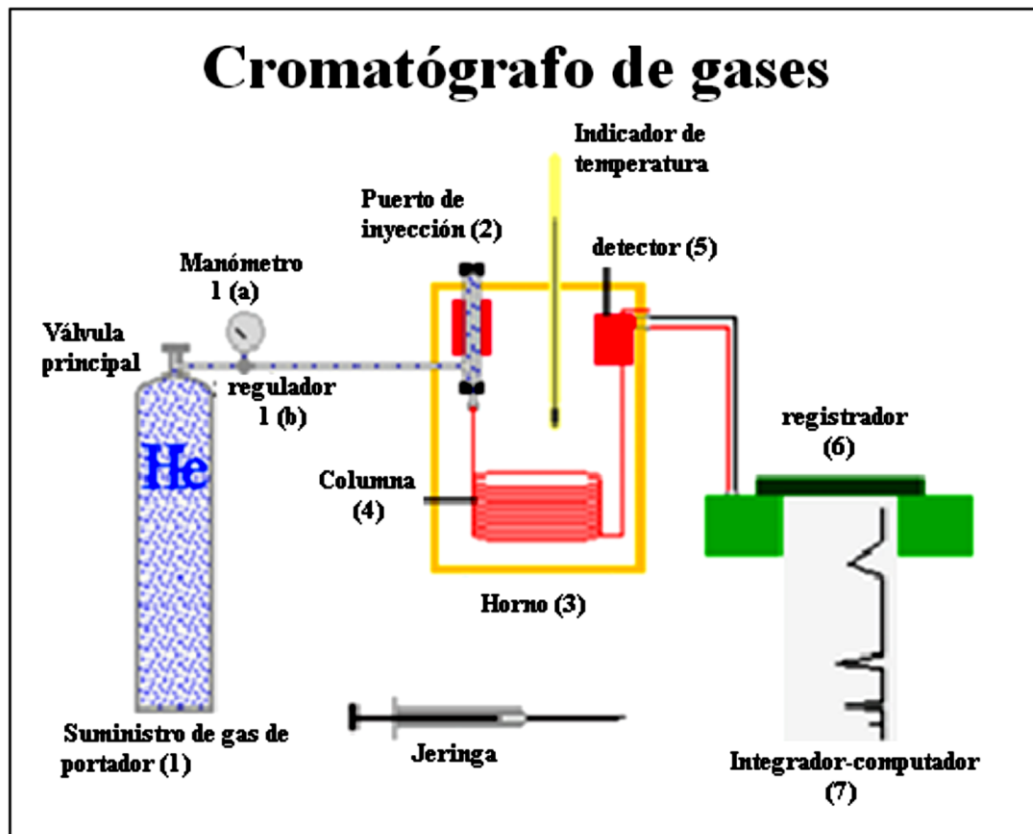


Fig. 1. Esquema de un cromatógrafo de gases.

FUENTE: <http://www.rabfis15.uco.es/labquímica>.

- (1) Sistema de suministro de gas portador, que normalmente es una bala o una botella de gas presurizado, y que a su salida tiene: (a) un controlador y (b) un sistema de medición y regulación de flujo. Con frecuencia, el gas se divide en dos transferencias antes de llegar al sistema de introducción de muestras: una va directamente al detector, para actuar como referencia, mientras que la otra para un paso de columna, y en la cual transporta la muestra.

- (2) Puerto de inyección, cuya configuración cambia de acuerdo con su condición física y el tipo y la capacidad de la columna utilizada. Este sistema pone la muestra en contacto con la corriente de gas portador.
- (3) Sistema de control de temperatura también llamado horno, que controla la temperatura de la muestra y el sistema de introducción de columna, ya que es una variable decisiva para lograr una separación y reproducibilidad adecuadas.
- (4) Columna, que es el componente esencial del cromatógrafo y que es donde se produce la separación de solutos. En ella está la fase estacionaria (líquida o sólida). Presentaciones de diferentes formas y dimensiones según el tipo de aplicación.
- (5) Sistema de detección, ubicado a la salida de la columna. A través de él pasa el gas portador con solutos y se separa. Cuando pasa un soluto, se genera una señal eléctrica que se amplifica regularmente.

- (6) Grabador, cuando llega la señal eléctrica amplificada y da lugar al cromatograma. Un par de ellos obtienen datos cualitativos y cuantitativos.
  
- (7) Integrador-computadora, que es un sistema informático incorporado en el cromatógrafo para la recolección y procesamiento de datos. Realización automática de las siguientes operaciones: (a) integra el área de pico, (b) mide el tiempo de retención, (c) realiza cálculos con parámetros y (d) proporciona el informe de análisis final.

Todo el proceso comienza con la inyección de la muestra, realizada por el dispositivo de inyección que es automáticamente una micro jeringa, además de otros dispositivos de inyección manual como el soporte SPME, y cuyo objetivo es depositar la muestra en la cámara de inyección de calor o inyector A través de un flujo constante de gas portador, que pasa a través del inyector, la muestra se transporta a la columna, donde sus componentes se inician y distribuyen en la fase estacionaria debido a las diferentes formas de interacción con él. La columna que se puede llenar o capilar, ubicada dentro de un gabinete u horno termostático.

La velocidad de movimiento de los diferentes compuestos de la mezcla a lo largo de la columna da como resultado diferentes tiempos de retención para cada compuesto. Si el coeficiente de partición favorece la fase estacionaria, la tasa de migración del compuesto a través de la columna será baja. Del mismo modo, aquellos que son retenidos débilmente por la fase estacionaria viajarán más rápido a lo largo de la columna. El compuesto que tiene la menor afinidad por la fase estacionaria llegará más rápidamente al final de la columna. Los primeros componentes que emergen de la columna junto con el gas portador, ingresan al detector, cuya señal emitida es amplificada por el electrometro, activando el registrador, que permite gestionar un registro permanente de la separación, al dibujar un gráfico llamado cromatograma, que muestra los tiempos de retención de cada sustancia y la intensidad de la señal (directamente proporcional a la concentración de analito) expresada en milivoltios (mV). Este gráfico consiste en una serie de picos, cuyo tiempo de retención permite identificar el compuesto, y con el área debajo del pico se determina la concentración, por lo tanto, el tamaño del pico será directamente proporcional a la intensidad de la señal recibida del detector y esta señal a su vez es directamente proporcional a la concentración de analito.

### **Puerto de inyección**

Es un dispositivo donde se introduce de la muestra en la corriente de gas portador. Existen variedades de diseños dependiendo del tipo de muestra a analizar. El más común es el inyector de líquido, que puede usarse para sólidos (en solución) y gases (usando jeringas especiales). El inyector es una cámara ubicada en la entrada de la columna y se calienta independientemente de ella (a una temperatura superior al punto de ebullición del componente más volátil de la muestra), que generalmente tiene una membrana de goma por donde se introduce la muestra ayudándose con una micro jeringa hipodérmica.

