

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EFFECTO MICROBICIDA DE PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS
EN LA DESINFECCIÓN DE AFLUENTES DE LA
PTAR “LA TOTORA” - AYACUCHO**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CURITOMAY CARRILLO, YULISA CANDELARIA

Villa El Salvador

2017

DEDICATORIA

A MIS PADRES Flora y Ulises, que son un gran ejemplo de fuerza y voluntad, a toda mi familia por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma mater, la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

A la facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Ambiental en especial a la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Ambiental y a sus docentes que ayudaron a forjarme a lo largo de mis estudios universitarios.

Al laboratorio de Microbiología Ambiental, de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Biológicas, escuela de formación profesional de biología que me permitió el uso de los ambientes y equipos para el desarrollo del presente trabajo.

A mis asesores el Mg. PANTOJA CADILLO, Agérico, por su apoyo y comprensión, al Dr. CHUCHÓN MARTÍNEZ, Saúl Alonso, por el apoyo y valiosa ayuda en información y materiales.

A mi padre por la colaboración con los requerimientos para obtener los materiales que se usaron en este trabajo de investigación.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción de la realidad problemática	3
1.2. Justificación del proyecto	5
1.3. Delimitación del proyecto	6
1.4. Formulación del problema	6
1.5. Objetivos	7
1.5.1. Objetivo general	7
1.5.2. Objetivos específicos	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes De La Investigación	8
2.2. Base Teórica	11
2.2.1. Desinfección del agua	11
2.2.2. Eficiencia de desinfección	12
2.2.3. Métodos de desinfección	13
2.2.4. Métodos de desinfección aplicables	14
2.2.5. Factores que influyen en la desinfección	14
2.2.6. Importancia de la desinfección	17
2.2.7. Desinfección química	21
2.2.8. Planta De Tratamiento De Aguas Residuales “La Titora” Ayacucho.	37
2.2.9. Métodos de Análisis	39
2.3. Marco Conceptual	41

CAPITULO III: DISEÑO DEL PROYECTO DE INGENIERIA	47
3.1. Análisis del Proyecto de Ingeniería	47
3.1.1. Análisis del modelo	47
3.2. Construcción del Proyecto de Ingeniería	51
3.3. REVISION Y CONSOLIDACION DE RESULTADOS	57
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFIA	63
ANEXOS	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tendencia de disminución NMP de coliformes fecales/100ml en muestras procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totora, sometidas a desinfección con hipoclorito de sodio. Ayacucho-2017.	54
Figura 2. Tendencia de disminución NMP de coliformes fecales/100ml en muestras procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totora, sometidas a desinfección con hipoclorito de calcio. Ayacucho-2017.	55
Figura 3. Tendencia de disminución de NMP de coliformes fecales/100ml en muestras procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totora, sometidas a desinfección con cal viva. Ayacucho-2017.	56

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Sistema y métodos de desinfección químicos y físicos.	13
Tabla 2. Dosis de cloro aplicadas en plantas potabilizadoras.	23
Tabla 3. Espectro bactericida del Hipoclorito sódico	25
Tabla 4. Interacciones e interferencias	28
Tabla 5. Estabilidad y condiciones de uso	29
Tabla 6. Diluciones con lejía comercial de 40g/l	29
Tabla 7. LMP para los efluentes de PTAR domesticas o residuales.	46
Tabla 8. NMP de coliformes fecales/100ml en muestras de agua procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR” La Totora”, sometidas a desinfección con hipoclorito de sodio.Ayacucho-2017.	51
Tabla 9. NMP de coliformes fecales/100ml en muestras de agua procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR” La Totora”, sometidas a desinfección con hipoclorito de calcio. Ayacucho-2017.	52
Tabla 10. NMP de coliformes fecales/100ml en muestras de agua procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR” La Totora”, sometidas a desinfección con cal viva.Ayacucho-2017.	53

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso estratégico para el desarrollo de las poblaciones, para el consumo humano y las actividades productivas. Por ello resulta necesario evaluar su disponibilidad y calidad, así como la forma como se gestiona este recurso.

La contaminación del agua es la alteración de su calidad natural por la acción humana, que la hace total o parcialmente inadecuada para los usos a los que se destina (Brack & Mendiola, 2006).

Las aguas superficiales son las primeras en verse afectadas por la emisión constante de agentes contaminantes de cualquier procedencia.

Cada habitante en el Perú genera 142 litros de agua residuales al día (OEFA, 2014). Esta agua contiene una gran cantidad de sales disueltas, materias orgánicas, partículas, sólidos en suspensión y microorganismos patógenos. Y llega a los ríos y al mar, en su mayor parte, sin ningún tratamiento. (Brack & Mendiola, 2006).

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Mara, 1976).

En la presente investigación se desea evaluar el Efecto microbicida de los productos químicos utilizados en la desinfección de efluentes de la Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) “La Totorá” ubicada en la ciudad de Ayacucho.

El presente trabajo se centrará en el proceso de desinfección de las aguas residuales evaluando la acción de cada producto químico utilizado para tal fin. Para evaluar las condiciones sanitarias del agua residual desinfectada se realizará la prueba de enumeración de las bacterias coliformes fecales, que actúan como indicadores de contaminación fecal, y se encuentran en gran número en la microbiota intestinal del hombre y de animales de sangre caliente.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La descarga directa sin tratamiento previo de las aguas residuales en los cuerpos receptores (ríos, lagos, quebradas secas o el mar) es uno de los principales factores de contaminación no solo de los diversos ecosistemas existentes sino, sobre todo, de nuestras actuales fuentes de agua, tanto superficiales como subterráneas, lo que amenaza la sostenibilidad del recurso y pone en riesgo la salud de la población (Loose, 2015).

Por muchos años ha sido práctica general en México descargar aguas residuales domésticas e industriales sin ser precedidas de tratamiento alguno. Debido a la importancia que reviste este tema, si el agua está contaminada, se convierte en un medio de potencial de transmisión de una gran variedad de enfermedades (Moeller, 2004).

En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de

origen fecal. Estos microorganismos son causantes de enfermedades de origen hídrico, que generan altos porcentajes de morbi-mortalidad en la población (Campos, 2003).

Las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) son las responsables de administrar y gestionar los sistemas de alcantarillado que conducen las aguas residuales o aguas negras a las denominadas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), dentro de sus ámbitos de operación, en el sector urbano (Loose, 2015).

En el Perú se realiza una depuración deficiente de agentes contaminantes, utilizando solo una mezcla de tratamiento primario y secundario que resulta insuficiente. Y si a esto le sumamos la poca proporción de aguas tratadas, así como la gran cantidad de desechos sin tratar que se vierten de manera irracional a los ríos, podremos darnos cuenta del enorme daño que le ocasionamos a nuestro ambiente (Jiménez, 2011).

La PTAR “La Totora” se ubica en la ciudad de Ayacucho capital de la Región del mismo nombre, a 3.50 km del óvalo de la Magdalena, carretera Ayacucho – Huanta.

La capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales (BCF) por la PTAR “La Totora” se ve afectada por el crecimiento demográfico en la ciudad de Ayacucho haciendo que el volumen de agua residual a tratar sea cada vez mayor (Chuchón & Aybar, 2008).

Estudios realizados por Consulting Engineers Salzgitter (CES, 2001), comprobaron que el estado que mostraba la PTAR “La Totora” no era satisfactoria ya que ésta trabajaba con un caudal significativamente mayor al de su capacidad de diseño, con una sobrecarga del 45%, al tratar en promedio 260

l/s de agua cruda, situación que hacía que las unidades trabajaran deficientemente, por tal motivo se realizaron trabajos de modificación y ampliación en la planta (Chuchón & Aybar, 2008).

Respecto a tratamientos de desinfección de aguas en la PTAR “La Totorá” se utiliza el cloro gaseoso y no se han realizado estudios para evaluar el uso de otros desinfectantes químicos que pueden tener una mejor eficiencia.

Los procesos de desinfección se pueden llevar a cabo por métodos físicos (radiaciones ultravioleta, gamma, microondas, ultrasonidos, calor o sistemas de filtración) o métodos químicos (cloro y sus derivados, bromo y sus derivados, yodo y sus derivados, cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), ácido peracético, sales metálicas, ácidos y álcalis, ozono, permanganato potásico) (Garralón Lafuente, 2007).

Obtener agua higiénicamente pura es uno de los grandes desafíos de nuestro tiempos existen muchos métodos de desinfección del agua según el requerimiento y cada método posee sus ventajas y desventajas respecto a los distintos aspectos referentes a la salud, ambiente y economía.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La presente investigación se justifica en la innovación de nuevas propuestas de uso de productos químicos utilizados en la desinfección de efluentes de la PTAR “La Totorá” debido al ineficiente proceso de desinfección que se realiza en la planta.

Por otra parte también el realizar el estudio con el método (Numero Más Probable) NMP cuantificando la acción de cada producto químico respecto a la eliminación de BCF en el agua residual de la PTAR “La Totorá” podrá brindar nuevas opciones de desinfección así como nuevas perspectivas en el tema

referente ofreciendo beneficios a la empresa que realiza los servicios, a la población de Ayacucho y el ambiente.

1.3. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

En el presente Proyecto se va a evaluar el efecto microbicida de los productos químicos (hipoclorito de sodio, cal, hipoclorito de calcio) utilizados en la desinfección de aguas residuales.

Debido a que existe diversidad de productos químicos desinfectantes para el presente estudio se elegirán tres productos químicos (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, cal viva). Estos productos fueron elegidos para cuantificar la acción de cada uno respecto a la eliminación de BCF.

La investigación se realizará en el periodo de enero-marzo del año 2017 y los estudios se realizarán en base a las muestras de los efluentes provenientes de la PTAR “La Totorá” localizada en la ciudad de Ayacucho capital de la Región del mismo nombre, a 3.50 km del óvalo de la Magdalena, carretera Ayacucho – Huanta.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál será el efecto microbicida de los productos químicos (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, cal viva) utilizados en la desinfección de los efluentes de la PTAR “La Totorá”?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

- Determinar el efecto microbicida de los productos químicos (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio y cal viva) utilizados en la desinfección de los efluentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá”.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la capacidad microbicida y la concentración óptima de hipoclorito de sodio utilizado en la desinfección del efluente de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá”.
- Determinar la capacidad microbicida y la concentración óptima de hipoclorito de calcio utilizado en la desinfección del efluente de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá”.
- Determinar la capacidad microbicida y la concentración óptima de cal viva utilizada en la desinfección del efluente de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá”.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La función de un desinfectante es destruir microorganismos en suspensión y prevenir la diseminación de estos. Por esto los desinfectantes son usados en muchas y diversas condiciones, contra microorganismos en suspensión y en las superficies de objetos inanimados, y difieren en los periodos de actuación (Entis P, 2002).

Un proceso de desinfección es clave para cualquier sistema de tratamiento de agua, porque la generación de agua microbiológicamente segura depende, en buena medida, de este. En un proceso de desinfección convencional, se utilizan compuestos químicos oxidantes. Relativamente estables, los cuales se denominan desinfectantes (herrera, 2006)

Los desinfectantes químicos usados más comúnmente son el cloro y el ozono (Craun & Castro, 1996).

Cada uno de estos desinfectantes tienen sus ventajas y desventajas en función de su costo, eficiencia, estabilidad, facilidad con que se aplique y formación de productos secundarios de la desinfección (Craun & Castro, 1996).

Por más de un siglo se ha utilizado cloro para desinfectar agua para uso y consumo humano. La aplicación de cloro contribuyó a disminuir de manera significativa la ocurrencia de enfermedades gastrointestinales tales como el cólera, la disentería, amebiasis, salmonelosis, shigelosis y hepatitis A. Sin embargo, en años más recientes se ha demostrado que la cloración puede resultar ineficiente para controlar la ocurrencia de algunos patógenos en el agua, tales como *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum* (Galal-Gorchev, 1996).

Hoy en día existen tratamientos suficientemente avanzados para conseguir “agua a la carta”, pero hay que buscar siempre, en función del uso para el que se destine una tecnología viable no solo desde el punto de vista técnico, sino también desde el punto de vista económico (Gonzales , Gomez, Moreno, & Hontoria, 2006).

El proceso más utilizado para la desinfección del agua es la cloración porque se puede aplicar a grandes cantidades de agua y es relativamente barato. El cloro proporciona al agua sabor desagradable en concentraciones mayores de 0.2ppm aunque elimina otros sabores y olores desagradables que le proporcionan diferentes materiales que se encuentran en el agua.

