

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE CIENCIAS QUÍMICAS**



**CUANTIFICACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN AGUA POTABLE Y SU
INHIBICIÓN CON TIOSULFATOS**

.....

POSTULANTE: Univ. Hernando Luque Torrez

TUTORES: María Eugenia García

Jaime Chincheros Paniagua

La paz - Bolivia

2018

Contenido

1. 1. INTRODUCCION	8
1.2. PROBLEMÁTICA	10
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.4. OBJETIVO GENERAL	10
1.5. OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
1.6. HIPOTESIS	11
1.7. JUSTIFICACION	11
1.8. ALCANCE Y APORTES	12
2. FUNDAMENTO TEORICO	15
2.1. CLORO RESIDUAL	15
2.2. MÉTODOS DE DESINFECCIÓN DEL AGUA	16
2.2.1. MÉTODOS NO QUÍMICOS	16
2.2.2. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	16
2.2.3. MÉTODOS QUÍMICOS	17
2.3. MECANISMO DE DESINFECCIÓN CON CLORO	18
2.4. QUÍMICA DE CLORACIÓN	20
2.5. SUBPRODUCTOS DE DESINFECCIÓN	23
2.5.1. MATERIA ORGANICA	24
2.5.2. TEMPERATURA	24
2.5.3. TIEMPO DE CONTACTO	24
2.5.4. DOSIS DE CLORO	25
2.6. METODOS DE ANALISIS DE CLORO	25
2.6.1. MÉTODO YODOMÉTRICO	25
2.6.2. METODO DE LA ORTOTOLIDINA	26
2.6.3. METODO DPD O DE PALIN	27
2.6.4. .ELECTRODO ESPECIFCO	27
2.7. COLIFORMES	28
2.8. ANTECEDENTES	29
2.8. Filtración a través de membrana	33
2.9. DETERMINACION DE COLIFORMES TERMORESISTENTES	36
2.9.1. Equipos	¡Error! Marcador no definido.
2.9.2. Materiales	36
2.9.3. TEST PRESUNTIVO PARA COLIFORMES	37
2.9.4. TEST CONFIRMATIVO PARA COLIFORMES	37
2.9.5. METODO CALDO EC PARA PARA COLIFORMES FECAL Y CONFIRMACIÓN PARA Escherichia coli	38
3. METODOLOGIA	40

CUANTIFICACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN AGUA POTABLE
Y SU INHIBICIÓN CON TIOSULFATOS

3.1. PRINCIPIO.....	40
3.1.1. EQUIPOS Y MATERIALES	40
3.1.2. REACTIVOS.....	40
3.1.3. Preparación de soluciones.....	41
3.1.4. Preparación de las muestras	42
3.2. Determinación de la curva de calibración de DPPD	44
3.2.1. Estandarización de hipoclorito de calcio con Tiosulfato de sodio, por el método yodometrico.	44
3.3. Discusiones y Conclusiones	47
4. BIBLIOGRAFIA.....	49



DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi esposa, mis hijos, mis padres, hermanos, familiares y amigos, por todos los años de apoyo y confianza que depositaron en mi persona.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la dicha de tener una familia que me mostro su apoyo incondicional a lo largo de estos años. A mi esposa Roxana, mis hijos Coset y Neymar, a mis padres Calixto Luque y Guadalupe Torrez por guiarme por el camino correcto para alcanzar mis metas enseñándome como ser, un buen padre buen hijo, estudiante y persona, llenándome con su cariño y amor.

A mis amigos, que sin ellos no podría lograr muchas cosas, amigos de colegio, barrio, universidad, LCA y todos aquellos que llegue a conocer en diferentes situaciones, gracias por su amistad, momentos de travesuras, alegría y tristezas.

A mis Tutores: Dra. María Eugenia García, Ing. Jaime chincheros Paniagua, a quien agradezco por todo el tiempo brindado y su colaboración.

A la Carrera de Ciencias Químicas por haberme cobijado estos años, a los docentes y a los compañeros de carrera con quienes compartir todo este camino de la carrera, a los compañeros del Laboratorio de Calidad Ambiental LCA.

RESUMEN

La cobertura de agua potable en Bolivia llega al 86 %, Todos conocemos la importancia del agua en la vida de cualquier ser vivo del planeta. Por ello, su calidad es un tema de alta importancia cada vez más por motivos como la salud de la población, el desarrollo económico nacional y la calidad ambiental de los ecosistemas, pese a que tanto el agua como el saneamiento son derechos humanos reconocidos por las Naciones Unidas. Por eso la importancia de estudiar la calidad de agua potable.

El presente trabajo fue realizado en el Laboratorio de Calidad Ambiental LCA de la UMSA Donde se llevó a cabo la implementación y cuantificación de cloro residual en agua potable de con N,N-dietil-p-fenilendiamina (DPD).

Se implementó la metodología para la determinación de Cloro residual en agua potable, los resultados muestran linealidad para la determinación de cloro residual en el rango de 0,1 ppm a 2.5 ppm de cloro, mostrando la ecuación $Y = 0.832x + 0.073$ y un coeficiente de correlación del 0.9935.

Las medidas de cloro residual en las piletas de agua potable dentro del laboratorio mostro que se tienen concentraciones muy bajas de cloro residual comprendiendo valores desde 0 hasta 0,15 ppm, evidenciando la falta de cloración en esta parte de la red, ya que según la OMS debería tener como mínimo 0,2-0,15 ppm de cloro residual para poder mantener el agua desinfectada, destruir los microorganismos presentes, y quede el resto de cloro residual para que tenga acción germicida.

Los datos nos revelan que existe una falta de control de calidad de agua potable adecuado y falta de análisis completos para caracterizar la potabilidad de agua de red.



CAPITULO I

MARCO INTRODUCTORIO

CAPITULO I

MARCO INTRODUCTORIO

1. 1. INTRODUCCION

El cloro es el agente más utilizado en el mundo como desinfectante en el agua de consumo humano, debido principalmente a:

- Su carácter fuertemente oxidante, responsable de la destrucción de los agentes patógenos (en especial bacterias: coliformes termoresistentes) y numerosos compuestos causantes de malos sabores.
- Su más que comprobada inocuidad a las concentraciones utilizadas.
- La facilidad de controlar y comprobar unos niveles adecuados de microorganismos.

Es fundamental mantener en las redes de distribución pequeñas concentraciones de cloro libre residual, desde las potabilizadoras hasta las acometidas de los consumidores, para asegurar que el agua ha sido convenientemente desinfectada. No obstante, es importante señalar que la ausencia de cloro libre residual no implica la presencia de contaminación microbiológica.

La desinfección del agua con cloro, tiene el propósito de prevenir enfermedades derivadas de la presencia de contaminantes bacteriológicos. Sin embargo el cloro que se agrega al agua potable para desinfectarla reacciona con el material húmico, lo que puede formar compuestos genotóxicos y potencialmente carcinogénicos. Estudios epidemiológicos han mostrado que el consumo de agua clorada está asociado con un incremento en el riesgo de cáncer gástrico, de vejiga y recto. Es por esto que la Norma Boliviana NB 512 hace referencia que el agua para uso y consumo humano debe contener cloro residual libre en una concentración de 0.2 a 1 mg/L.

La técnica más recomendada para medir cloro residual es el método colorimétrico de DPD pero en la actualidad, no existe un método de cuantificación específica y no son suficientemente selectivos, el laboratorio de calidad ambiental, no cuenta con el método desarrollado para la cuantificación del mismo.

Por las razones antes expuestas en el presente trabajo se realizó la cuantificación de cloro residual con DPD.

El grupo coliforme es constante, abundante y casi exclusivo de la materia fecal, sin embargo, las características de sobrevivencia y la capacidad para multiplicarse fuera del intestino también se observan en aguas potables, por lo que el grupo coliforme se utiliza como indicador de contaminación fecal en agua; conforme mayor sea el número de coliformes en agua, mayor será la probabilidad de estar frente a una contaminación reciente.

Cuando los coliformes llegan a los alimentos, no sólo sobreviven, sino que se multiplican, por lo que en los alimentos el grupo coliforme adquiere un significado distinto al que recibe en el agua.