### **Métodos de inyección de muestras**

Dependiendo de la cantidad de muestra disponible, el tipo de columna utilizada y, en última instancia, la concentración de analitos, existen dos sistemas utilizados para inyectar la muestra en la columna de separación:

Inyección dividida: cuando se trabaja con columnas capilares, es necesario reducir el volumen de la muestra para no sobrecargar el sistema. En general, se inyecta 1  $\mu\text{L}$  de muestra a través de un inyector divisor (inyección dividida), pero en realidad solo 0.01  $\mu\text{L}$  ingresan a la columna. Este método previene la sobrecarga de la columna, pero desperdicia una cantidad considerable de muestra.

Inyección sin división: cuando la cantidad de muestra disponible es muy limitada y las concentraciones de analito están en niveles considerablemente bajos, si se usa la inyección en Split, se introduciría muy poca muestra en la columna. Para estos casos se requiere un sistema de inyección sin división (inyección sin división). Con este mecanismo, la muestra, incluido el solvente, se introduce en la columna por medio de un vaporizador instantáneo caliente. Se evita un exceso de disolvente en la columna, abriendo el puerto de inyección a la atmósfera, poco después de la inyección de la muestra, cuando una buena parte del disolvente y toda la muestra han entrado en la columna.

### **Fase móvil**

Fluido gaseoso, líquido o supercrítico. Por ejemplo, gases inertes como nitrógeno, helio o argón. El gas portador transporta las moléculas de analito a través de la columna, este movimiento es inhibido por la adsorción del analito tanto en las paredes de la columna como en los materiales empaquetados en ella.

Estos gases deben cumplir ciertos requisitos para que sea eficaz la función de arrastre, que se describen a continuación.

- Debe de poseer un comportamiento inerte frente a la fase estacionaria y los componentes de la muestra.

- Ser térmicamente estable.
- Su selección depende de:
  - + Disponibilidad del Gas.
  - + Pureza del gas.
- Consideraciones particulares del análisis y del detector empleado.

### **Columna cromatográfica**

Donde se realiza la separación, por eso se le conoce como el "corazón del cromatógrafo". Por la gran variedad de análisis que se pueden realizar por cromatografía de gases, existen diferentes tipos de columnas que pueden variar en muchos aspectos, como la longitud, el material de la columna, el diámetro interno, etc. Sin embargo, la diferencia fundamental entre un tipo de columna y otro radica en la constitución de la fase estacionaria, también:

#### **A) Empacadas**

- Fase estacionaria líquida, que recubre un soporte sólido, para cromatografía gas-líquido.
- Fase estacionaria sólida, en los casos de cromatografía gas-sólido.

## B) Capilares

- Columna Capilar de pared recubierta (W.C.O.T)
- Columna Capilar de soporte recubierto (S.C.O.T)

En el caso de las columnas capilares W.C.O.T (Las siglas W.C.O.T y S.C.O.T hacen referencia a la abreviatura en ingles del tipo de columna: Wall Coated Open tubular y SupportCoted Open Tubular) son tubos capilares donde la pared interna está cubierta de una finísima capa de fase estacionaria. Las segundas (S.C.O.T) poseen en su parte interna una fina capa de material adsorbente, como el usado en las columnas empacadas, donde se ha adherido la fase estacionaria. Cada tipo de columna, trae sus ventajas y desventajas frente a las demás. En el caso de las columnas empacadas, su capacidad de carga es mayor, por lo que puede trabajar con mucha más cantidad de muestra que una columna capilar. Análogamente, la ventaja de las columnas capilares frente a las empacadas es su eficacia en el proceso de separación de las mezclas determinadas.

La capacidad de carga se define como la cantidad de muestra que se puede introducir sin una pérdida considerable de valor y se corresponde con el aumento del período estacionario por

componente de distancia de la columna. Las columnas empaquetadas contienen un soporte sólido inerte con una cubierta delgada del estado líquidos. Las columnas de capilaridad originalmente contenían una película de líquido que cubría la pared interna de la columna de vidrio o metal.

Debido a este tipo de columnas, los análisis han podido ser más sensibles. La columna se encuentra ubicada en el interior de un recinto termostatzado u horno. Esto se debe a que la temperatura influye de manera importante en la retención de los componentes por la columna, y por ende en la separación de éstos. Por tal motivo, la temperatura debe ser uniforme en la columna y fácilmente controlable. Se consigue uniformidad en la temperatura en la columna haciendo circular aire caliente por todo el recinto que la contiene. Esto se hace por medio de un ventilador.

En la mayoría de los equipos la temperatura se puede regular de un modo continuo a un valor deseado. De igual forma en algunos equipos se acopla un programador lineal de temperatura para calentar la columna con una o varias rampas de calentamiento.

## **DETECTORES**

Los detectores son componente que señalan y determinan solutos en la corriente de gas portador, transformando una señal claramente no medible en una señal medible con propiedad física. Esta señal se elabora por una similitud entre el gas portador puro (blanco) y el gas mismo que transporta cada uno de los componentes por adelantado separados en la columna, esto se traduce en una señal eléctrica que se amplifica y registra en el momento de salir de la columna.

Los detectores usados en cromatografía de gases son transductores de concentración, es decir, instrumentos con la capacidad de medir, en este caso, la variación de la concentración de las sustancias eluidas en el seno del gas portador, convirtiéndola en una señal eléctrica proporcional, fácilmente medible y que se registra en función del tiempo. En general, los detectores empleados en cromatografía de gases, deben reunir ciertos requisitos propios de las exigencias y de la naturaleza de la técnica cromatográfica como tal; esto implica que debe ser un transductor de concentración en fase de vapor, poseer una adecuada sensibilidad, así como un bajo nivel de ruido, estabilidad y reproducibilidad, que le confieran por ende una alta fiabilidad y manejo sencillo.

También, debe ser rápido, capaz de revelar casi instantáneamente variaciones de concentración en el gas portador que emerge de la columna. Esta rapidez de respuesta es particular para cada detector, pero puede decrecer si el volumen interno del mismo es grande. En vista de ello, para una rápida respuesta y evitar pérdida de resolución de las sustancias separadas, el volumen interno del detector tiene que ser lo más pequeño posible. En conclusión, al comparar la calidad de los detectores empleados en cromatografía de gases, se tienen que tener en cuenta aspectos fundamentales como: sensibilidad, rapidez de respuesta, una respuesta lineal adecuada, así como un bajo nivel de ruido, pero sensible a las diferencias de flujo y temperatura.

Un buen detector es altamente sensible, tiene una respuesta lineal sobre un amplio rango de concentración y es relativamente insensible a variaciones de flujo y temperatura.

Se clasifican en:

- Grado de selectividad: universales y específicos-selectivos. Los primeros se usan con las mayorías de solutos y el otro con sustancias en particular.
- Recuperación de la muestra: en referencia a si la muestra es destruida o no.

- Modo de respuesta: que dependen de la masa, es decir que el soluto es independiente a la cantidad de gas portador. Dependientes de la concentración de gas portador.
- Proceso de detección: ionización; óptico-espectroscópico; electroquímico.