A nivel nacional en el año 2008, la SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento) publicó el Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución (en adelante Diagnóstico 2008), en el cual se analizó la situación del tratamiento de las aguas residuales manejadas por las empresas prestadoras de servicios

de saneamiento (EPS), se identificaron las debilidades del sector saneamiento respecto al tratamiento de aguas residuales y se recomendaron propuestas de mejora. En el estudio realizado se presentó la situación de las Empresas Prestadoras de Servicios (EPS) a nivel nacional. (SUNASS, 2008)

- 11,2% PTAR inoperativas.
- 35,7% PTAR sin mantenimiento
- 43,3% PTAR sobrecargadas
- 55,2% PTAR sin cribas
- 72% PTAR sin desarenador
- 60,8% PTAR sin medidor de caudal
- 66% PTAR con eficiencia de remoción de $DBO_5 < 80,0\%$
- 48% PTAR con eficiencia de remoción de CF $< 99,0\%$ (SUNASS, 2008)

A nivel regional se realizó un estudio sobre la evaluación de la capacidad de remoción de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "La Titora", Ayacucho, Perú; con los resultados del estudio se demostró que la capacidad de remoción de BCF a nivel de planta es de 99.985%, valores que están por encima del parámetro de diseño (99%). Sin embargo se debe tener en cuenta que el porcentaje de remoción promedio de BCF es deficiente para alcanzar valores de $< 10^3$ NMP/100 ml para aguas de Clase III según la Ley General de Aguas D.L. 17752 y los valores guía de la OMS, para el cual sería necesario una remoción del 99.9999%.; teniendo en cuenta que estos efluentes son utilizados como agua de riego y para bebida de animales (Chuchón & Aybar, 2008).

Considerándose como disposición final el vertido, la legislación involucrada corresponde a la Ley General de aguas del Perú (Decreto Ley N° 17752), que

establece que los vertidos de aguas residuales tratadas no deberán afectar las condiciones de uso del río. Dado que el río Alameda ha sido identificado como uso de riego, el efluente de la planta de tratamiento deberá ser tal que la calidad del río aguas abajo se ajuste a un agua de Clase III (aguas para riego de vegetales y de consumo crudo y bebida de animales) (Chuchón & Aybar, 2008).

2.2. BASE TEÓRICA

2.2.1. Desinfección del agua

La desinfección de aguas se refiere al proceso que tiene como objetivo la inactivación de microorganismos patógenos presentes en el medio, minimizando la probabilidad de transmisión hídrica de enfermedades, y se consigue al provocar una alteración en los mecanismos celulares de los organismos (daños en la pared celular, alteración de la naturaleza coloidal del protoplasma o inhibición de la actividad enzimática) (Blatchley, y otros, 1997). Se puede utilizar en combinación con cualquier sistema de tratamiento, aunque su empleo sólo tiene sentido cuando previamente se ha realizado un nivel de tratamiento adecuado.

Los procesos de desinfección se pueden llevar a cabo por métodos físicos (radiaciones ultravioleta, gamma, microondas, ultrasonidos, calor o sistemas de filtración) o químicos. Entre los productos químicos, el más empleado es el cloro y sus derivados, seguido del ozono, aunque de manera minoritaria se usan otros compuestos como el bromo, yodo o el permanganato potásico. Por la vía de desinfección física, el método más habitual es la radiación UV (Organización Panamericana de la Salud, 2007).

Entre los factores que afectan a la eficiencia de la desinfección se encuentra el tipo y la concentración de microorganismos, la naturaleza y concentración del desinfectante, y el tiempo de contacto, temperatura, pH y contenido en materia orgánica (Organización Panamericana de la Salud, 2007).

En el tratamiento de aguas es muy importante conocer el tiempo de contacto adecuado y la dosis de agente desinfectante por un determinado período. El valor CT representa ambas funciones, es decir, combina la dosis de desinfectante y el tiempo que el agua ha estado expuesta a una mínima cantidad de desinfectante residual, siendo C la concentración final de desinfectante en mg/L y T el tiempo mínimo de exposición en minutos (Organización Panamericana de la Salud, 2007).

2.2.2. Eficiencia de desinfección

La eficiencia de este proceso dependerá de factores que se deberán tener en cuenta, como son:

- La naturaleza y número de los organismos a ser destruidos.
- El tipo y concentración del desinfectante usado.
- La temperatura del agua a ser desinfectada. Cuanta más alta sea la temperatura, más rápido es el proceso.
- El tiempo de contacto entre el desinfectante y el agua. Mientras mayor sea este periodo, los resultados son mejores. La totalidad de muertes de microorganismos es proporcional al tiempo de contacto.
- La calidad del agua a ser desinfectada. Si el agua contiene partículas, especialmente de naturaleza coloidal y orgánica, la eficiencia de la

desinfección es menor. Es recomendable que la turbiedad del agua sea menor a 5 UNT.

- El pH del agua.
- Las condiciones de la mezcla. Se obtiene buenos resultados cuando la mezcla del agua y el desinfectante es homogénea (Organización Panamericana de la Salud, 2007).

2.2.3. Métodos de desinfección

La desinfección del agua puede llevarse a efecto por diferentes procesos:

(1) con agentes químicos; (2) con medios físicos.

Cada uno de ellos tiene sus ventajas y sus desventajas y se emplean uno u otro método según sean las circunstancias. Ver tabla N°1

Tabla 1.

Sistema y métodos de desinfección químicos y físicos.

TIPO DE DESINFECCIÓN		
FÍSICA	CALOR	
	COAGULACIÓN	
	FLOCULACIÓN	
	SEDIMENTACIÓN	
	FILTRACIÓN	
	MICROFILTRACIÓN	
	ULTRAFILTRACIÓN	
	NANOFILTRACIÓN	
	ÓSMOSIS INVERSA	
	RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	
	QUÍMICA	COLORO
		Hipoclorito sódico
		Hipoclorito de calcio
Cloro gaseoso		
Dióxido de cloro		
Cloraminas		
OZONO		
PERMANGANATO POTASICO		
PERÓXIDO DE HIDROGENO		
ACIDO PERACÉTICO		

Nota. Fuente: (Junta de Castilla y Leon, 2016)

2.2.4. Métodos de desinfección aplicables

Las características que deben tener los métodos de desinfección para ser aplicables son los siguientes:

- Rápido y efectivo.
- Fácilmente soluble en agua en las concentraciones requeridas y capaz de proveer una acción residual.
- Que no afecte el sabor, olor o color del agua.
- Fácil de manipular, transportar, aplicar y controlar

Bajo estas características el cloro es uno de los métodos que más aplica en el Perú (Organización Panamericana de la Salud, 2007).

2.2.5. Factores que influyen en la desinfección

Los factores que influyen en la desinfección del agua son los siguientes:

2.2.5.1. Los microorganismos presentes y su comportamiento

El tipo de microorganismos presentes en el agua tiene influencia definitiva en el proceso de desinfección. La reacción de los microorganismos frente a un desinfectante parece estar determinada por la resistencia de sus membranas celulares a la penetración del mismo y por la relativa afinidad química con las sustancias vitales del microorganismo (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

Las bacterias como las del grupo coliforme y las salmonelas son las menos resistentes a la desinfección, pues su respiración se efectúa en la superficie de la célula (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

El número de microorganismos presentes en el agua no afecta el proceso de desinfección. Ello quiere decir que para matar una gran cantidad de

microorganismos se requiere la misma concentración y tiempo de contacto del desinfectante que para eliminar una cantidad pequeña, siempre y cuando la temperatura y pH del agua sean los mismos (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

Cuando las bacterias forman aglomerados celulares, las que se encuentran protegidas en el interior pueden sobrevivir luego del proceso de dosificación del desinfectante. Para evitar que esto ocurra, es necesario favorecer la distribución uniforme de los microorganismos en el agua, lo cual se puede lograr mediante la agitación (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

2.2.5.2. La naturaleza y concentración del agente desinfectante

Desinfectantes como el cloro y derivados pueden formar en el agua una serie de especies químicas cloradas, de diferente eficiencia desinfectante.

Por otro lado, la concentración del desinfectante determinará el tiempo de contacto necesario para destruir todos los microorganismos presentes en el agua (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

2.2.5.3. La temperatura del agua

Por lo general, la temperatura favorece el proceso de desinfección.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la solubilidad de los agentes desinfectantes en estado gaseoso es inversamente proporcional a la temperatura. Por tanto, en condiciones extremas de temperatura por ejemplo, en lugares donde el agua llega a menos de 5 °C o en otros donde puede tener 35°C, la cantidad del desinfectante disuelto en el agua variará considerablemente; será

menor a mayor temperatura y viceversa (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

2.2.5.4. La naturaleza y calidad del agua

La materia en suspensión puede proteger a los microorganismos existentes en el agua e interferir en la desinfección.

La materia orgánica puede reaccionar con los desinfectantes químicos y cambiar su estructura (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

En ciertos casos, si en el agua persisten compuestos orgánicos que no han sido removidos en los procesos previos a la desinfección, se pueden generar derivados tóxicos o compuestos que confieren sabor u olor al agua, muchos de ellos desagradables, lo que cambiaría su calidad organoléptica (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

2.2.5.5. El pH

El pH del agua es de suma importancia para la vida de los microorganismos acuáticos, ya que valores muy altos o muy bajos ofrecen a los microorganismos un medio adverso, con excepción de los quistes de amebas, que soportan pH tan altos como 13 o tan bajos como 1 (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

Por otra parte, la acción de los desinfectantes es fuertemente influenciada por el pH del agua. De acuerdo con su naturaleza, cada desinfectante tiene un rango de pH de mayor efectividad. Sin embargo, la práctica demuestra que cuanto más alcalina es el agua requiere mayor dosis de desinfectante para una misma temperatura y tiempo de contacto (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

2.2.5.6. El tiempo de contacto

Cuanto mayor es el tiempo de contacto, mayor será la posibilidad de destrucción de los microorganismos para una cierta dosis de cloro aplicado (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004).

2.2.6. Importancia de la desinfección

La importancia de la desinfección radica en eliminar los microorganismos

Patógenos presentes en el agua. La desinfección es importante en todos los sistemas, pero es crítica en las comunidades pequeñas y zonas rurales, donde se debe buscar un tratamiento asequible (Organización Panamericana de la Salud, 2007)

Para proporcionar un abastecimiento continuo de agua segura para consumo humano, deben seguirse algunas normas simples que permitan garantizar su buena calidad microbiológica. Entre ellas, la OMS considera prioritarias las siguientes:

- Utilizar un recurso hídrico de la mejor calidad posible.
- Emplear todos los medios disponibles para proteger las captaciones.
- Garantizar en forma permanente la desinfección del agua.

La protección de la población frente a enfermedades de origen hídrico depende de la aplicación y del cumplimiento de dichas normas (Organización Panamericana de la Salud, 2007).

2.2.6.1. Microorganismos indicadores de la calidad del agua

Varios organismos patógenos de transmisión fecal-oral pueden estar presentes en el agua cruda (agua natural que no ha sido sometida a proceso de

tratamiento para su potabilización), entre ellos bacterias como *Salmonella sp*, *Shigella sp*, coliformes totales y fecales, los cuales han sido encontradas en abastecimientos de aguas (Ocasio & Manuel, 2004).

Las bacterias coliformes, son el principal indicador de la adecuación del agua para uso doméstico, industrial, o de otro tipo. La experiencia ha demostrado que la densidad del grupo de coliformes es un indicador del grado de contaminación y por tanto, de la calidad sanitaria (APHA-AWWA-WPCF, 2000).

Desde hace tiempo, se reconoce que los organismos del grupo coliforme son un buen indicador microbiano de la calidad del agua potable, debido principalmente a que son fáciles de detectar y enumerar en el agua. La presencia de *E. coli* en muestras de agua potable, indica la existencia de fallas en la eficacia de tratamiento de aguas, integridad, sistema de distribución y por lo tanto es una evidencia de contaminación de diferentes orígenes: suelo, superficies de agua dulce y tracto digestivo (Organización Panamericana de la Salud, 1987).

Cabe señalar sin embargo, que aunque se reconoce que la determinación de la concentración de estas bacterias en el agua es un elemento crítico para determinar el riesgo de enfermedades relacionadas al consumo de la misma, no existe una relación simple entre el nivel de coliformes en el agua con la presencia de patógenos en la misma y el riesgo de enfermedades (Perdomo C.H., 2001)

2.2.6.1.1. Coliformes Totales

El grupo coliforme se define como todas las bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas(CO₂) en 24 horas, aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimático de la B-

galactosidasa (Ministerio de Salud Pública, 1998). Entre ellos se encuentran los diferentes *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella* (Organización Panamericana de la Salud, 1987).

La prueba más relevante utilizada para la identificación del grupo Coliforme, es la hidrólisis de la lactosa. El rompimiento de este disacárido es catalizado por la enzima B-D- Galactosidasa. Ambos monosacáridos (la galactosa después es transformada en glucosa por reacciones bioquímicas) posteriormente son metabolizados a través del ciclo glicolítico y ciclo del citrato. Los productos metabólicos de estos ciclos son ácidos y/o CO₂. Para la determinación de la B-Galactosidasa se utiliza medios cromógenos tales como chromocult (Manafi, 1998).

