



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos (ERIS)

**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE LA
CALIDAD DE AGUA A TRAVÉS DEL POTENCIAL DE ÓXIDO REDUCCIÓN,
EN UNA PLANTA POTABILIZADORA**

Marvin Eduardo Mérida Cano

Asesorado por el Dr. Ing. Félix Douglas Aguilar Carrera

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA
A TRAVÉS DEL POTENCIAL DE ÓXIDO REDUCCIÓN, EN UNA PLANTA
POTABILIZADORA**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

MARVIN EDUARDO MÉRIDA CANO

ASESORADO POR

Dr. ING. FÉLIX DOUGLAS AGUILAR CARRERA

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE
**MAESTRIA (MAGISTER SCIENTIFICA) EN CIENCIAS DE INGENIERÍA
SANITARIA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

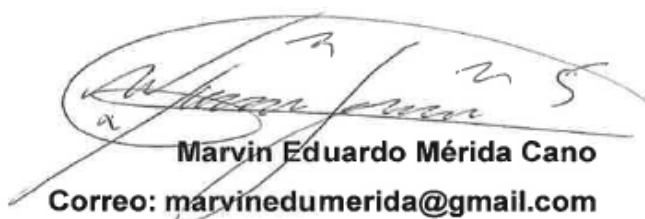
EXAMINADOR(A)	MSc. Ing. Zenon Much Santos
EXAMINADOR(A)	MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR(A)	Dr. Ing. Félix Douglas Aguilar Carrera

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA
A TRAVÉS DEL POTENCIAL DE ÓXIDO REDUCCIÓN, EN UNA PLANTA
POTABILIZADORA**

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 11 de febrero de 2018.



Marvin Eduardo Mérida Cano
Correo: marvinedumerida@gmail.com
Carné No. 2007 22377



Guatemala de 04 octubre de 2018

M.Sc Ing. Adán Ernesto Pocasangre
Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)
Facultad de ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento titulado:

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA A TRAVÉS DEL POTENCIAL DE ÓXIDO REDUCCIÓN, EN UNA PLANTA POTABILIZADORA

Elaborado por el ingeniero Marvin Eduardo Mérida Cano, como parte de su Estudio Especial, y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y revisión de lingüística, por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente me suscribo de usted.

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dr. Ing. Félix Douglas Aguilar Carrera
Asesor del estudio



Guatemala, de 05 octubre de 2018

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS):

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de coordinador de la Maestría en Ciencias en nombre de la maestría, el informe final del Estudio Especial titulado:

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA A TRAVÉS DEL POTENCIAL DE ÓXIDO REDUCCIÓN, EN UNA PLANTA POTABILIZADORA

Presentado por el estudiante:

Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio.

Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria



Guatemala, 08 de octubre de 2018

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: M.Sc. Ing. Pedro Saravia, M.Sc. Ing. Zenon Much y, Dr. Ing. Félix Aguilar, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; M.Sc Ing. Adan Pocasangre y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Ruth Nohemí Cardona Mazariegos, Colegiada No. 12 498 , al trabajo del estudiante Ing. Marvin Eduardo Mérida Cano, titulado: **PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA A TRAVÉS DEL POTENCIAL DE ÓXIDO REDUCCIÓN, EN UNA PLANTA POTABILIZADORA** En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los ocho días del mes de octubre del 2018.

Imprimase

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por resguardarme y guiarme en todo este camino.
- Mis padres** Marco Tulio Mérida Tello (q.e.p.d.) y Estela Josefina Cano Morales, por su amor, sus consejos y el apoyo para alcanzar este triunfo.
- Mis hermanos** Alberto Rolando, Marco Vinicio y Pablo Josué Mérida Cano, por el apoyo, sus consejos y amor para llegar a alcanzar este triunfo.
- Mi abuela** Alejandra Morales, por sus sabios consejos y amor que siempre me ha brindado.
- Mis padrinos** Edwin Enrique Cano Morales y Telma Maricela Cano Morales, por el apoyo, sus consejos, sus enseñanzas y cariño que me brindaron.
- Mis tíos y primos** Con mucho cariño y respeto.
- Mis amigos** Por su cariño y compartir conmigo muchas etapas de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por conducirme por el buen camino y bendiciéndome cada día.
Dr. Félix Aguilar	Por la asesoría brindada, por sus enseñanzas, consejos y su apoyo incondicional para realizar este estudio.
Ing. Daniel W. Kappes	Por su confianza y apoyo incondicional para la realización de este estudio.
Colaboradores	Amigos y personas que me ayudaron en la realización de este estudio.
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS-	Por prepararme como Especialista en el área de la Ingeniería Sanitaria.
Mis revisores	M.Sc. Ing. Zenon Much y M.Sc. Ing. Pedro Saravia, por su dedicación, apoyo, consejos y revisión de este trabajo de investigación.

	2.2.2.1.	Coliformes totales.....	12
	2.2.2.2.	Coliformes fecales.....	12
2.2.3.		Métodos de análisis bacteriológicos.....	13
	2.2.3.1.	Filtración por membrana.....	13
	2.2.3.2.	Método de fermentación de tubos múltiples o número más probable (NMP).....	13
	2.2.3.3.	Método modificado para NMP <i>Colilert</i> <i>Quanti-Tray</i>	14
2.3.		Desinfección con cloro	15
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	17
3.1.		Descripción del sitio de estudio.....	17
3.2.		Descripción de las unidades experimentales	18
3.3.		Investigación experimental.....	19
3.4.		Procedimiento experimental.....	19
	3.4.1.	Pre-muestreo del potencial de óxido-reducción	21
		3.4.1.1. Puntos de monitoreo del potencial de óxido reducción	21
	3.4.2.	Monitoreo y toma de muestras	22
	3.4.3.	Equipos de medición	22
		3.4.3.1. Medidor Oakton 450 mV y sensor de banda de platino para ORP	22
		3.4.3.2. Medidor oakton 450 pH y electrodo de pH de doble unión	23
		3.4.3.3. Medidor de cloro residual <i>HACH</i> <i>TEST KIT</i>	23
		3.4.3.4. Análisis bacteriológico por medio de la técnica de Colilert	23