## **CAPÍTULO III**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

#### **3.1. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.**

##### **3.1.1. Materiales.**

- Buretas de 50 mL
- Pipetas 0,1 y 10 mL
- Probetas graduadas de 100 y 500 mL.
- Fiolas de 1000 mL
- Tubos de ensayo
- Embudos Buchner de Porcelana
- Matraz Kitazato
- Placas Petri
- Cinta pH
- Papel filtro Whatman N° 40

##### **3.1.2. Equipos.**

- Destilador de Agua
- Refractómetro
- Centrífuga
- Balanza Analítica
- Evaporador
- Mufla
- Cromatógrafo de gases.

### 3.1.3. Reactivos.

- Formalina (formaldehído al 40%)
- NaOH (0,1N)
- Fenolftaleína al 2%
- Alcohol Etílico
- Ferrocianuro de Potasio
- Nitrato de Amonio
- Nitrato de Potasio
- Sulfato de Potasio
- Fosfato ácido de Potasio
- Sulfato de Zinc
- Oxido de Calcio
- Carbonato de Calcio
- Ácido Sulfúrico
- Carbón Activado
- Cloruro de Bario
- Carbonato de Sodio
- Ácido Clorhídrico
- Nitrato de Plomo
- Ácido Nítrico
- Ácido Acético
- Hidróxido de Amonio
- Ácido sulfhídrico

- Sulfato de Hierro
- Amonio Dodecahidratado
- Sulfocianuro de Amonio
- Molibdato de Amonio
- Sulfato de Para-Metil-AminoFenol
- Bisulfito de Sodio
- Nitrato de Magnesio
- Acetato de Calcio

### **3.2. RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS.**

Las muestras de agua de proceso se recogieron de tres plantas dedicadas a la producción de espárrago fresco y enlatado, de las baldosas del desagüe que sale de la planta, y que están situadas en la calle, tomadas directamente con frascos toma muestras de vidrio debidamente preparados. Una vez llenos los frascos se procedió a taparlos herméticamente y a colocarlos en una caja para luego llevarlos al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional “San Luís Gonzaga de Ica” y al laboratorio de servicios de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos de Lima para su análisis en el cromatógrafo de gases.

### **3.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA EL ANÁLISIS.**

Las muestras que se recolectaron fueron llevados al laboratorio y se pusieron en el refrigerador, hasta el momento del análisis. Previo a esto as muestreas se sometieron a una extracción con acetona pura para análisis la cual se vierte en cantidad de 10 mL al frasco que contiene la muestra, agitándose vigorosamente para extraer el trihalometano volátil, que luego es separado junto con el solvente orgánico en una pera de bromo.

### **3.4. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LAS MUESTRAS.**

Con el fin de caracterizar las muestras de agua, estas se sometieron a análisis para determinar su composición y características fisicoquímicas, utilizándose para ello los métodos de ensayo propuestos por la AOAC.

## **DETERMINACIÓN DE pH**

### **Principio del proceso**

Se apoya en la forma en cómo responde el electrodo de vidrio ante soluciones de diferente actividad de iones  $H^+$ . La fuerza electromotriz producida en el electrodo de vidrio varía linealmente con el pH del medio. Se debería de considerar el valor de la temperatura de la muestra porque esta magnitud; está relacionado con el valor del pH.

### **Reactivos**

Disoluciones estándar de pH 7, 4 y 9 para la calibración del equipo

### **Procedimiento:**

- a) Tome la muestra de agua que se desea analizar.
- b) El ajuste y calibración del aparato se efectúa según el procedimiento indicado en el manual del fabricante.

Generalmente se procede de la siguiente manera:

- Enjuague el electrodo con agua destilada.
- Coloque el corrector manual térmico en el valor de temperatura que tiene la muestra de agua.

- Introducir el electrodo en la solución buffer seleccionada y mueva el botón de encendido hasta la posición de pH.
  - Lleve la aguja del medidor al valor de pH que corresponde a la solución buffer según la temperatura, moviendo el botón de calibración en el sentido de las manecillas del reloj o viceversa.
  - Regrese el botón de encendido a posición apagado.
  - Lavar y enjuagar el electrodo con agua destilada.
- c) Determine el pH de la muestra de agua de la siguiente manera:
- Introducir el electrodo en la muestra y colocar el botón de encendido en la posición de pH.
  - se lee pH y se debe esperar a que el electrodo llegue al equilibrio.
  - Apagar el equipo.
  - Lavar el electrodo con agua destilada.
  - El pH se lee en la pantalla del potenciómetro.

## **DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD**

### **Principio del proceso**

Este principio se sustenta en el postulado del puente de Wheatstone, que se aplica a un aparato fabricado para dicha funcionalidad, este se denomina conductímetro. Se debe tener en consideración la temperatura de este caso porque la conductividad; esta íntegramente relacionada con la temperatura.

### **Procedimiento**

- En el caso de que la conductividad de la muestra sea muy alta, debe diluirse hasta que la medición entre en la escala del equipo. La celda de conductividad se introduce en la muestra y espera hasta que la lectura se estabilice (unos segundos).
- Si se usa un medidor de conductividad digital, la medición directa de la conductividad de la muestra aparece en la pantalla. Es aconsejable utilizar equipos que tengan compensación de temperatura, pero uno debe hacerse manualmente.

## **SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN**

### **Principio del proceso**

Se depura una muestra anteriormente homogeneizada; a través de un filtro normal de fibra de vidrio (Whatman 4; tamaño de retención de partículas de 1.5  $\mu\text{m}$ ), previamente tarado en seco. Lo sobrante se seca a peso constante entre los valores de 103 a 105° C. El incremento de peso en relación al filtro significa la suspensión general de los sólidos.

### **Procedimiento**

- Se taran individualmente en placas de vidrio los filtros estándar necesarios y se anota el peso inicial seco, determinado a 103-105°C.
- Con un filtro tarado, un volumen específico de muestra se filtra con una bomba de vacío.
- Se seca en estufa a 103 -105° C..

### **Cálculos:**

Sólidos totales (mg/litro) = [(A-B) x1000]/Volumen de muestra (mL)

A - peso de residuo seco + filtro (mg)

B - tara del filtro (mg)

### **SÓLIDOS SEDIMENTABLES**

#### **Procedimiento**

- Se llena un cono de Imhoff con 1 litro de la muestra bien homogeneizada.
- Durante 45 min se sedimenta agitando suavemente las paredes con una varilla.
- Se deja reposar por 15 min.
- Se registra el volumen de sólidos sedimentados en la parte inferior del cono. La determinación se expresa en mililitros de partículas sedimentadas por litro de muestra.

## **CLORUROS.**

### **Procedimiento.**

Se vierte 100 mL de la muestra en un Erlenmeyer y en otro 100 mL de agua destilada (libre de cloruros) que servirá como testigo para la comparación. Si la muestra es coloreada se decolora con 3 mL de solución de hidróxido de aluminio. Después de unos 10 minutos se filtra y lava con 10 a 15 mL de agua destilada. Si la muestra contiene sulfuro o tiosulfato, se alcaliniza a la fenolftaleína con solución de hidróxido de sodio. Se agrega 1 mL de peróxido de hidrógeno y se agita. Se neutraliza con ácido sulfúrico.