2.2.6.1.2. Coliformes Fecales

Los coliformes fecales también denominados coliformes termotolerantes, llamados así porque soportan temperaturas hasta de 45°C, comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal. En su mayoría están representados por el microorganismo *E. coli* pero se pueden encontrar, entre otros menos frecuentes, *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae* estos últimos hacen parte de los coliformes termotolerantes, pero su origen se asocia normalmente con la vegetación y solo ocasionalmente aparecen en el intestino (Hayes, 1993).

Los coliformes fecales integran el grupo de los coliformes totales, pero se diferencian de los demás microorganismos que hacen parte de este grupo, en que son indol positivo, su rango de temperatura óptima de crecimiento es muy amplio (hasta 45°C) y son mejores indicadores de higiene en alimentos y en

aguas, la presencia de estos indica presencia de contaminación fecal de origen humano o animal, ya que las heces contienen dichos microorganismos, presentes en la microbiota intestinal y de ellos entre un 90% y un 100% son *E. coli* mientras que en aguas residuales y muestras de agua contaminadas este porcentaje disminuye hasta un 59% (Gomez M, Peña P, & Vásquez M, 1999).

Escherichia coli

Originalmente llamada *Bacterium comune*, fue aislada por primera vez en 1985 a partir de heces de niños; son bacilos estrechos de 1,1 a 1,5 μm de diámetro y de 2 a 6 μm de longitud, se encuentran solos o en parejas, Gram negativos, móviles por flagelos peritricos o inmóviles, anoxigénicos facultativos, poseen metabolismo respiratorio y fermentativo (Ocasio & Manuel, 2004).

Pertenece a la familia Enterobacteriaceae, son coliformes capaces de producir indol a partir de triptófano, en 21 +/- 3 horas a 44 +/- 0.5°C.

También poseen la enzima B-Galactosidasa, que reacciona positivamente en el ensayo del rojo de metilo y pueden descarboxilar el ácido L – glutámico, pero no son capaces de utilizar citrato como única fuente de carbono o de crecer en un caldo como cianuro de potasio (Millipore, 2005).

Escherichia coli es la única especie dentro de las enterobacterias que presenta la enzima B-D-Glucuronidasa, que degrada el sustrato 4-metilumbeliferil-B-D glucuronico, formando 4-metilumbeliferona, este producto tiene la propiedad de emitir fluorescencia azul/verde cuando se ilumina con luz ultravioleta (Manafi, 1998).

Escherichia coli presenta características bioquímicas importantes que permiten la diferenciación con otros coliformes, como ser positivo para la prueba

de indol. El indol es un producto de degradación metabólica del aminoácido triptófano.

Las bacterias que poseen triptofanasa son capaces de hidrolizar y diseminar el triptófano con producción de indol, ácido pirúvico y amoníaco. La prueba de indol está basada en la formación de un complejo rojo cuando el indol reacciona con el grupo aldehído del p-dimetilaminobenzaldehído (Hopkins & Hilton, 2000).

2.2.7. Desinfección química

2.2.7.1. Desinfección con cloro y derivados

El cloro ha desempeñado una función muy importante protegiendo los sistemas de abastecimiento de las enfermedades infecciosas transmitidas por el agua durante más de un siglo. Además, los desinfectantes basados en cloro son los únicos que proporcionan una protección duradera, ya que previenen un nuevo crecimiento microbiano y proporcionan protección continua durante todo el proceso de distribución del agua (Garralón Lafuente, 2007).

La cloración del agua se puede llevar a cabo con diferentes compuestos, como puede ser el cloro gas, los hipocloritos o el dióxido de cloro que, previa reacción con agua, se transforman en el ácido hipocloroso que realmente realiza la función germicida:



Las ventajas del empleo del cloro se pueden esquematizar en:

Germicida potente. El cloro reduce el nivel de los microorganismos patógenos en el agua hasta valores casi imposibles de medir.

Cualidades residuales. El cloro produce una acción desinfectante residual sostenida que es «única entre los desinfectantes disponibles para el agua a gran escala». La persistencia del cloro residual mantiene el efecto germicida durante un tiempo muy superior a cualquier desinfectante alternativo (Garralón Lafuente, 2007)

Control químico. El cloro destruye el sulfuro de hidrógeno y elimina el amoníaco y otros compuestos nitrogenados que obstaculizan la desinfección. En 1974, los científicos de la EPA (Environment Protection Agency) determinaron que el cloro reacciona con ciertos compuestos orgánicos formando trihalometanos (THM). Los estudios toxicológicos emprendidos sugirieron que era cancerígeno para animales de laboratorio, apareciendo el temor de que pudieran ser potencialmente cancerígenos para los humanos. En este contexto, la EPA decidió fijar límites reglamentarios para estos subproductos de la desinfección (SPD). El objetivo era reducir los niveles de SPD sin comprometer la protección microbiana, siendo uno de los mejores métodos la eliminación de los precursores orgánicos antes de la desinfección (mediante coagulación y clarificación, adsorción en carbón activo, o membranas) (Garralón Lafuente, 2007).

El dióxido de cloro es un desinfectante más potente que el cloro y la cloramina ya que puede atravesar la membrana celular de la bacteria y destruirla.

El dióxido de cloro presenta las siguientes ventajas:

- Su capacidad germicida se produce en un amplio rango de pH (3 a 9) y esta capacidad aumenta con la acidez, siendo más potente que el cloro en un tiempo de contacto más corto.

- Excelente acción germicida contra los virus al ser absorbido y penetrar en la capa proteica de la cápside viral, reaccionando con su ARN.
- No reacciona con el nitrógeno amoniacal para formar aminas cloradas.
- No reacciona con material oxidable para formar compuestos organoclorados, destruyendo hasta un 30% de los precursores de THM.
- Desinfecta y oxida eficazmente actuando a buen nivel sobre la Giardia y Cryptosporidium.
- Funciona con dosis bajas en la etapa posterior a la desinfección sin necesidad de estaciones reforzadoras.
- No reacciona con el bromuro para formar bromatos o subproductos del bromo.

Entre las desventajas se encuentran:

- Se descompone en subproductos inorgánicos (clorito y, en menor grado, en clorato).
- Requiere equipo de generación y manejo de productos químicos en el lugar de su empleo (Garralón Lafuente, 2007).

Tabla 2.

Dosis de cloro aplicadas en plantas potabilizadoras

Compuesto de cloro	Dosis (ppm)
Cloro gas	1-16
Hipoclorito de sodio	0.2-2
Hipoclorito de calcio	0.5-5

Nota. Fuente: (EPA.1999)

2.2.7.1.1. Hipoclorito de sodio (NaClO)

Grupo químico

Halógeno derivado clorado.

Las lejías son soluciones acuosas de hipoclorito sódico.

Fórmula química

NaClO

Propiedades físico-químicas

Sal sódica del ión hipoclorito. Es un sólido blanco, cristalino o granular. En solución acuosa (lejía) es un líquido amarillo verdoso de olor picante y punto de congelación de 6°C.

El ión hipoclorito en solución acuosa se expresa como cloro activo (cloro libre). La determinación del contenido de cloro activo de una lejía se explica detalladamente más adelante.

Reacciona con formaldehído produciendo bis-clorometiléter, un compuesto carcinógeno.

En contacto con ácidos fuertes como el HCl se forma Cl₂, compuesto altamente irritante del tracto respiratorio y las mucosas.

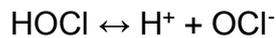
En su envase original y sin diluir tiene un pH superior a 11-12. En estas condiciones su degradación es muy lenta.

Es corrosivo para los metales, algunos plásticos y el caucho (Argerich, y otros, 2006)

Mecanismo de acción

Se desconoce el mecanismo de acción exacto del hipoclorito sódico. Sin embargo se ha demostrado que el ácido hipocloroso (HClO) es el responsable de la destrucción de los microorganismos. Concretamente es la forma no

disociada la que presenta mayor capacidad microbiocida. Debido a que la disociación del ácido hipocloroso depende del pH (en pH ácido aumenta la forma no disociada) la eficacia del producto es mayor a pH ácido que a pH básico (pese a ser más estable a pH básico).



Se postula que el mecanismo de acción se basa en la inhibición de reacciones enzimáticas claves por la acción oxidativa del cloro sobre los grupos SH de las enzimas. También parece contribuir a la inactivación la unión del cloro a algunos componentes de la pared bacteriana.

Presenta un inicio de acción rápido pero no muy prolongado (Argerich, y otros, 2006).

Espectro de actividad

Bactericida de elevada potencia y amplio espectro antimicrobiano.

Tabla 3.

Espectro bactericida del Hipoclorito sódico

GRAM POSITIVO S	GRAM NEGATIVO S	MICOBACTERIA S	VIRUS LIPIDICO S	VIRUS NO LIPIDICO S	HONGO S	ESPORA S
+++	+++	+++	+++	+++	++	++

Nota. Fuente: (Argerich, y otros, 2006, pág. 217)

En general las formas vegetativas de las bacterias y los virus son más susceptibles que las esporas, los hongos y los protozoos. Sin embargo, la mayor resistencia de los microorganismos se puede compensar acidificando la solución desinfectante, incrementando la temperatura o la concentración de hipoclorito sódico. (Argerich, y otros, 2006)

Indicaciones y concentraciones de uso

El hipoclorito se utiliza en los hospitales como desinfectante de alto nivel en algunos materiales, como desinfectante de bajo nivel en superficies ambientales no críticas y a bajas concentraciones en el tratamiento de agua potable.

Indicaciones y concentraciones de uso

Su uso como antiséptico en heridas prácticamente ha desaparecido a causa de la irritación que produce y por la utilización de antisépticos menos tóxicos, como la clorhexidina o los compuestos yodados (Argerich, y otros, 2006).

Aplicaciones como desinfectante

- Desinfección del agua potable: incluye el agua de bebida, la utilizada para la preparación de alimentos y hielo, para ducharse y lavar la ropa, en los sistemas de calefacción y aire acondicionado, en procesos de hidroterapia y en sistemas de aguas residuales.
- La mayoría de los sistemas de distribución de agua contienen una concentración de cloro libre o activo de 0.5 -1 ppm (1 mg/L) (Argerich, y otros, 2006).

Eliminación de *Legionella spp*: la concentración de cloro de los sistemas de distribución de agua no es suficiente para eliminar este patógeno. Se puede utilizar la hipercloración, que consiste en añadir hipoclorito sódico al agua potable (ya contiene cloro) para conseguir concentraciones de cloro libre (o activo) de 2-6 ppm. Este proceso supone algunas desventajas, como la dificultad de obtener niveles estables de desinfectante desde el principio, la necesidad de personal cualificado para el mantenimiento del sistema y la formación de trihalometanos (como el cloroformo). Los trihalometanos (THM)

se forman por reacción entre el cloro y la materia orgánica del agua. Estudios en animales para investigar la toxicidad de los halometanos han demostrado daño en riñón, hígado, sistema nervioso central, cambios histológicos e incluso cáncer; en bacterias se ha concluido que los THM son mutagénicos. El riesgo para la salud humana resultante de la cloración del agua es difícil de determinar porque los estudios epidemiológicos hasta ahora realizados para investigar la asociación entre la cloración del agua y los casos de cáncer en humanos no son suficientes. Actualmente el contenido de THM que puede tener el agua del grifo no está regulado en España. Para evitar que este contenido alcance niveles peligrosos para la salud humana la Comisión Europea estableció en 1998 un límite de 100 microgramos de THM por cada litro de agua de consumo humano. La EPA (Environmental Protection Agency) estableció legalmente los criterios necesarios para una buena calidad del agua potable; según ella la cantidad de cloro residual en el agua potable no debe ser inferior a 0.1 mg/L ni superior a 0.3 mg/L (Argerich, y otros, 2006)

Otros desinfectantes como el ozono o dióxido de cloro pueden evitar la formación de algunos subproductos de la cloración pero no mantienen el efecto residual posterior del cloro (Argerich, y otros, 2006).

Interacciones e interferencias

Las interacciones existentes las clasificamos según causen un aumento o disminución de la actividad desinfectante.

Tabla 4.

Interacciones e interferencias

↓ actividad	Mezclada con soluciones que contienen amoniaco o compuestos aminados y materia orgánica.
↑ actividad	Pequeñas cantidades de yodo o bromo.

Nota. Fuente: (Argerich, y otros, 2006)

Presenta incompatibilidades con detergentes catiónicos, sales de amonio y compuestos orgánicos, ya que favorecen su descomposición.

El amoniaco reacciona con hipoclorito sódico y produce cloramina; la cloramina puede causar irritación, quemaduras e incluso neumonitis.