3.5.	Metodología experimental de análisis bacteriológico	24
3.6.	Análisis estadístico	25
3.7.	Método estadístico	25
3.7.1.	Determinación del número de muestras	26
3.7.2.	Análisis estadístico de las variables experimentales	27
3.7.3.	Análisis de normalidad.....	27
4.	RESULTADOS	29
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	41
5.1.	Efecto que existe entre el potencial de hidrógeno y el potencial óxido reducción	41
5.2.	Relación entre la concentración de cloro residual y el potencial de óxido reducción	48
5.3.	Relación del comportamiento del análisis bacteriológico de coliformes fecales y totales con los valores del potencial de óxido reducción	51
5.4.	Relación entre la turbiedad del agua y el potencial de óxido reducción.....	57
5.5.	Análisis económico de la utilización del potencial de óxido reducción en sustitución de otro método, para determinar la calidad bacteriológica del agua	62
	CONCLUSIONES	65
	RECOMENDACIONES.....	67
	BIBLIOGRAFÍA.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Relación entre la concentración de cloro y los valores de ORP con la variación del pH	10
2.	Ubicación del sitio de estudio	17
3.	Unidades experimentales	18
4.	Diagrama del diseño experimental	20
5.	Correlación del potencial de hidrógeno con el potencial óxido-reducción en el agua antes del proceso de desinfección	42
6.	Correlación del potencial de hidrógeno con el potencial óxido-reducción en el agua después del proceso de desinfección	43
7.	Correlación del potencial de hidrógeno con el potencial óxido-reducción en el agua antes y después del proceso de desinfección	44
8.	Correlación de la concentración de cloro residual con el potencial óxido-reducción en el agua después del proceso de desinfección	49
9.	Correlación de las coliformes fecales con el potencial óxido-reducción en el agua antes del proceso de desinfección	53
10.	Correlación de las coliformes totales con el potencial óxido-reducción en el agua antes del proceso de desinfección	55
11.	Correlación de la turbiedad con el potencial óxido-reducción en el agua antes del proceso de desinfección	58
12.	Correlación de la turbiedad con el potencial óxido-reducción en el agua después del proceso de desinfección	59

TABLAS

I.	Determinación del número de muestras	27
II.	Monitoreo de parámetros antes del proceso de desinfección	29
III.	Monitoreo de parámetros después del proceso de desinfección	30
IV.	Correlaciones de parámetros antes y después del proceso de desinfección	30
V.	Análisis de normalidad para las variables en la etapa antes del proceso de desinfección	31
VI.	Análisis de normalidad para las variables en la etapa después del proceso de desinfección	31
VII.	Análisis estadístico para el potencial óxido reducción antes del proceso de desinfección	32
VIII.	Análisis estadístico para el potencial de hidrógeno antes del proceso de desinfección	33
IX.	Análisis estadístico para la turbiedad antes del proceso de desinfección	34
X.	Análisis estadístico para las coliformes fecales antes del proceso de desinfección	35
XI.	Análisis estadístico para las coliformes totales antes del proceso de desinfección	36
XII.	Análisis estadístico para el potencial de óxido reducción después del proceso de desinfección	37
XIII.	Análisis estadístico para el potencial de hidrógeno después del proceso de desinfección	38
XIV.	Análisis estadístico para la concentración de cloro residual después del proceso de desinfección	39
XV.	Análisis estadístico para la turbiedad después del proceso de desinfección	40

XVI.	Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y el potencial de hidrógeno antes del proceso de desinfección.	46
XVII.	Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y el potencial de hidrógeno después del proceso de desinfección	47
XVIII.	Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y la concentración de cloro residual después del proceso de desinfección.....	51
XIX.	Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y las coliformes fecales antes del proceso de desinfección.....	56
XX.	Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y las coliformes totales antes del proceso de desinfección	57
XXI.	Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y la turbiedad antes del proceso de desinfección	60
XXII.	Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y la turbiedad después del proceso de desinfección.	61
XXIII.	Análisis de costos de los métodos para determinar calidad bacteriológica del agua	63

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ORP	Potencial de óxido reducción
POR	Potencial de óxido reducción
pH	Potencial de hidrógeno
mV	Milivoltios
°C	Grados centígrados
Mg/L	Miligramo por litro
NMP	Número más probable
Ppm	Partes por millón
UFC	Unidad formadora de colonias
Mg/L	Miligramos por litro
DPD	Dietil-p-fenilen-diamina
N	Número de muestra
σ	Desviación estándar
z	Nivel de confianza
e	Error tolerante
NTU	Unidad de turbidez nefelométrica
cm³	Centímetros cúbicos

GLOSARIO

Oxidación	La oxidación ocurre cuando una especie química pierde electrones y al mismo tiempo, aumenta su número de oxidación.
Hidróxido	Los hidróxidos se caracterizan por contener en su estructura grupos (OH) ⁻ como anión
Electrodo	Metal en contacto con un electrolito, sistema físico donde se produce una semireacción redox.
E. Colí	Escherichia Coli: es una bacteria habitual en el intestino del ser humano y de otros animales de sangre caliente.
Salmonella	Género bacteriano perteneciente a la familia Enterobacteriaceae, constituido por bacilos gramnegativos intracelulares anaerobios facultativos con flagelos peritricos.
Cloro libre	Remanente de cloro en el agua después que parte del añadido reacciones en el proceso de desinfección.

