



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tratamiento de agua potable por cloración. Revisión sistemática
2021.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Pillaca Gomez, Maira Pamela (0000-0002-3714-437X)

ASESOR:

Mg. Honores Balcázar, Cesar Francisco (0000-0003-3202-1327)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de Los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A mis padres por haberme forjado como persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas. Me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Gracias a mis padres y a mi hija Alessa.

Agradecimiento

Primeramente, agradezco a la universidad Cesar Vallejo por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder culminar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir día a día.

Índice de contenido

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	18
3.1. Tipo y diseño de investigación	18
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de Categorización apriorística	18
3.3. Escenario de estudio	20
3.4. Participantes	20
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20
3.6. Procedimiento	20
3.7. Método de análisis de datos	21
3.8 Aspectos éticos	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	23
V. CONCLUSIONES	41
VI. RECOMENDACIONES	43
VII. REFERENCIAS	44
ANEXOS	
Anexo 1. Declaratoria de autenticidad (autores)	
Anexo 2. Declaratoria de autenticidad (asesor)	
Anexo 3. Matriz de Operacionalización	

Índice de Tablas

Tabla 1.	Valores límites referenciales establecidos para los DBPs. Fuente: Mazhar et al. (2020)	8
Tabla 2.	Matriz de categorización	19
Tabla 3.	<i>Resumen de criterios de búsqueda</i>	21
Tabla 4.	Principales dBP detectadas en el experimento de Stefan et al (2019):	24
Tabla 5.	Resultados de la presencia de DBP en sistemas de tratamiento de aguas al final del proceso	24
Tabla 6.	Productos de desinfección registradas por Du et al. (2017)	25
Tabla 7.	Resultados de la investigación sobre DBPs en aguas desalinizadas	28
Tabla 8.	Presencia de DBPs de péptidos clorinados en aguas potable.	31
Tabla 9.	Condiciones físico-químicas en la potabilización de aguas en 12 plantas de tratamiento de agua potable	32
Tabla 10.	Dosis de Cl ₂ y cloramina, propuestas para la desinfección de virus entéricos.	33
Tabla 11.	Tecnología híbrida usada en la inhibición o mitigación de clorinación en la potabilización de agua	37

Índice de Figuras

Figura 1.	Flujo que relación en la aplicación de cloro para la desinfección de aguas.	5
Figura 2.	Formación de organoclorados en el proceso de clorinacion.	11
Figura 3.	Proceso de cloración.	23
Figura 4.	Identificación de los componentes en la formación de dipéptidos clorinados en agua potable.	30
Figura 5.	Procesos de coagulación mejorada propuesto para distintos escenarios.	35

RESUMEN

El problema de la aplicación de cloro y otros materiales clorinados en la desinfección del agua especialmente para su potabilización ha generado la formación de subproductos de desinfección denominados DBP. En esta investigación se realizó una revisión sistemática sobre los contaminantes derivados de la desinfección de agua para su potabilización. Se analizaron los niveles de dosificación de cloro en la línea de potabilización de agua, y las dosis de materiales clorinados, también se han identificado estrategias tecnológicas recientemente aplicadas para mitigar el cloro en la potabilización de aguas para disminuir la formación de los subproductos de la desinfección de aguas usando cloro. Los resultados mostraron los esfuerzos por disminuir o mitigar la formación de los DP's a través de distintas estrategias como la aplicación de bisulfitos o eliminación de materia orgánica que actúa como precursora para la formación de estos contaminantes presentes en niveles trazas; sin embargo también han surgido técnicas híbridas que tratan de disminuir el uso de cloro en la desinfección.

Palabras clave: subproductos de desinfección DBP, cloración, potabilización

ABSTRACT

The problem of the application of chlorine and other chlorinated materials in the disinfection of water, especially for its purification, has generated the formation of disinfection by-products called DBP. In this research, a systematic review was carried out on the contaminants derived from the disinfection of water for its purification. The chlorine dosage levels in the water purification line were analyzed, and the doses of chlorinated materials, recently applied technological strategies have also been identified to mitigate chlorine in the purification of water to reduce the formation of disinfection by-products. of water using chlorine. The results are efforts to reduce or mitigate the formation of DPs through different strategies such as the application of bisulfites or elimination of organic matter that acts as a precursor for the formation of these contaminants present at trace levels; However, hybrid techniques have also emerged that try to reduce the use of chlorine in disinfection.

Keywords: DBP disinfection by-products, chlorination, purification

I. INTRODUCCIÓN

Las múltiples presiones del cambio climático, el crecimiento de la población, la urbanización y la industrialización han llevado a una disminución de la disponibilidad de recursos de agua dulce (Mars a, et al. 2018). Es probable que el mundo se enfrente a un déficit de agua del 40% si continúan las tendencias actuales. En consecuencia, el agua regenerada se ha convertido en un recurso hídrico nativo alternativo esencial para abordar la creciente demanda de recursos hídricos en todo el mundo (Kosaka, et al. 2017) y ahora se utiliza ampliamente para industria, agricultura, paisajismo e incluso reutilización potable. Debido a los costos de tecnología para tratar las aguas residuales como a sus beneficios sociales y económicos, obligara a la regeneración del agua, como un aspecto crítico en tiempos de cambio climático y aspectos críticos sobre los recursos hídricos en el futuro. En este sentido, la carga bacteriana especialmente patógena que conforma el agua regenerada se requiere su desinsectación para disminuir su efectos negativo en la salud humana (Li et al., 2017). Por esta razón la aplicación de distintos compuestos desinfectantes alternativos, que incluyen compuestos cloraminados, o dióxido de cloro, ozono y los rayos ultravioleta, entre otros son menos usados que el mismo cloro, esta tecnología garantiza la inocuidad del agua reciclada, su aplicación generalmente efectuada al final del tratamiento logra la inactivación de patógenos, mediante el cloro residual en los sistemas de distribución de esta forma se reduce y controla el rebrote de estos microbios y asegura la destrucción de biopelículas en el retrolavado de carbón activado y en los sistemas de ósmosis inversa que son los más usados. Sin embargo el amplio uso de la cloración termino produciendo una profunda preocupación por la formación de subproductos de desinfección (DBP), ya que durante este proceso, el cloro reacciona con otros agentes precursores, destacando la materia orgánica disuelta (DOM), para formar varios DBP (Ao, et al. (2019). Se ha demostrado que la mayoría de los DBP individuales identificados y la mezcla de DBP (como el halógeno orgánico total; TOX) son citotóxicos, genotóxicos y cancerígenos (Rachmadi et al.

2020) Dados los posibles riesgos ecológicos y para la salud que podrían plantear los DBP, los investigadores se han centrado en los precursores, la formación, la especiación, la toxicidad y la identificación de los DBP durante años (Cheung, 2017), los DBP en el agua potable han sido estudiados y revisados en detalle debido a su potencial para el contacto directo y la ingestión por humanos; sin embargo, es más difícil estudiar los DBP en agua reciclada clorada debido a la diversidad y complejidad de la calidad del agua y sus precursores. La presencia de material orgánico es importante no solo por su concentración, sino por su elevada reactividad y composición de la materia orgánica disuelta DOM, porque se convierten en precursores de DBP, ya que el agua recuperada dista mucho del agua potable (Diana et al. 2019), además distintos compuestos formados de DBP en distintos niveles de concentración presenta efectos nocivos posteriores (Ding et al. 2018).

Durante años, se han desarrollado métodos de bioensayo diferentes con organismos sujetos de diferentes niveles para evaluar la toxicidad (Del Olmo et al. 2020). Los ensayos que se aplican típicamente y ampliamente para evaluar la seguridad del agua reciclada incluyen los de toxicidad aguda, como la prueba de bacteria luminiscente y la prueba de *Daphnia magna*; Evaluación de la genotoxicidad mediante el umu-test, que mide el grado de reparación de el ADN lesionado de *Salmonella typhimurium* TA1535 / pSK1002 Q8 causado por sustancias genotóxicas (Wang et al., 2021) ; los que investigan la alteración endocrina, como la actividad estrogénica y la actividad antiestrogénica, que miden la β -galactosidasa inducida e inhibida por sustancias químicas estrogénicas y antiestrogénicas, respectivamente, en células de levadura con el receptor de estrógeno de rata ER α y el coactivador Q9 TIF2, pruebas de citotoxicidad, que miden la viabilidad de células de mamíferos o células humanas bajo el estrés de xenobióticos (Weien et al. 2018). Estos métodos se han adoptado ampliamente para evaluar la toxicidad del agua regenerada, y son todos indicadores útiles para controlar la seguridad del agua desde diferentes perspectivas. en particular, se han observado cambios significativos en la toxicidad en el agua regenerada después de la cloración, y diferentes métodos de bioensayo han mostrado diferentes tendencias (Wang et al., 2021). En consecuencia, es importante dilucidar los

cambios en la toxicidad de los diferentes para revelar el riesgo potencial durante la cloración del agua regenerada. Además, los cambios en la toxicidad obviamente se verían afectados por la calidad del agua, especialmente para el agua recuperada, que frecuentemente muestra grandes variaciones en la calidad del agua. En algunos casos, fuentes complejas de aguas residuales y un tratamiento inadecuado hacen que el agua regenerada sea más vulnerable Q10 capaz de altas concentraciones de amoníaco y bromuro. Por tanto, el impacto del amoníaco y el bromuro en la formación de materiales tóxicos no es despreciable. En la mayoría de los casos, la formación de DBP y la toxicidad aumentan en el agua regenerada después de la cloración; por lo tanto, se requieren estrategias para minimizar este riesgo (Wang et al. 2021; Montoya-Pachongo et al. 2018; Mian, et al. 2018). Se espera que el pretratamiento para eliminar el DOM del agua reciclada sea un enfoque eficaz, ya que el DOM es el precursor principal. Se han aplicado ampliamente una serie de pretratamientos antes de la cloración durante la recuperación de aguas residuales para eliminar DOM, incluida la coagulación, la ozonización y la adsorción Q13. Las diferentes tecnologías exhibieron un rendimiento diferente y una eliminación preferencial de componentes diferentes, lo que llevó a una eliminación diferente de DBP y toxicidades (Lin et al., 2020; Ye et al. 2018).

Además, cada componente del DOM hace una contribución potencial diferente a la formación de DBP y a la toxicidad durante la cloración (Rachmadi et al. 2020). Por lo tanto, la identificación y eliminación de los componentes clave en DOM es conducente a minimizar con precisión el riesgo. Además, las condiciones de operación para la cloración influirían en los DBP y la formación de toxicidad. Es ideal para activar patógenos mientras genera la menor cantidad posible de DBP. Por tanto, es necesario tener en cuenta las condiciones operativas durante el tratamiento. Este documento revisó la formación y el control de DBPs y las toxicidades durante la cloración del agua regenerada. Se resumieron los niveles de DBP, incluidos trihalometanos regulados (THM) y ácidos haloacéticos (HAA), DBP nitrogenados emergentes y TOX. Los cambios en la toxicidad del agua recuperada durante la cloración basados en la toxicidad aguda de las bacterias luminiscentes, la prueba de D. magna, la prueba de umu, la actividad estrogénica, la actividad anti-

estrogénica y la citotoxicidad se han investigado y el impacto del amoníaco y el bromuro en su formación. Se resumieron las estrategias de control de los DBP y la formación de toxicidad, incluidos los tratamientos previos como la coagulación y la ozonización, las condiciones de operación y el tratamiento posterior.

Considerando lo expuesto, esta investigación se plantea como problema general: ¿Cuál es el estado de tratamiento de agua potable por clorinación?, Además, se plantean los problemas específicos que son:

- P.E. 1: ¿Cuáles son los niveles de dosificación en la línea de potabilización de agua?
- P.E. 2: ¿Cuáles son las dosis de materiales clorinados de desinfección de aguas?
- P.E. 3: ¿Cuáles son las estrategias tecnológicas para mitigar el cloro en la potabilización de aguas?