Tiene acción corrosiva sobre muchos metales (Argerich, y otros, 2006)

Estabilidad y condiciones de uso

Los factores que influyen en la estabilidad del hipoclorito sódico (y como consecuencia en la eficacia antimicrobiana) son la concentración de cloro, la presencia de iones de metales pesados, el pH, la temperatura, la presencia de biofilms, de materia orgánica y de radiaciones UV. (Argerich, y otros, 2006)

Las soluciones de hipoclorito sódico son más estables a un pH de 10 o superior, aunque actúan mejor a pH ácidos.

Estudios de estabilidad han demostrado que las soluciones con concentraciones entre un 0.04% y un 0.12% de cloro disponible, almacenadas en un recipiente de color topacio protegido de la luz a temperatura ambiente y cerrado herméticamente, tienen una fecha de caducidad de 23 meses. No deben exponerse a fuentes de calor ni a luz solar directa (Argerich, y otros, 2006).

Las diluciones que se utilizan diariamente pierden actividad muy rápidamente y deben prepararse como mínimo a diario. Se ha demostrado que

la concentración inicial de una dilución 1:100 (500 ppm, 0.05%) de cloruro sódico almacenada en botellas utilizadas diariamente disminuye un 40-42% en 30 días (Argerich, y otros, 2006).

Sin embargo, no se observa deterioro de las diluciones 1:50 (1000 ppm, 0.1%) y 1:5 (10.000 ppm, 1%) que se guardan en recipientes cerrados y opacos y no se utilizan diariamente.

Tabla 5.

Estabilidad y condiciones de uso

↑Estabilidad	Ausencia de cobre, níquel, cobalto, hierro (y las sales respectivas), ↑ alcalinidad, ↑ pH, baja temperatura, ausencia de materia orgánica, ausencia de aminas, ausencia de metanol y sales de amonio, almacenamiento en recipientes protegidos de la luz y cerrados.
---------------------	--

Nota. Fuente: (Argerich, y otros, 2006)

Para facilitar la correcta preparación de las diluciones de hipoclorito sódico es útil conocer las distintas formas en que se puede expresar la concentración de éstas: g/L, ppm de Cl₂ libre y porcentajes.

$$1\text{g/L} = 0.1\% = 1000 \text{ ppm}$$

A continuación se muestra una tabla de cómo efectuar distintas diluciones con una lejía comercial de 40g/L

Tabla 6.

Diluciones con lejía comercial de 40g/l

0.01% 100 ppm	0.05 % 500 ppm	0.1% 1000 ppm	0.5% 5000 ppm	1% 10000 ppm
20 mL en 8 litros de agua	100 mL en 8 litros de agua	100 mL en 4 litros de agua	125 mL en 1 litro de agua	250 mL en 1 litro de agua

Nota. Fuente: (Argerich, y otros, 2006)

Efectos adversos

Tras contacto dérmico o de mucosas y dependiendo de la duración de la exposición y de la concentración, las lesiones varían. Puede producir irritación conjuntival, de la piel y del tracto respiratorio y gastrointestinal por contacto con la piel o mucosas, por ingestión o por inhalación de gas cloro.

La inhalación de los gases desprendidos cuando el hipoclorito sódico se mezcla con un ácido fuerte puede causar tos, ahogo, irritación severa y edema pulmonar (Argerich, y otros, 2006).

Precauciones de uso

No debe mezclarse hipoclorito sódico con productos ácidos porque se produce gas cloro (Cl_2), irritante del tracto respiratorio y de las membranas mucosas. En exposiciones importantes a dicho gas puede aparecer neumonitis y edema pulmonar.

Tampoco debe mezclarse con formaldehído por el riesgo de producir bis-clorometiléter (compuesto cancerígeno).

En caso de exposición ocular deben irrigarse los ojos con abundante agua o solución salina fisiológica (0.9% de NaCl) durante un mínimo de 15 minutos. Si persiste la irritación, el dolor, la hinchazón, el lagrimeo o la fotofobia debe acudir al médico.

Si la solución desinfectante ha contactado con la piel es necesario lavar el área expuesta con abundante agua y jabón. Si persiste la irritación o el dolor es preciso acudir a un médico. Se debe retirar inmediatamente la ropa contaminada y lavarla antes de volver a usarla.

Tras inhalación de vapores, si existe dificultad para respirar o tos, es necesario respirar aire fresco. Debe consultarse un médico si persiste la dificultad respiratoria.

Después de una ingesta accidental es importante beber inmediatamente abundante agua o leche. Está contraindicada la ingestión de sustancias ácidas o básicas.

Productos comerciales

Las soluciones de hipoclorito sódico comercializadas son las lejías. Estos productos contienen una concentración de cloro activo no inferior a 35g/L y no superior a 100g/L.

Lejías: contienen de 35 g/L a 60 g/L de cloro activo y una alcalinidad total máxima (expresada en óxido de sodio) del 0.9% en peso. Sólo estas pueden utilizarse para la desinfección de agua de bebida.

Lejías concentradas: contienen de 60 g/L a 100 g/L y una alcalinidad total máxima de 1.8% en peso.

Las concentraciones de hipoclorito sódico utilizadas como desinfectantes son muy inferiores (0.1%-1%) y, por tanto, se tendrán que hacer diluciones de las presentaciones comercializadas.

Existen actualmente preparados comerciales que asocian la lejía con un detergente compatible (aniónico ó no iónico).

Con registro de parafarmacia existe una lejía, una lejía asociada a detergente y una solución desinfectante de biberones y tetinas (Argerich, y otros, 2006).

2.2.7.1.2. HIPOCLORITO DE CALCIO (Ca (ClO)₂)

El hipoclorito de calcio es el precipitado que se forma al disolver cloro gaseoso en una solución de óxido de calcio (CaO) e hidróxido de sodio (NaOH). Se presenta en estado sólido, ya sea en forma granular de color blanquecino con 30 a 70 por ciento de cloro activo, o bien, como tabletas (con 70 por ciento).

La reacción que tiene lugar cuando el hipoclorito de calcio (Ca(OCl)₂) entra en contacto con el agua es la siguiente:



La Ecuación muestra que la aplicación del hipoclorito de calcio al agua produce también ácido hipocloroso lo que disminuye el pH.

El hipoclorito de calcio nunca debe ser almacenado en lugares con alta temperatura o en contacto con materiales orgánicos de fácil oxidación. Las dosis aplicadas de cloro gaseoso varían de 1 a 16 mg/L, pues en ocasiones se emplea tanto como oxidante y desinfectante. Para el caso del hipoclorito de calcio se usan de 0.5 a 5 mg/L. Los usos de estos últimos, se encuentran limitados debido a su mayor costo (Comision Nacional del Agua, 2007).

Presentaciones del hipoclorito de sodio

Conocido también como cloruro de cal, es producido al adicionar monóxido de cloro al agua y neutralizar con lechada de cal para crear una solución de hipoclorito de calcio. Posteriormente, se elimina el agua de la solución para dejar el hipoclorito de calcio en forma granular. El contenido de cloro activo varía del 30 al 70 por ciento. Se suministra en dos presentaciones. La primera y más común tiene una apariencia granular. Es de color blanquecino y se envasa en cuñetes de 45 kg (100 lb), en cubetas de polietileno con 4 kg o en tarros de

plástico con 1 kg cada uno. La segunda presentación viene en forma de tabletas y se envasa en tarros con 1.2 kg, en cubetas de 3.60 kg o cuñetes de 45 kg. El peso de las tabletas es de 0.007 a 0.30 kg y tienen un contenido de cloro activo del 70 por ciento (Comision Nacional del Agua, 2007).

Usos y aplicaciones

El hipoclorito de sodio se usa mucho como oxidante en el proceso de potabilización del agua, a dosis ligeramente superiores al punto crítico; punto en que empieza a aparecer cloro residual libre.

Se utiliza también como desinfectante en piscinas, ya sea por aplicación directa en forma de líquido (125 mL diarios por cada 10 m³ de agua), pastillas concentradas o en polvo, o a través de un aparato de electrólisis salina por el que se hace circular el agua de la piscina.

También se usa en el proceso de identificación de especies de los distintos filos de animales que poseen espículas o escleritos, como poríferos o equinodermos. El hipoclorito de sodio disuelve la materia orgánica dejando al descubierto estas estructuras (únicas en cada especie), que son de carbonato de calcio (calcáreas) o dióxido de silicio (silíceas) y, por tanto, no se disuelven.

Este producto químico se puede también utilizar como blanqueador para las fibras textiles, así como para desinfectar los lavabos gracias a su poder fungicida y bactericida.

En parasitología puede ser utilizado para la esporulación invitro de quistes de protozoos del phylum apicomplexa en el método denominado de Cawthorn.

2.2.7.2. CAL VIVA (CaO)

Descripción

La cal viva es el resultado de la cocción de una roca caliza, desintegrándose el CaCO_3 de la roca para dar CaO (cal viva).

Se trata del primer paso del ciclo de la cal, que se describe mediante la siguiente fórmula:



La cal viva es un material que se comercializa normalmente en forma de terrones. Se trata de una cal altamente reactiva, que presenta una gran avidez por el agua. De hecho, tiende a absorber el vapor de agua presente en el ambiente si no es almacenada cuidadosamente (CaO - cal viva, s.f.)

Características

Polvo blanco, cuyo componente principal es el óxido de calcio, producido a partir de la calcinación de las calizas. Es un producto muy higroscópico.

Tipos de cal viva

- Cal viva granulada

Se llama granulada porque la granulometría de este producto queda en las mallas de 1 pulgada y 3/8 de pulgada. Este tipo de cal se despacha en Big Bags (1 TM), en bombonas y en tolvas.

- Cal viva molida

Se llama molida porque el 60% de su contenido pasa a través de la malla 100, equivalente a 15 μm o 0.15 mm, por lo que se podría decir que es cal en polvo. Este tipo de cal se despacha en Big Bags (1 TM) y en bombonas (Zarepta , s.f.)

Usos

La cal viva se caracteriza por su versatilidad ya que puede emplearse en casi todos los procesos industriales, ya sea como neutralizante, fundente, lubricante, secante, cementante, absorbente, precipitante, desinfectante, impermeabilizante y como materia prima. En el Perú, la mayoría de la cal es consumida por las industrias mineras, siderúrgicas y de la construcción.s

A continuación se menciona todos los usos de la cal (Zarepta , s.f.).

- Para corregir el pH de suelos ácidos.
- Tratamiento de aguas residuales.
- En preparación de morteros de albañilería.
- Para pegar ladrillos, bloques, piedras.
- Aplanados de techos, paredes y pisos.
- Para impermeabilizar
- Para pintar.
- Para ablandar el agua

La cal viva para el tratamiento del agua

- Ajuste de pH

Las empresas de agua utilizan cal hidratada para preparar el agua para los procesos de tratamiento mediante el ajuste de pH del agua. Para minimizar la corrosión de tuberías y equipos, los servicios públicos añaden cal para neutralizar el agua ácida.

- Coagulación y floculación

Las instalaciones de tratamiento de aguas añaden cal para optimizar las condiciones de coagulación y floculación; procesos que hacen que las partículas en suspensión se agrupen y se instalen fuera de la suspensión.

- **Desinfección**

El aumento de la alcalinidad del agua a un pH de 10.5 a 11 mediante la adición de cal inhibe el crecimiento de bacterias y algunos virus.

- **Purificación**

La cal elimina las impurezas, tales como el fluoruro, el hierro, el manganeso y los taninos orgánicos del agua. El magnesio en la cal dolomítica es especialmente eficaz en la eliminación del sílice a partir de agua. Un efecto secundario del proceso de ablandamiento con cal mejorada es la eliminación de arsénico, mientras que la desinfección con cal también sirve para eliminar los metales más pesados.

Precauciones de uso

Al agregar cal al agua se produce calor. Producto muy alcalino. Mantener envase cerrado. De haber contacto con la piel, lavar de inmediato con agua. Manténgase fuera del alcance de los niños.

Cuidado, siempre se ha de añadir la cal viva al agua, nunca al contrario

Para apagar una gran cantidad de cal viva, es recomendable utilizar un bidón metálico limpio y sin óxidos en el interior. Una vez mezclada la cal con el agua se deja un tiempo hasta que la reacción exotérmica se produzca y la mezcla esté templada. Es importante remover bien en este momento para deshacer todos los terrones de cal viva, asegurándonos de que no quedan restos de cal depositados en el fondo.

2.2.8. Planta de tratamiento de aguas residuales “La Totora”– Ayacucho.

La Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) “La Totora” se ubica en la ciudad de Ayacucho capital de la provincia de Huamanga, a 3,50 Km del óvalo de la Magdalena, carretera Ayacucho – Huanta (Barboza, 2011).