Coliformes	Grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común, e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.
Termorresistentes	Organismo que es capaz de resistir temperaturas más o menos elevadas.
Colilert	Prueba que detecta o cuantifica de forma simultánea coliformes y Escherichia Coli.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo desarrollar una metodología que permita el monitoreo de la calidad de agua en una planta potabilizadora de forma inmediata, por lo que se plantea el uso del potencial de óxido reducción (ORP), medida ésta en la salida de una batería de filtros rápidos y en el tanque de almacenamiento posterior a la cloración. Los resultados obtenidos de un total de 20 muestras, fueron sometidos a un análisis estadístico que permitiera establecer la correlación entre el potencial de hidrogeno y el potencial óxido reducción, la concentración de cloro residual y el ORP, el análisis bacteriológico de coliformes totales y fecales respecto al potencial de óxido reducción y la turbiedad versus el ORP.

Existe un efecto entre el potencial de hidrógeno y el óxido reducción, según los resultados obtenidos, dado que cuando los valores del potencial de hidrógeno aumentaron el potencial de óxido reducción presenta una disminución en su valor respecto a los días de muestreo, este efecto se observa tanto en la batería de filtros rápidos como en el tanque de almacenamiento luego del proceso de cloración. La relación del pH versus el ORP en los filtros rápidos genera la correlación siguiente: $ORP = -66.291 * pH + 670.46$, y para el tanque de almacenamiento, la correlación es la siguiente: $ORP = 34.396 * pH + 972.57$.

Existe una relación entre la concentración de cloro residual y el potencial óxido reducción en el tanque de almacenamiento, según los resultados obtenidos, dado que los valores del ORP aumentaron cuando los valores de la concentración de cloro residual aumentaron para el rango de muestreo realizado

en este estudio, generando la ecuación de correlación siguiente [Cloro Residual]
 $= 0.0079 \cdot \text{ORP} - 4.4287$.

Según los resultados, no existe efecto entre el potencial óxido reducción y la presencia de coliformes fecales en la batería de filtros rápidos, ya que para los valores del ORP se obtuvieron valores muy variados y sin ninguna relación con los valores de coliformes fecales, este comportamiento también se observó para los valores de ORP y la presencia de coliformes totales, no existe ninguna correlación estadísticamente significativa en la etapa antes del proceso de desinfección. En los resultados de ORP del tanque de almacenamiento con los coliformes fecales y totales, no se presentó ninguna relación, para los valores obtenidos de ORP no existió presencia de coliformes fecales ni totales, esto confirma que el valor de ORP solo indica la presencia ausencia de contaminación de coliformes fecales, pero no indica una relación de cantidad

Para el caso específico de la planta de potabilización utilizada en el presente estudio, se obtuvo que el rango en el cual no se encuentra presencia de coliformes totales y fecales es de 748 a 785 mV, coincidiendo esto con lo recomendado por la OMS (1972), quien indica que si el valor de ORP está por encima de 650 mV no existe presencia de contaminación por bacterias.

En la comparación económica, el costo del monitoreo de calidad con el ORP es 3.5 veces menor que el monitoreo de control de calidad con el análisis bacteriológico realizado en un laboratorio para agua potable, a lo que se le adiciona que con un sistema en línea, el monitoreo se puede realizar en tiempo real y si existe una variabilidad en los parámetros, se puede realizar un ajuste inmediato y no esperar un tiempo de respuesta de días para corregirlos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala, las fuentes de aguas superficiales y aguas subterráneas que se utilizan para el abastecimiento de agua para consumo humano están presentando problemas por causa de la contaminación, una mala gestión de los entes generadores, por lo que día a día, las comunidades y poblaciones están recibiendo el vital líquido que no cumple con las normas de calidad establecidas.

Los entes generadores y distribuidores de agua potable y su mala gestión son los responsables de que las personas estén recibiendo agua para consumo humano contaminada, esto se debe al mal control y monitoreo en sus procesos de desinfección, ya que no están realizando los procesos de control y tiempo adecuado de contacto, o mal cálculo de dosis óptimas del desinfectante. Las fuentes superficiales y subterráneas donde se obtienen el vital líquido para abastecer a las comunidades día a día sufren mayor contaminación, por la mala gestión de descargas de las aguas residuales, por lo que genera una mayor y variable contaminación y la falta de control en los procesos de desinfección es la causa de la distribución de agua potable que no cumpla con la normativa nacional.

El proceso de desinfección es uno de los más importantes para un tratamiento de agua potable, uno de los parámetros que se ha utilizado para el control y monitoreo es el parámetro del cloro residual y el tiempo de contacto. En plantas de tratamiento de agua usualmente se tienen laboratorio para realizar análisis bacteriológicos, pero este análisis conlleva alrededor de dos a tres días, según las metodologías convencionales para obtener sus resultados. En los entes distribuidores que no cuentan con un laboratorio interno, deben de realizar

sus monitoreos en laboratorio externos, por lo que el tiempo de respuesta es mayor de dos días y el costo por análisis es muy elevado.

El costo de los análisis bacteriológicos de coliformes fecales y totales con la metodología que más comúnmente se utiliza es por medio de membranas de filtración, este es uno de los métodos certificados más confiables que realizan los laboratorios para el control de calidad del agua para consumo humano, este análisis su costo es muy elevado y necesita de varios equipos de alto costo para realizarlo, por lo que el monitoreo constante en las plantas de tratamiento de agua y sistemas de distribución de agua potable suelen ser escasas, y por esa razón no se tiene la confiabilidad de la calidad de agua que se está distribuyendo.