Los microorganismos coliformes constituyen un grupo heterogéneo con hábitat primordialmente intestinal para la mayoría de las especies que involucra. El grupo de bacterias coliformes totales comprende todos los bacilos Gramnegativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 h. a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Este grupo está conformado por 4 géneros principalmente: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Citrobacter* y *Klebsiella*.

1.2. PROBLEMÁTICA

Cada día cobra más relevancia, el nivel de vida, que está directamente relacionado con la calidad de agua por lo que un laboratorio debe contar con todos los análisis para poder evaluar la calidad de agua potable que llega al consumidor. Si bien se tiene a las empresas que nos dan el soporte de agua potable a la ciudad de la paz son ellos mismos los que realizan el control de calidad de agua dosificaciones en ciertos puntos necesarios cuando el cloro disminuye del límite de control, se requiere laboratorios que cuenten con análisis completos para la evaluación de agua potable y contar con mejor calidad de agua potable. Y no se tienen un ente externo que realice la regulación o validación de la calidad de agua.

El agua que es suministrada a la ciudad de la paz viene de diferentes fuentes: Represa de Tuni condoriri, Represa de Milluni, Represa de inachaca, Represa de Hampaturi, Represa de ajuan Qhota, que por su ubicación tienen diferente carga microbiana, materia organica e inorgánica.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los problemas de control de calidad de agua potable en nuestro país es deficiente, por lo que no sabemos de forma adecuada la calidad de agua potable que estamos consumiendo, debido a análisis incompletos de agua que se realiza para la caracterización de agua para su uso adecuado.

1.4. OBJETIVO GENERAL

Cuantificación de cloro residual en agua potable y su inhibición de tiosulfato para cuantificar coliformes termoresistentes.

1.5. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinación de la curva de calibración de cloro residual
- Determinación de cloro residual en agua potable
- Determinar coliformes termo resistentes
- Determinar si el agua potable esta en los parámetros aceptables según la NB 512

1.6. HIPOTESIS

El agua potable debe cumplir ciertos requisitos para poder ser considerada apta para consumo una de ellas es el cloro residual que debe estar dentro de valores aceptable según la norma Boliviana de 0,2- 1 mg/l valores que se deben reportar en los resultados de medición de agua potable de los grifos, de lo contrario, debería realizarse una dosificación en medio de la red.

1.7. JUSTIFICACION

Todos conocemos la importancia del agua en la vida de cualquier ser vivo del planeta. Por ello, su calidad es un tema que preocupa cada vez más en países de todo el mundo por motivos como la salud de la población, el desarrollo económico nacional y la calidad ambiental de los ecosistemas, pese a que tanto el agua como el saneamiento son derechos humanos reconocidos por las Naciones Unidas.

Los factores determinan la calidad del agua Son las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del elemento, que hacen que sea apto para un uso determinado y no lo sea para otro. Es evidente que no es necesario que reúna los mismos requisitos un agua destinada al consumo humano que una destinada al riego.

La potabilización de agua es un factor que debe ser controlado con los análisis requeridos que demuestren las características físicas, químicas y biológicas del agua que determinen que es apta para consumo humano. Además de no contarse con un ente regulador externo para el control del mismo.

En muchas de nuestras poblaciones alejadas no contamos con el control adecuado, los mismos comunarios llegan a enviar agua a distintos laboratorios, para tener los parámetros mínimos en cuanto a parámetros físicos y microbiologías, pero no se puede determinar cómo se está realizando la potabilización del mismo o si en toda la red es adecuado el nivel de cloro residual. Ya que este parámetro debe ser medido in situ ya que el cloro adicionado podría estar sobrepasando los niveles de aceptación lo que podría estar generando enfermedades de tipo gástrico u otros.

Hasta la fecha, el cloro se usa como desinfectante del agua por ser económico y efectivo. Si bien la cloración puede reducir el riesgo de consumo de agua contaminada con microorganismos patógenos; es difícil determinar el nivel de riesgos que causa ésta a la salud humana, ya que los estudios epidemiológicos hasta ahora realizados no son suficientes para poder distinguir entre el peligro de contraer cáncer por la cloración versus el riesgo por enfermedades de origen hídrico.

El laboratorio de Servicio de análisis requiere realizar análisis completos de agua potable las cuales puedan discriminar el tipo de agua potable que se tiene y si cumple o no las características necesarias para su uso.

1.8. ALCANCE Y APORTES

El aporte de la presente monografía es la implementación de la metodología de DPD para la determinación de cloro residual en agua potable in situ, se pensaba

correlacionar con la determinación de coliformes termoresistentes con adición de tiosulfato, para ver el grado de potabilización y cloración del agua, el último punto no pudo realizarse por carencia de tiempo y presupuesto.





CAPITULO II

MARCO TEORICO

2. FUNDAMENTO TEORICO

2.1. CLORO RESIDUAL

El cloro proporciona una seguridad satisfactoria de eliminar los gérmenes infecciosos y suprimir el riesgo de contaminación de un sistema que haya sufrido los efectos de una contaminación. El cloro tiene un poder oxidante muy importante, puede emplearse en forma de gas o dióxido de cloro de hipocloritos.

La cloración de aguas de suministro y aguas residuales, sirve principalmente para destruir o desactivar microorganismos que producen enfermedades, la proporción relativa de las diferentes formas de cloro residual (cloro libre, Cl_2 , Acido hipocloroso, ion hipoclorito, depende del pH y la temperatura.

- Cloro residual libre, o la concentración de cloro residual que existe bajo la forma de ácido hipocloroso e ion hipocloroso e ion hipoclorito.
- Cloro residual combinado o la concentración de cloro residual que existe en combinación química con amonio o con compuestos orgánicos nitrogenados.

El cloro en solución existe como cloro libre disponible por ejemplo iones OCl^- (ion hipoclorito) o ácido hipocloroso y como cloro combinado disponible.

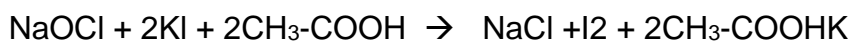
El componente activo es el hipoclorito el cual reacciona para dar ácido hipocloroso de la siguiente forma:



A la vez el ácido hipocloroso se ioniza produciendo el ion hipoclorito.

Reacciones de la determinación volumétrica de hipoclorito de sodio.

El hipoclorito presenta una reacción de óxido reducción según la siguiente ecuación.



Para reconocer la reacción anterior se agrega solución de almidón con lo que reacciona el yodo tornándose de color azul.



2.2. MÉTODOS DE DESINFECCIÓN DEL AGUA

La clasificación del método de desinfección se realiza por el tipo de desinfectante usado y se divide en dos grupos: los primeros son los métodos no químicos y los segundos métodos químicos.

2.2.1. MÉTODOS NO QUÍMICOS

Los principales métodos incluyen la aplicación de energía térmica y radiación de alta frecuencia. Estas técnicas tienen escasa importancia para las operaciones de tratamiento del agua en gran escala, pero si tienen cierto interés para situaciones en que deban tratarse pequeños volúmenes de agua.

Métodos térmicos

La aplicación directa de calor es uno de los métodos más antiguos y eficaces para la desinfección del agua. Una esterilización casi total puede obtenerse por ebullición del agua.

2.2.2. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La radiación ultravioleta (UV) se emite con lámparas especiales y es efectiva para matar todos los microorganismos siempre y cuando el tiempo de exposición sea el adecuado.

La energía UV se absorbe por el material genético de los microorganismos, anulando así su capacidad para reproducirse y sobrevivir. Como ventajas de la desinfección UV se puede mencionar que no hay formación de sabores u olores, su mantenimiento es mínimo y sin peligro de una sobredosis;

2.2.3. MÉTODOS QUÍMICOS

Estos comprenden: ozono, permanganato de potasio, algunos metales pesados y a los halógenos (bromo, yodo y cloro). Desde el punto de vista bacteriológico, no tiene por objeto destruir todos los organismos vivos del agua, pero sí, garantizar la ausencia de los gérmenes patógenos y suprimir el riesgo de contaminación del sistema de distribución.

El ozono (O₃) es uno de los más potentes germicidas usados en el tratamiento de aguas, Las ventajas del ozono radican en su alta efectividad desinfectante, su habilidad para remover muchos problemas de color, olor y sabor.