### **Titulación.**

Para este procedimiento se aplica gotas de fenolftaleína hasta un color rosado y se agrega ácido sulfúrico o hidróxido de sodio para ajustar un pH entre 7 a 10. Luego se agrega 1ml de  $K_2CrO_4$ . Se titula con nitrato de plata hasta que de un color amarillo rojo. Se hace el mismo procedimiento con la muestra testigo.

### **Cálculo.**

$$\text{Cl} = \frac{(\text{mL AgNO}_3 \text{ (muestra)} - \text{mL AgNO}_3 \text{ (testigo)}) \times \text{Nor. AgNO}_3 \times 35,46 \times 1,000}{\text{mL de la muestra}}; \text{mg/L.}$$

### **DUREZA TOTAL.**

#### **Procedimiento:**

- a) Se toman 50 mL de la muestra, se agrega 1 mL de solución amortiguadora.
- b) Se adicionan posteriormente 4 gotas de la solución indicadora.
- c) Se titula con EDTA.

Si en la titulación no se consigue un viraje preciso de color, hay que agregar el inhibidor. El tiempo no debe exceder los 5 minutos, a partir de cuándo se agrega la solución amortiguadora.

#### **Cálculo:**

$$DT = ml \text{ EDTA} \times 20$$

Dureza total como mg/l de carbonato de calcio.

## SULFATOS.

### Procedimiento:

- a) Se filtra la muestra hasta que no presente turbiedad.
- b) Tome 50 mL de la muestra filtrada en un matraz y se agrega 5 mL de solución acondicionadora. Se mezcla bien y agregar cloruro de bario, agitar y dejar reposar.
- c) Haga la lectura en el turbidímetro y obtenga la concentración de sulfato en la tabla del turbidímetro.

### Cálculo:

$$\text{mg/L de SO}_4 = \frac{\text{mg de SO}_4 \times 1000}{\text{mL de muestra}}$$

## COLOR RESIDUAL

La muestra debe ser extraída en un frasco oscuro.

Reactivos:

1. Solución de o-Tolidina  
Disolver 1.35 g en una mezcla de 150 mL de HCl concentrado.  
y 850 mL de H<sub>2</sub>O destilada (Conservar en frasco oscuro)
2. Solución 0.2 M de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>  
Disolver 12.4 g en 1000 mL de H<sub>2</sub>O destilada

3. Solución 0.01M de Bórax  
(Disolver 3.8 g de  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  en 1000 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada.
4. Solución de pH 6.5  
Mezclar 940 mL de solución 1, con 60 mL de solución 2)
5. Solución de Cromato-Dicromato  
Disolver 0,155 g de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  y 0,465 g de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  en 1000 mL de solución 4

### **Procedimiento**

El ensayo debe realizarse a una temperatura de 15 -25° C.

Transferir 100 mL de muestra a un Tubo de Nessler.

Agregar 5 mL de solución de o-Tolidina

Agitar y dejar en lugar oscuro durante 5 minutos.

En sendos Tubos de Nessler, agregar: 5 -10 -20 -30 -50 y 100 mL de solución 5

Completar el volumen a 100 mL, con solución 4

Estos standards equivalen a: 0.05 - 0.10 - 0.20 - 0.30 - 0.50 y 1.0 mg/L de  $\text{Cl}_2$

### **Cálculo**

Comparar el color de la muestra con los colores de los standards.

Si el color es más intenso que el standard de 1.0 mg/L, efectuar el ensayo con menos muestra.

## **3.5. DETERMINACIÓN DE TRIHALOMETANOS**

### **Muestras**

Para la caracterización de precursores determinados por el parámetro carbón orgánico total COT y subproductos de la desinfección cuantificados como trihalometanos THMs se eligieron 8 muestras de agua de proceso.

Como el análisis no fue realizado inmediatamente terminado el muestreo, las muestras fueron preservadas bajo refrigeración a 4°C. El material de vidrio fue enjuagado con detergente, ácido HNO<sub>3</sub> 20% (v/v), agua desionizada (conductividad <1.0 µS/cm), acetona y posterior calentamiento en secador de velocidad 80 °C.

Finalmente se enjuaga con metanol (solvente en el que se solubiliza el contenido de la ampolla estándar de THMs), el lavado de material de vidrio utilizado en el análisis de COT se termina solamente con el enjuague con agua desionizada para evitar

aporte de carbono por la acetona y el metanol (compuestos orgánicos carbonados)

### **Procedimiento Analítico**

Carbón orgánico total disuelto (filtración micromembrana de 0.45  $\mu\text{m}$ )

### **Instrumentación.**

El analizador de combustión utilizado fue un modelo Shimadzu TOC-VSCN equipado con detector de infrarrojo no dispersivo.

### **Parámetros COT.**

Inyector automático equipado con válvula de 8 puertos. El tubo de combustión donde se realiza la reacción de oxidación catalítica a 680°C es un tubo de vidrio de cuarzo relleno de lana de cuarzo + catalizador estándar TOC + fibra de cerámica soportado por mallas de platino. La presión de trabajo fue de 43,5 psi. El gas de arrastre fue aire Ultra Puro a un flujo de 150 mL/min. Volumen de inyección de 80  $\mu\text{L}$ .

### **Solución estándar de trabajo.**

Se pesaron 2,125 g de ftalato ácido de potasio grado reactivo previamente secado en horno a 105°C por dos horas y enfriado en desecador. Se trasladaron cuantitativamente a un matraz de 1 L, enrasándose con agua destilada desionizada; se tapó y agitó vigorosamente. La solución tuvo una concentración de 1000 mg C/L.

### **Estándares de calibración.**

El rango de concentración de la curva para COT fue de 1-10 mg /L. A partir de la solución estándar de trabajo se prepararon 100 mL de solución de 40 mg/L, a partir de esta solución intermedia el equipo automáticamente elaboró la curva, con factor de dilución inferior a 50.

### **Medición de TOC.**

Se hizo a través de la determinación de carbón orgánico no purgable CONP, y se requiere acidificar y burbujear a fin de eliminar el carbón inorgánico constituido básicamente por la combinación de carbonatos y bicarbonatos.

## **Trihalometanos**

### Extracción con Headspace

El sistema de espacio de cabeza (Headspace) empleado fue un modelo Hewlett Packard 7694, con las siguientes condiciones de optimización: temperatura horno 60°C, tiempo de equilibrio en el horno 10 min y volumen de muestra en el vial 5 mL. Instrumentación.

El cromatógrafo de gases utilizado fue un modelo Hewlett Packard 6890 equipado con un detector de captura de electrones linearizado Ni63.

### **Parámetros CG.**

El puerto de inyección fue Split/splitless, con temperatura en el inyector de 150 °C. Se empleó una columna capilar HP-1 (30m x 0.53 mm x 2.65 µm; fenil metil siloxano de fase estacionaria). El flujo total fue 20.5 mL/min con argón-metano P5.0 como gas portador.