Las aguas servidas de la Ciudad de Ayacucho son conducidas mediante redes colectoras e ingresan por un emisor principal a la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Totora por gravedad y en el sector de Santa Elena ingresa por bombeo. La Empresa Prestadora de Saneamiento de Ayacucho S.A. (EPSASA) está a cargo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR “La Totora”. La misma que cuenta con los siguientes sistemas:

Sistema de Rejas

Conformado por rejas gruesas manuales y dos rejillas automáticas, que permiten remover el material grueso (piedras, plásticos, ramas, animales muertos, trapos, etc.)

Desarenadores

Conformado por dos unidades alargadas, que remueven el material sólido (arena) los mismos que se descargan al lecho de arena.

Medidor de Caudal

Un medidor tipo Khafagi de registro continuo y automático que mide el caudal de ingreso de aguas servidas a la Planta.

Tanques Imhoff

Constituido por seis (06) unidades que permiten separar el material sedimentable del agua servida, donde se producen la estabilización de la materia orgánica, los lodos estabilizados son descargados a los lechos de secado. Los efluentes se distribuyen: 17% a las lagunas facultativas y 83% a los filtros percoladores.

Filtros Percoladores

Son cuatro (04) estructuras circulares, rellenas de piedras tipo pómez de origen volcánico, que permiten reducir la carga orgánica (DBO) por acción de las bacterias aeróbicas.

Lagunas Facultativas

Dos unidades alargadas que remueven parte de la carga orgánica y coliformes fecales.

Lagunas de Maduración

Dos unidades alargadas que mejora la calidad del agua proveniente de los filtros percoladores y remueve los coliformes fecales.

Lagunas de Maduración Final

Complementa la depuración de las aguas servidas, las mismas que se verterán al río Alameda.

Lechos de Secado

Doce (12) unidades con material filtrante, para la deshidratación de lodos provenientes de los tanques Imhoff. (Barboza Palomino, 2011)

2.2.9. Métodos de Análisis

2.2.9.1. Determinación del número más probable de coliforme total por la técnica de los tubos múltiples.

Las aguas residuales, especialmente las de origen doméstico, albergan bacterias, virus y otros organismos microscópicos, convirtiéndose en un vehículo de transmisión de enfermedades.

El aislamiento de patógenos de "muestras de aguas residuales, aunque posible, no es accesible a todos los laboratorios por su alto costo y necesidad de personal especializado.

Se hace necesario el examen rutinario de estas aguas y determinar su grado de seguridad desde el punto de vista microbiológico.

Para evaluar las condiciones sanitarias del agua se utilizan bacterias del grupo Coliforme, que actúan como indicadores de contaminación fecal, y se encuentran en gran número en la microbiota intestinal del hombre y de animales de sangre caliente.

2.2.9.2. Método del número más probable

La determinación del NMP de bacterias coliformes en una muestra se hace a partir de la técnica de los tubos múltiples, en la cual volúmenes decrecientes de la muestra (diluciones decimales consecutivas) son inoculadas en un medio de cultivo adecuado.

La combinación de los resultados positivos y negativos es usada en la determinación del NMP.

En el presente trabajo el recuento de coliformes termotolerantes se realizara por la técnica de tubos múltiples usando medio A1.

El método usado será Prueba directa de coliformes fecales (medio A-1).
APHA.AWWA.WPCF.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Desinfección

En este proceso se eliminan los agentes patógenos reconocidos, pero no necesariamente todas las formas de vida microbianas.

Es un término relativo, donde existen diversos niveles de desinfección, desde una esterilización química, a una mínima reducción del número de microorganismos contaminantes. Estos procedimientos se aplican únicamente a objetos inanimados (Vignoli, 2002).

Esterilización

Proceso que mata o elimina todas las clases de microorganismos y esporas (Organización Mundial de la Salud, 2005)

Desinfectante

Definido originalmente en términos médicos, como toda sustancia química que destruye los microorganismos causantes de enfermedades, ahora se define como las sustancias que destruyen una gran variedad de microorganismos, pero no necesariamente las esporas bacterianas (Forsythe & Hayes, 2002)

Microbicida

Sustancia o proceso que destruye gérmenes (bacterias, virus u otros microbios que pueden causar e infecciones o enfermedades) (Real Academia Española).

Microbiota

La microbiota es el término que se utiliza para designar los microorganismos que viven en un entorno específico, llamado a sí mismo microbioma. Estos microorganismos pueden ser hongos, levaduras, bacterias o virus. Por ejemplo, se habla de microbiota intestinal para describir todos los organismos que se desarrollan en los intestinos. Existen muchos tipos de microbiotas entre los que se incluyen la microbiota vaginal o la microbiota de la piel. El metagenoma corresponde al genoma de la microbiota (Microbiota-Definición, 2015).

Coliformes

La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación y los alimentos.

Coliforme significa con forma de coli, refiriéndose a la bacteria, la *Escherichia coli*, descubierta por el bacteriólogo alemán Theodor Von Escherich en 1860 (Castro M, 2009)

Coliformes Totales

El «total de bacterias coliformes» (o «coliformes totales») incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulantes capaces de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 h a 35–37 °C. *Escherichia coli* y los coliformes termotolerantes son un subgrupo del grupo de los coliformes totales que pueden fermentar la lactosa a temperaturas más altas. (Los coliformes totales producen, para

fermentar la lactosa, la enzima β -galactosidasa. Tradicionalmente, se consideraba que las bacterias coliformes pertenecían a los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, pero el grupo es más heterogéneo e incluye otros géneros como *Serratia* y *Hafnia*. El grupo de los coliformes totales incluye especies fecales y ambientales (Ashbolt, Grabow, & Snozzi, 2001).

Coliformes termotolerantes

Los coliformes termotolerantes (CTE), denominados así porque soportan temperaturas hasta de 45 °C, comprenden un número muy reducido de microorganismos, los cuales son indicadores de calidad por su origen. En su mayoría están representados por *E. coli*, pero se pueden encontrar de forma menos frecuente las especies *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*. Estas últimas forman parte de los coliformes termotolerantes, pero su origen normalmente es ambiental (fuentes de agua, vegetación y suelos) y solo ocasionalmente forman parte de la microbiota normal (Rodríguez, y otros, 2012).

Efluentes

Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias.

Los productos tóxicos presentes en los efluentes son muy variados, tanto en tipo como en cantidad, y su composición depende de la clase de efluente que los genera. Los desechos que contienen los efluentes pueden ser de naturaleza química y/o biológica (Mónica, s.f.).

Afluente

Arroyo o río secundario que desemboca o desagua en otro principal (Real Academia Española).

Aguas residuales

Aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010)

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

Infraestructura y procesos que permiten la depuración de los parámetros contaminantes contenidos en las aguas residuales domésticas o municipales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010)

Límite Máximo Permisible (LMP)

Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2010).

Prueba directa de coliformes fecales (medio A-1). APHA.AWWA.WPCF

La necesidad de métodos más rápidos para la cuantificación de las bacterias indicadoras de contaminación fecal ha intensificado la realización de pruebas para el perfeccionamiento de la metodología existente, entre las que se incluyen los estudios efectuados con el medio A1 (APHA.AWWA.WPCF, 1992).

En 1972, Andrews y Presnell desarrollaron un procedimiento simplificado, utilizando la técnica de tubos múltiples, para la determinación de densidades de coliformes termotolerantes en aguas de estuarios, siendo los resultados obtenidos en 24 horas (no en 72 horas como sucede con la técnica tradicional), el procedimiento incluye el uso de un medio de nueva formulación, denominado medio A-1, el cual difiere del Caldo Lauril Triptosa por la sustitución de triptosa por triptona, por la eliminación del sistema buffer fosfato y adición de salicilina y tritón x 100. En un estudio efectuado por esos investigadores, 68 muestras de aguas de estuarios fueron analizadas, empleándose el procedimiento convencional con el caldo lauryl triptosa (35°C/24-48h) para la prueba presuntiva y el medio EC(44.5±0.2°C/24h) para la diferenciación de coliformes termotolerantes; paralelamente, se empleó el procedimiento simplificado, con inoculación directa de la muestra al medio A1, e incubado a 44.5±0.2°C durante 24 horas. Los resultados obtenidos a través de los dos métodos fueron similares (APHA.AWWA.WPCF, 1992).

Posteriormente, fueron publicados los resultados de dos estudios (Hunt & Springer, 1978 y Miscier et al, 1978), evidenciando que el medio A1 proporciona resultados satisfactorios para coliformes termotolerantes, para aguas marinas, cuando es usado con un periodo de pre-incubación de 3 horas a 35°C (APHA.AWWA.WPCF, 1992).

Este procedimiento simplificado viene siendo incluido en las últimas ediciones del “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” como una técnica alternativa al procedimiento convencional para la cuantificación de coliformes termotolerantes en aguas marinas y aguas residuales (APHA.AWWA.WPCF, 1992).

Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

Tabla 7.

LMP para los efluentes de PTAR domesticas o residuales.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/l	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	10000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	100
Demanda química de oxígeno	mg/l	200
pH	unidad	6,5-8,5
Solidos totales en suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota. Fuente: (MINAM, 2010).

CAPITULO III: DISEÑO DEL PROYECTO DE INGENIERIA

3.1. ANÁLISIS DEL PROYECTO DE INGENIERIA

3.1.1. Análisis del modelo

- a. Coordinación con la gerencia de la PTAR “La Totorá” para pedir autorización para hacer el muestreo, explicando a la gerencia en que consiste el trabajo y la dimensión del proyecto y los beneficios que brindara el estudio realizado.
- b. Para determinar el tamaño de muestra se siguió la sugerencia del especialista microbiólogo en base a la cantidad de agua residual necesitada para los análisis en el laboratorio.

c. Muestreo:

La muestra fue tomada de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá” el procedimiento de muestreo se realizó con las debidas medidas de prevención, para lo cual fue necesario el uso de guardapolvo correspondiente, guantes quirúrgicos desechables, para realizar la toma de muestra fue necesario la ayuda de un muestreador con el cual se tomaron

las muestras en el punto determinado , se depositó las muestras en un balde de plástico, el volumen final de la muestra aproximadamente fue de 6 litros por muestreo.

El muestreo se realizó en las mañanas (7am) el tiempo desde la toma de muestra hasta la realización de los procedimientos de análisis en el laboratorio fue de 2 horas.

Para la realización del presente estudios se realizaron 3 muestreos los días 11 de marzo, 13 de marzo y 15 de marzo del 2017.

En cada día de muestreo se necesitó 6 litros de muestra del efluente de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totora”

- d. Se determinaron 3 productos químicos utilizados en la desinfección de agua residuales (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, cal).A continuación se menciona la marca de los productos utilizados para el estudio
- La lejía usada fue de marca sapolio que contiene hipoclorito de sodio
 - La cal viva utilizada se obtuvo de la cal domestica nieve de marca química Tirsa que se encuentra en presentación de 1kg.
 - El hipoclorito de sodio utilizado fue de la marca pino se encuentra en presentación de 1kg.
- e. Se determinaron las concentraciones para la dosificación de cada producto químico en la muestra.

X_1 = concentraciones de hipoclorito de sodio (0.5ppm, 1ppm, 1.5ppm, 2ppm).

X_2 = concentraciones de hipoclorito de calcio (0.5ppm, 1ppm, 1.5ppm, 2ppm).

X_3 = concentraciones de cal viva (1g, 2g, 3g, 4g) para 500ml de muestra del efluente de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totora”.

- f. En cuanto al estudio bacteriológico del recuento de coliformes termotolerantes que se realizó por la técnica del número más probable (NMP), el método que se usó fue Prueba directa de coliformes fecales (medio A-1). APHA.AWWA.WPCF.

Para la realización del método NMP se utilizó 500ml de muestra del efluente de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá” muestra a la cual se inocularon los desinfectantes a las concentraciones determinadas. En total se necesitaron 12 muestras de 500ml para la realización de los análisis lo cual significa 6 litros de muestra del efluente de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá” para cada repetición.

Esta parte experimental fue realizada en el laboratorio de Microbiología Ambiental, de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela de Formación Profesional de Biología.

- g. Procedimiento del método NMP (Chuchón S. A., 2013).
- Se preparó los tubos con el medio de cultivo A1 requeridos para el ensayo, 5 tubos para cada serie de diluciones.
 - En los primeros 5 tubos (con medio A1 a doble concentración) se colocó con una pipeta estéril 10ml de medio A1 sin diluir
 - En 500 ml de muestras del efluente de la tercera laguna de maduración, y se aplicó desinfectantes (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, cal viva) a diferentes concentraciones resultando 12 muestras de 500ml a diferentes concentraciones. El tiempo de contacto entre la muestra y el desinfectante fue de media hora.
 - Se realizó las diluciones calculadas de la muestra.

En el blanco se determinaron diluciones de (10^0 , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}).