El permanganato de potasio (KMnO₄) es un compuesto oxidante, y es utilizado en estaciones de tratamiento de aguas para el control de olor y sabor, remoción de color, crecimiento de bacterias (por ejemplo: coliformes, *Vibrio cholerae*, *Salmonella typhi* y *Shigella flexneri*) y virus (polivirus, bacteriófagos). También remueve hierro, manganeso, y precursores de trihalometanos.

La plata, cobre, cobalto y el níquel presentan buenas propiedades bactericidas, el efecto desinfectante del metal pesado fue primeramente observado en aguas almacenadas en contenedores de plata. Aunque la plata es uno de los varios metales que exhiben este comportamiento, es el más importante de la desinfección del agua potable. De hecho, la plata es el único metal pesado con una eficacia razonable como desinfectante. La plata coloidal en concentraciones de 25 a 40 mg/L es un buen desinfectante.

El uso del bromo se ha incrementado estos últimos años y se emplea principalmente para la desinfección de las aguas de piscina. De un modo general

sus propiedades físicas y químicas son similares a las del cloro; sin embargo es menos electronegativo y su reactividad química es inferior a dosis iguales, siendo su actividad bactericida más débil.

El yodo es el menos soluble en agua, posee un bajo potencial de oxidación, por lo que ofrece reactividad mínima con los compuestos orgánicos.

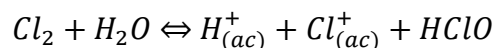
Estudios realizados indican que el yodo es más efectivo en la desinfección de *Entamoeba histolytica*.

El hipoclorito de sodio proporciona desde el 5% hasta el 15% de cloro disponible. El cloro actúa sobre las bacterias por envenenamiento enzimático de su citoplasma.

2.3. MECANISMO DE DESINFECCIÓN CON CLORO

La cloración del agua potable se lleva a cabo mediante el burbujeo del cloro gaseoso o mediante la disolución de los compuestos de cloro y su posterior dosificación. El cloro en cualquiera de sus formas, se hidroliza al entrar en contacto con el agua, y forma ácido hipocloroso (HClO) de la siguiente forma: En el caso del cloro gaseoso, la reacción que tiene lugar es:

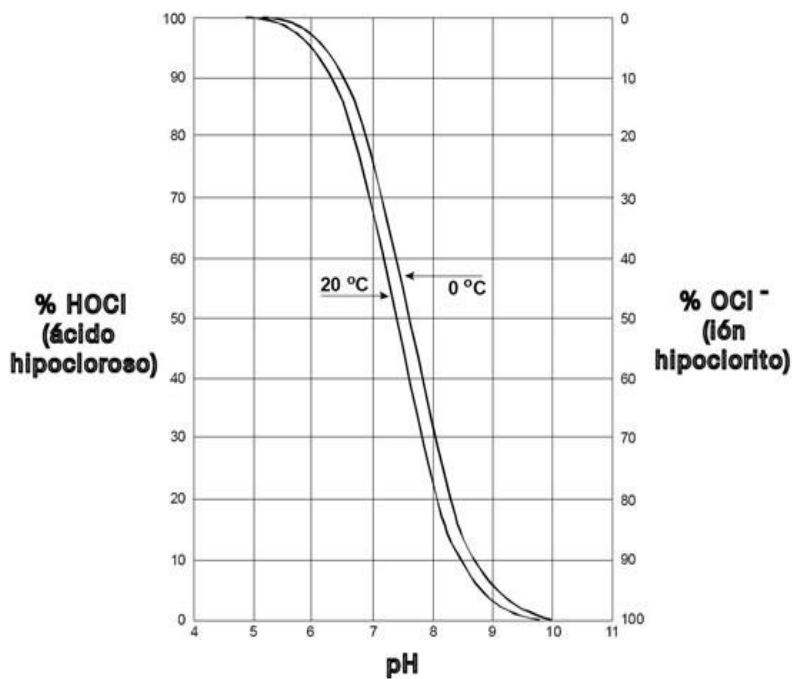
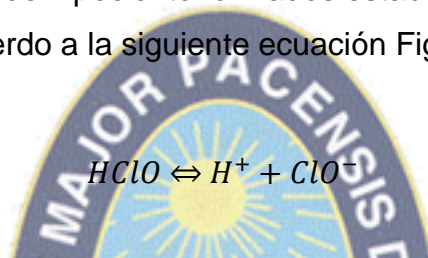




En el caso del hipoclorito de sodio, la reacción que tiene lugar es:



Posteriormente, los iones de hipoclorito formados establecen un equilibrio con el ácido hipocloroso de acuerdo a la siguiente ecuación Fig. 1:



Curva de ionización del HOCI en función del pH

Fig1. Curva de ionización de Hipoclorito en función del pH

En general, el HClO es más efectivo como desinfectante que el ClO⁻. Ambas fracciones (HClO y ClO⁻) coexisten en el agua a pH entre 6.0 y 9.0 (el rango usual

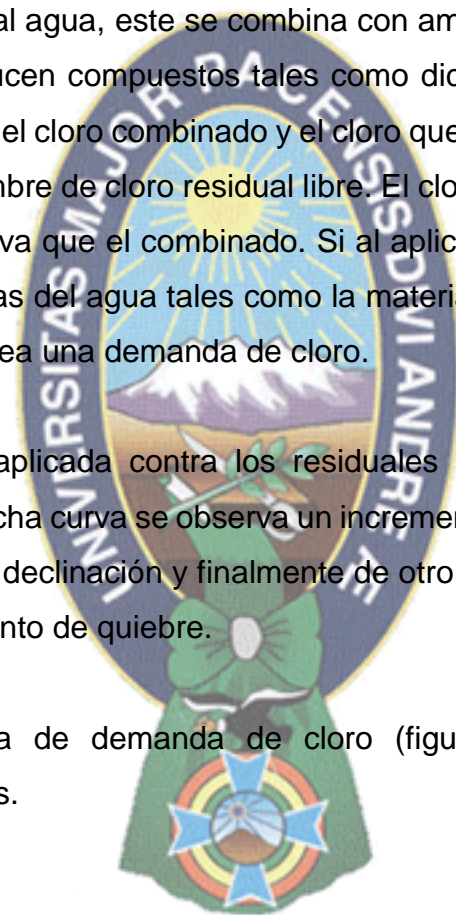
para el agua natural y potable). Cuando el valor de pH del agua clorada es 7.5, el 50% de la concentración de cloro presente será ácido hipocloroso no disociado y el otro 50% será ion hipoclorito.

2.4. QUÍMICA DE CLORACIÓN

Cuando se añade cloro al agua, este se combina con amonio y otros componentes del nitrógeno y se producen compuestos tales como dicloraminas y tricloraminas; estas sustancias forman el cloro combinado y el cloro que permanece en el agua no combinado recibe el nombre de cloro residual libre. El cloro libre tiene una actividad desinfectante más efectiva que el combinado. Si al aplicar el cloro, este reacciona con las impurezas propias del agua tales como la materia orgánica, los sulfuros, el hierro y los nitritos; se crea una demanda de cloro.

Si se grafica la dosis aplicada contra los residuales se obtiene una curva de demanda de cloro. En dicha curva se observa un incremento inicial en los residuales de cloro seguido de una declinación y finalmente de otro incremento, a partir de un punto conocido como punto de quiebre.

El análisis de la curva de demanda de cloro (figura 2) permite hacer las observaciones siguientes.