Este trabajo de investigación tiene como objetivo general: Evaluar el estado de tratamiento de agua potable por clorinación. Asimismo, los objetivos específicos son:

- O.E. 1: Analizar los niveles de dosificación en la línea de potabilización de agua
- O.E. 2: Analizar las dosis de materiales clorinados de desinfección de aguas
- O.E. 3: Identificar las estrategias tecnológicas para mitigar el cloro en la potabilización de aguas

En resumen, de acuerdo a la problemática se argumenta la importancia que tiene la investigación para sistematizar la información respecto al estado actual de la práctica de clorinación del agua para su potabilización y sus impactos en la salud y el ambiente.

II. MARCO TEÓRICO

La demanda de cloro es un término que describe a uno de los productos más usados en la desinfección del agua para su potabilización, ya que una parte del cloro se asocia a los metales entre otros y no es accesible para la desinfección, el resto de cloro se denomina cloro total el cual se divide en cloro combinado y cloro libre. Mazhar et al. (2020) define al cloro combinado como el desinfectante débil e inaccesible en la solución una vez combinado con sustancias inorgánicas, mientras que el cloro libre es el cloro sobrante el cual si es accesible para inactivar patógenos, de tal manera que la suma de cloro combinado y cloro libre conforma el cloro total necesario para lograr la desinfección, de tal forma que si el agua está totalmente limpia la demanda de cloro y cloro combinado es nula dado que no hay material inorgánico u orgánico presente, entonces el contenido de cloro libre resulta equivalente al cloro usado esto significa que la demanda de cloro en los flujos de agua superficial ante el contenido de materia orgánica y el cloro combinado se formara por componentes inorgánicos (NO_3^-). En este caso, el cloro libre se calcula por la adición de la demanda total y combinada de cloro (Mazhar et al. 2020)

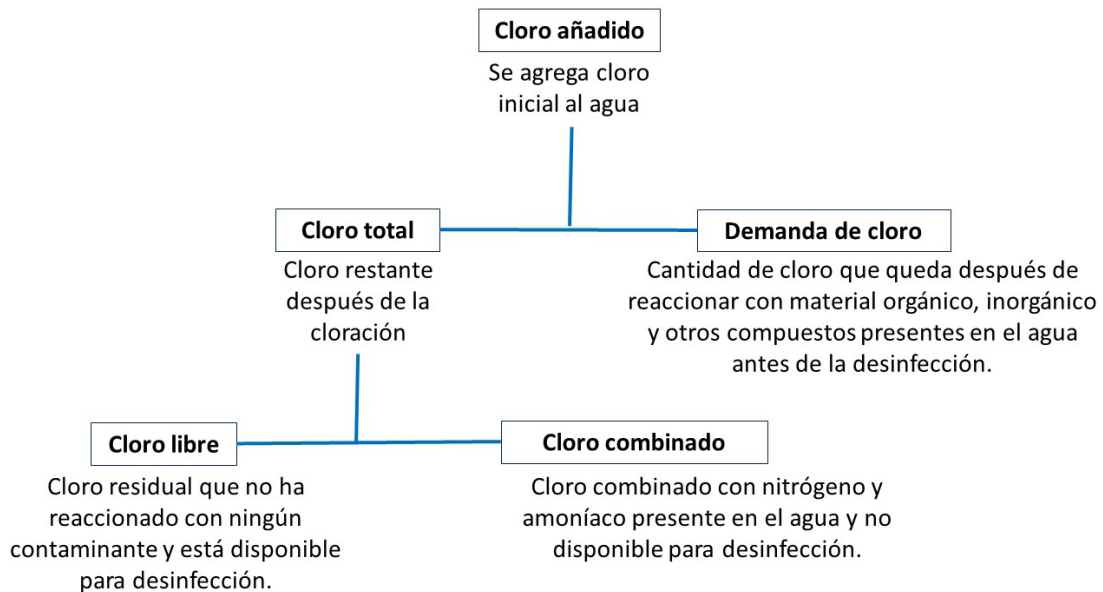


Figura 1. Flujo que relación en la aplicación de cloro para la desinfección de aguas.

Du et al. 2017. Señala que la cloración es esencial para la seguridad del agua recuperada; sin embargo, este proceso genera preocupación con respecto a la formación de subproductos de desinfección (DBP) y toxicidad. Se revisó las diversas estrategias de generación y control de los DBP y la respectiva toxicidad en el agua recuperada en el proceso de cloración. Aunque ya se han regulado ciertos componentes de DBP han surgido componentes emergentes a un nivel más alto que en el agua potable, lo cual significa que existe un mayor riesgo para la salud humana. La toxicidad aguda, la actividad antiestrogénica y la citotoxicidad de las bacterias luminiscentes y *Daphnia magna* aumentaron generalmente después de la cloración debido a la formación de DBP. Pruebas de genotoxicidad disminuyen cuando la cloración ha ocurrido por la destrucción de componentes químicos tóxicos. Sin embargo cuando hay presencia de amonio este mitiga los cambios tóxicos porque termina reaccionado con el cloro formando cloramina, pero si hay presencia de bromuro agrava cambios en la toxicidad debido a la formación de ácido hipobromoso. Durante el pretratamiento por ozonización y coagulación, el potencial de formación de subproductos de desinfección (DBPFP) y el potencial de formación de toxicidad (TFP) aumentan ocasionalmente, lo que se acompaña de la eliminación del carbón orgánico disuelto DOC; por lo tanto, la disminución de DOC se limitó a indicar la disminución de DBPFP y TFPEs más importante eliminar la fracción clave de precursores como el ácido hidrofóbico y los neutros hidrofílicos. Durante la cloración, las toxicidades pueden aumentar con el aumento de la dosis de cloro y el tiempo de contacto y para controlar la formación de toxicidad excesiva, se requiere una dosis de cloro relativamente baja y un tiempo de contacto corto. La extinción del cloro residual con reactivos reductores también reduce eficazmente la formación de compuestos tóxicos.

Khan, Azam, Alammari (2021) optimizó un método rápido, sensible y selectivo para la cuantificación de perclorato (ClO_4) en agua potable tratada con procesos de ozonización y desinfección con cloración, usó una técnica analítica basada en cromatografía líquida de ultra-rendimiento / La espectrometría de masas en tándem (UPLC-MS / MS) se ha optimizado para la determinación de perclorato en el agua potable. En este caso, las muestras una vez filtradas fueron inyectadas de manera

directa sin recibir tratamiento alguno, entonces el ClO₄ fue cuantificado, los resultados indicaron un buen rendimiento del método, logrando valores excelentes, por ejemplo, linealidad ($R^2 = 0,9999$), límite de detección (0,009 mg / L), límite de cuantificación (0,030 mg / L), fueron aceptables, en términos de estándar relativo desviación al examinar un estándar de ClO₄ (5 mg / L). Se encontró que el tiempo de elución del ClO₄ era de 0,51 min a un caudal de 300 ml / min. Se estudiaron un total de cuarenta y cinco muestras de agua, obteniendo concentraciones de ClO₄ en agua embotellada y metropolitana que oscilaron entre 0,78 a 53,23 mg / L y 0,18 a 2,62 mg / L, respectivamente. El contenido en agua embotellada, resultó ser menor que el valor de la dosis de referencia (RfD) 0,007 mg / kg de peso corporal / día y el valor del nivel equivalente en agua potable (DWEL) de 25 mg / L establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA). En comparación con los métodos tradicionales, la técnica propuesta resultó ser muy eficiente, rentable y rápida para la determinación rutinaria de ClO₄ a nivel de trazas en muestras de agua.

Khan, et al. (2018) señala que los trihalometanos (THM) son subproductos de desinfección regulados (DBP), analizados en el agua potable debido a sus efectos toxicológicos en la salud. Sin embargo, existen pocos datos sobre el contenido de THM emergentes en el agua potable que están presentes en concentraciones muy bajas, entonces monitoreo los THM peligrosos y emergentes del suministro de agua potable en un área residencial mediante microextracción en fase sólida mediante cromatografía de gases. Los resultados de la cuantificación revelaron la presencia de THM totales en todas las muestras de agua potable, mientras que la mayoría de los sitios (88%) excedieron el límite permitido establecido por la USEPA. Entre el I-THM, se encontró que el cloroyodometano era dominante según se detectó en el 79% de las muestras.

En este contexto, los organismos internacionales han brindado una relación de valores límites de referencia de los DBPs, estos valores se han definido, para disminuir la intensidad toxica en la salud humana, EEUU, Reino Unido , la Unión Europea, la OMS son algunos organismo que han planteado valores conforme van emergiendo estas sustancias (Mazhar et al. 2020).

Tabla 1. Valores limites referenciales establecidos para los DBPs. Fuente: Mazhar et al. (2020)

Disinfectant	DBPs	Cancer Group	WHO	US EPA	United Kingdom	Canada	European Union	South Africa	Japan	China	Korea	Australia	New Zealand	India		
Chlorine or Chloramine	Trihalo methanes	Chloroform	2B	0.3	0.08	–	–	–	0.3	0.06	0.06	0.08	–	0.4	0.2	
		Bromodi chloro methane	2B	0.06	0.08	–	–	–	0.06	0.03	0.06	–	–	0.06	0.06	
		Dibromo chloro methane	3	0.1	0.08	–	–	–	0.1	0.1	0.1	–	–	0.15	0.1	
		Bromoform	3	0.1	0.08	–	–	–	0.1	0.09	0.1	–	–	0.1	0.1	
	Halo acetic acids	Total THM	*	0.08	0.08	0.1	0.1	0.1	*	0.1	*	0.1	0.25	*	–	
		Mono chloro acetic acid		0.02	0.06	–	–	–	–	0.02	–	–	0.15	0.02	–	
		Dichloro acetic acid	2B	0.05	0.06	–	–	–	–	0.03	0.05	–	0.1	0.05	–	
		Trichloro acetic acid	2B	0.2	0.06	–	–	–	–	0.03	0.1	–	0.1	0.2	–	
		Dibromo acetic acid	2B	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
		Bromochloro acetic acid	2B	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
		Total HAA		–	0.06	–	0.08	0.06	–	–	–	0.1	–	–	–	
		Monochloro amines	3	3	4	–	3	–	3	–	3	–	3	3	–	
		NDMA	N-Nitroso dimethylamine	2A	0.0001	–	–	0.00004	–	–	–	–	–	0.0001	–	–
			Halo aceto nitrile	Dichloroacetonitrile	3	0.02	–	–	–	–	–	0.04	–	0.09	–	0.02
	Trichloro acetonitrile	3		–	–	–	–	–	–	–	–	0.004	–	–		
	Dibromochloro acetonitrile	2R		0.07	–	–	–	–	–	–	–	0.1	–	0.08		
	Bromochloro acetonitrile	3		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		
	Cyanide	Cyanogen chloride as cyanide		–	–	–	–	–	–	0.01	0.07	–	0.08	0.4		
		Cyanide		–	0.2	0.05	0.2	0.05	0.2	–	0.05	0.01	0.08	0.6		
		Nitrite	2A	3	1	0.5	3(a) 1(b)	0.5	0.9	–	1	–	3	3		
	Nitrate	2A	50	10	50	45(a) 10(b)	50	11	10	10	–	50	50			
Chlorine Chloro dioxide phenols	Chloral hydrate	2A	–	–	–	0.2	–	–	0.03	0.01	0.03	0.2	–			
	2-Chloro phenol		–	–	–	–	–	–	–	–	0.3	0.0001(c) 0.01(d)	–			
	2,4-dichloro phenol		–	–	0.9	–	–	–	–	–	0.2	0.0003(c) 0.04(d)	–			
	2,4,6-trichloro phenol	2B	0.2	–	–	0.005	–	–	0.2	–	0.02	0.0002(a) 0.3(b) 0.2 (MAV)	–			
	2,3,4,6-tetra chloro phenol		–	–	–	0.1	–	–	–	–	–	–	–			

Cheung, (2017) revisó los beneficios y supuestos riesgos asociados con la desinfección del agua potable mediante cloración, a través de una valoración crítica de la saga histórica del cloroformo como principal subproducto de la desinfección (DBP). El autor sostiene que el suministro de agua potable es un tema de supervivencia para la humanidad y apoya sin reservas la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de las Naciones Unidas de desinfectar mediante cloración, por las razones aquí expuestas. La idea es llevar a los

profesionales del agua a una comprensión más profunda de los problemas de salud pública relacionados con el cloroformo y cómo se logró el corpus de conocimiento mediante un colosal esfuerzo multidisciplinario a escala global. Se rastrean los orígenes de los supuestos riesgos de la cloración y se cuestionan las suposiciones detrás de estas acusaciones, es importante se cumplan como mínimo los estándares de potabilidad establecidos por la OMS, pero sostiene que el punto de partida de la investigación de nuevas técnicas debería ser un reconocimiento del desarrollo de la desinfección. hasta la actualidad, por parte de los ingenieros hidráulicos y los responsables políticos. Debe haber un reconocimiento claro de las horribles consecuencias de no eliminar patógenos y sustancias tóxicas. Es complicado la ruta de exposición a estos compuestos, por ejemplo las diferencias en la forma en que las enzimas del citocromo P450 oxidan el tetracloruro de carbono, que normalmente no es un producto de la cloración, y el cloroformo, que es un subproducto de la desinfección; el papel de los captadores de radicales libres en la protección del cuerpo humano.