Para la evaluar la muestra con desinfectante en los tubos se determinaron diluciones de (10^0 , 10^{-1} , 10^{-2}).

- Se homogenizó el frasco conteniendo la primera dilución (10^{-1}), con una nueva pipeta esterilizada, se sembró inóculos de 1 ml a 5 tubos conteniendo 10 ml del medio A1 a concentración normal; se siguió de la misma forma, cada vez con una nueva pipeta, hasta la dilución deseada o preparada.
 - Luego de la inoculación de todos los volúmenes de la muestra y/o las diluciones requeridas para el examen, se colocó los tubos en la incubadora a $35 \pm 0.2^\circ\text{C}$, durante 3 horas.
 - Luego del periodo de pre-incubación, se retiró los tubos de la incubadora y transferirlo a baño maría con agitador de baja velocidad, regulado a $44.5^\circ\text{C} \pm 0.2^\circ\text{C}$, para incubación durante 21 ± 2 horas.
 - Se procedió con la lectura, considerando, como resultado positivo para coliformes termotolerantes, todos los tubos que presenten formación de gas en las campañas de Durham.
- h. Se realizó la recolección de datos obtenidos, y se calculó el NMP/100ml de coliformes termotolerantes y se usó una herramienta (Excel) para dar los resultados.

3.2. CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO DE INGENIERIA

Tabla 8.

NMP de coliformes fecales/100ml en muestras de agua procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR" La Totorá", sometidas a desinfección con hipoclorito de sodio. Ayacucho-2017.

[NaClO] (ppm)	Repetición			\bar{x}	\bar{x}	% de remoción de BCF
	1	2	3			
0	7000000	11000000	1400000	6466666.7	65×10^5	0
0.5	5000	5000	3300	4433.3	44×10^2	99.9314
1	3500	3500	700	2566.7	25×10^2	99.9603
1.5	3300	3400	700	2466.7	24×10^2	99.9619
2	340	340	900	526.7	526.7	99.9919

Tabla 9.

NMP de coliformes fecales/100ml en muestras de agua procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR "La Titora", sometidas a desinfección con hipoclorito de calcio. Ayacucho-2017.

[Ca(ClO) ₂] (ppm)	Repetición			\bar{x}	\bar{x}	% de remoción
	1	2	3			
0	7000000	11000000	1400000	6466666.7	65×10^5	0
0.5	18000	16000	1400	11800.0	11×10^3	99.8175
1	16000	9000	1400	8800.0	88×10^2	99.8639
1.5	3500	1400	500	1800.0	18×10^2	99.9722
2	330	1700	260	763.3	763.3	99.9882

Tabla 10.

NMP de coliformes fecales/100ml en muestras de agua procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR "La Totorá", sometidas a desinfección con cal viva. Ayacucho-2017.

Cal(g)	Repetición			\bar{x}	\bar{x}	% de remoción
	1	2	3			
0	7000000	11000000	1400000	6466666.7	65×10^5	0
1	16000	5000	1700	7566.7	75×10^2	99.8830
2	70	20	33	41.0	41.0	99.9994
3	40	40	35	38.3	38.3	99.9994
4	20	20	18	19.3	19.3	99.9997

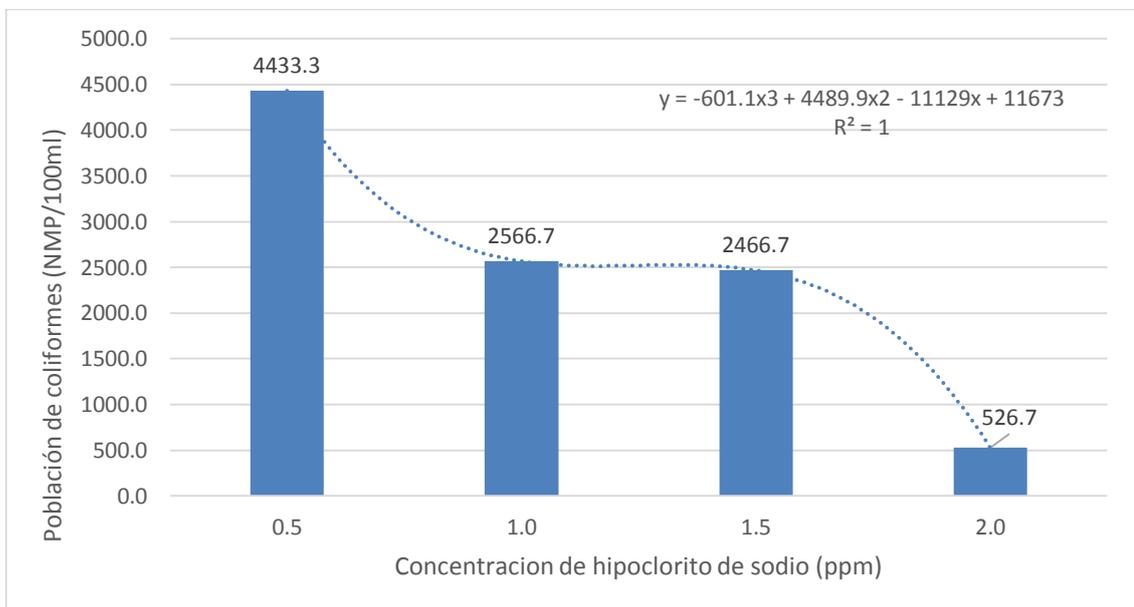


Figura 1. Tendencia de disminución NMP de coliformes fecales/100ml en muestras procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totora, sometidas a desinfección con hipoclorito de sodio. Ayacucho-2017.

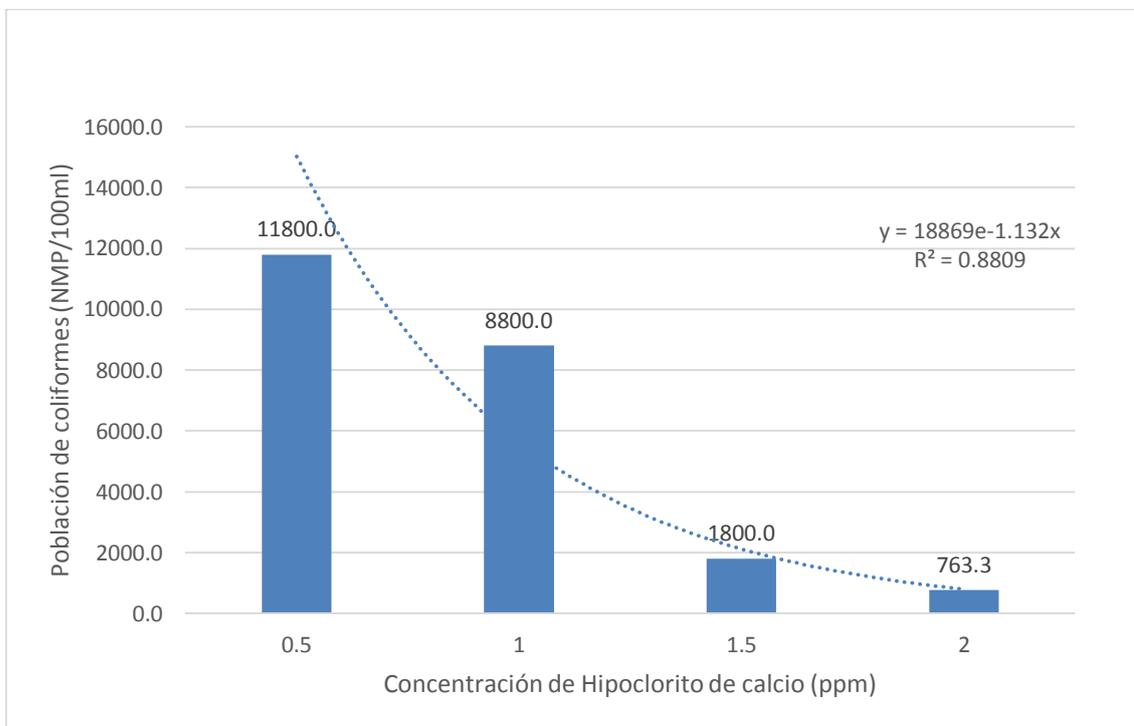


Figura 2. Tendencia de disminución NMP de coliformes fecales/100ml en muestras procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá, sometidas a desinfección con hipoclorito de calcio. Ayacucho-2017

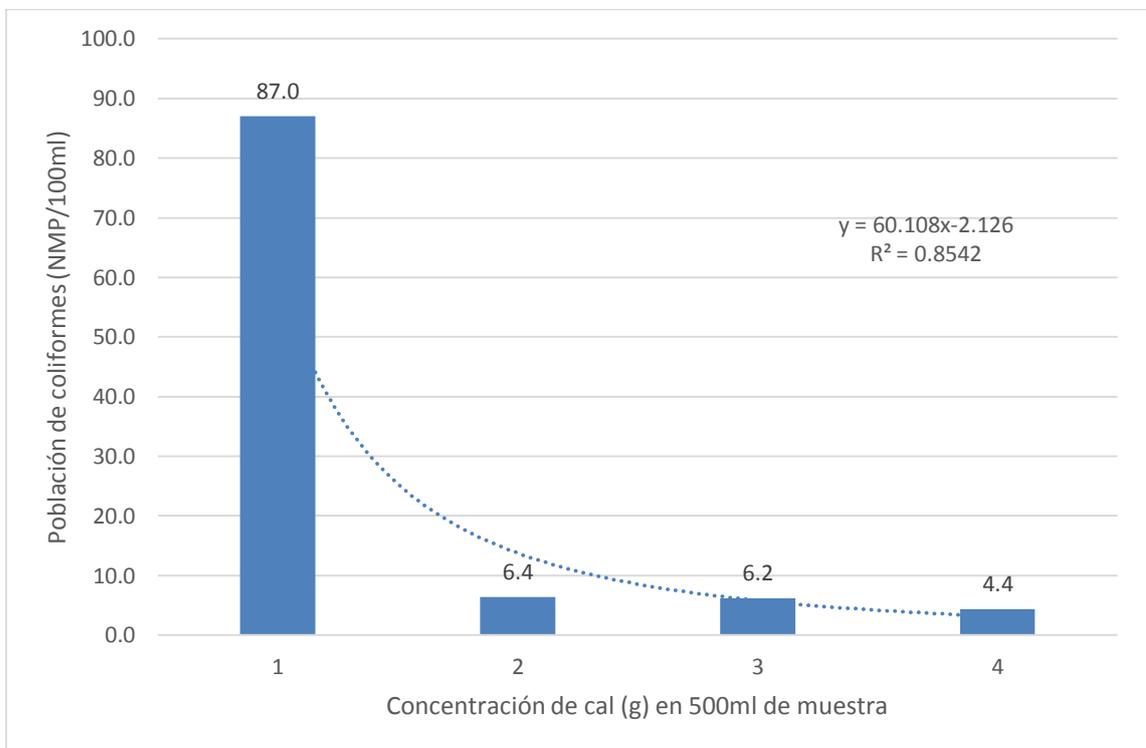


Figura 3. Tendencia de disminución de NMP de coliformes fecales/100ml en muestras procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá, sometidas a desinfección con cal viva. Ayacucho-2017

3.3. REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

El decreto supremo N° 003-2010-MIMAN (LMP para los efluentes de PTAR domesticas o residuales) establece para el parámetro de Coliformes Termotolerantes un límite de 10^4 NMP/100ml.

La muestra del efluente de la tercera laguna de maduración (sin desinfectante) presenta 65×10^5 NMP/100ml por lo tanto este resultado no cumple con el límite establecido por el D.S N° 003-2010-MIMAN.

Se observa que las concentraciones de coliformes fecales en la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá” son muy elevadas y por ello radica la importancia del proceso de desinfección para poder reducir la cantidad de coliformes fecales y así cumplir con la normativa establecida y poder evitar enfermedades en la población e impactos negativos al ambiente.

En la Tabla N°8 se observa la capacidad de remoción de BCF a diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio en muestras procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá”. También se observa que la capacidad microbiciada del hipoclorito de sodio a 0.5ppm reduce de 65×10^5 NMP/100ml a 44×10^2 NMP/100ml (3 unidades logarítmicas de remoción), con una capacidad de remoción de BCF al 99.9314%, este resultado nos indica que el hipoclorito de sodio a una concentración de 0,5 ppm si cumple con lo establecido por el D.S N° 003-2010-MIMAN.

Se determinó Las dosis de hipoclorito de sodio a concentraciones de (0.5ppm, 1ppm, 1.5ppm, 2ppm) tomando como referencia establecido por la EPA que determina un rango de 0.2ppm a 2ppm para la dosificación de hipoclorito de sodio en plantas potabilizadoras mencionada en la tabla N°2.