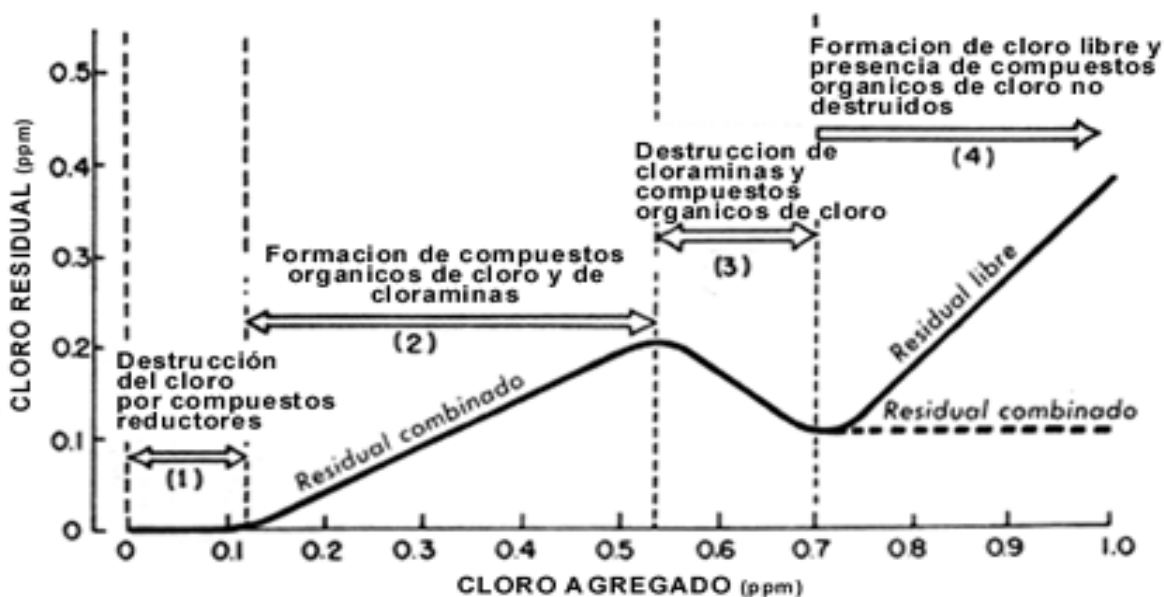
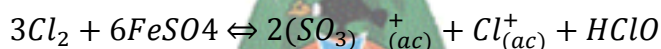


Fig. 2 Química de la cloración

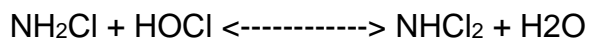
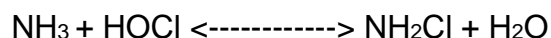
El sector 1 se explica por el gasto de cloro atribuible a la oxidación de sustancias inorgánicas. Efectivamente, el cloro que se agrega al agua reacciona rápidamente con las sustancias inorgánicas reducidas, fundamentalmente con los compuestos reducidos de hierro, manganeso y azufre y los nitritos, perdiendo su capacidad germicida.



En el sector 2 se producen dos tipos de reacciones:

1) Formación de compuestos orgánicos de cloro ($Cl_2 + R-H \rightleftharpoons R-Cl + HCl$), proceso de oxidación en el que el cloro es reducido a cloruro. Se forman así compuestos sin acción desinfectante que en algunos casos comunican al agua olores y/o sabores.

II) Formación de cloraminas, mediante la reacción del cloro con amoníaco y compuestos orgánicos de nitrógeno:



Las cloraminas tienen poder desinfectante. El cloro en este tramo de la curva se determina como CLORO RESIDUAL COMBINADO (CRC). Las cloraminas pueden hidrolizarse por reacciones inversas a las que las producen, constituyendo así una reserva de ácido hipocloroso que puede irse liberando lentamente. Cuando el cloro está en mucha mayor proporción que el amoníaco, puede ocasionar su oxidación total, no dando lugar a la formación de cloro combinado (cloraminas) sino de nitrógeno gaseoso (N₂), nitratos (NO₃⁻) y cloruros (Cl⁻).

En este sector de la curva (3), y a medida que va aumentando el aporte de ácido hipocloroso, se produce la oxidación completa de los compuestos organoclorados y de las cloraminas que previamente se han formado, produciéndose nitrógeno gaseoso, óxido nitroso (N₂O), agua y la reducción del cloro (libre o combinado) a cloruro, por lo que ya no es detectable en el agua como cloro residual combinado (CRC) y éste disminuye hasta un mínimo de la curva que se denomina PUNTO DE RUPTURA o PUNTO DE QUIEBRE.

La cantidad de cloro que se necesita para llegar al punto mínimo de la curva (Punto de Ruptura) se denomina DEMANDA DE CLORO

En el sector (4) se observa como de nuevo comienza a aumentar el cloro residual en el agua y comienza a formarse cloro residual libre (CRL), es decir cloro residual disponible, lo que significa que se han completado las reacciones de oxidación de las sustancias orgánicas y el cloro sobrante, al no tener materias orgánicas con las que combinarse queda libre.

Sin embargo, puede observarse que la curva no llega a alcanzar el eje de abscisas, debido a que queda una parte de materia orgánica clorada que no ha sido totalmente oxidada. Esto ocurre frecuentemente en las aguas naturales y se debe a la presencia de compuestos orgánicos cuya oxidación completa requiere mayor tiempo de contacto con el cloro. Esta oxidación se completará durante el almacenamiento gracias al cloro residual libre que debe quedar en el agua para este propósito y para evitar cualquier contaminación posterior al tratamiento.

La cloración del agua no debe hacerse hasta alcanzar el punto de ruptura sino que es necesario añadir más cloro para que siempre contenga una cierta cantidad de CRL. Esta cantidad de cloro residual que tiene que quedar en el agua depende del pH y está recogida en la Legislación española en la Lista positiva de aditivos y coadyuvantes para aguas de consumo público.

2.5. SUBPRODUCTOS DE DESINFECCIÓN

Hacia la mitad de los años setentas, se descubrió que el cloro además desactivar los microorganismos, reacciona con la materia orgánica presente en agua; generando subproductos de la desinfección (SPD), específicamente compuestos orgánicos sintéticos como los trihalometanos (THM), aunque se identificado a otros SPD tales como los ácidos haloacéticos (AHA).

La formación de los subproductos se ve afectada por: la concentración de materia orgánica, el potencial de hidrogeno (pH), la temperatura, la dosis del cloro y tiempo de contacto.

2.5.1. MATERIA ORGANICA

La materia orgánica natural (MON) es el precursor de los subproductos de la desinfección en el agua potable. Está presente de manera natural en el agua sin tratar, pero su cantidad y reactividad varían de acuerdo con las fuentes de agua (lagos, ríos, arroyos, agua subterránea).

Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH, condiciona las características de las reacciones químicas responsables de la formación de los SPD, pero su valor es susceptible de ser ajustado antes de la desinfección.

2.5.2. TEMPERATURA

Las condiciones estacionales afectan la disponibilidad de la materia orgánica natural y su composición; en el caso de la formación de trihalometanos, a mayor temperatura se ve favorecida la reacción entre el cloro residual libre y la materia orgánica, por lo que las concentraciones de trihalometanos en el agua son mayores en el verano.

2.5.3. TIEMPO DE CONTACTO

Un parámetro fundamental de la formación de subproductos es el tiempo de contacto entre el desinfectante y la materia orgánica natural, el cual corresponde al tiempo de permanencia del agua tratada en la red de distribución. A mayor tiempo de contacto, mayor es la concentración de los subproductos.

2.5.4. DOSIS DE CLORO

La dosis de desinfectante aplicada al agua durante el tratamiento afecta directamente la formación de los SPD, ya que una mayor dosis de cloro favorece la formación de ácidos haloacéticos en lugar de trihalometanos, así como también la formación de subproductos.

2.6. METODOS DE ANALISIS DE CLORO

Todos los métodos para medir cloro residual dependen de su capacidad oxidante, dentro de estos métodos encontramos el de la ortotoluidina y el yodométrico.

2.6.1. MÉTODO YODOMÉTRICO

Este método sirvió como base para el control de la cloración hasta Aproximadamente 1913; y se basa en la capacidad oxidante del cloro residual libre y combinado para convertir el ion yoduro a yodo libre.

Las reacciones se representan en la siguiente forma:



La determinación de cloro en el agua es fundamental para realizar una correcta cloración. Es importante diferenciar entre cloro residual libre y combinado. Los siguientes son los métodos más utilizados.

2.6.2. METODO DE LA ORTOTOLIDINA

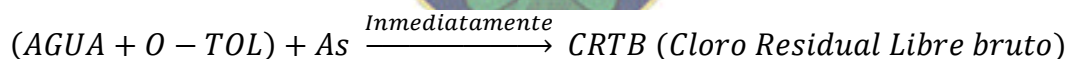
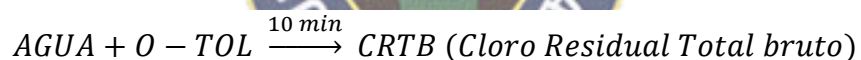
La ortotolidina (O-Tolidina) reacciona con el cloro residual apareciendo una coloración amarilla proporcional a la cantidad de cloro presente. Con la O-Tolidina se producen tres tipos de reacciones:

I: Reacción con el cloro residual libre (CRL), que es prácticamente instantánea, con el desarrollo completo de la coloración en menos de 15 segundos.