Zhang et al (2020) señala que es fundamental explorar la fuente, el proceso de formación y la interdependencia de los subproductos de desinfección (DBP) para reducir su riesgo para la salud pública. El investigador cloró una fuente de agua para evaluar las tasas de formación inicial y los rendimientos máximos de triclorometano (TCM), ácido dicloroacético (DCAA) y ácido tricloroacético (TCAA) basado en un modelo de hipérbola. Los resultados mostraron que TCM logró la tasa de formación inicial más alta y la concentración teórica máxima en comparación con DCAA y TCAA, así este rendimiento de TCM se puede utilizar para pronosticar los rendimientos de DCAA y TCAA durante todo el proceso de reacción, y los rendimientos de hidrato de cloral (CH), dicloroacetoniitrilo (DCAN) y 1,1,1-tricloropropanona (1,1,1-TCP) dentro de la etapa de reacción inicial. Además, el agua cruda, el agua sedimentada y el agua filtrada recolectada de una planta de tratamiento de agua potable se dividieron en cinco fracciones, respectivamente, mediante membranas de ultrafiltración para evaluar su formación de DBP después de la cloración. En comparación con las especies de peso molecular medio, las materias orgánicas de peso molecular alto y bajo exhibieron rendimientos de DBP

específicos regulados y no regulados relativamente altos (expresados como mg / mg C), respectivamente. Las composiciones similares al ácido húmico contribuyeron predominantemente a los rendimientos de DBP regulados, mientras que los compuestos similares a los subproductos microbianos solubles generaron preferentemente DCAN. El estudio de correlación reveló que el TCM también podría servir como indicador de los DBP medidos a partir de la cloración de fracciones de muestra con diferente peso molecular.

Huang, Jiang, & Li. (2017) identificaron dipéptidos N-clorados como productos de cloración en agua potable utilizando técnicas complementarias de alta resolución cuadrupolo de tiempo de vuelo (QTOF) y cuadrupolo de espectrometría de masas de trampa de iones. Primero, tres dipéptidos modelo, tirosilglicina (Tyr-Gly), tirosilalanina (Tyr-Ala) y fenilalanilglicina (Phe-Gly), reaccionaron con hipoclorito de sodio, y estas soluciones de reacción se analizaron mediante QTOF. N-Cl-Tyr-Gly, N, N-di-Cl-Tyr-Gly, N-Cl-Phe-Gly, N, N-di-Cl-Phe-Gly, N-Cl-Tyr-Ala y N, N-di-Cl-Tyr-Ala se identificaron como los productos principales basados en masas precisas, patrones isotópicos de $^{35}\text{Cl} / ^{37}\text{Cl}$ y espectros MS / MS. Estos dipéptidos N-clorados identificados se sintetizaron y se encontró que eran estables en agua durante 10 días excepto N, N-di-Cl-Phe-Gly. Los dipéptidos se detectaron claramente en el agua cruda, pero los dipéptidos N-clorados estaban en niveles de fondo. Estos resultados sugieren que los dipéptidos N-clorados se producen por cloración, así esta estrategia se puede utilizar para identificar productos de cloración de otros péptidos en el agua potable.

Beauchamp, et al. (2018) propuso la absorbancia UV diferencial (DA) como un método para estimar las concentraciones de subproductos de desinfección (DBP) en el agua potable a un costo menor y con frecuencias más altas que los programas de muestreo requeridos por las regulaciones. Se han informado en la literatura varias ecuaciones desarrolladas en entornos de laboratorio entre las concentraciones individuales de DBP y DA₂₇₂. Aunque la forma de las relaciones DBP-DA (lineal o exponencial) es compartida por la mayoría de los estudios publicados, los parámetros de ajuste varían y deben calibrarse para cada sitio. Esto

generalmente se explica por diferencias en la naturaleza de la materia orgánica natural (NOM) que reacciona con el cloro libre. Por ello es importante comprender la reacción entre los restos de NOM y el cloro, y su impacto en los espectros de absorbancia UV, y en segundo lugar, en superar los desafíos de aplicar DA para estimar DBP en instalaciones a gran escala.

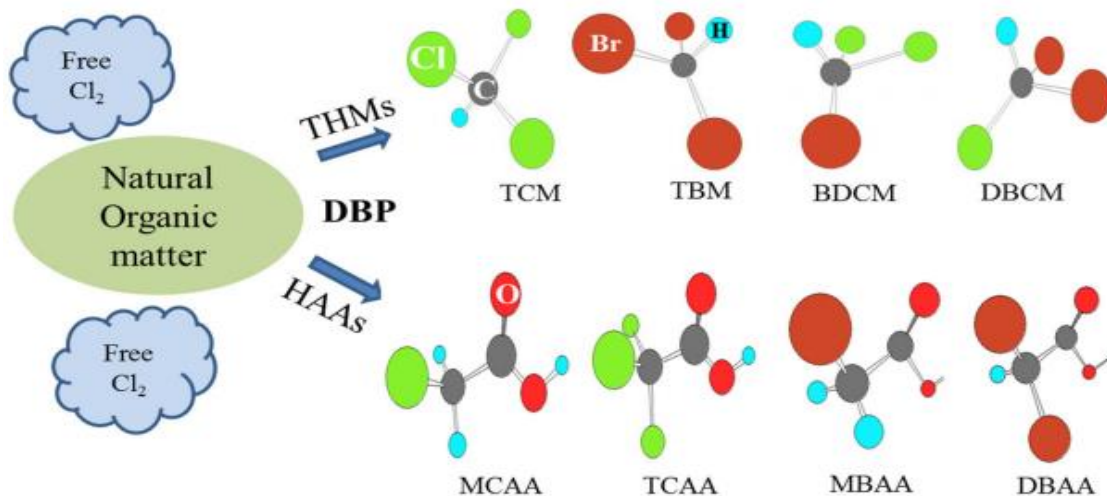


Figura 2. Formación de organoclorados en el proceso de clorinación. Fuente Al-Abri, et al. (2019)

Al-Abri et al. (2019) indica que la población humana en constante crecimiento, el acceso al agua potable para uso humano es una preocupación creciente en todo el mundo. La desalinización del agua de mar para producir agua utilizable es esencial para satisfacer la futura demanda de agua limpia. Los procesos de desalación, como la ósmosis inversa y el flash multietapa, se han implementado en todo el mundo. La ósmosis inversa es la tecnología más eficaz, que utiliza una membrana semipermeable para producir agua limpia bajo presión aplicada. Sin embargo, la contaminación biológica de la membrana es el principal problema al que se enfrentan estas plantas, que requiere una limpieza continua o un reemplazo regular de las membranas. La cloración es el proceso de desinfección más comúnmente utilizado para pretratar el agua y reducir la bioincrustación. Aunque la cloración se

usa ampliamente, tiene varias desventajas, como la formación de subproductos de desinfección y la ineficacia contra algunos tipos de microbios.

Weien et al. (2018), evaluó el desempeño de la desinfección UV combinada con cloración en la inactivación de microorganismos y la formación de trihalometanos (THMs). Los resultados experimentales mostraron que la irradiación ultravioleta tenía ventajas obvias en la reducción del número de especies microbianas y la complejidad de la comunidad. Bajo la misma concentración inicial de cloro, la cantidad de THM aumentó con el aumento de la dosis de radiación UV. Los THM se reducirán en el proceso de desinfección con cloro UV en comparación con la desinfección con cloro puro. En cuanto al número de microorganismos supervivientes en el agua, en comparación con una sola desinfección con cloro, la irradiación ultravioleta mostró un efecto desinfectante muy bueno. Con una disminución promedio del 52,5%, los datos reflejaron la muestra después de la irradiación UV en la diversidad microbiana y la abundancia disminuyó significativamente.

Diana et al. (2019), demostraron que estudios epidemiológicos han asociado sistemáticamente el consumo de agua potable clorada con un mayor riesgo de cáncer de vejiga. Si bien esto sugiere que algunos subproductos de la desinfección (DBP) son carcinógenos de la vejiga, se desconocen los agentes causales. Para lograr esto, se compararon estructuras de DBP conocidos e hipotéticos con 76 carcinógenos de vejiga conocidos. Estos últimos están dominados por compuestos nitrogenados y aromáticos; solo 10 están halogenados. Menos del 10% del cloro aplicado durante el tratamiento del agua potable se convierte en subproductos halogenados identificados; Es probable que la mayor parte del cloro se consuma durante la generación de productos de oxidación no halogenados no identificados. Seis nitrosaminas se encuentran entre los nueve carcinógenos de la vejiga más potentes, y se sabe que dos de ellos son DBP: N-nitrosodifenilamina y nitrosodibutilamina. Sin embargo, estas y otras nitrosaminas se forman en concentraciones insuficientemente bajas en el agua potable clorada para explicar el riesgo de cáncer de vejiga observado. Además, aunque no se ha demostrado que

sean carcinógenos de la vejiga, ciertas aminas, haloamidas, ácidos halociclopentenoicos, furanos y haloquinonas son candidatos potenciales. En la actualidad, la mayoría de los carcinógenos vesicales identificados son nitrogenados, mientras que > 90% de la materia orgánica natural no lo es. Por lo tanto, es probable que los DBP no nitrogenados contribuyan al riesgo de cáncer de vejiga. Dada la alta proporción de DBP que permanece sin caracterizar, es importante que la investigación futura dé prioridad a los compuestos que se cree que son tóxicos potentes.