En la Tabla N°9 se observa la capacidad de remoción de BCF a diferentes concentraciones de hipoclorito de calcio en muestras procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá”. También se observa que la capacidad microbicida del hipoclorito de calcio a 0.5ppm reduce de 65×10^5 NMP/100ml a 11×10^3 NMP/100ml (2 unidades logarítmicas de remoción), con una capacidad de remoción de BCF al 99.8175%, este resultado nos indica que el hipoclorito de calcio a una concentración de 0,5 ppm si cumple con lo establecido por el D.S N° 003-2010-MIMAN.

Se determinó Las dosis de hipoclorito de calcio a concentraciones de (0.5ppm, 1ppm, 1.5ppm, 5ppm) tomando como referencia lo establecido por la EPA que determina un rango de 0.5ppm a 5ppm para la dosificación de hipoclorito de calcio en plantas potabilizadoras mencionada en la tabla N°2.

En la Tabla N°10 se observa la capacidad de remoción de BCF a diferentes concentraciones de cal viva en muestras procedentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totorá”. También se observa que la capacidad microbicida del cal viva a 1g/500ml de muestra reduce de 65×10^5 NMP/100ml a 75×10^2 NMP/100ml (3 unidades logarítmicas de remoción), con una capacidad de remoción de BCF al 99.8830%, este resultado nos indica que la cal viva a una concentración de 1g/500ml de muestra si cumple con lo establecido por el D.S N° 003-2010-MIMAN.

La figura N°1 muestra la tendencia cubica de la respuesta de coliformes fecales frente a la concentración de hipoclorito de sodio. El testigo sin hipoclorito muestra una población alta de coliformes llegando a un promedio de 65×10^5 coliformes fecales, este valor es excesivamente alto.

El figura N°2 muestra la tendencia exponencial de la respuesta de coliformes fecales frente a la concentración de hipoclorito de Calcio. El testigo sin hipoclorito de calcio muestra una población alta de coliformes llegando a un promedio de 65×10^5 coliformes fecales, este valor es excesivamente alto razón por la cual no se ha incluido en la gráfica.

La figura N°3 muestra la tendencia potencial de la respuesta de coliformes fecales frente a la concentración de Cal en gramos. El testigo (sin hipoclorito) muestra una población alta de coliformes llegando a un promedio de 65×10^5 de coliformes fecales, este valor es excesivamente alto razón por la cual no se ha incluido en la gráfica.

En este caso se una raíz cuadrada a la poblaciones existentes en diferentes concentraciones, debido a que presentan diferencias muy abismales sin embargo no afecta a la forma o tendencia potencial de la respuesta del gráfico.

Como se observa en los resultados a pesar de utilizar como concentración máxima de hasta 2ppm en hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio y 4g de cal viva en 500ml de muestra del efluente de la tercera laguna de maduración de la PTAR “la totora” no se logra eliminar por completo las BCF, esto es explicado por la presencia de materia orgánica como se explica en la siguientes referencias:

Respecto a la calidad del agua a ser desinfectada. Si el agua contiene partículas, especialmente de naturaleza coloidal y orgánica, la eficiencia de la desinfección es menor. Es recomendable que la turbiedad del agua sea menor a 5 UNT (OPS, 2007).

La materia en suspensión puede proteger a los microorganismos existentes en el agua e interferir en la desinfección. La materia orgánica puede reaccionar con los desinfectantes químicos y cambiar su estructura (Barrenechea Martel & de Vargas, 2004)

CONCLUSIONES

1. El hipoclorito de sodio tiene efecto microbicida y la concentración óptima es de 0.5 ppm para desinfectar los efluentes provenientes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totora”.
2. El hipoclorito de calcio tiene efecto microbicida y la concentración óptima es de 0.5 ppm para desinfectar los efluentes provenientes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totora”.
3. La cal viva tiene efecto microbicida y la concentración óptima es de 1g para desinfectar una muestra de 500ml de efluentes provenientes de la tercera laguna de maduración de la PTAR “La Totora”.

RECOMENDACIONES

1. En posteriores trabajos de investigación realizar estudios de comparación de capacidad microbiciada de los productos químicos (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio y cal viva) utilizados en la desinfección de efluentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR "La Totorá".
2. Realizar estudios que amplíen los conocimientos de este trabajo, basándose en más factores, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.
3. Permitir que esta información ayude a posteriores trabajos para la mejor exactitud en las pruebas pertinentes.

BIBLIOGRAFIA

Ambiente, F. N. (12 de 2010). Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de aguas residuales en el Peru. Obtenido de Congreso de la Republica:

[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/\\$FILE/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/$FILE/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf)

APHA.AWWA.WPCF. (1992). Métodos Normalizados para el Analisis de Aguas potables y Residuales. 17 edición.1992.

APHA-AWWA-WPCF. (2000). Metodos normalizados para el análisis de agua potable y residual. Madrid,España: Diaz de Santos.

Argerich, Berna, Canals, Carcelero, Codina, Dominguez, . . . Zaragoza. (2006). Higiene y antiseptis del paciente. Limpieza, desinfección y esterilización en el ámbito hospitalario. Barcelona. Obtenido de <http://www.sefh.es/fichadjuntos/libroentero.pdf>

Ashbolt, Grabow, & Snozzi. (2001). Indicators of microbial water quality. Obtenido de Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental: http://www.bvsde.paho.org/cd-gdwq/docs_microbiologicos/Indicadores%20PDF/bacterias%20coliformes.pdf

Barboza Palomino, G. I. (2011). Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento Totorá-Ayacucho empleando la técnica de electrocoagulación. Obtenido de CYBERTESIS UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/338/1/barboza_pg.pdf

Barboza, G. I. (2011). Reducción de la Carga de Contaminantes de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento Totorá-Ayacucho empleando la técnica de electrocoagulación. Obtenido de CYBERTESIS UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/338/1/barboza_pg.pdf

Barrenechea Martel, A., & de Vargas, L. (2004). TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. Obtenido de BIBLIOTECA VIRTUAL MINAM:
<http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

Blatchley, Hunt, Duggirala, Thompson, Zhao, Halaby, . . . Alleman. (1997). Effects of disinfectants on wastewater effluent toxicity.

Brack , A., & Mendiola, C. (2006). La calidad del agua y la contaminación de las aguas superficiales. Obtenido de Ministerio del Ambiente:
http://www.minam.gob.pe/proyecolegios/Curso/cursovirtual/Modulos/modulo2/3Secundaria/Actividades-Aprendizaje/CTA_1/S3/anexo3/CTA_S3_Anexo_2.pdf

Campos, P. C. (2003). Indicadores de Contaminación Fecal en Aguas. Obtenido de Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental (BVSDE): <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/agua.pdf>

CaO- cal viva. (s.f.). Obtenido de Sobrelacal.wordpress: <https://sobrelacal.wordpress.com/que-es-la-cal/tipos-de-cal/la-cal-viva/>

Carrillo EM, & Lozano AM. (2008). Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult. [Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Microbióloga Industrial]. Obtenido de Revista CENIC: <http://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/articulos/bacterias-indicadoras-de-contaminaci%C3%B3n-fecal-en-la-evaluaci%C3%B3n-de-la-calidad-de-las-aguas>

Castro M, C. (2009). Coliformes Totales. Obtenido de DSpace en ESPOL: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6154/2/Coliformes%20otales%20Celia%20CAstro.pdf>

CEPIS. (1978). Guía para la evaluación de laboratorios bacteriológicos de análisis de aguas. Lima, Perú.

Comision Nacional del Agua. (2007). MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARRILLADO Y SANEAMIENTO.

Craun, & Castro. (1996). La calidad del agua potable en America Latina. Ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química.

Chaparro Acosta, J. (2012). Tesis- Elaborar y estandarizar el proceso de produccion de un desinfectante de ultima generacion y un desengrasante de uso industrial amigable con el medio ambiente. Obtenido de Repositorio Institucional - Universidad Industrial de Santander: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/467/2/144322.pdf>

Chiroles SR, Gonzales, Torres, Valdés, & Dominguez. (2007). Bacterias indicadoras de contaminacionn fecal en aguas de rio Almendares (Cuba). Obtenido de Revista CENIC: <http://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/articulos/bacterias-indicadoras-de-contaminaci%C3%B3n-fecal-en-la-evaluaci%C3%B3n-de-la-calidad-de-las-aguas>

Chuchón, S. A. (2013). MANUAL DE PRACTICAS DE MICROBIOLOGIA AMBIENTAL. Ayacucho.

Chuchón, S., & Aybar, C. (12 de 2008). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá”, Ayacucho, Perú. Obtenido de Scielo Peru: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a20v7n1-2.pdf>

Entis P. (2002). Protecting the Environment. Obtenido de Food Microbiology-The Laboratory. Washington: Food Processors Institute: http://www.bvs.sld.cu/revistas/far/vol41_2_07/far06207.html

Environmental Protection Agency. (1978). Microbiological methods for monitoring the environment: water and wastewater. Cincinnati, Estados Unidos.

Forsythe, & Hayes. (2002). Higiene de los alimentos, Microbiología y HACCP. Zaragoza-España: 2da edición. Acribia S.A.

Galal-Gorchev. (1996). Desinfección del agua potable y subproductos de interés para la salud. Washington.

Garralón Lafuente, G. (2007). Reutilización de aguas residuales urbanas. Obtenido de Real Academia Nacional de Farmacia.

Gomez M, Peña P, & Vásquez M. (1999). Determinación y diferenciación Echerichia coli y Coliformes totales usando un sustrato cromógeno. Galicia, España.

Gonzales , F., Gomez, M., Moreno, & Hontoria, E. (2006). El papel de las nuevas tecnologías en la propuesta española de normativa sobre reutilizacion de aguas. Obtenido de IWRA: http://www.iwra.org/congress/resource/MADRID2003_MIGUEL_A_GOMEZ_ES.pdf

Hayes. (1993). Microbiología e Higiene de los alimentos. Zaragoza España.

Hopkins, & Hilton. (2000). Methods available for the sub-typing.

Ingeniería de Tratamiento y acondicionamiento de aguas. (s.f.). Obtenido de Geocities: <http://www.geocities.ws/edrochac/sanitaria/desinfeccion5.pdf>

Jimenez, T. M. (17 de 11 de 2011). Descontaminacion y tratamiento de aguas servidas. Periodismo Perú.

Junta de Castilla y Leon. (2016). Manual de tratamientos de agua de consumo humano.

Loose, D. (09 de 2015). DIAGNOSTICO DE LAS PTAR EN EL AMBITO DE OPERACION DE LAS EPS. Obtenido de SUNASS: <http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

Manafi. (1998). New approaches for the fast detection of indicators, in particular enzyme detection methods (EDM).

Mara. (1976). Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>

Microbiota-Definición. (Julio de 2015). Obtenido de CCM: <file:///C:/Users/HP/Downloads/microbiota-definicion-22554-nkl2qh.pdf>

Millipore. (2005). Análisis Microbiológico. Madrid, España.

MINAM. (17 de marzo de 2010). DECRETO SUPREMO N°003-2010-MINAM. Obtenido de Sinia: [file:///C:/Users/HP/Downloads/1387%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/HP/Downloads/1387%20(1).pdf)

Ministerio de Salud Publica. (1998). Decreto 475. Obtenido de MINSALUD: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%200475%20DE%201998.PDF

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Obtenido de

<http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/anexo-rm-273-2013-vivienda.pdf>

Moeller. (2004). Tratamiento de aguas residuales, criterios para su seleccion.

Mónica, S. (s.f.). Efluentes. Obtenido de

<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Efluentes.htm>:

<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Efluentes.htm>

Ocasio, N., & Manuel, L. D. (2004). El uso del cloro en la desinfeccion del agua.

Obtenido de Hispagua-sistema Español de informacion sobre el agua.:

http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/uso_cloro.pdf

OEFA. (abril de 2014). Organismo de Evaluacion y Fiscalización Ambiental.

Obtenido de fiscalización en aguas residuales:

https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

OPS. (2007). Guia para la selección de sistema de desinfección. Lima-Perú.

Obtenido de [http://www.bvsde.ops-](http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/guiaseleccsistdesinf.pdf)

[oms.org/tecapro/documentos/agua/guiaseleccsistdesinf.pdf](http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/guiaseleccsistdesinf.pdf)

Organización Mundial de la Salud. (2005). Manual de Bioseguridad en el Laboratorio. Ginebra: 3ra edición.

Organización Panamericana de la Salud. (1987). "Guías para la calidad del agua potable. Volumen 2, criterios relativos a la salud y otra información base". Organización mundial de la Salud. Washington.

Organización Panamericana de la Salud. (2007). Guía para la selección de sistema de desinfección. Lima-Perú. Obtenido de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/guiaseleccsistdesinf.pdf>

Perdomo C.H. (2001). Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. Agrociencia.