II: Reacción lenta y traída con el cloro residual combinado (CRC). Se necesita del orden de 5 minutos a 22°C para que se complete la reacción.

III: Reacción con diversas sustancias no cloradas, tales como nitritos o manganeso, lo que provoca una reacción positiva falsa.

Para poder diferenciar estos tres tipos de reacciones se recurre al arsenito sódico (AS), sustancia que neutraliza el cloro presente en el agua, ya sea libre o combinado. Según el orden en que se adiciones los reactivos al agua tendremos:



Para poder diferenciar estos tres tipos de reacciones se recurre al arsenito sódico (AS), sustancia que neutraliza el cloro presente en el agua, ya sea libre o combinado. Según el orden en que se adicionen los reactivos al agua tendremos: El principal inconveniente de este método es que la lectura del cloro residual libre es muy difícil porque en cuanto pasan unos segundos comienza a superponerse la coloración correspondiente al cloro residual combinado (CRC) sobre la del cloro residual libre (CRL) y pueden cometerse errores importantes en la medición.

2.6.3. METODO DPD O DE PALIN

El método de N,N-dietil-p-fenilendiamina (DPD), es similar al del método amperométrico. Cuando se añade DPD a una muestra que contiene cloro residual libre, ocurre una reacción instantánea que produce un color rojo. Si se le agrega a la muestra una pequeña cantidad de yoduro, la monocloramida reacciona produciendo yodo, que a su vez oxida más DPD para formar color rojo adicional.

La concentración de cloro libre o combinado se puede establecer por titulación con ion ferroso o directamente por análisis colorimétrico.

El reactivo que se emplea con este método es el dietil-parafenilen-diamina (DPD), que a pH 6,2-6,5 y en presencia de cloro, da una coloración roja proporcional a la concentración de cloro, que puede valorarse volumétricamente con una solución de sulfato ferroso amoniacal al 0,1% (1 mL de esta solución corresponde a 0,1 mg de cloro), o semi cuantitativamente por comparación con una escala de color.

Se realizan dos valoraciones, en la primera de ellas se determina el cloro residual libre y en la segunda, y tras la adición de yoduro potásico en exceso para liberar el cloro combinado se determina el cloro residual que estaba combinado. (el yoduro potásico se usa para liberar el cloro combinado).

2.6.4. .ELECTRODO ESPECIFCO

Es el método más adecuado para determinar de forma automatizada el cloro residual libre del agua.

2.7. COLIFORMES

Los **coliformes totales** son las Enterobacteriaceae lactosa-positivas y constituyen un grupo de bacterias que se definen más por las pruebas usadas para su aislamiento que por criterios taxonómicos. ... Los **coliformes fecales** comprenden principalmente *Escherichia coli* y algunas cepas de *Enterobacter* y *Klebsiella*.

Enterobacteriaceae y se caracterizan por su capacidad para fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, más o menos rápidamente, en un periodo de 48 horas y con una temperatura de incubación comprendida entre 30-37°C.

Son bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados. Del grupo <coliforme> forman parte varios géneros: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, etc. Se encuentran en el intestino del hombre y de los animales, pero también en otros ambientes: agua, suelo, plantas, cáscara de huevo, etc.

Una elevada proporción de los coliformes que existen en los sistemas de distribución no se debe a un fallo en el tratamiento en la planta, sino a un recrecimiento de las bacterias en las conducciones. Dado que es difícil distinguir entre recrecimiento de coliformes y nuevas contaminaciones, se admite que todas las apariciones de coliformes son nuevas contaminaciones, mientras no se demuestre lo contrario.

Dentro del grupo de los coliformes totales existe un subgrupo que es el de los Coliformes fecales. Los coliformes fecales son coliformes totales que además fermentan la lactosa con producción de ácido y gas en 24-48 horas a temperaturas comprendidas entre 44 y 45°C en presencia de sales biliares. Los coliformes

fecales comprenden principalmente *Escherichia coli* y algunas cepas de *Enterobacter* y *Klebsiella*.

Su origen es principalmente fecal y por esos se consideran índices de contaminación fecal. Pero el verdadero índice de contaminación fecal es *Escherichia coli* tipo I ya que su origen fecal es seguro. Desde el punto de vista metodológico *Escherichia coli* es el Coliforme más es positivo a la prueba del Indol.

2.8. ANTECEDENTES

CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DE CALIDAD. Según la Norma Boliviana 512 Los requisitos de calidad que deberán cumplir las EPSA con relación al agua para consumo humano son:

- a) En el curso de un año, el 90 por ciento (90%) de los resultados de los análisis correspondientes a los compuestos que afectan la calidad organoléptica, física y química del agua de consumo humano y que se encuentran detallados en las Tablas N° 1, N° 2 y N° 3 del presente Reglamento, no deben exceder las concentraciones o valores establecidos en la Norma Boliviana NB 512.

Tabla N° 1. PARÁMETROS DE CONTROL MÍNIMO

Parámetro	Valor máximo aceptable
pH	6,5 – 9,0
Conductividad	1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}^*$
Turbiedad	5 UNT
Cloro residual	0,2 – 1,0 mg/l
Coliformes termoresistentes	0 UFC/100 ml

CUANTIFICACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN AGUA POTABLE
Y SU INHIBICIÓN CON TIOSULFATOS

Tabla N° 2. PARÁMETROS DE CONTROL BÁSICO

Parámetro	Valor máximo aceptable
Físicos	
Color	15 UCV
Químicos	
Sólidos totales disueltos	1.000 mg/l
Químicos Inorgánicos	
Alcalinidad total	370,0 mg/l de CaCO ₃
Calcio	200,0 mg/l
Cloruros	250,0 mg/l
Dureza	500,0 mg/l de CaCO ₃
Hierro total	0,3 mg/l
Magnesio	150,0 mg/l
Manganeso	0,1 mg/l
Sodio	200,0 mg/l
Sulfatos	400,0 mg/l



CUANTIFICACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN AGUA POTABLE
Y SU INHIBICIÓN CON TIOSULFATOS

Tabla N° 3. PARÁMETROS DE CONTROL COMPLEMENTARIO

Parámetro	Valor máximo aceptable
a) Químicos Inorgánicos	
Aluminio	0,1 mg/l
Amoniaco	0,5 mg/l
Arsénico	0,01 mg/l
Boro	0,3 mg/l
Cobre	1,0 mg/l
Fluoruro	1,5 mg/l
Nitritos	0,1 mg/l
Nitratos	45,0 mg/l
Plomo	0,01 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
b) Subproductos de la Desinfección	
Trihalometanos totales (THM)	100 µg/l
c) Químicos Orgánicos	
Plaguicidas	
Plaguicidas totales	0,5 µg/l
Plaguicidas individuales(*)	0,1 µg/l
Hidrocarburos	
Hidrocarburos totales (TPH)	10,0 µg/l
Benceno	2,0 µg/l
d) Microbiológicos	
Bacterias	
Coliformes totales	0 UFC/100 ml
Escherichia coli	0 UFC/100 ml
Heterotróficas totales	500 UFC/100 ml
Pseudomonas aeruginosa	0 UFC/100 ml
Clostridium perfringens	0 UFC/100 ml
Parásitos	
Cryptosporidium sp.	Ausencia
Giardia sp.	Ausencia
Amebas	Ausencia



b) Durante el período de un año el contenido de Coliformes termoresistentes por 100 mililitros del total de muestras tomadas a la salida de la planta de tratamiento, tanques de almacenamiento y red de distribución de las zonas de abastecimiento de agua, deben cumplir lo siguiente:

- El 95 por ciento (95%) de las muestras analizadas, no deben contener coliformes termoresistentes.