Del Olmo et al. (2020), señalo que las empresas de agua utilizan la dosificación de fosfato para evitar la plomosolencia en las redes de suministro de agua. Sin embargo, existe una falta de conocimiento sobre la formación de biopelículas en materiales plásticos y de plomo cuando se modifican las concentraciones de fosfato en los sistemas de agua potable, por ello estudió biopelículas sobre cupones de plomo y tubos de PVC en biorreactores suministrados con agua potable local tratada para proporcionar diferentes dosis de fosfato (por debajo de 1, 1 y 2 mg / L) durante un período de 28 días y probó una gama de gránulos de hierro comerciales (GEH104 y WARP) para mantener los niveles de fosfato por debajo del promedio de 1 mg / L que se encuentra en el agua potable. Los cambios en la estructura de la comunidad de biopelículas en respuesta a tres tratamientos de fosfato diferentes se caracterizaron mediante la secuenciación de Illumina del gen de ARNr 16S para bacterias. Los resultados experimentales de la cinética de la absorción de fosfato mostraron que los gránulos GEH104 eran la mejor opción para, a largo plazo, reducir los niveles de fosfato al tiempo que evitaban incrementos indeseables de turbidez en el agua potable. El enriquecimiento con fosfato promovió una reducción de la diversidad bacteriana pero aumentó la de los hongos en las biopelículas. En general, se seleccionaron niveles más altos de fosfato para microorganismos con capacidades mejoradas relacionadas con el metabolismo del fósforo y la resistencia a los metales pesados.

Jiang, Han, & Zhang. (2020) señaló que los subproductos de desinfección halogenados (DBP) se generan a través de reacciones con materia orgánica natural

(NOM) en la desinfección con cloro del agua potable. La forma en que las moléculas de NOM grandes se convierten en DBP alifáticos halogenados durante la cloración sigue siendo un tema fascinante pero en gran parte sin resolver. Recientemente, se han identificado muchos DBP aromáticos halogenados relativamente tóxicos en agua potable clorada, y se comportan como DBP intermedios para descomponerse en DBP alifáticos halogenados. Todavía hay una brecha entre NOM y DBP aromáticos halogenados, identificó nueve compuestos aromáticos no halogenados como nuevos DBP intermedios en la cloración, incluidos 4-hidroxibenzaldehído, ácido 4-hidroxibenzoico, ácido 3-formil-4-hidroxibenzoico, ácido salicílico, ácido 5-formil-2-hidroxibenzoico, 4- ácido hidroxoftálico, 4'-hidroxiacetofenona, ácido 4-metilbenzoico y 4-hidroxi-3-metilbenzaldehído. Estos DBP aromáticos no halogenados se formaron rápidamente y alcanzaron los niveles máximos a dosis de cloro relativamente bajas en un tiempo de contacto corto, y se propusieron sus vías de formación. A continuación, se modeló la cinética de formación de tres DBP aromáticos no halogenados y sus correspondientes monoclora / diclorosustitutos durante la cloración. Los DBP aromáticos no halogenados contribuyeron hasta el 84% de los monoclora sustitutos formados y el 22% de los diclorosustitutos formados, demostrando que de alguna manera actuaban como intermediarios entre NOM y DBP aromáticos halogenados. Además, se encontró que los DBP aromáticos no halogenados formados se eliminaron en > 50% por adsorción de carbón activado granular.

Al-Hamzaha et al. (2019), observó una mayor formación de bromato en agua potable derivada de la desalinización que contiene bromuro desinfectada mediante cloración en condiciones alcalinas. Como alternativa a la desinfección con cloro en el agua potable, se ha usado el dióxido de cloro (ClO₂) y reducir la formación de bromato en el agua del producto de ósmosis inversa de agua de mar, se controló la aparición de subproductos de desinfección (DBP), es decir, clorito, clorato y trihalometanos (THM) durante todo el período de las pruebas a diferentes distancias de 10, 50 y 3500 m. En consecuencia las concentraciones de bromato a lo largo del ensayo eran <2 ppb, lo que indica una formación de bromato insignificante o nula en el ClO₂ residual óptimo en el rango de 0,18 a 0,20 ppm además el clorito (<0.01–

0.1 ppm), clorato (<0.05–0.14 ppm) y los THM totales estaban dentro del rango de los límites regulatorios (<1) establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). El total de coliformes y E. coli fueron negativos, lo que indica que el ClO₂ es muy eficiente en el residuo óptimo en el rango de 0,18 a 0,20 ppm.

Branz et al. (2017) reportó que las recomendaciones internacionales de dosis de cloro en emergencias son muy inconsistentes; la información de alta calidad de la literatura general sobre cloración sobre los desafíos de la cloración puede adaptarse para emergencias; muchos productos de cloro están disponibles para su uso en programas de respuesta a emergencias en el punto de entrega, en el punto de origen y en el punto de uso; la información sobre la efectividad de los diferentes programas de cloración en emergencias varía, es necesario ayudar a las comunidades y agencias que responden al creciente número de desastres naturales y brotes en todo el mundo manejar apropiadamente la desafección del agua.

Goyal, & Patel (2016) estudio la ubicación óptima de las estaciones de cloración de refuerzo se determina junto con la programación de las estaciones de cloración de refuerzo para las condiciones de flujo de estado estacionario para el sistema de distribución de agua potable (DWDS). La programación lineal en Excel se utiliza para la formulación del modelo al acoplar los resultados de la simulación del software EPANET para el cloro residual en nodos críticos y la ubicación óptima de las estaciones booster de cloración, utilizando diferentes combinaciones de estaciones booster. La combinación de estaciones de refuerzo proporciona una dosis mínima aplicada de cloro al mismo tiempo que satisface la restricción de cloro residual de 0,2 mg / l (IS 10500-2012) en todas las ubicaciones dentro del DWDS.

Zhang et al. (2018), eliminó sulfametazina (SMZ) y la sulfadiazina (SDZ) que son antibióticos de sulfonamida por oxidación previa con ferrato (VI) (FeVIO₄²⁻, Fe(VI)), en aguas, lo cual dio lugar a la presencia de cloro libre y otros componentes orgánicos. La cloración SMZ siguió una cinética de segundo orden con una dosis creciente de Fe (VI), y el efecto de la concentración inicial de cloro libre sobre la cinética de reacción con la preoxidación por Fe (VI) se ajustó a un modelo de pseudoprimer orden. . Las constantes de velocidad de cloración SDZ y SMZ a

diferentes temperaturas se relacionaron con la ecuación de Arrhenius. El Fe (VI) podría reducir los niveles de THM formados y la toxicidad de los sistemas de degradación de sulfonamidas con dosis de Fe (VI) de 0,5 a 1,5 mg / L, lo que proporciona una referencia para garantizar la calidad del agua en los sistemas de agua potable.

Zhang et al. (2019), señala que el cloro es usado ampliamente como desinfectante de agua potable para garantizar la seguridad del agua. Sin embargo, los mecanismos de transformación de su degradación de los contaminantes emergentes dentro del sistema de distribución de agua (WDS) no se comprenden suficientemente. Por lo tanto, la cinética, los subproductos de degradación y la toxicidad de la cloración de la enoxacina (ENO, un tipo de contaminante emergente) se exploraron en un WDS a escala piloto por primera vez. Se encontró que la tasa de cloración de ENO fue mayor en agua desionizada (DW) que en el WDS a escala piloto, y la degradación siguió cinética de segundo orden en DW. Se encontró que la eficiencia de degradación era sensible al pH y era más alta a un pH de 7,4. La tasa de cloración de ENO aumentó con el aumento de temperatura tanto en DW como en WDS. Para diferentes materiales de tubería, el desempeño relativo de la eficiencia de cloración ENO siguió el orden de tubería de acero N tubería de hierro dúctil N tubería de polietileno (PE). Se identificaron siete intermedios durante la cloración ENO, y la reacción de oxidación primaria implicó la escisión del grupo piperazina. Finalmente, se encontró que el potencial de toxicidad por cloro en el agua potable tratada en presencia de ENO es mayor que sin este contaminante.

Anandkumar et al. (2019), estudio el titanio con excelente resistencia a la corrosión cuando se utiliza como material condensador sufre graves problemas de bioincrustación debido a su mayor biocompatibilidad. Las plantas de energía emplean varias estrategias convencionales de tratamiento de bioincrustaciones que incluyen cloración y limpieza mecánica. Los potenciales alternos se aplicaron en el siguiente patrón: (potencial catódico de -600 mV (Ag / AgCl) durante 15 min; potencial anódico de +600 mV durante 15 min como un ciclo y el ciclo se repitió una vez más). Las muestras de Ti se trataron con el método de cloración convencional

solo y en combinación con el potencial aplicado. Las muestras se retiraron después de una semana y se analizó la eficacia del control de la contaminación biológica utilizando técnicas microscópicas y electroquímicas avanzadas. Se observaron dos órdenes de reducción en la densidad bacteriana bajo la influencia individual tanto de los potenciales aplicados como de la cloración. Finalmente, se logró una reducción de tres órdenes de la densidad bacteriana durante el tratamiento combinado de potenciales aplicados y cloración. Los resultados demostraron que el uso de potencial alterno solo controló la formación de biopelículas mejor que la cloración, mientras que el tratamiento combinado de potencial alterno con cloración mostró sinérgicamente un control superior de bioincrustaciones.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada ya que la investigación busca generar conocimientos, teorías o avances científicos respecto a la información que existe en relación a las temáticas de estudio las mismas que se enfocan en darle solución a problemas (Ñaupas, 2018). En la presente investigación se usaron los conocimientos científicos que se obtuvieron respecto a la cloración del agua para su potabilización cuya información se utilizó para la sistematización de la información que puede ser útil para el contexto de la salud pública y ambiental.

El diseño de la presente investigación es de revisión sistemática que consiste en el proceso de recolectar, seleccionar y analizar la información respecto a la temática de la investigación dando lugar a las categorías de elaboración de dosis, Niveles de cloro en agua potable, y la formación de subproductos para observar su efectividad cuando estas categorías se relacionan (Moreno, et al, p.184).

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Dentro de la investigación se describen las categorías en la tabla N° 1, considerada como Matriz de Categorización Apriorística, en la cual se detallan el problema principal y específicos, objetivos principales y específicos, categorías y subcategorías.

Tabla 2. Matriz de categorización

PROBLEMAS	OBJETIVOS	CATEGORIAS	SUBCATEGORIAS	REFERENCIAS
¿Cuáles son los niveles de dosificación en la línea de potabilización de agua?	Analizar los niveles de dosificación en la línea de potabilización de agua	Dosis	Demanda de cloro adicionales	Stefán, et al (2019), Jiang et al. (2020)
¿Cuáles son las dosis de materiales clorinados de desinfección de aguas?	Analizar las dosis de materiales clorinados de desinfección de aguas	Niveles de cloro en agua potable	traza límite de detección	Bertelli, et al. (2018), Del Olmo et al. (2020)
¿ Cuáles son las estrategias tecnológica para mitigar el cloro en la potabilización de aguas?	Identificar las estrategias tecnológica para mitigar el cloro en la potabilización de aguas	Formación de subproductos	Trihalometanos derivados THM	Du et al (2017), 19. Mazhar et al. (2020)

3.3 Escenario de estudio

La presente investigación es de revisión sistemática por lo que el escenario de estudio corresponde al acceso a plataformas o bases de datos para la obtención de la información, en la investigación se accedió a la información en cuanto a artículos científicos de investigación en los idiomas español o inglés y que estén referidos a las variables de estudio en donde los escenarios de estudio serán las bases de datos: Ebsco, Science Direct, Google Académico y Proquest.

3.4 Participantes

Para la investigación presente se obtuvieron los artículos o investigaciones realizadas en las siguientes bases de datos: Ebsco, ScienceDirect, Google Académico y Proquest. Los criterios de inclusión en la presente investigación fue que comprendan los artículos o tesis que se encuentren publicados entre el 2016 y el 2021 y el criterio de exclusión implican las tesis o artículos que se encuentren duplicados y que no correspondan al periodo de tiempo indicado

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se ha realizado la recolección de datos haciendo uso de técnicas de análisis de datos y búsqueda de palabras por claves. Además, se generó una base de datos para la ubicación de la información y se realizó una ficha de recopilación de datos que está estructurada o identifica la información correspondiente a: Título, autor, tipo de documento, objetivos, métodos y resultados.