### **Programa de temperatura en el horno en el CG.**

La temperatura inicial fue 50 °C, sostenida por 3 minutos. Luego la temperatura fue incrementada gradualmente a 90 °C a una tasa de 10 °C/min durante 4 minutos. El tiempo total de corrida para el programa de temperatura fue de 7 minutos. Finalmente, se hizo un post run incrementando la temperatura a 200 °C por 2 minutos para hacer limpieza de la columna.

### **Solución estándar de trabajo.**

Los estándares fueron preparados a partir de Ultra Standard (trihalomethanes mixture) marca Agilent Technologies. El valor real en µg/mL para cada analito, determinado gravimétricamente con una incertidumbre de  $\pm 0.5\%$  fue: Bromodiclorometano 200.9; Bromoformo 200.6; cloroformo 200.8; dibromocloro metano 200.7 todos en metanol.

A partir de este estándar se prepararon 10 mL de solución estándar de trabajo de 20 mg/L de mezcla de THM en metanol.

### **Estándares de calibración.**

A partir de la solución de trabajo se prepararon 10 mL de solución estándar intermedia de 1000 µg/L en metanol. Finalmente a partir de esta solución estándar intermedia, se construyó la curva de 5 – 150 µg/L en matraces de 10 mL.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. RESULTADOS OBTENIDOS.

TABLA 4.1

RESULTADOS DEL ANALISIS DE AGUA SIN HIPOCLORITO

COMPONENTE	UNIDAD	MAGNITUD
pH	-	7,3
Conductividad,	$\mu\text{S/cm}$ a 25°C	872
STS	mg/L	25
Sólidos sedimentables	mg/L	12
Cloruros	mg/L	189
Sulfatos	mg/L	121
Dureza total	mg/L	387
Cloro residual	mg/L	1
TOC	mg/L	0,5
THM	mg/L	0,00

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 4.1 muestra los resultados del análisis del agua de pozo sin tratarla con hipoclorito, en ella se observa una ausencia de trihalometanos y una baja concentración de compuestos orgánicos totales (TOC)

TABLA 4.2  
 RESULTADOS DEL ANALISIS DE AGUA POTABLE TRATADA CON  
 HIPOCLORITO

COMPONENTE	UNIDAD	MAGNITUD
pH	-	6,7
Conductividad,	$\mu\text{S/cm}$ a 25°C	945
STS	mg/L	24
Sólidos sedimentables	mg/L	12
Cloruros	mg/L	213
Sulfatos	mg/L	125
Dureza total	mg/L	389
Cloro residual	mg/L	4,5
TOC	mg/L	1,2
THM	mg/L	0,06

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 4.2 se muestran los resultados del análisis del agua potable que circula por la red, tratada con hipoclorito de sodio de concentración 5 ppm y que llega a las diferentes plantas esparragueras, como se ve en el reporte conteniendo una baja concentración de trihalometanos igual a 0,06 mg/L

TABLA 4.3  
 RESULTADOS DEL ANALISIS DE AGUA TRATADA CON  
 HIPOCLORITO (50 ppm)  
 (Muestra tomada en la Esparraguera A)

COMPONENTE	UNIDAD	MAGNITUD
pH	-	6,1
Conductividad,	$\mu\text{S/cm}$ a 25°C	1245
STS	mg/L	562
Sólidos sedimentables	mg/L	239
Cloruros	mg/L	243
Sulfatos	mg/L	188
Dureza total	mg/L	491
Cloro residual	mg/L	5,8
TOC	mg/L	3,6
THM	mg/L	1,4

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 4.3 se muestra los resultados del agua de proceso de la planta esparraguera A, que ha sido tratada con 50 ppm de hipoclorito de sodio, lo cual hace disminuir su pH a 6,1 y aumenta el contenido de trihalometanos hasta 1,4 mg/L, así mismo la cantidad de compuestos orgánicos totales aumenta a 3,6 mg/L

TABLA 4.4  
 RESULTADOS DEL ANALISIS DE AGUA TRATADA CON  
 HIPOCLORITO (50 ppm)  
 (Muestra tomada en la Esparraguera B)

COMPONENTE	UNIDAD	MAGNITUD
pH	-	6,2
Conductividad,	$\mu\text{S/cm}$ a 25°C	1232
STS	mg/L	574
Sólidos sedimentables	mg/L	248
Cloruros	mg/L	240
Sulfatos	mg/L	181
Dureza total	mg/L	445
Cloro residual	mg/L	5,6
TOC	mg/L	3,7
THM	mg/L	1,3

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 4.4 se muestra los resultados del agua de proceso de la planta esparraguera B, que ha sido tratada con 50 ppm de hipoclorito de sodio, lo cual hace disminuir su pH a 6,2 y aumenta el contenido de trihalometanos hasta 1,3 mg/L, así mismo la cantidad de compuestos orgánicos totales aumenta a 3,7 mg/L

TABLA 4.5  
 RESULTADOS DEL ANALISIS DE AGUA TRATADA CON  
 HIPOCLORITO (50 ppm)  
 (Muestra tomada en la Esparraguera C)

COMPONENTE	UNIDAD	MAGNITUD
pH	-	6,2
Conductividad,	$\mu\text{S/cm}$ a 25°C	1302
STS	mg/L	531
Sólidos sedimentables	mg/L	267
Cloruros	mg/L	244
Sulfatos	mg/L	181
Dureza total	mg/L	468
Cloro residual	mg/L	5,4
TOC	mg/L	3,5
THM	mg/L	1,5

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 4.5 se muestra los resultados del agua de proceso de la planta esparraguera C, que ha sido tratada con 50 ppm de hipoclorito de sodio, lo cual hace disminuir su pH a 6,2 y aumenta el contenido de trihalometanos hasta 1,5 mg/L, así mismo la cantidad de compuestos orgánicos totales aumenta a 3,5 mg/L

TABLA 4.6

COMPUESTOS THM PRESENTES EN EL AGUA DE PROCESO

(Muestra tomada en la Esparraguera A)

COMPONENTE	UNIDAD	MAGNITUD
Cloroformo	mg/L	0,7
Dibromoclorometano	mg/L	0,1
Bromodiclorometano	mg/L	0,3
Bromoformo	mg/L	0,3

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 4.6 se muestran los resultados del análisis del agua de las esparraguera A, para establecer qué tipo de sustancias trihalometánicas contiene, habiéndose establecido de que en ella se encuentran presente el cloroformo (0,7 mg/L), dibromoclorometano (0,1 mg/L), Bromodiclorometano (0,3 mg/L) y bromoformo (0,3 mg/L)

TABLA 4.7  
 COMPUESTOS THM PRESENTES EN EL AGUA DE PROCESO  
 (Muestra tomada en la Esparraguera B)

COMPONENTE	UNIDAD	MAGNITUD
Cloroformo	mg/L	0,8
Dibromoclorometano	mg/L	0,0
Bromodiclorometano	mg/L	0,2
Bromoformo	mg/L	0,3

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 4.7 se muestran los resultados del análisis del agua de las esparraguera B, para establecer qué tipo de sustancias trihalometánicas contiene, habiéndose establecido de que en ella se encuentran presente el cloroformo (0,8 mg/L), dibromoclorometano (0,0 mg/L), Bromodiclorometano (0,2 mg/L) y bromoformo (0,3 mg/L)

TABLA 4.8

COMPUESTOS THM PRESENTES EN EL AGUA DE PROCESO

(Muestra tomada en la Esparraguera C)

COMPONENTE	UNIDAD	MAGNITUD
Cloroformo	mg/L	0,7
Dibromoclorometano	mg/L	0,1
Bromodiclorometano	mg/L	0,3
Bromoformo	mg/L	0,4

Fuente: Datos experimentales.