El cloro residual libre en el agua de consumo humano se encuentra como una combinación de hipoclorito y ácido hipocloroso, en una proporción que varía en función del pH. El cloro residual combinado es el resultado de la combinación del cloro con el amonio (cloraminas), y su poder desinfectante es menor que el libre. La suma de los dos constituye la suma de los dos constituyentes el cloro residual total. EL cloro residual total.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que no se ha observado ningún efecto adverso en humanos expuestos a concentraciones de cloro libre en agua potable. No obstante establece como máximo 5 mg/L que se trata de un valor conservador.

Según la norma boliviana NB 512 se establece los siguientes parámetros como control mínimo en agua potable están en la tabla 1:

Generalmente, el establecimiento de la potabilidad microbiológica de un agua para el consumo humano y, por consiguiente, la determinación de la ausencia de patógenos microbianos en ésta se efectúa por la detección y enumeración de ciertos grupos de microorganismos denominados microorganismos indicadores. Estos microorganismos indicadores son las bacterias coliformes, Escherichia Coli, enterococos, y bacterias aerobias a 22 °C. La presencia de éstos en el agua no necesariamente implica la existencia de microorganismos patógenos, aunque sí es indicadora de contaminación fecal del agua. Las enfermedades de origen hídrico de tipo microbiano se transmiten básicamente a través de aguas contaminadas con excretas de seres humanos y animales, siendo éste es el conducto más frecuente de contaminación del agua. Los efectos que la existencia de contaminación fecal puede producir sobre la salud varían en función del agente microbiológico existente en el agua: si no hay agente patógeno no se produce enfermedad; si lo hay se

pueden generar molestias gastrointestinales, náuseas, vómitos, diarreas, etc. Este tipo de enfermedades y dolencias afectan principalmente a niños, personas mayores y personas inmunodeprimidas. Como parámetros microbiológicos de control según la NB 512 se establece:

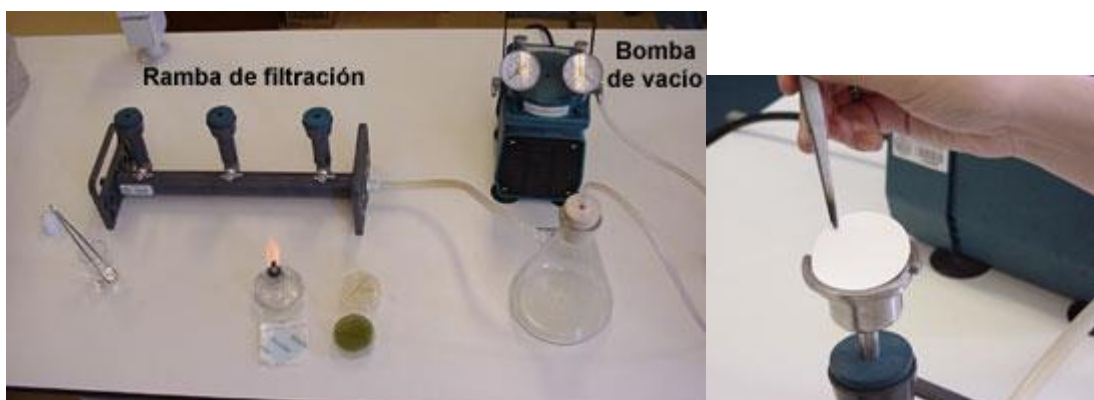
d) Microbiológicos	
Bacterias	0 UFC/100 ml
Coliformes totales	0 UFC/100 ml
Escherichia coli	500 UFC/100 ml
Heterotróficas totales	0 UFC/100 ml
Pseudomonas aeruginosa	0 UFC/100 ml
Clostridium perfringens	0 UFC/100 ml

2.8. Filtración a través de membrana

El número de coliformes totales presentes en el agua se determina mediante la filtración de volúmenes específicos de la muestra a través de filtros de membrana. Por lo general, están compuestos de ésteres de celulosa, típicamente con poros de 0,45 mm de diámetro que retienen los coliformes totales y otras clases de bacterias presentes en la muestra. Después se incuban las membranas vueltas hacia arriba en un medio selectivo. En la práctica, la técnica de filtración de membrana ofrece resultados comparables a los que se obtienen con el método de tubos múltiples.

Una de las ventajas del método de filtración a través de membrana es la prontitud con que pueden obtenerse los resultados y, en consecuencia, se pueden llevar a cabo rápidamente acciones correctivas y operar en la planta de agua de nuevo en forma normal. Esta técnica puede aplicarse en el análisis de casi todos los tipos de agua, también se utiliza en el análisis de leche y otros alimentos líquidos.

**CUANTIFICACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN AGUA POTABLE
Y SU INHIBICIÓN CON TIOSULFATOS**



Volumen de agua analizada

El volumen de muestra a filtrar es generalmente de 100 ml, excepto para aguas envasadas, en las que se recomienda analizar muestras de 250 ml. Sin embargo, en aguas superficiales y en general en aguas naturales sin tratar, el número de bacterias en 100 ml puede variar desde pocas decenas hasta cientos de millares. La siguiente tabla proporciona unos datos que pueden servir de orientación:

TABLA 4. Agua potable Respecto a Coliformes Totales.

Tipos de Agua	Coliformes totales
Potable de consumo público	100 ml
Envasadas	250 ml
Manantiales	15; 60; 100 ml
Lagos, depósitos	4; 15; 60; 100 ml
Acometidas	0,08; 0,15; 0,5; 1,4 ml
De playas	0,08; 0,15; 0,5; 1,4 ml
De ríos	0,003; 0,01; 0,02; 0,08 ml
Residuales cloradas	0,003; 0,01; 0,02; 0,08 ml
Residuales sin tratar	0,0001; 0,0003; 0,001; 0,003; 0,01 ml

Cuando se obtienen recuentos de más de 200 colonias sobre una misma membrana pueden dar resultados erróneos debido a la superpoblación, ya que lo que aparece como una colonia puede ser originado por varias bacterias bajo condiciones de hacinamiento. En estos casos debemos volver a muestrear el agua y analizar muestras más diluidas.

Por otra parte, un número de colonias inferior a 10 o 20 por membrana es poco fiable como base para establecer cuantitativamente la concentración bacteriana de la muestra. Por ejemplo, la obtención de 2 colonias a partir del análisis de 1 ml de un agua, no nos permite afirmar que esa agua contenía 200 colonias en 100 ml. En estos casos conviene repetir el análisis filtrando un volumen de muestra mayor.

Cuando el recuento de colonias está entre 20-200, los resultados se expresan:

Si hemos analizado una muestra sin diluir: $\text{Recuento de colonias} = \text{UFC} / \text{volumen de muestra filtrada}$.

Si hemos analizado una muestra diluida: $\text{Recuento de colonias} \times \text{Factor de dilución} = \text{UFC} / \text{volumen de muestra filtrada}$.

MODO DE EMPLEO PETRIFILM

Colocar la placa Petrifilm en una superficie plana. Levantar el film superior y con una pipeta en posición perpendicular a la placa colocar 1 mL de muestra previamente preparada en el centro del film inferior y colocar cuidadosamente la membrana.

Bajar con cuidado el film superior, evitando introducir burbujas de aire. No dejarlo caer.

Colocar el difusor de plástico con la cara lisa hacia arriba, presionar con cuidado para lograr difundir la muestra sobre el área circular. Esperar 2 minutos para que gelifique el agar.

Incubar las placas a 37 °C después de 48 a 72 horas proceder al recuento de las colonias.

2.9. DETERMINACION DE COLIFORMES TERMORESISTENTES

2.9.1. EQUIPOS

- Incubadora a $35^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- Baño de agua termostático a $45,5^{\circ} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ con agitación y con cubierta

2.9.2. MATERIALES

- Termómetro con graduaciones de $0,1^{\circ}\text{C}$
- Pipetas graduadas de 1, 5 y 10 mL
- Placas Petri de 100 mm de diámetro
- Tubos o botellas de dilución, de vidrio borosilicato con tapas herméticas
- Tubos de fermentación de 18 x 180 mm y 16 x 160 mm
- Asa de 3 mm de diámetro
- Micropipeta
- 6.3 Medios de cultivo y reactivos
- Caldo Lauril Sulfato Triptosa (LST)
- Caldo Bilis Verde Brillante 2% (BVB)
- Caldo EC



2.9.3. TEST PRESUNTIVO PARA COLIFORMES

- Preparar la muestra y diluciones 1:10.
- A partir de la dilución 1:10 proceder a realizar las diluciones 1:100 y 1:1000. Inocular 9 tubos de caldo LST (3 diluciones y 3 tubos por dilución). Dejar descansar el borde de la pipeta contra el tubo y drenar por 2 a 3 segundos.