3.6 Procedimientos

Los procedimientos que se llevaron a cabo para la recopilación de datos en la revisión sistemática fueron:

Primero se estableció una estrategia de búsqueda de información en este caso se realizó la búsqueda por palabras claves en español e inglés que fueron: chlorination, by-products, application rates, drinking water, public health, environmental impacts

para encontrar información respecto al tema. Luego se realizó la localización de la información a través de las bases de datos que son: Ebsco, Sciencedirect, Proquest, Google académico en donde se encontraron 125 investigaciones de los cuales ejerciendo los criterios de exclusión e inclusión se seleccionaron finalmente 40 artículos científicos de alto impacto de investigación que se organizaron a través de categorías.

3.7 Método de análisis de datos

Para el análisis de la información dentro de la investigación se realizó un análisis descriptivo de las tablas de recopilación de datos de los estudios que se obtuvo información. Además, se realizó un análisis comparando los datos de las investigaciones que se obtuvieron mayores resultados significativos.

Tabla 3. *Resumen de criterios de búsqueda*

Tipo de documento	Documentos referidos a	Cantidad	Palabras clave de búsqueda	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículo científico Tesis de investigación	Cloración de agua para su potabilización	40	chlorination, by-products, application rates, drinking water, public health, environmental impacts	Las investigaciones que correspondan al periodo del 2016-2021 Se incluyeron las investigaciones indexadas en las bases de datos	Las investigaciones que se encuentren realizadas antes del 2015 No se incluyen las investigaciones que se encuentren incompletas o

					no presenten acceso total
--	--	--	--	--	------------------------------

Fuente: Elaboración Propia.

3.8 Aspectos éticos

La ética en la investigación implica un elemento que resulta transversal en todo el proceso de investigación científica y nos permite delimitar cuando nos enfrentamos a una mala práctica de conducta científica en donde esta conducta inadecuada puede ser la fabricación, falsificación o que realizo plagio en la propuesta de investigación (Carcausto y Morales, 2017). Por tanto en esta investigación se asume tener adecuada conducta ética en el desarrollo de la investigación, por ello se asume el principio de la veracidad de la información que se presenta, en donde el investigador asume la comprobación de veracidad de la información que se recolecta y esto se encuentra sustentado de acuerdo a las normas para citación de ISO 690 que permiten identificar la autenticidad de la investigación y los autores (Universidad Cesar Vallejo, 2017) y de acuerdo a ello se utilizan bases de datos confiables que garanticen el cumplimiento de los principios éticos en una revisión sistemática que en la investigación tiene el objetivo general y los específicos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

OE1: Analizar los niveles de dosificación en la línea de potabilización de agua

Es importante identificar las etapas de un sistema de tratamiento de aguas, para su monitoreo correspondiente, generalmente, después de la coagulación de material suspendido, se desarrolló el punto de corte para la cloración del agua, con la adición de agentes clorados oxidantes tales como el Cl_2 , NaOCl , posteriormente el agua es purificada con adsorbente de carbón activado para seguir con su proceso de limpieza en la planta de potabilización.

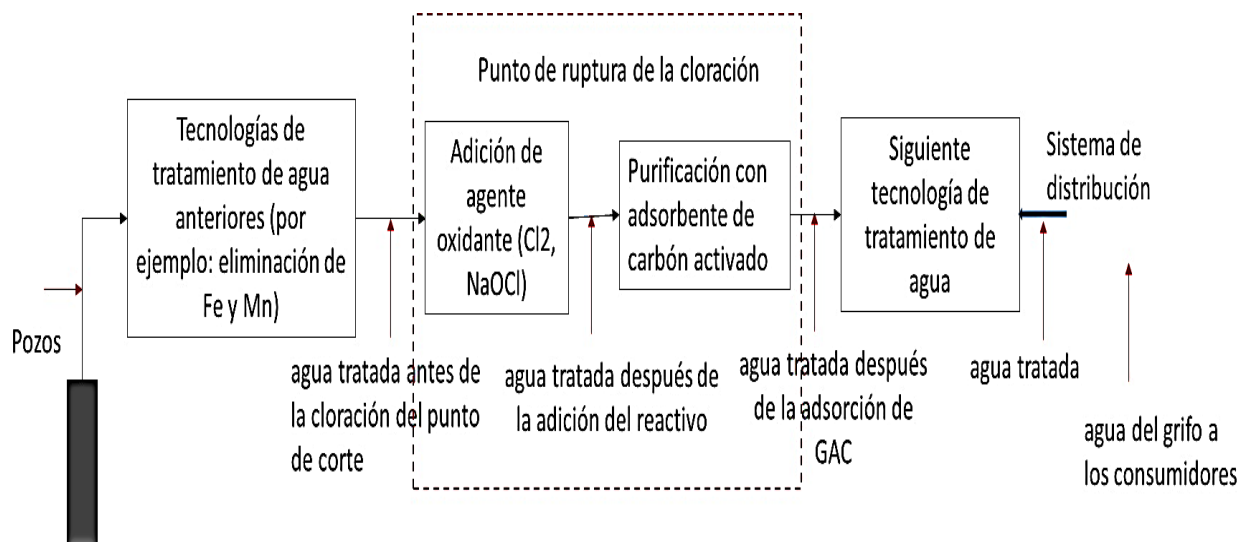


Figura 3. Proceso de cloración. Fuente Stefán, et al (2019),

La investigación de Stefán, et al (2019), registro la presencia de las siguientes concentraciones de DBPs registradas en su investigación como consecuencia de la clorinación:

Tabla 4. Principales dBP detectadas en el experimento de Stefan et al (2019):

DBPs	Concentración de DPB	Concentración de DPB
Tecnología	Desinfección	Desinfección
Trihalometanos THM (ug/L)	Máximo	143
	Mediana	43
	Promedio	52.4
HAAs (ug/L)	Máximo	129
	Mediana	26.7
	Promedio	35.2
HANs(ug/L)	Máximo	16.9
	Mediana	5
	Promedio	5.6

Asimismo, Dong, Qiang, y Richardson, (2019), reportaron resultados de su investigación de residuos de la clorinación en un sistema de tratamiento de aguas de Canadá:

Tabla 5. Resultados de la presencia de DBP en sistemas de tratamiento de aguas al final del proceso. Fuente: Dong et al. (2019)

Muestra	Pais	Sustancias olorosas	Concentración (ng/L)
Sistema de tratamiento de aguas	Canada	CHI3 (Yodoformo)	LD-8300
		CHCL2I (dicloroyodometano)	LD-2270
		CHBrI2 (bromodiyodometano)	LD-2710
4 plantas de agua tratada	China	CHI3 (yodoformo)	LD-860

		CHCl ₂ (clorodiyodometano)	LD-230
Agua potable clorada de 23 ciudades	Estados Unidos	I-THM (trihalometano yodado)	1400

Du et al. (2017), investigo los niveles de DBP en el punto final del tratamiento de aguas recuperada en la cloración y determinó los productos de desinfección de la tabla:

Tabla 6. Productos de desinfección registradas por Du et al. (2017)

DBP	Numero muestras	Promedi o	Mediana
TCM cloroformo	93	64.86	12.5
BDCM bromodiclorometan o	78	22.21	14.98
DBCM dibromoclorometan o	66	22.5	23.77
TBM bromoformo	55	9	4.1
MCAA ácido cloroacético	27	12.82	10.49
DCAA dicloroacético	92	21.82	8.16
TCAA ácido tricloroacético	81	14.72	4.64
MBAA ácido bromoacético	35	4.9	4.17
DBAA ácido dibromoacético	51	4.7	0.76
BCAA ácido bromocloroacético	29	12.74	4.45

BDCAA ácido bromocloroacético	20	15.07	10.06
MIAA ácido monoyodoacético	11	1.26	1.09
DCP 1,1- dicloropropanona	65	0.56	0.27
TCP 1,1,1- tricloropropanona	85	9.86	6.44
DCAN dicloroacetnitrilo	95	8.89	7.54
MBAN bromoacetnitrilo	70	1.39	1.5
DBAN dibromoacetnitrilo	9	1.01	0.8
TBAN Tribromoacetnitrilo	70	0.47	0.35
BCAN Bromocloroacetnitrilo	12	2.4	0.23
DCAcAm Haloacetamidas	70	3.98	1.73
TCAcAm Tricloroacetamida	70	4.14	2.61
TBAcAm Tribromoacetamida	56	0.94	0.88
BDAcAm Bromodicloroacetamida	56	6.73	7.79
DBCACAm Dibromoacetamida	28	1.46	1.27
TCA Clorhidrato	154	12.57	3.21
NDMA N- nitrosodimetilamina	101	0.41	0.14
TOCI	12	454.08	175.98

cloro orgánico total			
TOX haluros orgánicos totales	75	574.04	316.47

De acuerdo a esta tabla Du et al. (2017) identifico grupos DBP registrados en las normativas y otros sin registro, es decir emergentes y los de tipo haluros orgánicos totales (TOX), los valores de los primeros contaminantes resultaron conformes con los informes de las plantas norteamericanas. Además la presencia de los trihalometanos THM con un nivel medio de 38 µg/L de THM4 formaba parte de una variedad de estos analitos lo cual, en el que destacaron DBP emergentes en aguas regeneradas. Existen diversos informes sobre los distintos DBP relacionado con la cloración del agua regenerada, sin embargo no es posible detectar todos los subproductos derivados del proceso debido a las limitaciones de pre-tratamiento de la muestra, metodología analítica aplicadas y existente entre otros aspectos y al tiempo de vida de los subcomponentes; inclusive existen estudios sobre la toxicidad de estas sustancias. Por ejemplo camarones de plancton resultan sensibles a la calidad del agua; y ha sido empleados para evaluar la toxicidad de las aguas recuperadas, su mortalidad, reproducción o inhibición de la movilidad es válido para determinar la toxicidad aguda del efluente de una planta depuradora con mediciones antes y posteriores a la cloración (Du et al. 2017).

Khan et al. (2021), demostró el alcance de los proceso al efectuar una comparación de concentraciones del CO_4^- en el agua embotellada y el agua metropolitana de Arabia Saudita, los resultados demostraron que el agua metropolitana no estaba tan contaminada como el agua embotellada, que circulaba en la ciudad ya que el 84.4% de las muestras se ajustaron al rigor de la EPA. En concentraciones de 0.78 y 53.23 mg/L y de 0.18 a 2.62 mg/L respectivamente

Tabla 7. Resultados de la investigación sobre DBPs en guas desalinizadas. Fuente Khan et al. (2017).

Muestra	Fuente	Metodo de desinfección	Origen	CIO4- (antes de la adición) ug/L	CIO4- añadido en baja concentración ug/L	CIO4- despues de la adición en baja concentración ug/L	Valor R (%) para baja cocntración	CIO4- añadido a alta concenración (ug/L)	CIO4- añadido a alta concentraci ón ug/L	Valor R (%) para alta cocnen tración
MW1	Desalinizado	Clorinación	KSA	0.16 ± 0.001	2	2.03 ± 0.02	94	10	9.85 ± 0.08	97
MW2	Desalinizado	Clorinación	KSA	0.44 ± 0.004	2	2.33 ± 0.02	95	10	10.22 ± 0.08	98
MW3	Desalinizado	Clorinación	KSA	0.96 ± 0.006	2	2.87 ± 0.03	96	10	10.75 ± 0.09	98
MW4	Desalinizado	Clorinación	KSA	0.18 ± 0.005	2	2.05 ± 0.02	95	10	9.77 ± 0.08	96

MW5	Desaliniza do	Clorinaci ón	KSA	1.21 ± 0.02	2	3.13 ± 0.03	96	10	11.02 ± 0.10	98
MW6	Desaliniza do	Clorinaci ón	KSA	0.67 ± 0.006	2	2.56 ± 0.02	95	10	10.44 ± 0.08	98
MW7	Desaliniza do	Clorinaci ón	KSA	2.62 ± 0.02	2	4.53 ± 0.04	96	10	12.37 ± 0.11	98
MW8	Desaliniza do	Clorinaci ón	KSA	1.58 ± 0.02	2	3.49 ± 0.03	96	10	11.36 ± 0.10	98
MW9	Desaliniza do	Clorinaci ón	KSA	0.69 ± 0.007	2	2.61 ± 0.02	96	10	10.46 ± 0.08	98
MW10	Desaliniza do	Clorinaci ón	KSA	0.33 ± 0.003	2	2.22 ± 0.02	96	10	10.00 ± 0.08	97

Anteriormente Huang, Jiang, & Li. (2017) reportó sobre la estabilidad los dipéptidos clorados, presentes en las aguas potables cloradas en bajas concentraciones, demostró en muestras reales detectó estos componentes DBP en agua del grifo tratada, agua cruda, y blanco de agua optima, la figura muestra las estructuras en la cloración del dipetido Tyr-Gly debido a una sustitución electrofílica del grupo tirosilo por átomos de cloro del péptido en el grupo amino o anillo tirosilo en el proceso de cloración.