Uno de los problemas más grandes que se enfrentan día a día los distribuidores de agua para consumo humano es que el tiempo de retención en los tanques de almacenamiento son de horas, por lo que al realizar un monitoreo de la calidad de agua solo podrán realizarlas con parámetros de lectura instantánea para realizar ajustes en las dosificadores del agente desinfectante, por lo que al consultar una prueba de laboratorio bacteriológica no se llegaría a tomar ajustes en el proceso de desinfección.

Un proceso de control de monitoreo instantáneo o en línea nos resolverá parte de la problemática del monitoreo en el proceso de desinfección en las plantas de tratamiento o en los sistemas de distribución de agua potable, lo cual no necesitará un proceso de análisis de laboratorio en el cual el tiempo de respuesta no ayuda a la toma de decisiones para obtener la calidad de agua para el consumo humano, según la normativa guatemalteca.

Pregunta de investigación

¿Cuál es el uso que puede darse al potencial de óxido reducción en los procesos de control y monitoreo en una planta de potabilización?

JUSTIFICACION

El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible). La mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. Debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la inocuidad del agua de consumo sea la mayor posible. El agua de consumo inocua (agua potable), según se define en las Guías de la OMS, no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida. (OMS, 2006)

En Guatemala, no todas las poblaciones cuentan con un suministro satisfactorio de agua, ya que no todos cuentan con un sistema de distribución de agua potable, y las comunidades que son beneficiadas con un sistema de distribución de agua no cumple como un suministro satisfactorio (inocuo), esto se debe a la falta de conocimiento para los procesos de tratamiento, fuentes contaminadas con aguas residuales o costos elevados de un control de la calidad de agua.

La seguridad del agua se mejora mediante la implantación de barreras múltiples, como la protección de los recursos hídricos, la selección y aplicación correctas de una serie de operaciones de tratamiento, y la gestión de los sistemas de distribución (por tuberías o de otro tipo) para mantener y proteger la calidad del agua tratada. La estrategia preferida es un sistema de gestión que hace hincapié en la prevención o reducción de la entrada de patógenos a los recursos

hídricos y que reduce la dependencia en las operaciones de tratamiento para la eliminación de patógenos. (OMS, 2006).

Las posibles consecuencias para la salud de la contaminación microbiana son tales que su control debe ser siempre un objetivo de importancia primordial y nunca debe comprometerse. (OMS, 2006).

El control microbiano en los sistemas de distribución en nuestro país sin duda no es un objetivo de importancia, muchas empresas o entes gubernativos no realizan el proceso de control de calidad en las aguas de distribución, las razones que se pueden mencionar es el costo elevado para el monitoreo de la calidad de agua (control microbiano), falta de laboratorio para el monitoreo de la calidad de agua o un mal control en la dosificación del agente desinfectante en el proceso de desinfección en el agua potable.

La propuesta de la metodología para el monitoreo de la calidad de agua a través del potencial óxido reducción viene a combatir todas las adversidades que se dan en un mal control microbiano ya que el ORP es un indicativo fiable de la calidad bacteriología del agua, es económico, y nos da resultados inmediatos para realizar cualquier cambio en el proceso de desinfección.

Las mediciones ORP se están utilizando cada vez más como una medida efectiva de la actividad de saneamiento en el agua potable, piscinas y balnearios. El tiempo de eliminación de la bacteria E.Coli en el agua depende del valor del potencial redox. El ORP es un indicador fiable de la calidad bacteriológica del agua. El agua que tenga un valor ORP igual o mayor a 650 mV está dentro de los parámetros para aguas de piscinas y balnearios.

Para desinfectar el agua con eficacia es necesario encontrar la proporción adecuada entre los niveles del pH y del cloro libre. Se logrará lo anterior al medir el potencial reductor oxidante del agua. Hoy día, con tecnología avanzada pero asequible, la evaluación de la calidad del agua ha avanzado de medir el pH y el cloro libre a medidas que incluyen el potencial de reducción de oxidación (ORP). El ORP no tiene directa relación a la concentración en ppm de desinfectante ya que mide la actividad de oxidación en el agua y no la concentración de oxidante (Cloro, Ozono, y otros desinfectantes oxidativos).

El beneficio más grande que se tendrá con esta metodología para el control microbiano es conocer la variabilidad de la contaminación de las fuentes de suministros de agua, obtener un control eficaz y confiable en el proceso de desinfección de agua, sabiendo que el potencial de óxido reducción mide la actividad de oxidación en el agua en la cual se conocerá la presencia o no de agentes microbianos.

Es un método más económico para los entes que distribuyen agua potable, y es un factor en línea que puede controlar la calidad microbiológica para cumplir con la normativa, lo cual no es necesario realizar un estudio de análisis microbiológicos en un laboratorio lo que disminuiría los gastos a largo plazo en los procesos de tratamiento y desinfección de agua potable.

OBJETIVOS

General

Determinar la viabilidad del uso del potencial de óxido reducción para determinar la calidad bacteriológica del agua en una planta de potabilizadora.

Específicos

1. Determinar el efecto que existe entre el potencial de hidrógeno y el potencial óxido reducción en el agua de una planta de tratamiento de agua potable en su etapa antes y después de la desinfección.
2. Establecer la relación entre la concentración de cloro residual y el potencial de óxido reducción en el agua de una planta de tratamiento de agua potable en su etapa antes y después de la desinfección.
3. Establecer el comportamiento del análisis bacteriológico de coliformes fecales y totales con los valores del potencial de óxido reducción en el agua de una planta de tratamiento de agua potable en su etapa antes y después de la desinfección.
4. Establecer la relación entre la turbiedad y el potencial de óxido reducción en el agua de una planta de tratamiento de agua potable en su etapa antes y después de la desinfección.