En la tabla 4.8 se muestran los resultados del análisis del agua de las esparraguera C, para establecer qué tipo de sustancias trihalometánicas contiene, habiéndose establecido de que en ella se encuentran presente el cloroformo (0,7 mg/L), dibromoclorometano (0,1 mg/L), Bromodiclorometano (0,3 mg/L) y bromoformo (0,4 mg/L)

## 4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las pruebas experimentales indican que en el agua de proceso de las plantas esparragueras hay una elevada concentración de sólidos suspendidos y disueltos que reaccionan con el cloro residual, resultante de la disolución del hipoclorito de sodio, formando trihalometanos en cantidades superiores a la estipulada por las Normas Nacionales dadas por DIGESA, que es de 1 mg/L como límite máximo permisible.

Así mismo se puede ver que la cantidad de compuestos orgánicos totales aumenta en los tres casos de las aguas de las esparragueras, lo que permite una mayor interacción del cloro residual con la materia orgánica.

La presencia del cloro en el agua forma ácido hipocloroso y ácido clorhídrico lo que hace que el pH del agua descienda a un medio ácido, lo que es propicio para que las reacciones de generación de trihalometanos se den con mayor frecuencia y estos aumenten en contenido en el agua de proceso.

Se pudo determinar tal y como lo muestra la literatura, que la formación de subproductos se ve favorecida con el aumento en la dosis de hipoclorito (no con el cloro residual) y con el aumento del tiempo de contacto agua-cloro, ya que está comprobado que los contenidos de THMs en la planta se incrementan posteriormente en muchos casos en los reservorios de aguas residuales, esto debido a un mayor tiempo de contacto con la materia orgánica.

Lo anterior toma relevancia en aguas de plantas de tratamiento completo que permanecen almacenadas en tanques cerrados, pues dichos subproductos cuando están en alta cantidad tienden a aumentar con el tiempo sin poderse determinar cuánto.

Con respecto a la toxicidad de los subproductos que se encontraron, con respecto al bromodiclorometano, los resultados de la exposición prolongada o repetida a este componente pueden dañar el riñón y el hígado por ingestión, dando lugar a cambios funcionales y además de cambios funcionales Muy alta probabilidad de ocurrencia de compuestos cancerígenos para la población.

Los estudios en animales señalan que debido a la exposición continua al bromoformo o al dibromoclorometano puede dar la aparición de cáncer de hígado y riñón. Asimismo, los sucesos de cáncer humano no se pueden asignar a la exposición a estas

sustancias, esto es especialmente preocupante, ya que muchas personas están expuestas a bajos niveles de bromoformo y dibromoclorometano en el agua potable clorada (ATSDR, 2005).

La probabilidad de tomar bromoformo o dibromoclorometano en agua potable clorada difiere con la estación del año, la temperatura del agua, la presencia de otras sustancias químicas en el agua, el método de desinfección y otros elementos. De modo, que si existe la probabilidad de contaminación patógena tales como el caso de bacterias; virus, entre otros; los peligros para el bienestar de las personas se relacionan con el consumo de agua que no ha sido tratada o no han pasado por el proceso de desinfección; debido a estos son muchos los peligros que se exponen a subproductos como bromoformo o al dibromoclorometano.

Existen formas o procedimientos para llevar a cabo un correcto tratamiento del agua que la población consume o utiliza en sus actividades cotidianas; que podrían bajar los niveles de exposición al bromoformo y el dibromoclorometano a partir del agua potable clorada. Estos procesos integran procedimientos fáciles; como, por ejemplo; la conexión de filtros de carbón con los grifos de agua.

La mayoría de estos subproductos solubles no duran mucho tiempo en el cuerpo, se estima un total de 8 horas, no obstante se debe tener verdadero cuidado en la ingesta de agua que se sienta con

cargas altas de cloro residual, especialmente si provienen de sistemas de tratamiento de aguas superficiales. El agua para consumirse de forma segura debe clorarse, no obstante nuestro Reglamento de Calidad de Agua establece un máximo para Entes Operadores de Acueductos de 0,6 mg/L, todas las plantas de Tratamiento de Agua potable manejan niveles superiores a este, y no es usual que aguas de naciente cloradas superen ese límite.

## CONCLUSIONES

1. Se han evaluado los niveles de trihalometanos en las aguas de proceso de las plantas agroindustriales de Ica, verificando que la concentración de estos aumenta considerablemente, excediendo a los límites máximos permisibles, lo que puede contaminar los productos que se envasan en la planta.
2. Los niveles de trihalometanos posee el agua de proceso empleada en las plantas agroindustriales de Ica, supera el 1,5 mg/L, superando la Norma Nacional que exige que no debe ser mayor a 1 mg/L.
3. El trihalometanos más comunes y de mayor concentración que existen en los efluentes de las aguas de proceso de las plantas agroindustriales de Ica, es el cloroformo.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda disminuir la cantidad de hipoclorito que se agrega al agua para el tratamiento del espárrago a fin de disminuir la generación de trihalometanos.
2. Se recomienda dar a conocer los resultados a las autoridades sanitarias para que tomen acciones pertinentes y evitar el daño que puedan hacer a los consumidores estas sustancias.
3. Se recomienda hacer el correspondiente estudio con el agua potable que consume la población de Ica y que también es tratada con hipoclorito de sodio, a fin de comprobar la existencia de trihalometanos.

## BIBLIOGRAFIA

- Babor-Ibarz.** (1999) . Química General. Editorial Kapeluz. Madrid
- Bolaños Llanos.** (1998) Problemas ambientales, Lima, INAPMAS. Ministerio de Salud, 54 pg.
- Bradshaw, A. y otros.**(1995) Evolución y contaminación. Barcelona: Ediciones Omega. Obra sobre evolución de las plantas en medios con contaminación atmosférica.
- CONAM.** (1998) Contaminación Ambiental en Lima. Lima, CONAM, 37 pg.
- Domenech, Xavier.** (1991) Química atmosférica. Madrid: Ediciones Miraguano. Obra divulgativa; incluye el estudio de la capa de ozono y la polución urbana.
- Domenech, Xavier.** (1993) Química ambiental. El impacto ambiental de los residuos. Madrid: Ediciones Miraguano. Obra divulgativa sobre los residuos en el agua, suelo y atmósfera.
- Elson, Derek.** (1990) La contaminación atmosférica. Madrid: Ediciones Cátedra. Obra de carácter divulgativo.
- Erickson, Jon.** (1993) Un mundo en desequilibrio. La contaminación de nuestro planeta. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana. España. Obra divulgativa sobre la contaminación del planeta.
- Fisher, Marshall.**(1993) La capa de ozono. La Tierra en peligro. Madrid: McGraw-Hill - Interamericana de España. Obra divulgativa sobre el deterioro de la capa de ozono.