Real Academia Española. (s.f.).

Rodríguez, S., Tremblay, Hernández, T., González, N., Ryu, Santo Domingo, & Toranzos. (2012). Microbial quality of tropical inland waters and effects of rainfall events. sA. (s.f.).

Solsona, F., & Méndez, J. P. (2012). DESINFECCION DEL AGUA.

SUNASS. (2008). DIAGNOSTICO SITUACIONAL DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LAS EPS DEL PERU Y PROPUESTAS DE SOLUCION. Lima- Perú.

Sykes G. (1965). Chemical Disinfectants. Part V.

Usos de la cal en tratamiento de agua potable. (s.f.). Obtenido de anfacal.org:

http://anfacal.org/media/Biblioteca_Digital/Usos_Ecologicos/Tratamiento_de_Aguas/USOS_DE_CAL_EN_AGUA_POTABLE.pdf

Vignoli. (2002). Esterilización y desinfección. Obtenido de Instituto de Higiene

Universidad de la Republica:

<http://www.higiene.edu.uy/cefa/Libro2002/Cap%2027.pdf>

Zarepta , O. (s.f.). ¿Qué es la cal viva?,¿Cómo puedes utilizarla? Obtenido de

civilgeeks: <http://civilgeeks.com/2015/07/28/que-es-la-cal-viva-como-puedes-utilizarla/>

ANEXOS

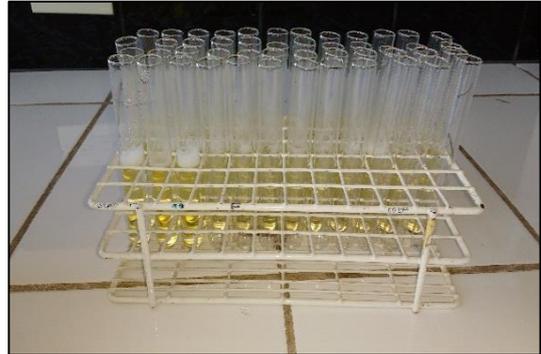
ANEXO 1.

Realizando las actividades de muestreo y presentación de la muestra de 6 litros en el laboratorio.



ANEXO 2.

Preparando los tubos con el medio de cultivo A1 requeridos para el ensayo, para cada serie de diluciones (10ml de medio A1 en cada tubo), también se puede observar la colocación de la campana de Durham en cada tubo.



ANEXO 3.

Aplicación de los desinfectantes a diferentes concentraciones en las muestras de la tercera laguna de maduración de la PTAR” La Totora”, el tiempo de contacto de las muestras con los desinfectantes fue de media hora.



ANEXO 4.

Realizando las diluciones calculadas de la muestra.



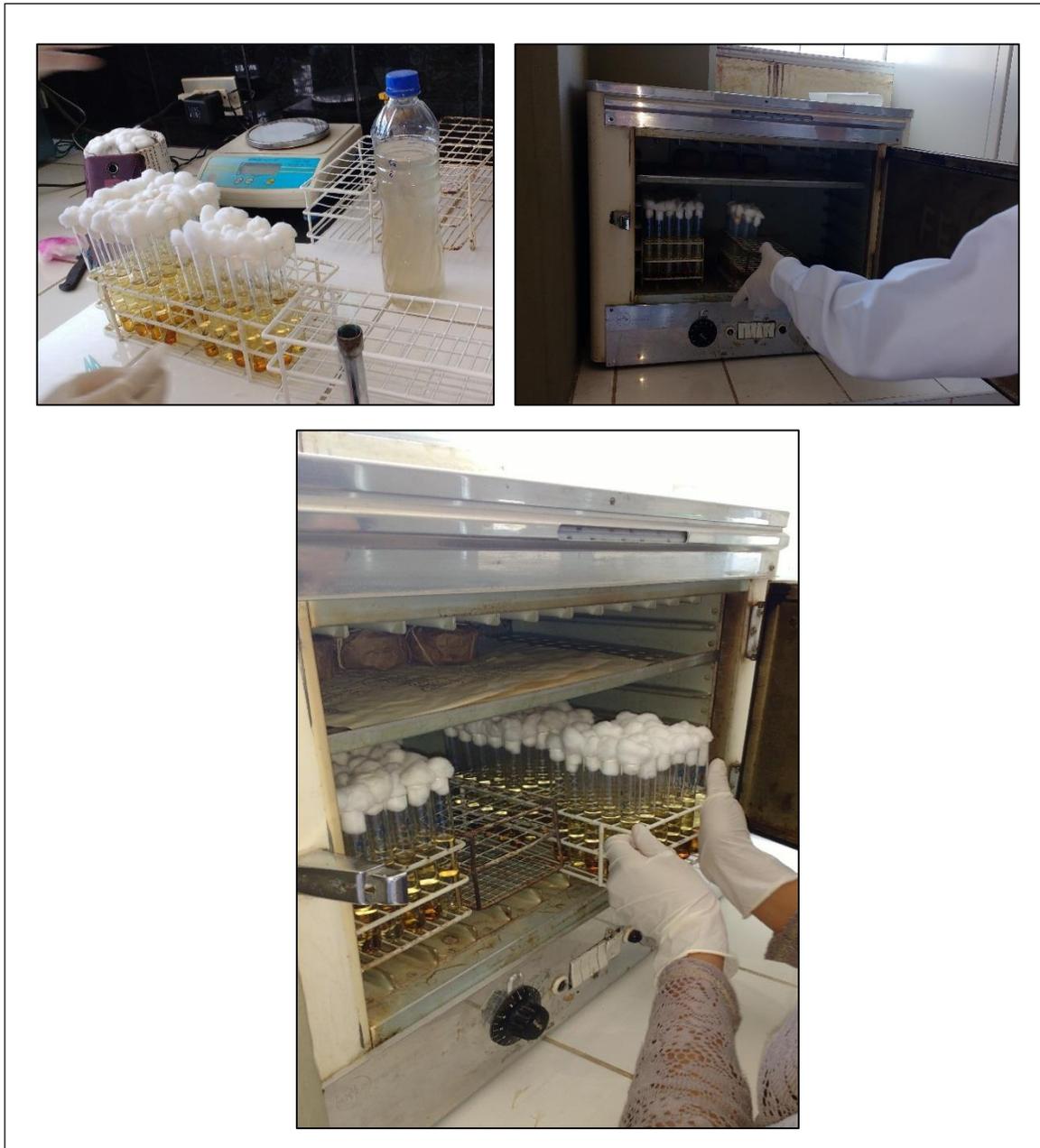
ANEXO 5.

Realizando las diluciones calculadas de la muestra.



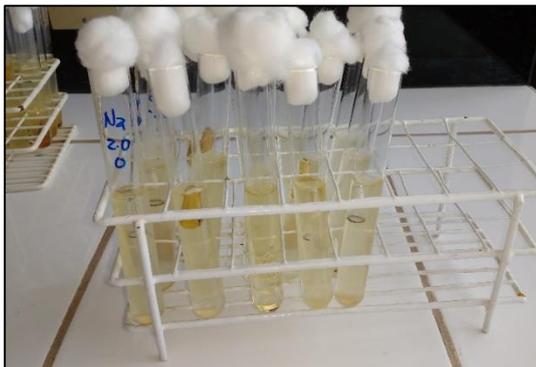
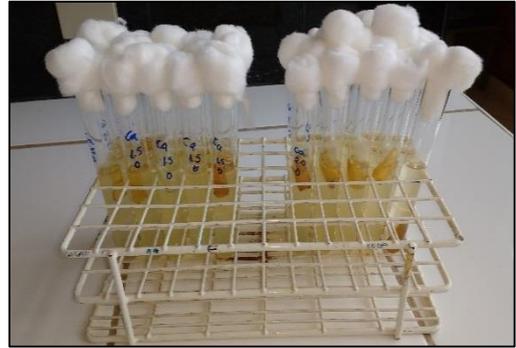
ANEXO 6.

Seguidamente de la inoculación de todos los volúmenes de la muestra y/o las diluciones requeridas para el examen, colocar los tubos en la incubadora a 35 más o menos 0.2°C, para incubación durante 21 más o menos 2 horas.



ANEXO 7.

Resultados positivos para coliformes termotolerante en todos los tubos que presenten formación de gas en la campana de Durham.



ANEXO 8.

Tabla de NMP y límites de confianza para diversas combinaciones de resultados positivos obtenidos con 5 tubos

Combinación de tubos positivos 10ml, 1ml, 0.1ml	NMP/100ml	Límite de confianza de 95%	
		Límite inferior	Límite superior
0-0-0	<2	--	--
0-0-1	2	1	10
0-1-0	2	1	10
0-2-0	4	1	13
1-0-0	2	1	11
1-0-1	4	1	15
1-1-0	4	1	15
1-1-1	6	2	18
1-2-1	6	2	18
2-0-0	4	1	17
2-0-1	7	2	20
2-1-0	7	2	21
2-1-1	9	3	24
2-2-0	9	3	25
2-3-0	12	5	29
3-0-0	8	3	24
3-0-1	11	4	29
3-1-0	11	4	29
3-1-1	14	6	35
3-2-0	14	6	35
3-2-1	17	7	40
4-0-0	13	5	38
4-0-1	17	5	45
4-1-0	17	5	46
4-1-1	21	9	55
4-1-2	26	12	63
4-2-0	22	9	56
4-2-1	26	9	56
4-3-0	27	12	67
4-3-1	33	15	77
4-4-0	34	16	80

5-0-0	23	9	86
5-0-1	30	10	110
5-0-2	40	20	140
5-1-0	30	10	120
5-1-1	50	20	150
5-1-2	60	30	180
5-2-0	50	20	170
5-2-1	70	30	210
5-2-2	90	40	250
5-3-0	80	30	250
5-3-1	110	40	300
5-3-2	140	60	360
5-3-3	170	80	410
5-4-0	130	50	390
5-4-1	170	70	480
5-4-2	220	100	580
5-4-3	280	120	690
5-4-4	350	160	820
5-5-0	240	100	940
5-5-1	300	100	1300
5-5-2	500	200	2000
5-5-3	900	300	2900
5-5-4	1600	600	5300
5-5-5	>1600	--	--

ANEXO 9.
MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: EFECTO MICROBICIDA DE PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN LA DESINFECCIÓN DE AFLUENTES DE LA PTAR "LA TOTORA" - AYACUCHO					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSION INDICADORES	METODO TECNICAS
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál será el efecto microbicida de los productos químicos (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, cal viva) utilizados en la desinfección de los efluentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR "La Totorá"? 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar el efecto microbicida de los productos químicos (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, cal viva) utilizados en la desinfección de los efluentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR "La Totorá". 	<ul style="list-style-type: none"> Los productos químicos (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, cal viva) utilizados en la desinfección de los efluentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR "La Totorá" poseen efecto microbicida significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> Efecto microbicida de los productos químicos (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, cal viva). 	<ul style="list-style-type: none"> % de remoción de Bacterias coliformes fecales (BCF) 	<ul style="list-style-type: none"> Se utilizará el método de prueba directa de coliformes fecales (medio A1).APHA.AWWA.WPCF.Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y residuales.17 edición.1992.
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál será el efecto microbicida del hipoclorito de sodio utilizado en la desinfección de efluentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR "La Totorá"? ¿Cuál será el efecto microbicida del hipoclorito de calcio utilizado en la desinfección de efluentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR "La Totorá"? ¿Cuál será el efecto microbicida de la cal viva utilizado en la desinfección de efluentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR "La Totorá"? 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar la capacidad microbicida y la concentración óptima de hipoclorito de sodio utilizado en la desinfección de efluentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR "La Totorá". Determinar la capacidad microbicida y la concentración óptima de hipoclorito de calcio utilizado en la desinfección de efluentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR "La Totorá". Determinar la capacidad microbicida y la concentración óptima de cal viva, utilizado en la desinfección de efluentes de la tercera laguna de maduración de la PTAR "La Totorá". 	<ul style="list-style-type: none"> El hipoclorito de sodio tiene efecto microbicida significativo. El hipoclorito de calcio tiene efecto microbicida significativo. La cal viva tiene efecto microbicida significativo. 	<ul style="list-style-type: none"> X1= Relación de concentración de hipoclorito de sodio (ppm). X2= Relación de concentración de hipoclorito de calcio (ppm). X3= Relación de concentración de cal viva. 	<ul style="list-style-type: none"> X1=Relación de cantidad de BCF / concentración de hipoclorito de sodio X2=Relación de cantidad de BCF / concentración de hipoclorito de calcio. X3= Relación de cantidad de BCF / concentración de cal viva. 	<ul style="list-style-type: none"> Se utilizará el método de prueba directa de coliformes fecales (medio A1).APHA.AWWA.WPCF.Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y residuales.17 edición.1992.