5. Desarrollar el análisis económico de la utilización del potencial de óxido reducción en sustitución de otro método, para determinar la calidad bacteriológica del agua.

HIPÓTESIS

Es posible la utilización del potencial de óxido reducción para monitorear la calidad bacteriológica del agua, en una planta potabilizadora.

ALCANCES Y LIMITACIONES

El siguiente estudio se realizó en agua proveniente de un sistema de tratamiento fisicoquímico en la etapa antes y después del proceso de desinfección. Las etapas que se evaluaron para cumplir el análisis del antes y después de la desinfección, se llevó a cabo luego del proceso de filtración en los tanques de captación de cada uno de los filtros y en el canal de recolección del agua proveniente de los filtros. Otro de los puntos que se analizó fue en el tanque de distribución en el proceso de desinfección.

Las condiciones de estas dos etapas cumplían con las características de la investigación, ya que se deseaba conocer el comportamiento de las variables en el antes y después del proceso de desinfección, en una planta de potabilización de agua.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala, no todas las poblaciones cuentan con un suministro satisfactorio de agua, ya que no todos cuentan con un sistema de distribución de agua potable, y las comunidades que son beneficiadas con un sistema de distribución de agua no cumple como un suministro satisfactorio (inocuo), esto se debe en la mayoría de las veces a la falta de conocimiento para los procesos de tratamiento, fuentes contaminadas con aguas residuales o costos elevados de un control de la calidad de agua.

El proceso de desinfección es uno de los más importantes para un tratamiento de agua potable, uno de los parámetros que se ha utilizado para el control y monitoreo de este proceso es el parámetro del cloro residual y el tiempo de contacto. En plantas de tratamiento de agua, usualmente se tienen laboratorio para realizar análisis bacteriológicos, pero este análisis conlleva alrededor de dos a tres días, según las metodologías convencionales para obtener sus resultados.

Uno de los problemas más grandes que se enfrentan día a día los distribuidores de agua para consumo humano es que el tiempo de retención en los tanques de almacenamiento son de horas, por lo que al realizar un monitoreo de la calidad de agua solo podrán realizarlas con parámetros de lectura instantánea para realizar ajustes en las dosificadores del agente desinfectante, por lo que al consultar una prueba de laboratorio bacteriológica no se llegaría a tomar ajustes en el proceso de desinfección.

Un proceso de control de monitoreo instantáneo o en línea resolverá parte de la problemática del monitoreo en el proceso de desinfección en las plantas de tratamiento o en los sistemas de distribución de agua potable, lo cual no necesita un proceso de análisis de laboratorio en el cual el tiempo de respuesta no ayuda a la toma de decisiones para obtener la calidad de agua para el consumo humano, según la normativa guatemalteca.

Para realizar un monitoreo de calidad se puede utilizar el parámetro del potencial de óxido reducción que se define como una medida en milivoltios (mV) que mide el nivel de oxidación en el agua. Este puede representar la actividad del desinfectante en el agua en vez del nivel de concentración del mismo.

El potencial de oxidación-reducción ofrece muchas ventajas en las cuales se pueden mencionar el monitoreo y registro en tiempo real o en tiempo exacto del potencial de desinfección del agua, ya que es un parámetro crítico del monitoreo y la calidad del agua. Otra ventaja primordial en la utilización del potencial óxido reducción es el seguimiento de los sistemas de agua para proporcionar al operador una determinación rápida y de un solo valor del potencial de desinfección del agua en el sistema de desinfección.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año de 1971, determinó la medida del potencial de óxido reducción (ORP) como una alternativa confiable para poder determinar y verificar la calidad sanitaria del agua. Valores de ORP que son inferior a los niveles de 650 mV pueden indicar la presencia de altas concentraciones de microorganismos patógenos en el agua.

(OMS, 1972) “La Organización Mundial de la Salud reconoció en sus normas para agua potable que, a un nivel ORP de 650 mV, el agua se desinfecta y la desactivación viral ocurre casi de forma instantánea”.

En la desinfección del agua es muy importante, tanto la concentración de cloro libre y el tiempo de contacto con agua, así como el pH y la temperatura, un buen control de la desinfección exigiría un monitoreo no solo del cloro libre sino del potencial de óxido reducción del medio.

Durante el desarrollo de este estudio, se logró realizar un análisis del potencial de óxido reducción en un proceso de potabilización de agua, para obtener resultados de correlaciones entre los parámetros como el potencial de hidrógeno, la concentración de cloro residual, la presencia de coliformes totales, fecales y la turbiedad, se realizó en las etapas antes y después del proceso de desinfección.

El estudio tuvo como objetivo determinar si un control de calidad microbiológico por medio del potencial de óxido reducción puede sustituir a un sistema de control de calidad por medio de muestreo y análisis del laboratorio. Para esto se logró relación los parámetros del potencial óxido reducción con las coliformes totales y fecales para conocer si había alguna relación directa entre estas dos variables y con ello determinar si es posible llevar un control confiable con un sistema de monitoreo en línea con el ORP. Se realizó un análisis económico en la cual se comparó los costos entre un sistema en línea de control de calidad con el ORP y el control de calidad con el análisis por medio de examen bacteriológico en un laboratorio.