**Gribbin, John.** (1991) El efecto invernadero y Gaia. Madrid: Ediciones Pirámide. Obra de divulgación sobre la emisión de gases contaminantes y el efecto invernadero.

**ICPNA.** (2003) Forum Sobre contaminación Ambiental. Lima, ICPNA. 40 pg.

**Linés Escardó, A.**(1986) Acción del hombre en el clima y contaminación. Madrid: MOPTMA. Obra de carácter divulgativo.

**Maunder, John.**(2002) El impacto humano sobre el clima. Madrid: Arias Montano Editores. Obra divulgativa sobre la influencia del hombre en la atmósfera.

**Ministerio De Salud.** (2002) Problemas ambientales y comunidad. INAPMAS, 76 pg.

**MOPTMA.**(2001) Cuadernos de contaminación atmosférica. Madrid: MOPTMA. Libro divulgativo sobre los conceptos básicos de la contaminación atmosférica.

**MOPU.**(2000) La contaminación atmosférica. Madrid: MOPU. Obra divulgativa; incluye legislación y lista de los principales contaminantes.

**Mouvier, Gérard.**(2000) La contaminación atmosférica. Madrid: Editorial Debate. Obra de carácter divulgativo y actualizada.

**Nekrasov, A.** (1999) Química. Editorial XIMIA. Moscú.

**Álvarez Cobeas, M. y otros.**(2004) La calidad de las aguas continentales españolas. Estado actual e investigación. Logroño: Ediciones Geoforma. Obra técnica sobre el estado actual del agua en España.

- Catalán, J. G.**(2004) Química del agua. Madrid: Editorial Bellisco, 2ª ed., . Obra técnica sobre el agua.
- Domenech, Xavier.**(2006) Química ambiental. El impacto ambiental de los residuos. Madrid: Ediciones Miraguano. Obra divulgativa sobre los residuos en el agua, suelo y atmósfera.
- Domenech, Xavier.** (2005) Química de la hidrosfera. Origen y destino de los contaminantes. Madrid: Ediciones Miraguano. Libro sobre la química del agua y distintos aspectos de su contaminación.
- García, Rafael y otros (editores).**(2000) La contaminación del mar: fuentes, toxicidad, degradación y eliminación de contaminantes. Oviedo: Universidad de Oviedo. Obra de divulgación.
- López Vera, Fernando.**(2000) Contaminación de las aguas subterráneas. Madrid: MOPU. Breve obra divulgativa; incluye bibliografía.
- Mason, C. F.**(2003) Biología de la contaminación del agua dulce. Madrid: Editorial Alhambra. Obra de carácter divulgativo; incluye bibliografía.
- Miller, G.T.** (2002) Introducción a la ciencia ambiental. Thomson.
- Misch, Ann.** (2002) Riesgos ambientales para la salud. Bilbao: Ediciones Bakeaz. Toxicología relacionada con el agua.
- MOPU.**(2000) Contaminación agraria difusa. Madrid: MOPU. Obra sobre los problemas creados por el uso de plaguicidas y fertilizantes.
- Pardos, Jose Luis.**(2005) Los vertidos radiactivos. Madrid: Editorial Tecnos. Obra divulgativa sobre los residuos radiactivos en el mar; incluye bibliografía.

**Peres, J. M.** (2006) La polución de las aguas marinas. Barcelona: Ediciones Omega. Obra divulgativa sobre la contaminación en el mar.

**Pérez, J. A. y otros.**(2003) Estudio sanitario del agua. Granada: Universidad de Granada. Manual práctico; incluye sección sobre la contaminación y la salud.

**Pesson, P. (editor).** (2006) La contaminación de las aguas continentales. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. Obra de carácter divulgativo; incluye bibliografía.

**SamameSoto,Luisa.** (2000) Medio Ambiente y Educación en el Perú. Lima. Servicios gráficos Omega. 154 pg.

**Seoanez Calvo, Mariano.**(1999) Aguas residuales urbanas. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. Obra técnica sobre degradación del agua y depuración.

**Seoane, M.**(1999) Ingeniería del medio ambiente aplicada al medio natural continental. Ed. Mundiprensa.

**Suares, Jose.** (2004) Lima Contaminada. En el Comercio, 24 de abril. Lima, Editora el Comercio.

**Stocker, H.S.; Seager, S.L.** (2003) Química Ambiental. Contaminación del Aire y del Agua. Blume.

## ANEXOS

### LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLES DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(\*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 ml

## LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	$\mu\text{mho/cm}$	1 500
7. Sólidos totales disueltos	$\text{mg L}^{-1}$	1 000
8. Cloruros	$\text{mg Cl}^{-1} \text{ L}^{-1}$	250
9. Sulfatos	$\text{mg SO}_4^{-1} \text{ L}^{-1}$	250
10. Dureza total	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	500
11. Amoníaco	$\text{mg N L}^{-1}$	1,5
12. Hierro	$\text{mg Fe L}^{-1}$	0,3
13. Manganeso	$\text{mg Mn L}^{-1}$	0,4
14. Aluminio	$\text{mg Al L}^{-1}$	0,2
15. Cobre	$\text{mg Cu L}^{-1}$	2,0
16. Zinc	$\text{mg Zn L}^{-1}$	3,0
17. Sodio	$\text{mg Na L}^{-1}$	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

## LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L <sup>-1</sup>	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L <sup>-1</sup>	0,010
3. Bario	mg Ba L <sup>-1</sup>	0,700
4. Boro	mg B L <sup>-1</sup>	1,500
5. Cadmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0,003
6. Cianuro	mg CN <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L <sup>-1</sup>	5
8. Clorito	mg L <sup>-1</sup>	0,7
9. Clorato	mg L <sup>-1</sup>	0,7
10. Cromo total	mg Cr L <sup>-1</sup>	0,050
11. Flúor	mg F L <sup>-1</sup>	1,000
12. Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0,001
13. Niquel	mg Ni L <sup>-1</sup>	0,020
14. Nitratos	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	50,00
15. Nitritos	mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0,010
17. Selenio	mg Se L <sup>-1</sup>	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L <sup>-1</sup>	0,07
19. Uranio	mg U L <sup>-1</sup>	0,015
Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales (nota 3)		1,00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mgL <sup>-1</sup>	0,01
3. Aceites y grasas	mgL <sup>-1</sup>	0,5
4. Alacloro	mgL <sup>-1</sup>	0,020
5. Aldicarb	mgL <sup>-1</sup>	0,010
6. Aldrín y dieldrín	mgL <sup>-1</sup>	0,00003
7. Benceno	mgL <sup>-1</sup>	0,010
8. Clordano (total de isómeros)	mgL <sup>-1</sup>	0,0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL <sup>-1</sup>	0,001
10. Endrín	mgL <sup>-1</sup>	0,0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL <sup>-1</sup>	0,002
12. Hexaclorobenceno	mgL <sup>-1</sup>	0,001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL <sup>-1</sup>	0,00003
14. Metoxicloro	mgL <sup>-1</sup>	0,020
15. Pentaclorofenol	mgL <sup>-1</sup>	0,009
16. 2,4-D	mgL <sup>-1</sup>	0,030
17. Aclilamida	mgL <sup>-1</sup>	0,0005
18. Epiclorhidrina	mgL <sup>-1</sup>	0,0004
19. Cloruro de vinilo	mgL <sup>-1</sup>	0,0003
20. Benzopireno	mgL <sup>-1</sup>	0,0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0,03
22. Tetracloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0,04

<b>Parámetros Orgánicos</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
23. Monocloramina	mgL <sup>-1</sup>	3
24. Tricloroeteno	mgL <sup>-1</sup>	0,07
25. Tetracloruro de carbono	mgL <sup>-1</sup>	0,004
26. Ftalato de di (2-etilhexilo)	mgL <sup>-1</sup>	0,008
27. 1,2- Diclorobenceno	mgL <sup>-1</sup>	1
28. 1,4- Diclorobenceno	mgL <sup>-1</sup>	0,3
29. 1,1- Dicloroeteno	mgL <sup>-1</sup>	0,03
30. 1,2- Dicloroeteno	mgL <sup>-1</sup>	0,05
31. Diclorometano	mgL <sup>-1</sup>	0,02
32. Ácido edético (EDTA)	mgL <sup>-1</sup>	0,6
33. Etilbenceno	mgL <sup>-1</sup>	0,3
34. Hexaclorobutadieno	mgL <sup>-1</sup>	0,0006
35. Acido Nitrilotriacético	mgL <sup>-1</sup>	0,2
36. Estireno	mgL <sup>-1</sup>	0,02
37. Tolueno	mgL <sup>-1</sup>	0,7
38. Xileno	mgL <sup>-1</sup>	0,5
39. Atrazina	mgL <sup>-1</sup>	0,002
40. Carbofurano	mgL <sup>-1</sup>	0,007
41. Clorotoluron	mgL <sup>-1</sup>	0,03
42. Cianazina	mgL <sup>-1</sup>	0,0006
43. 2,4- DB	mgL <sup>-1</sup>	0,09
44. 1,2- Dibromo-3- Cloropropano	mgL <sup>-1</sup>	0,001
45. 1,2- Dibromoetano	mgL <sup>-1</sup>	0,0004
46. 1,2- Dicloropropano (1,2- DCP)	mgL <sup>-1</sup>	0,04
47. 1,3- Dicloropropeno	mgL <sup>-1</sup>	0,02
48. Dicloroprop	mgL <sup>-1</sup>	0,1
49. Dimetato	mgL <sup>-1</sup>	0,006
50. Fenoprop	mgL <sup>-1</sup>	0,009
51. Isoproturon	mgL <sup>-1</sup>	0,009
52. MCPA	mgL <sup>-1</sup>	0,002
53. Mecoprop	mgL <sup>-1</sup>	0,01
54. Metolacloro	mgL <sup>-1</sup>	0,01
55. Molinato	mgL <sup>-1</sup>	0,006
56. Pendimetalina	mgL <sup>-1</sup>	0,02
57. Simazina	mgL <sup>-1</sup>	0,002
58. 2,4,5- T	mgL <sup>-1</sup>	0,009
59. Terbutilazina	mgL <sup>-1</sup>	0,007
60. Trifluralina	mgL <sup>-1</sup>	0,02
61. Cloropirifos	mgL <sup>-1</sup>	0,03
62. Piriproxifeno	mgL <sup>-1</sup>	0,3
63. Microcistin-LR	mgL <sup>-1</sup>	0,001

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
64. Bromato	mgL <sup>-1</sup>	0,01
65. Bromodiclorometano	mgL <sup>-1</sup>	0,06
66. Bromoformo	mgL <sup>-1</sup>	0,1
67. Hidrato de cloral (tricloroacetaldehído)	mgL <sup>-1</sup>	0,01
68. Cloroformo	mgL <sup>-1</sup>	0,2
69. Cloruro de cianógeno (como CN)	mgL <sup>-1</sup>	0,07
70. Dibromoacetnitrilo	mgL <sup>-1</sup>	0,1
71. Dibromoclorometano	mgL <sup>-1</sup>	0,05
72. Dicloroacetato	mgL <sup>-1</sup>	0,02
73. Dicloroacetnitrilo	mgL <sup>-1</sup>	0,9
74. Formaldehído	mgL <sup>-1</sup>	0,02
75. Monocloroacetato	mgL <sup>-1</sup>	0,2
76. Tricloroacetato	mgL <sup>-1</sup>	0,2
77. 2,4,6- Triclorofenol		

**Nota 1:** En caso de los sistemas existentes se establecerá en los Planes de Adecuación Sanitaria el plazo para lograr el límite máximo permisible para el arsénico de 0,010 mgL<sup>-1</sup>.

**Nota 2:** Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración residual libre de cloro no debe ser menor de 0,5 mgL<sup>-1</sup>.

**Nota 3:** La suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Cloroformo, Dibromoclorometano, Bromodiclorometano y Bromoformo) con respecto a sus límites máximos permisibles no deberá exceder el valor de 1,00 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{cloroformo}}}{LMP_{\text{cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{LMP_{\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodiclorometano}}}{LMP_{\text{Bromodiclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{LMP_{\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

donde, C: concentración en mg/L, y LMP: límite máximo permisible en mg/L

## LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLES DE PARÁMETROS RADIATIVOS

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Dosis de referencia total <b>(nota 1)</b>	mSv/año	0,1
2. Actividad global $\alpha$	Bq/L	0,5
3. Actividad global $\beta$	Bq/L	1,0

**Nota 1:** Si la actividad global  $\alpha$  de una muestra es mayor a 0,5 Bq/L o la actividad global  $\beta$  es mayor a 1 Bq/L, se deberán determinar las concentraciones de los distintos radionúclidos y calcular la dosis de referencia total; si ésta es mayor a 0,1 mSv/año se deberán examinar medidas correctivas; si es menor a 0,1 mSv/año el agua se puede seguir utilizando para el consumo.

Fuente de los LMP: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano -

DIGESA

## REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA PARTE EXPERIMENTAL



Foto 1. Determinación de la dureza del agua.



Foto 2. Determinación de la dureza del agua



Foto 3. Pesaje de reactivos.



Foto 4. Determinación de sólidos solubles.



Foto 5. Disolución de reactivos para los análisis