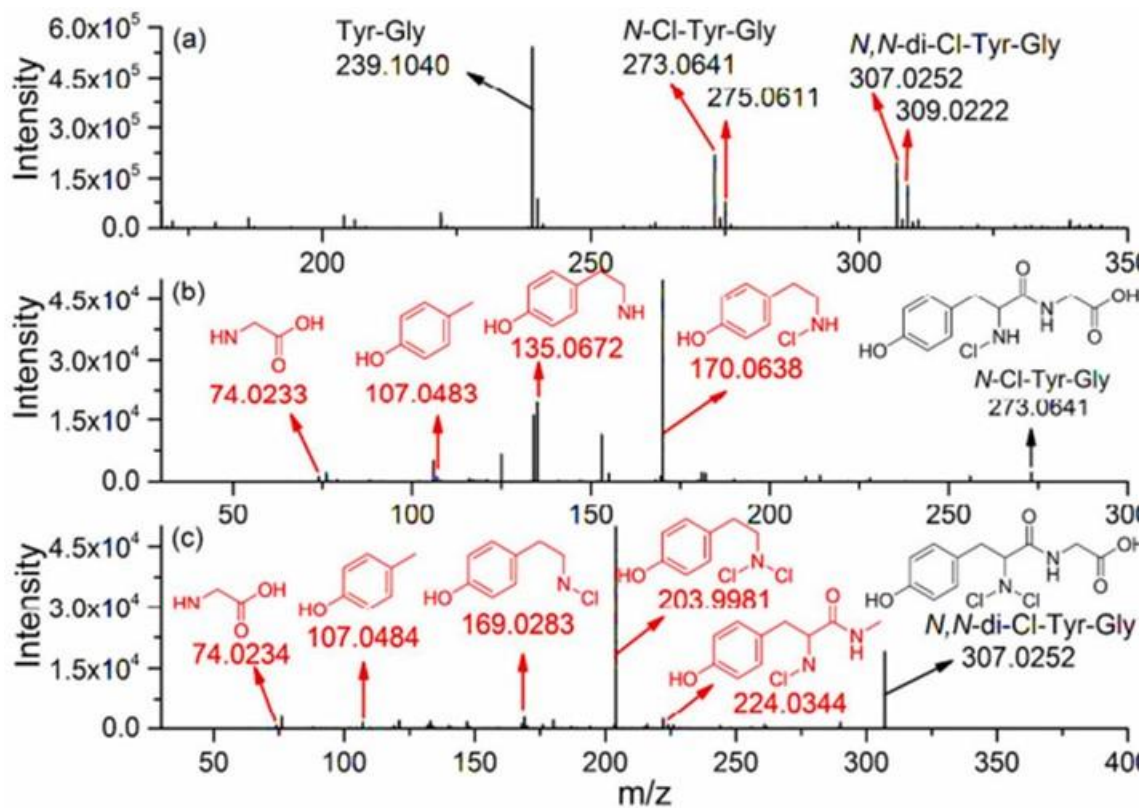


Figura 4. Identificación de los componentes en la formación de dipéptidos clorinados en agua potable. Fuente: Huang, Jiang, & Li. (2017)

En esta investigación se reportó la presencia de los péptidos de cloro en el siguiente rango:

Tabla 8. Presencia de DBPs di péptidos clorinados en aguas potable. Fuente. Huang, Jiang, & Li. (2017)

Familia	Compuesto	ppm
N-Cl-Phe-Gly	C ₈ H ₉ NCI ⁺	5.4
N,N-di-Cl-Phe-Gly	C ₁₀ H ₁₁ N ₂ O Cl ₂ ⁺	0
	C ₈ H ₈ NCI ₂ ⁺	2.9
	C ₈ H ₉ NCI ⁺	4.6
N-Cl-Tyr-Gly	C ₈ H ₉ NOCl ⁺	0.4

OE2: Analizar las dosis de materiales clorinados de desinfección de aguas

Las investigaciones de Stefán et al. (2019) efectuadas en plantas de potabilización de agua registraron las propiedades físico-químicas del punto de corte de cloración es decir del reactivo y dosis aplicada, como se muestra en la tabla, como se observa los parámetros fisicoquímicos resultan importantes la temperatura presento un amplio rango en un rango de 13.1 a 54.2 °C, , el contenido de carbón orgánico total, la conductividad eléctrica relativamente alta (656 – 1314 uS/cm) así como la concentración de cl y Br⁻ en el agua cruda fue muy amplia. Estas dosis se asociaron la presencia de THM, HAA y HAN presentadas en el agua tratada con valores desde 14,2–143 ug/L, de los cuales los THM favorecidos por el pH observado (pH=7,48–8,1) siendo el cloroformo el componente con mayor abundancia (1.6–120 µg/L) que significo el 40% al 98% del contenido total THM, otro DBP informado fue el bromodiclorometano (1.1–20 µg / L, lo cual representó el 2–25% entre otros (ver tabla 9).

Tabla 9. Condiciones físico-químicas en la potabilización de aguas en 12 plantas de tratamiento de agua potable. Fuente: Stefán, et al 2019

Parámetros Físico-químicos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
pH	8.1	7.5	8.1	7.6	7.5	7.6	7.7	7.9	8	7.6	7.8	7.7
Conductividad (uS/cm)	1168	1137	854	1185	1202	859	733	898	656	1041	1314	1262
Temperatura (oC)	19.8	13.1	54.2	15.3	16.7	45.9	36.4	42.3	47.3	15.9	29.5	17.6
Carbón Orgánico Total (mg/L)	1.9	2.8	4.9	5.5	6.9	6.3	5.8	7.5	3	8.3	11	4.9
Br- (mg/L)	0.19	0.09	0.079	0.24	0.34	0.067	0.079	0.093	0.084	0.12	0.099	0.22
NH4+ (mg/L)	4.5	0.76	2.8	2.3	2.2	2.5	2	2.4	1.6	2.9	2.1	2.1
Reactivo para el punto de ruptura. Clorinación	NaO Cl	Cl2	Cl2	NaO Cl	NaO Cl	Cl2	Cl2	Cl2	Cl2	NaO Cl	NaO Cl	Cl2
Desinfectante	NaO Cl	Cl2	Cl2	NaO Cl	NaO Cl	NaO Cl	Cl2	NaO Cl	Cl2	NaO Cl	NaO Cl	Cl2
Dosis de Clorinación (mg/L)	31		24	23	23	33			18	31	19	16

Rachmadi et al. (2020), señala que se debe aplicar una desinfección adecuada, expresada en término de un valor creditico CT (mg × min/L), usando cloro libre y monoclaramina que se define como el producto de la concentración de desinfectante multiplicada por el tiempo de contacto, contra diversos tipos de virus entéricos en las aguas residuales para la inactivación 4-log10. De acuerdo a este criterio, el investigador demostró que el virus Coxsackie B y el echovirus obtuvieron mayores valores CT debido a que presentaron una menor susceptibilidad para su inactivación a diferencia del adenovirus y un virus similar al norovirus humano como el norovirus murino inactivado con cloro libre, respecto a la monoclaramina, demostró que el adenovirus es menos susceptible que el norovirus murino, el coxsackievirus y el echovirus y que el Ph y temperatura resulta crítico para su acción de inactivación en el agua (ver tabla 10).

Tabla 10. Dosis de Cl₂ y cloramina, propuestas para la desinfección de virus entéricos.
Fuente: Rachmadi et al. (2020)

Tratamiento	Micro-organismo	valor límite superior de cloro libre	Los valores de CT varían de la literatura seleccionada	pH	Temperatura (°C)
Valor CT propuesto para la reducción 4-log10 de virus entéricos con cloro libre	norovirus murino	0.12	0.01 - 0.22	7 - 7.2	5
	adenovirus	0.51	0.02 - 0.29	6 - 8.5	5
	datos 1 del virus coxsackie	14.2	5.41 - 11.5	7.5	5
	datos 1 del virus coxsackie	30.7	14.0 - 22.9	9	5
	datos de echovirus 1	16	1.6 - 17.41	7.5	5

	hepatitis A	2 - 8		6 - 9	5 - 15
<p>Valor CT propuesto para la reducción 4-log10 de virus entéricos con monocloramina. CT se calculó sobre la base de la pendiente del modelo de regresión lineal simple</p>	norovirus murino 1	190	23 -110	7 - 8	15
	norovirus murino 2	444	26 - 230	7 - 8	5
	adenovirus	1563	8 - 1043	6	5
	adenovirus	4078	298 - 2841	7	5
	adenovirus	8124	43 - 4400	8	5
	data 1 Coxsackievirus	800	170 - 540	7 - 8	15
	data 1 Coxsackievirus	3333	140 - 1500	7 - 8	5
	echovirus data 1	2352	170 -1500	7 - 8	5 - 15
	hepatitis A	994- 1988		7 - 8	5 - 15

OE3: Identificar las estrategias tecnológica para mitigar el cloro en la potabilización de aguas

Al-Abri et al (2019) señala que se han desarrollado estrategias para mitigar los efectos de la cloración, una de ellas es inyección en línea de bisulfito de sodio o del metabisulfito de sodio , también se han desarrollado nuevos materiales de membrana y nuevos recubrimientos superficiales con inclusión o injertos de membranas de poliamida, este concepto es crucial considerando el desgaste o degradación de los materiales en la línea de tratamiento de aguas, así se evita la oxidación de membranas , se ha informado sobre la decloración del agua de alimentación, estos sulfitos resultan agentes reductores que reaccionan con el cloro libre antes del paso a la unidad de ósmosis inversa, la disociación y formación de

bisulfito de sodio reacciona con cloro libre en la forma de HOCl y resulta formando H₂SO₄, HCl y sal NaSO₄, la proporción de bisulfito/cloro libre debe ser 3/1, porque es importante el exceso de bisulfito para asegurar que el cloro libre sea el reactivo limitante .