1. ANTECEDENTES

El estudio de Tirado, Gavilanes, María Ernestina (2015), Ambato Ecuador, el cual el título de la investigación es “Red inalámbrica de sensores para el monitoreo de la calidad del agua de la microcuenca del río Quero”. El estudio realizado tuvo como objetivo general Implementar un prototipo de la red inalámbrica de sensores para el monitoreo de la calidad de agua de la microcuenca en el río Quero. El sistema construido está formado por nodos sensores de pH, oxígeno disuelto y potencial de óxido reducción estos muestrean la información y la transmiten inalámbricamente a través de módulos XBee hacia una PC donde se visualiza la información recibida para su posterior análisis.

Los resultados que se obtuvieron en la investigación del potencial de óxido reducción en el punto 1 están en el rango de 300-400 mV y en el punto 2 de 200-400 mV estos valores son producto de una calidad de agua en donde no se ha añadido ningún agente oxidante que permita disminuir los niveles de microorganismos existentes en el agua. Las recomendaciones del estudio van relacionado a la utilización de mejores sistemas de PC, la comparación de la calidad de agua con la norma ambiental de las descargas a efluentes. El estudio está relacionado con la investigación que se desea realizar en conocer los valores y la variabilidad del potencial óxido reducción en un sistema en donde no se tenga presente un agente desinfectante. (Agirrezabalaga, 2004)

El estudio realizado para la Dirección de Biodiversidad del Departamento de Ordenación del Territorio y Medioambiente del Gobierno Vasco, quienes realizaron el estudio denominado: "Estudio Ecológico Integral (agua, sedimento y macrofauna bentónica) del tramo final de la regata de Jaitzubia y de las nuevas zonas Intermareales creadas tras la ejecución del proyecto: "Restauración Ambiental de Marismas de la Vega de Jaitzubia". El cual tuvo como objetivo determinar la situación actual de la regata tras los trabajos de restauración ambiental y los desvíos de aportes contaminantes.

En el estudio se designaron doce estaciones intermareales para sedimentos y la fauna bentónica, seis de ellas a lo largo de la regata y otras seis en los terrenos recuperados. En las estaciones de la regata se tomaron muestras de sedimento para la realización de los análisis de metales pesados, hidrocarburos totales y contenido en carbono orgánico total y nitrógeno total. Las muestras de agua se tomaron en puntos del cauce de la regata situados a la misma altura que las estaciones.

La metodología que utilizaron para realizar las medidas del potencial de óxido-reducción del sedimento fueron "*in situ*" con un electrodo de platino HI-3110S, a diferentes profundidades en el sedimento. Los Resultados obtenidos en la capa más superficial de todos los sedimentos de la zona estudiada está oxidada, con valores del potencial redox que oscilan entre los 220 y los 440 mV de la estación C5. En las estaciones C2 y C4, los valores del potencial redox han sido positivos en todas las profundidades, y en el resto de las estaciones la zona sulfhídrica se desarrolla por debajo del tercer o cuarto centímetro.

Este estudio sirve de referencia para conocer los valores del potencial óxido reducción en zonas oxidadas y zonas reductivas, ya que en las zonas de la regata se encontraron valores positivos, los cuales describen que las zonas tienen propiedades oxidadas. (Aguirre, 2006)

El estudio realizado por Félix, Nestor y Juan, Castaño, el cual tiene como título: "Caracterización fisicoquímica y biológica de la bahía de Cartagena en la zona de Mamonal para la evaluación de pinturas antiincrustantes en condiciones estáticas". El sitio de evaluación se ubica en el muelle de la planta de COTECMAR en Mamonal, en la bahía de Cartagena, a 1,3 millas de la desembocadura del canal de agua dulce del Dique.

Se realizó un completo estudio en la zona de Mamonal (bahía de Cartagena), incluyendo valoraciones de: radiación solar, disponibilidad de la luz, oxígeno disuelto, temperatura, pH, potencial redox, alcalinidad y salinidad, además de la determinación y conteo de los principales grupos de organismos recolectados.

Según los resultados obtenidos el potencial redox está relacionado con la conductividad y la salinidad. Estos factores, al igual que el pH, tienen gran influencia en la corrosividad del medio y en la interacción entre los procesos de corrosión metálica y el establecimiento del biofilm en la superficie del metal. En el estudio se determina la variación del potencial redox con la profundidad y a diferentes horas del día. En las muestras tomadas durante las 8:30 a.m. y 3:40 p.m. se observa que el potencial redox disminuye notoriamente con la profundidad. Durante el mediodía se presenta un valor máximo de 151 mV en la superficie y a las 8:30 a.m. se presenta un valor mínimo de 83 mV a una profundidad de 4,0 m. Según los valores puntuales medidos de potencial redox

durante el muestreo, se infiere que el medio es oxidante; presenta una corrosividad potencial moderada en la región cercana a la superficie.

Según el estudio, se llegó a la conclusión que el desarrollo de organismos incrustantes en ambientes marinos, afectan numerosas estructuras metálicas sumergidas fijas (boyas) o móviles (cascos de embarcaciones), e inducen procesos de corrosión del metal, (Tirado, 2015)

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Potencial óxido reducción (ORP)

2.1.1. Definición del potencial de óxido reducción (ORP)

El potencial de oxidación-reducción, se puede definir como la señal, en mili voltios, cuando se coloca en el agua un electrodo de un metal noble y uno al cual se pueda hacer referencia. Por lo tanto, se puede entender como la fuerza que un electrodo desarrolla de un metal noble sumergido en el agua, respecto un electrodo estándar.