3 tubos con 1 mL de la dilución 1:10, .

3 tubos con 1 mL de la dilución 1:100

3 tubos con 1 mL de la dilución 1:1000

- Agitar suavemente la gradilla para mezclar la muestra con el medio de cultivo. El tiempo entre la preparación de la muestra y su inoculación en un medio no debe ser superior a 15 minutos.
- Incubar a $35^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 24 horas y observar la formación de gas, si existen tubos que no presentan formación de gas, incubar nuevamente hasta completar 48 h. y observar la formación de gas, en los tubos de fermentación.
- La presencia de gas o efervescencia significa un Test Presuntivo positivo para coliformes y se registra como positivo, cualquiera sea la cantidad de gas producido. Ausencia de gas a las 48 horas significa un Test Presuntivo negativo para coliformes.

2.9.4. TEST CONFIRMATIVO PARA COLIFORMES

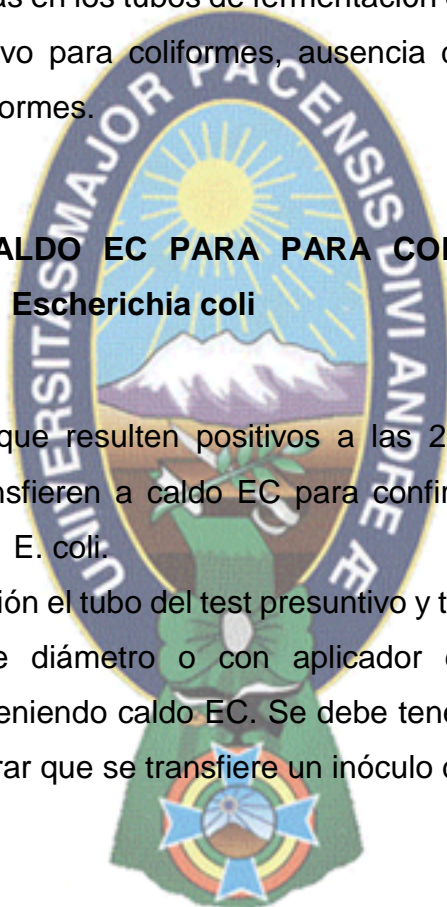
- Todos los tubos que resulten positivos a las 24 o 48 horas en el Test Presuntivo se transfieren a caldo BVB para confirmar coliformes.
- Mezclar por agitación el tubo del test presuntivo y transferir un inóculo con un asa de 3mm. de diámetro, si se ha formado una película en la superficie del

medio se debe evitar tomar ésta en el inóculo, a tubos de fermentación conteniendo caldo BVB. Se debe tener la precaución de enfriar el asa para asegurar que se transfiera un inóculo de cultivo viable.

- Incubar los tubos con caldo BVB a 35°C por 48 +/- 2 hrs.
- Al término del período de incubación se observa la formación de gas o efervescencia en los tubos de fermentación de caldo BVB.
- La presencia de gas en los tubos de fermentación de caldo BVB significa test confirmativo positivo para coliformes, ausencia de gas constituye un test negativo para coliformes.

2.9.5. METODO CALDO EC PARA PARA COLIFORMES FECALES Y CONFIRMACIÓN PARA *Escherichia coli*

- Todos los tubos que resulten positivos a las 24 o 48 horas en el Test Presuntivo se transfieren a caldo EC para confirmar coliformes fecales. y consecutivamente *E. coli*.
- Mezclar por agitación el tubo del test presuntivo y transferir un inóculo con un asa de 3mm. de diámetro o con aplicador de madera, a tubos de fermentación conteniendo caldo EC. Se debe tener la precaución de enfriar el asa para asegurar que se transfiera un inóculo de cultivo viable.





CAPITULO III

MARCO PRÁCTICO

3. METODOLOGIA

3.1. PRINCIPIO

El método se basa en el uso de reactivo D.P.D (N, N dietil-p-fenilendiamina), como indicador en el procedimiento.

El cloro libre, reacciona instantáneamente con el indicador DPD y produce una coloración rosada a roja, según la concentración de desinfectante activo residual presente.

3.1.1. EQUIPOS Y MATERIALES

- Colorimetro TC-3000 Tri-Meters
- Destilador de agua
- Desionizador
- Balanza analítica
- Micropipeta de 1000ul
- Celda de vidrio de 10 ml
- Pizeta 250ml
- Matraz volumétrico
- Pipeta volumétrica

3.1.2. REACTIVOS

- Sobres de reactivo de DPD en polvo
- Tiosulfato de sodio
- Hipoclorito de calcio
- yoduro de potasio
- Ácido acético



- Solución de almidón al 5%

3.1.3. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES.

SOLUCIÓN TAMPÓN DE FOSFATO

Disolver 24g de Na_2HPO_4 anhidro y 46g de KH_2PO_4 en agua destilada.

Se disuelven 800mg de EDTA-Na en suficiente cantidad de agua y se lleva a un volumen de 100 ml de solución.

Se mezclan las dos soluciones anteriores en un balón aforado de 1000ml y aforar.

Se añade 20mg de cloruro de mercurio

SOLUCIÓN INDICADORA DE N,N-DIETIL-P-FENILENDIAMINA

Disolver en un balón de 1000ml 1g de DPD en agua destilada libre de cloro a la que previamente se añadió 8 ml de H_2SO_4 diluido y 200mg de EDTA-Na y aforar.

SOLUCIÓN DE IODURO DE POTASIO

Se disuelve 500mg de KI en 50ml de agua destilada y se lleva hasta 1 litro en balón aforado.

Solución de tiosulfato de sodio 0,025N

Solución indicadora de Almidón

Solución de yodo 0,0282N

SOLUCIÓN PATRÓN DE CLORO

Se prepara en solución de hipoclorito de sodio de aproximadamente 100mg de CL como Cl_2/L , se agrega 2 ml de ácido acético glacial y 10 a 25 ml de agua destilada., se añade aproximadamente 1 g de ioduro de potasio, volumen adecuado de solución madre más 1 ml de tiosulfato de sodio 0,025N equivale a 0,9 mg de cloro

SOLUCIÓN DE HIPOCLORITO DE CALCIO:

Se pesó 0,22181 g de hipoclorito de calcio, se llevó a aforo a 1000 ml, la cual se diluyo 10 ml en 500 a cual se usó para titulación.

SOLUCION DE TIOSULFATO DE SODIO 0,025 N

Se pesó 6,2015g de tiosulfato de sodio, pentahidratado y 0,4 g de hidroxido de sodio en agua destilada y se aforo a 1L,

SOLUCIÓN DE ALMIDÓN AL 5%

Se pesa 0,5g en un matraz de 10 ml y se afora.

SOLUCION DE YODURO DE POTASIO

Se pesa 20 g de ioduro de potasio en un poco de agua destilada y se Añade 3.2g de iodo sublimado, y se afora a 1000ml.

3.1.4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

El cloro en solución acuosa no es estable y su contenido puede disminuir rápidamente, especialmente en soluciones poco concentradas, la exposición a la luz solar o la agitación, aceleran la reducción.

Las determinaciones se deben empezar inmediatamente después de obtener la muestra, evitando el exceso de luz o agitación. No almacenar las muestras o soluciones destinadas al análisis de cloro residual,

Descripción del Ensayo

Se preparó un blanco con agua destilada se llenó la celda con 10ml hasta la marca de la misma con la muestra.

Se limpió el exterior de la celda (el blanco) y se colocó en el soporte del equipo

Seleccionar en la pantalla Cero. La pantalla indicara 0.00 mg/l Cl₂.

CUANTIFICACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN AGUA POTABLE Y SU INHIBICIÓN CON TIOSULFATOS



Preparación de la Muestra: se llenó la celda de con 10ml con muestra de agua potable, agregar el contenido de una pastilla de reactivo DPD reactivó para la determinación de cloro residual.