La revisión de investigaciones recientes relacionadas con la mitigación del efecto del cloro en las aguas potabilizadas, señala a la coagulación mejorada la cual está basada en coagulantes a base de metales, componentes polímeros orgánicos y coagulantes híbridos orgánico-inorgánicos, que lograr controlar la generación de DBP en el proceso de desinfección por clorinación, se ha confirmado que coagulantes a base de metales han reducido entre 20% y 60% la formación potencial de DBP en aguas naturales y respecto a los polímeros orgánicos y los híbridos ayudan a mejorar la eliminación de demanda de materia orgánica (DOM) disminuyendo la formación de DBP, a estas estrategias se suman tratamientos integrados de coagulación-oxidación, coagulación-filtración por membrana, coagulación-intercambio iónico y adsorción, finalmente las técnicas avanzadas como la filtración por membranas, adsorción con carbón activado (Wang et al. 2021)

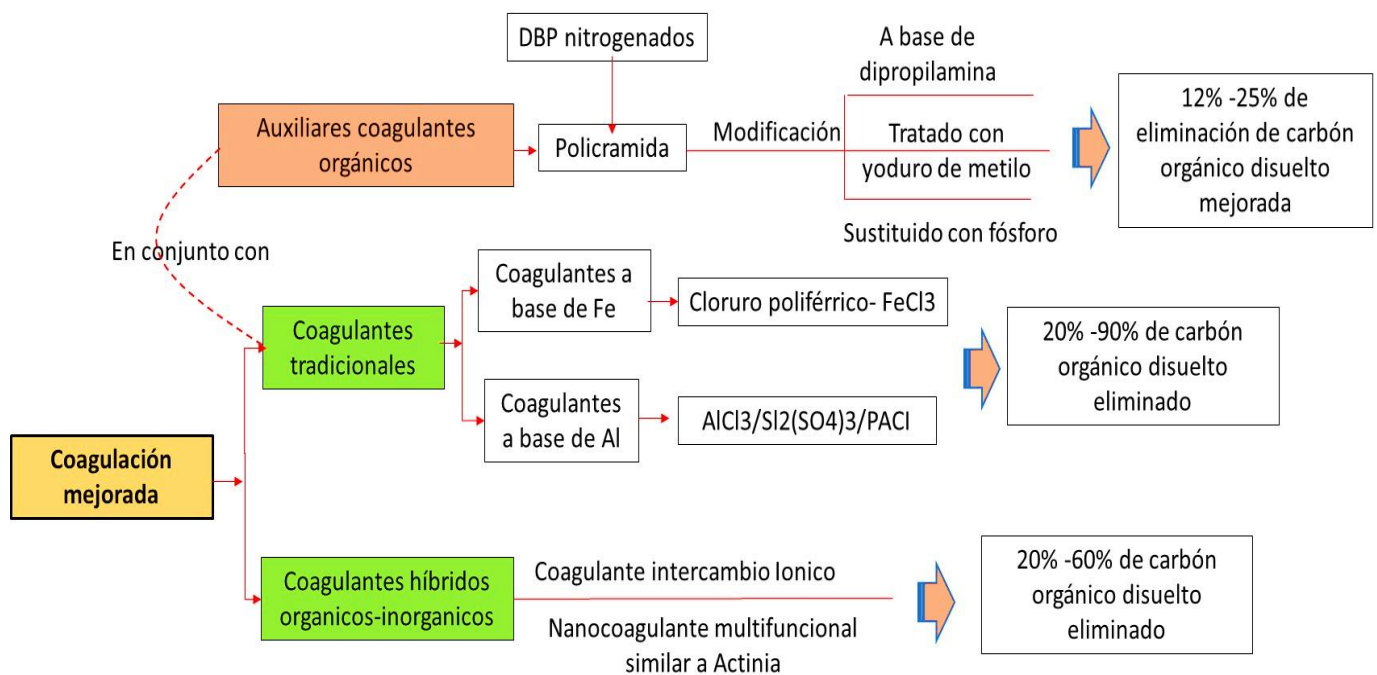


Figura 5. Procesos de coagulación mejorada propuesto para distintos escenarios.
Fuente: Wang et al. (2021)

Yang, et al, (2019b), exploró los iones precursores para evaluar la formación de DBP halogenados polares en aguas desinfectadas y encontró más de 150 DBPs, lo cual señala la necesidad de mantener un monitoreo del material orgánico disuelto para evaluar el desempeño del tratamiento en trenes de agua potable (vera et al. 2017), mientras que Padhi et al. (2019), informo de la presencia de DBPs (THMs, HAAs, ClO₂ y ClO₃) durante el tratamiento de diferentes fuentes de agua con cloro y dióxido de cloro con lo cual se han implementado diversa estrategias para su eliminación (Ma et al. 2018), que incluyen procesos de adsorción de carbón activado (Jiang et al. 2017; Han et al. 2018; Wagner, et al (2017).

La tabla resume investigaciones recientes en la mitigación de los DBPs por causa de la clorinación de aguas para su potabilización.

Tabla 11. Tecnología híbrida usada en la inhibición o mitigación de clorinación en la potabilización de agua

Fuente y características del agua	DBPs	Procesos híbridos	Condiciones del experimento	Resultados clave	Referencias
Soluciones sintéticas que incluyen HA con y sin materia orgánica algógena DOC (mg / L): 3 Alcalinidad (mg CaCO ₃ / L): 100	THMs HAAs	Coagulante: PACI (66% Al13), PACI (29% Al13) pH (Coagulación): 7.1 Dosis: 0-3 mg Al / L Desinfectante: NaClO pH (Cloración): 7.0	<ul style="list-style-type: none"> • Para la muestra de ácido húmico, la reducción del potencial de formación de DBP total por PACI (66% Al13) y PACI (29% Al13) fue del 99% y 97%, respectivamente. • La reducción del potencial de formación de DBP total disminuyó al 92% para ambos coagulantes en presencia de materia orgánica extracelular. • La reducción del potencial de formación de DBP total disminuyó para PACI (66% Al13) y PACI (29% Al13) a 80% 	<ul style="list-style-type: none"> • La materia orgánica de las algas deterioró la eficiencia de la coagulación para la eliminación de NOM. • El PACI con un alto contenido de Al13 mostró una reducción del potencial de formación de DBP superior para las soluciones sintéticas debido a su fuerte capacidad de neutralización de 	Ding et al. (2018)

			y 75%, respectivamente, en presencia de materia orgánica celular.	carga. • PACI que contiene precursores de DBP desestabilizados con Al coloidal mediante adsorción y floculación por barrido.	
Agua sintética Carbono orgánico total (mg / L): 2.9 ± 0.5	THMs Nitrosodimetilamina	Coagulante: Al ₂ (SO ₄) ₃ / Al ₂ (SO ₄) ₃ / Quitosano, Al ₂ (SO ₄) ₃ / poliacrilamida Dosis: 30 mg / L Al ₂ (SO ₄) ₃ , 10 mg / L Al ₂ (SO ₄) ₃ + 5 mg / L de quitosano, 10 mg / L Al ₂ (SO ₄) ₃ + 2 mg / L	• Se logró una reducción del 29% en cloroformo con Al ₂ (SO ₄) ₃ . • La formación de nitrosodimetilamina disminuyó en aproximadamente un 30% después de la coagulación de Al ₂ (SO ₄) ₃ .	• Tanto el quitosano como la poliacrilamida fueron eficaces para reducir la turbidez y la COD en comparación con el Al ₂ (SO ₄) ₃ solo. • Ambos coagulantes promovieron la formación de nitrosodimetilamina, mientras que ninguno afectó la formación de THM.	Li et al. (2017)

		<p>poliacrilamida</p> <p>Desinfectante: NH₂Cl</p> <p>pH (cloraminación): 8.0</p>			
<p>Río Huangpu y un aguas residuales secundarias planta de tratamiento (Porcelana)</p> <p>DOC (mg / L): 5.00–8.47</p> <p>Orgánico disuelto nitrógeno (mg / L): 0.24–1.43</p> <p>UV₂₅₄ (cm⁻¹): 0.097–0.361</p>	<p>THM</p> <p>Haloacetonitrilos</p> <p>Haloacetam-ide</p>	<p>Coagulante: Al₂(SO₄)₃, Al₂(SO₄) + poliacrilamida, Dosis: 10 mg Al / L Al₂(SO₄)₃, 10 mg Al / L Al₂(SO₄) + (0.5–2) mg / L poliacrilamida</p> <p>Desinfectante: NaClO, NH₂Cl</p> <p>pH (Cloro (am) inación): 6.0</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La reducción total de la formación de haloacetamida en un 41,8% -61,4% se observó para la coagulación de Al₂(SO₄)₃. • La poliacrilamida aumentó las concentraciones totales de haloacetamida en un 70% -149% en comparación con la coagulación de Al₂(SO₄)₃. • La coagulación con 10 mg / L de sal de Al₂(SO₄)₃ y 2 mg / L de poliacrilamida aumentó las concentraciones totales de haloacetamida en un 45% -75% en comparación con la coagulación de Al₂(SO₄)₃. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aunque Al₂(SO₄)₃-poliacrilamida fue más eficaz en la eliminación de DOC, la poliacrilamida residual en agua después de la coagulación podría servir como precursor de haloacetamidas y otros DBP. 	<p>Lin et al (2020)</p>

<p>Captaciones naturales</p> <p>DOC (mg / L): 7,6–11,4</p> <p>SUVA (L / mg / m): 4,3–5,6</p>	<p>THMs</p> <p>HAA5</p>	<p>Intercambio de iones / Coagulación</p>	<p>Coagulante: PACI</p> <p>Dosis: 3.3-6.4 mg Al / L (crudo agua), 0.4-1.3 mg Al / L (ion agua tratada por intercambio)</p> <p>pH (coagulación): 5.8</p> <p>Dosis de resina de intercambio iónico: 25 mL / L</p> <p>Desinfectante: NaClO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El tratamiento combinado minimizó el potencial específico de formación de THM y el potencial de formación de HAA a valores que fueron 42% -53% y 32% -42% más bajos que los de la coagulación, respectivamente. 	<p>Finkbeiner et al. (2020)</p>
--	-------------------------	---	---	---	---------------------------------

V. CONCLUSIONES

OE1: Los rangos de concentración de los DBPs es muy complicado para su detección cuando estos se encuentran en trazas, generalmente son los trihalometanos como THM, HAA y HAN los que se monitorean en la calidad de aguas potabilizadas, la presencia de los DBPs orgánicos e inorgánicos, dependen del pH y temperatura de la sección de línea en la planta y especialmente en el almacenamiento, el pH entre 7.48 a 8.1 generalmente facilita la generación THM sobre otros, se ha demostrado que los organismos internacionales ha publicado límites de los DBPs que en oportunidades son superados, otra sustancia importante es el cloroformo en mayores proporciones, sin embargo va a depender de la materia orgánica presente y del tipo o naturaleza para formar los DBPs en el sistema

OE2: Las dosis aplicadas hoy en día de las sustancias clorinadas para la potabilización del agua dependen del punto de corte de cloración que implica la naturaleza del compuesto y de su dosis, por lo que los parámetros fisicoquímicos generan un efecto sobre la formación de los subproductos de la clorinación (DBPs) la temperatura, la conductividad, son algunas variables clave, sin embargo, las investigaciones sobre las dosis de aplicación recalcan el uso del valor creditico CT que implica la aplicación de cloro libre, monocloramina u otra sustancia clorinada para el tratamiento efectivo para la inactivación de los virus entéricos, aunque se usa en aguas residuales también se ha aplicado en la potabilización. Su efectividad sobre estos virus depende de la capacidad viral o resistencia, asimismo, se ha reconocido la necesidad de reducir el efecto potencial de las dosis aplicadas con métodos o técnicas de prevención.

OE3: Una de las estrategias usadas para disminuir los efectos del cloro y disminuir la formación de DBPs es el uso de sales bisulfito de sodio o del metabisulfito de sodio en la línea de tratamiento, además se genera menos degradación por disolución del cloro libre, los sulfitos forman ácidos pero las sales deben estar en mayor proporción para asegurar su reacción total con el cloro, además han surgido otras estrategias como la coagulación híbrida sumada al uso de filtración con

membranas especiales y la aplicación de nanopartículas que a su vez elimina materia orgánica que siempre está disponible en el agua y así limita la formación de los DBPs. Procesos integrados como la coagulación-oxidación, coagulación-filtración por membrana, coagulación-intercambio iónico y adsorción, y el uso de carbón activado resultan ideales para menguar el efecto del cloro residual.