El ORP se mide generalmente con el mismo medidor de pH, únicamente se realiza la sustitución del electrodo para la medición del ORP, En general, los aparatos utilizados como electrodo de platino, otros de oro o plata, y como electrodos de referencia los de calomel o de cloruro de plata. De la misma manera las mediciones del pH, el aparato debe estabilizar en relación de los métodos estándar antes de hacer cualquier determinación. El electrodo de referencia más común es el electrodo de calomel con solución saturada de cloruro de potasio, el cual tiene un potencial constante con referencia al electrodo de hidrogeno de -242 mV a 25°C. El electrodo de medida de ORP más común es ele electrodo de platino. (Romero, 2009, p. 54)

El ORP se relaciona con la medición de la relación entre las actividades de las sustancias oxidadas y las actividades de las sustancias reducidas que pueden existir en una solución de agua. Los electrodos del potencial de óxido reducción pueden detectar el valor neto en la solución y determina así la habilidad para oxidar o reducir sustancias. El ORP de una solución acuosa puede ser sensible cuando existe una variación del pH, ya que la reacción de oxidación-reducción involucra iones hidrógeno o hidróxido. El potencial de óxido reducción puede incrementarse con el aumento de los iones hidrógeno y a disminuir cuando existe un aumento de iones hidróxido. (Romero, 2009, p. 54)

ORP es una medida en mili voltios (mV) que mide el nivel de oxidación en el agua. Este puede representar la actividad del desinfectante en el agua en vez del nivel de concentración del mismo. Existen elementos químicos como el cloro, el bromo, peróxido de hidrógeno, y ozono son todos oxidantes. Estos elementos tienen la particularidad de ser buenos desinfectantes para el agua, ya que sobresale su habilidad de oxidar o capturar electrones de otras sustancias, ya que destruyen las bacterias patógenas, las algas y los materiales orgánicos, que pueden alterar la composición química de estos elementos.

Cuando se habla de la palabra potencial referimos a una habilidad en lugar de una acción. Suele mencionar a la energía potencial como la energía almacenada y lista para ponerse en acción. Dicha energía no está en acción, pero se sabe que existe y que está lista cuando la necesitemos. Cuando hayan reaccionado todos los materiales oxidantes y reductores, se alcanza el equilibrio y suele haber un sobrante, este sobrante es lo que crea el potencial de oxidación o de reducción en una solución.

2.1.2. Beneficios del potencial de óxido reducción

El potencial de oxidación-reducción ofrece muchas ventajas en las cuales se puede mencionar el monitoreo y registro en tiempo real o en tiempo exacto del potencial de desinfección del agua, puede ser un parámetro crítico del monitoreo y la calidad del agua. Otras de las ventajas es la mejora en el diseño y un sistema de grabación en computadora para un control de forma continua. El mantenimiento de registros se convierte en una actividad automatizada, por lo que la evaluación del control del proceso respecto a la calidad del agua en sus productos y por temporadas, por ejemplo, en los sistemas de control de calidad es más fácil la interpretación en las gráficas de los sistemas disponibles, en ella se puede realizar un análisis sencillo y fácil y así se puede encontrar las soluciones. Existen actualmente sondas, las cuales se le han integrado sistemas de alarma audibles, visuales y remotos (como alertas de buscapersonas) para notificar al operador sobre el funcionamiento fuera de rango de los parámetros a controlar.

Los dispositivos de mano son asequibles y son una copia de seguridad esencial para la referencia cruzada de la operación de un sensor de ORP en línea, al igual que los *kits* de prueba relacionados con la dosis más tradicional. Un beneficio principal del uso de ORP para el monitoreo del sistema de agua es que proporciona al operador una evaluación rápida y de un solo valor del potencial de desinfección del agua en un sistema de control de calidad en el agua. Con estos datos, el operador puede evaluar la actividad del desinfectante aplicado en lugar de la dosis aplicada una mayor cantidad para poder cumplir con las condiciones óptimas. (Suslow, 2004, p. 2)

El valor de potencial de óxido-reducción pueden estar entre los valores de 650 a 700 mV en la cual hay un decaimiento libremente y la disminución de bacterias en descomposición, así como bacterias patógenas como E. Coli mueren en pocos segundos. La levadura putrefacta y el tipo más sensible de hongos formadores de esporas también son eliminadas en este nivel después de un tiempo de contacto de unos pocos minutos o menos.

2.1.3. Ventajas del potencial de oxidación-reducción

El potencial de óxido-reducción (ORP) ofrece muchas ventajas, como las principales es el dar el seguimiento y registro periódico del potencial de desinfección en un proceso de purificación, también es un parámetro crítico de la calidad del agua. Hoy en día existen mejoras en el diseño de los sensores y el registro continuo analógico (tira de papel o carta circular) o ingreso de datos por computadora. Los sensores han sido integrados a sistemas de alarma audibles, visuales o remotos para avisar el operador de una operación fuera del rango deseado así corregir en tiempo real la dosis del desinfectante. El ORP es ideal para los sistemas de inyección automática y puede ser combinado con la inyección para el control del pH para optimizar la operación total del sistema.

Una ventaja primordial en la utilización del potencial óxido reducción es dar el seguimiento de los sistemas de agua para proporciona al operador una determinación rápida y de un solo valor del potencial de desinfección del agua en el sistema de desinfección. Los valores del ORP de 650 a 700 mV resultan la eliminación de bacterias de pudriciones y bacteria tales como E. coli y Salmonella en pocos segundos. Las levaduras causantes de pudriciones y el tipo más sensible de hongos que forma esporas también son eliminados a este nivel después de un tiempo de contacto de pocos minutos. (Poso, 2009, p.76)

2.1.4. Criterio de calidad del potencial de óxido reducción

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año de 1971, pudo determinar la medida del potencial de óxido reducción (ORP) como una alternativa confiable para determinar y verificar la calidad sanitaria del agua. Valores de ORP que son inferior a los niveles de 650 mV pueden indicar la presencia de altas concentraciones de microorganismos patógenos en el agua. (Tirado, 2015, p. 25)

La Organización Mundial de la Salud reconoció en sus normas para agua potable que, a un nivel ORP de 650 mV, el agua se desinfecta y la desactivación viral ocurre casi de forma instantánea”. (Acoua Tecnología, p. 1)

Se demostró que un nivel de 650 mV de ORP, la bacteria como E. Coli se destruye al contacto en unos segundos. Ciertos organismos más resistentes, como listeria, salmonela, levaduras y moho pueden necesitar 750 mV o más para destruirlas.