Se agito, la celda durante 20 segundos, en presencia de cloro aparecerá un color rosa, después de la adición del reactivo.

Se Seleccionó en la pantalla Medición. El resultado aparecerá en mg/L Cl₂.

Los Cálculos y expresión de Resultados es la lectura directa del equipo.

Resultado.= mg/l Cl₂. (registrada por el equipo).

3.2. DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN DE DPPD

3.2.1. ESTANDARIZACIÓN DE HIPOCLORITO DE CALCIO CON TIOSULFATO DE SODIO, POR EL MÉTODO YODOMETRICO.

Se realizó la estandarización de hipoclorito de calcio 0,01 N con tiosulfato de sodio 0,025N

- Se tomó una alícuota de 5 ml de agua destilada para la realización del blanco.
- Se tomó una alícuota de 5 ml de hipoclorito de calcio
- Se añadió 1 ml de ácido acético, 5 ml de KI , almidón 0,5ml

3.2.2. CURVA DE CALIBRACIÓN DE DPD

Se preparó concentraciones de cloro de 0,1 ppm, 0,5ppm, 1ppm, 1,5 ppm, 2 ppm y 2,5 ppm a partir de hipoclorito de calcio. Se hizo las correspondientes lecturas en equipo.

Determinación de cloro residual en muestras:

Se tomó 10 ml de la muestra se añadió el DPD se agito por 10 segundo y luego se llevó a lectura.

3.3. RESULTADOS

Se determinó una concentración de concentración de hipoclorito de calcio de 0,0131 N, la cual se usó para realizar la curva de calibración.

Curva de calibración DPD

Se determinó la curva de calibración con hipoclorito de calcio obteniéndose la siguiente gráfica:

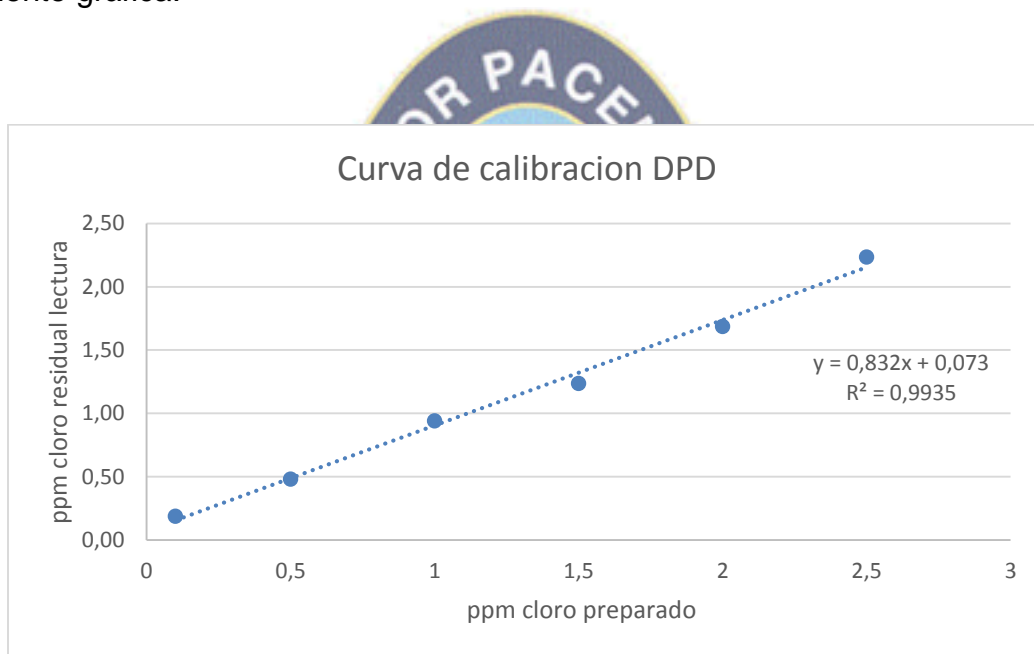


Fig.4 Curva de calibración DPD con solución de cloro preparada

En la gráfica puede apreciarse la linealidad del método, con una ecuación $Y = 0.832x + 0.073$ y un coeficiente de determinación del 0.9935, al analizar muestras de hipoclorito de sodio de concentración establecida (0.1 a 2.5 ppm), lo cual indica que una respuesta directamente proporcional a la concentración de cloro libre presente las muestras.

TABLA 5. Resultados de lectura de cloro residual en colorímetro, datos curva de calibración.

ppm cloro residual	Lecturas- Equipo			Promedio	DESV est
	1	2	3		
0,1	0,2	0,16	0,21	0,19	0,03
0,5	0,45	0,54	0,45	0,48	0,05
1	0,88	1,02	0,92	0,94	0,07
1,5	1,1	1,49	1,11	1,24	0,22
2	1,5	1,98	1,57	1,68	0,26
2,5	2,1	2,47	2,12	2,23	0,21

Determinación de cloro residual en agua potable.

Se determinó la medición de cloro residual en dos diferentes horarios, 10:00 AM y 12:00PM del grifo del laboratorio.

TABLA 6. Resultados Cloro Residual en Agua

Hora	Cloro residual en ppm										promedio
	dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5	dia 6	dia 7	dia 8	dia 9	dia 10	
10:00	0,07	0,09	0,06	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,1	0,15	0,09
12:00	0	0	0	0,01	0,02	0	0	0,01	0,01	0,02	0,01

Se determinó cloro residual en las piletas de agua potable en cota cota dentro el laboratorio, a dos diferentes horas donde se ve que el cloro residual esta en concentraciones muy bajas e incluso donde no puede detectarse nada de cloro según la metodología de DPD por lo que se puede demostrar que no existe un adecuado control de este parámetro por lo menos en nuestro sector y posiblemente

estemos en el límite de la red de distribución antes de que se vuelva a dosificar cloro para que continúe en toda la red de alimentación de agua.

Según la organización mundial de la salud menciona que en el sitio más cercano al punto de cloración, para verificar que los niveles de cloro residual estén dentro de los límites establecidos (0,2-0,5 mg/L), en el punto más lejano de la tubería donde probablemente los niveles de cloro residual sean más bajos. Si los niveles de cloro se encuentran por debajo de 0,2 mg/L, es necesario añadir más cloro en el punto intermedio de la red de tuberías, por lo que la red de alimentación no está cumpliendo con dichos niveles.

Lo que nos demuestra que debería tomarse un control más estricto en esta red de alimentación, cercana a cota cota.

3.4. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Se implementó el método para la determinación de cloro residual. Encontrándose una recta para la curva de calibración de $Y = 0.832x + 0.073$ y un coeficiente de determinación del 0.9935, con solución de hipoclorito de calcio.

Se determinó que la calidad de agua potable en el sector de cota cota (laboratorio) la cual está fuera de los rangos aceptable de cloro residual según la norma Boliviana NB 512.

Se requiere realizar análisis completos para determinar la calidad de agua que se está consumiendo, haciendo un seguimiento a toda la red y puntos de dosificación de cloro.

Dentro el laboratorio el cloro residual esta por debajo del nivel permitido lo que hace que el agua potable que circula no es apto para consumo, por lo que existe la posibilidad de que el cloro se este consumiendo debido a la existencia de materia organica debido talvez a que existe un tanque que contienen materia orgánica, que este consumiendo el cloro con lo que podemos decir que se debe realizar una

limpieza a los diferentes tanques que posiblemente estén evitando la libre circulación de todo el cloro.

La posibilidad de que disminuya el cloro en algunos casos a cero es porque después de dos horas se abren los grifos de todas las áreas lo que permite la circulación de oxígeno que también consume oxígeno.



4. BIBLIOGRAFIA

- Química Analítica Cuantitativa, Arthur Vogel , 1960, Editorial Kapeluz
- Norma Venezolana COVENIN 2685-90, Determinación de cloro
- Norma Boliviana NB 512 Reglamento Nacional para el Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, 2005.
- Norma Boliviana NB 31007, Agua Potable Recuento de bacterias Heterotroficas- Método de Recuento en placa y método de membrana filtrante.
- Norma Boliviana NB Identificación y recuento de bacterias coliformes termresistentes- Método de Membrana Filtrante.