VI. RECOMENDACIONES

Resulta importante avanzar en las técnicas y límites de detección de los DBPs y en los mecanismos de su formación, que incluyen los parámetros fisicoquímicos de operación , el punto de corte y especialmente usar técnicas que no generen cloro libre o equivalentes residuales. Las investigaciones en prevenir la formación de DBPs ha abierto nuevas rutas, como la aplicación de nanopartículas en los procesos integrados, coagulación, filtración, requieren la eliminación de materia orgánica.

VII. REFERENCIAS

- Al-Abri, M., Al-Ghafri, B., Bora, T., Dobretsov, S., Dutta, J., Castelletto, S., ... Boretti, A. (2019). Chlorination disadvantages and alternative routes for biofouling control in reverse osmosis desalination. *Npj Clean Water*, 2(1). doi:10.1038/s41545-018-0024-8
- Al-Hamzaha Ali A., Mohammed Mahmoodur Rahmana , Prasanna Kurupa , Anwar Barnawia , Bader Ghannamb , Ibrahim Musharrafb , Fuad Al Najjarc , Ahmed Obeidallahc , Nicola Palmerd. Use of chlorine dioxide as alternative to chlorination in reverse osmosis product water. *Desalination and Water Treatment*. 163 (2019) 57–66
- Anandkumar, B., George, R. P., Rao, C. J., & Philip, J. (2019). In situ application of alternate potentials with chlorination synergistically enhanced biofouling control of titanium condenser materials. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 144, 104746. doi:10.1016/j.ibiod.2019.104746
- Ao, X., Chen, Z., Li, S., Li, C., Lu, Z., & Sun, W. (2019). The impact of UV treatment on microbial control and DBPs formation in full-scale drinking water systems in northern China. *Journal of Environmental Sciences*. doi:10.1016/j.jes.2019.08.003
- Beauchamp, N., Dorea, C., Bouchard, C., & Rodriguez, M. (2018). Use of differential absorbance to estimate concentrations of chlorinated disinfection by-product in drinking water: Critical review and research needs. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 48(2), 210–241. doi:10.1080/10643389.2018.1443668
- Branz, A., Levine, M., Lehmann, L., Bastable, A., Ali, S. I., Kadir, K., ... Lantagne, D. (2017). Chlorination of drinking water in emergencies: a review of knowledge to develop recommendations for implementation and research needed. *Waterlines*, 36(1), 4–39. doi:10.3362/1756-3488.2017.002
- Cheung, P. C. W. (2017). A Historical Review of the Benefits and Hypothetical Risks of Disinfecting Drinking Water by Chlorination. *Journal of Environment and Ecology*, 8(1), 73. doi:10.5296/jee.v8i1.11338

- Del Olmo G., Arslan Ahmad, Henriette Jensen, Esther Karunakaran , Esther Rosales, Carolina Calero Preciado, Paul Gaskin and Isabel Douterelo. 2020. Influence of phosphate dosing on biofilms development on lead in chlorinated drinking water bioreactors. *Biofilms and microbiomas*, 6:43
- Diana, M., Felipe-Sotelo, M., & Bond, T. (2019). Disinfection byproducts potentially responsible for the association between chlorinated drinking water and bladder cancer: A review. *Water Research*, 162, 492–504. doi:10.1016/j.watres.2019.07.014
- Ding S, Chu W, Bond T, Cao Z, Xu B, Gao N. Contribution of amide-based coagulant polyacrylamide as precursors of haloacetamides and other disinfection by-products. *Chem. Eng. J.* 2018;350:356–63.
- Dong, H., Qiang, Z., Richardson, S.D., 2019. Formation of iodinated disinfection byproducts (I-DBPs) in drinking water: emerging concerns and current issues. *Accounts Chem. Res.* 52 (4), 896–905.
- Du, Y., Lv, X.-T., Wu, Q.-Y., Zhang, D.-Y., Zhou, Y.-T., Peng, L., & Hu, H.-Y. (2017). Formation and control of disinfection byproducts and toxicity during reclaimed water chlorination: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 58, 51–63. doi:10.1016/j.jes.2017.01.013
- Finkbeiner P, Moore G, Pereira R, Jefferson B, Jarvis P. The combined influence of hydrophobicity, charge and molecular weight on natural organic matter removal by ion exchange and coagulation. *Chemosphere* 2020;238:124633.
- Goyal, R. V., & Patel, H. M. (2016). Optimal location and scheduling of booster chlorination stations for drinking water distribution system. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 5(1), 51–60. doi:10.1080/23249676.2015.1128367
- Han, J., Zhang, X., 2018. Evaluating the comparative toxicity of DBP mixtures from different disinfection scenarios: a new approach by combining freeze-drying or rotoevaporation with a marine polychaete bioassay. *Environ. Sci. Technol.* 52, 10552e10561. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02054>

- Huang, G., Jiang, P., & Li, X.-F. (2017). Mass Spectrometry Identification of N-Chlorinated Dipeptides in Drinking Water. *Analytical Chemistry*, 89(7), 4204–4209. doi:10.1021/acs.analchem.7b00228
- Jiang, J., Han, J., & Zhang, X. (2020). Nonhalogenated Aromatic DBPs in Drinking Water Chlorination: A Gap Between NOM and Halogenated Aromatic DBPs. *Environmental Science & Technology*. doi:10.1021/acs.est.9b06403
- Jiang, J., Zhang, X., Zhu, X., Li, Y., 2017. Removal of intermediate aromatic halogenated DBPs by activated carbon adsorption: a new approach to controlling halogenated DBPs in chlorinated drinking water. *Environ. Sci. Technol.* 51, 3435e3444. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06161>.
- Khan, M. R., Azam, M., & Moid Alammari, A. (2021). Ultra-performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry for the trace-level identification of perchlorate in filtered drinking water treated with ozonation and chlorination disinfection processes. *Journal of King Saud University - Science*, 33(1), 101267. doi:10.1016/j.jksus.2020.101267
- Khan, R., Hashmi, I., Nasir, H., Rasheed, S., & Campos, L. C. (2018). Incidence of chlorination by-products in an institutional drinking water distribution network, Islamabad, Pakistan, using response surface methodology. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*. doi:10.2166/washdev.2018.047
- Kosaka, K., Naka, T., Hishida, Y., Asami, M., Ohkubo, K., Akiba, M., 2017. Formation of 2,6-dichloro-1,4-benzoquinone from aromatic compounds after chlorination. *Water Res.* 110, 48e55. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.12.005>.
- Li Z, Chen T, Cui F, Xie Y, Xu W. Impact of chitosan and polyacrylamide on formation of carbonaceous and nitrogenous disinfection by-products. *Chemosphere* 2017;178:26–33.
- Lin JL, Ika AR. Minimization of halogenated DBP precursors by enhanced PACl coagulation: the impact of organic molecule fraction changes on DBP precursors destabilization with Al hydrates. *Sci. Total Environ.* 2020;703:134936.
- Ma, C., Xu, H., Zhang, L., Pei, H., Jin, Y., 2018. Use of fluorescence excitation-emission matrices coupled with parallel factor analysis to monitor C- and N-DBPs formation in drinking water recovered from cyanobacteria-laden

- sludge dewatering. *Sci. Total Environ.* 640e641, 609e618.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.369>
- Marsá, A., Cortes, C., Hernández, A., Marcos, R., 2018. Hazard assessment of three haloacetic acids, as byproducts of water disinfection, in human urothelial cells. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 347, 70e78.
<https://doi.org/10.1016/j.taap.2018.04.004>
- Mazhar, M. A., Khan, N. A., Ahmed, S., Khan, A. H., Hussain, A., Rahisuddin, ... Vambol, V. (2020). Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water – A review. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123159. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123159
- Mian, H.R., Hu, G., Hewage, K., Rodriguez, M.J., Sadiq, R., 2018. Prioritization of unregulated disinfection by-products in JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES 87 (2020) 398 – 410 409 drinking water distribution systems for human health risk mitigation: a critical review. *Water Res.* 147, 112–131
- Montoya-Pachongo, C., Douterelo, I., Noakes, C., Alonso CamargoValero, M., Sleigh, A., Escobar-Rivera, J., Torres-Lozada, P., 2018. Field assessment of bacterial communities and total trihalomethanes: implications for drinking water networks. *Sci. Total Environ.* 616, 345–354
- Padhi, R.K., Subramanian, S., Satpathy, K.K., 2019. Formation, distribution, and speciation of DBPs (THMs, HAAs, ClO₂, and ClO₃) during treatment of different source water with chlorine and chlorine dioxide. *Chemosphere* 218, 540e550.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.100>
- Rachmadi, A. T., Kitajima, M., Kato, T., Kato, H., Okabe, S., & Sano, D. (2020). Required chlorination doses to fulfill the credit value for disinfection of enteric viruses in water: A critical review. *Environmental Science & Technology*. doi:10.1021/acs.est.9b01685
- Stefán, D., Erdélyi, N., Izsák, B., Záray, G., & Vargha, M. (2019). Formation of chlorination by-products in drinking water treatment plants using breakpoint chlorination. *Microchemical Journal*, 104008. doi:10.1016/j.microc.2019.104008
- Vera, M., Cruz, S., Boleda, M.R., Mesa, J., Martín-Alonso, J., Casas, S., Gibert, O., Cortina, J.L., 2017. Fluorescence spectroscopy and parallel factor analysis as a

- dissolved organic monitoring tool to assess treatment performance in drinking water trains. *Sci. Total Environ.* 584 (585), 1212e1220. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.184>
- Wagner, E.D., Plewa, M.J., 2017. CHO cell cytotoxicity and genotoxicity analyses of disinfection by-products: an updated review. *JES (J. Environ. Sci.)* 58, 64e76. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.04.021>.
- Wang, P., Ding, S., Xiao, R., An, G., Fang, C., & Chu, W. (2021). Enhanced coagulation for mitigation of disinfection by-product precursors: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 296, 102518. doi:10.1016/j.cis.2021.102518
- Weien Jing, Kejia Zhang, Jingguo Zhao, Xiaoyan Ma. 2018. Impact of UV disinfection combined with chlorination on bacterial community structure and the formation of trihalomethanes in drinking water . DOI: 10.5004/dwt.2018.22033
- Yang, M., Zhang, X., Liang, Q., Yang, B., 2019b. Application of (LC)/MS/MS precursor ion scan for evaluating the occurrence, formation and control of polar halogenated DBPs in disinfected waters: a review. *Water Res.* 158, 322e337. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.04.033>
- Ye, Z., Liu, W., Sun, W., Nie, X., Ao, X., 2018. Role of ammonia on haloacetonitriles and halonitromethanes formation during ultraviolet irradiation followed by chlorination/ chloramination. *Chem. Eng. J.* 337, 275–281.
- Zhang, T., Dong, F., Luo, F., & Li, C. (2018). Degradation of sulfonamides and formation of trihalomethanes by chlorination after pre-oxidation with Fe(VI). *Journal of Environmental Sciences*. doi:10.1016/j.jes.2018.01.016
- Zhang, T., He, G., Dong, F., Zhang, Q., & Huang, Y. (2019). Chlorination of enoxacin (ENO) in the drinking water distribution system: Degradation, byproducts, and toxicity. *Science of The Total Environment*, 676, 31–39. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.04.275
- Zhang, X., Chen, Z., Shen, J., Zhao, S., Kang, J., Chu, W., ... Wang, B. (2020). Formation and interdependence of disinfection byproducts during chlorination of natural organic matter in a conventional drinking water treatment plant. *Chemosphere*, 242, 125227. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.125227



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, PILLACA GOMEZ MAIRA PAMELA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Tratamiento de Agua Potable por Cloración. Revisión Sistemática 2021.", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
PILLACA GOMEZ MAIRA PAMELA DNI: 47296096 ORCID 0000-0002-3714-437X	Firmado digitalmente por: MAPILLACAG el 01-12- 2021 09:40:12

Código documento Trilce: INV - 0434466