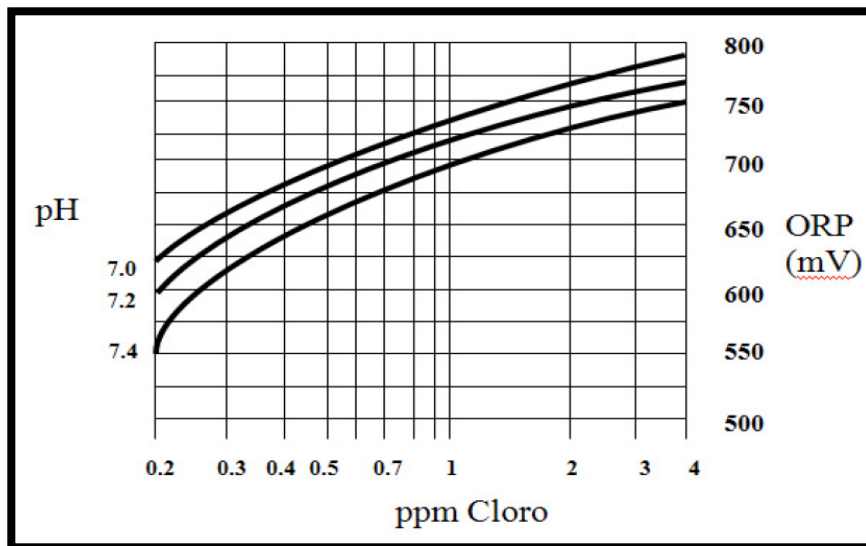
2.1.5. Potencial óxido reducción en el proceso de desinfección

En la desinfección del agua es muy importante, tanto la concentración de cloro libre y el tiempo de contacto con agua, así como el pH y la temperatura, un buen control de la desinfección exigiría una monitorización no del cloro libre sino del potencial de óxido reducción del medio. La Organización Mundial de la Salud adoptó en 1972, un valor de 650 mV como valor adecuado para el agua potable, en general puede considerarse que con este valor mantenido durante 30 minutos el agua esta adecuadamente desinfectada. (Acoua Tecnología, p. 1)

No se ha encontrado una relación directa entre el valor del ORP respecto a la concentración del desinfectante, ya que el potencial óxido reducción mide la actividad de oxidación en el agua y no mide la concentración del desinfectante.

Según la figura que se presenta a continuación, el valor de ORP se incrementa al incrementarse la concentración de cloro; sin embargo, un incremento regular en la concentración de cloro en ppm no origina un incremento lineal del valor del ORP; ya que las sondas de ORP se aproximan a su capacidad de saturación. De igual modo, a una concentración constante de cloro total, los valores de ORP aumentan cuando el pH de la solución es más bajo y disminuye cuando el pH es más alto. (Acoua Tecnología, p. 1)

Figura 1. **Relación entre la concentración de cloro y los valores de ORP con la variación del pH**



Fuente: Acoua Tecnología, p. 1

2.2. Contaminación bacteriológica en el agua

2.2.1. Indicadores de contaminación fecal

El agua tratada o el agua sin tratar, el cual circula por un sistema de distribución no debe contener ningún microorganismo que pueda ser de origen fecal, esto para cumplir las normas de calidad de cada país. Los principales organismos indicadores de contaminación fecal son *Escherichia Coli*, las bacterias termorresistentes y otras bacterias coliformes.

La presencia de microorganismos del grupo coliforme se toma como un indicador biológico de las descargas de materia orgánica. Los coliformes totales no son tomados estrictamente como un indicador de contaminación de origen fecal, ya que estos pueden existir en el ambiente como organismos libres; sin embargo, son buenos indicadores microbianos de la calidad de agua. La bacteria *E. Coli* se puede tomar como la única bacteria que se encuentra estrictamente ligada a las heces fecales de origen humano y de animales, por lo que ha de considerarse como marcador seguro de contaminación reciente y por lo tanto, peligrosa que exige la aplicación de medicación urgente. (Hernández, 2012, p. 17)

2.2.2. Bacterias del grupo coliforme

Las bacterias del grupo coliforme pueden denominarse como habitantes intestinales en el hombre y animales de sangre caliente, también pueden estar presentes en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales.

El grupo coliforme está formado por los siguientes géneros: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*.

2.2.2.1. Coliformes totales

Estas bacterias tienen forma de bacilos, estas bacterias fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 35° C en un período de 24 a 48 horas aproximadamente, las características se investigan por el método de fermentación con tubos múltiples. Los coliformes totales se representan como un indicador biológico importante de la posible presencia de otros microorganismos patógenos, debido a malas prácticas higiénicas, sanitarias o de contaminación de origen ambiental producida por descargas de materiales orgánicos.

Otro método que se utiliza para la investigación de las características de estas bacterias es el de filtración por membranas, el cual se ha usado para la determinación del grupo coliforme total, para su interpretación se observa el crecimiento de colonias típicas color rosado a rojo con brillo metálico dorado en medio Endo C (u otro medio de cultivo reconocido internacionalmente) después de una incubación de 24 horas a 35° C.

2.2.2.2. Coliformes fecales

Son bacterias que pueden encontrarse en el intestino humano y heces de animales, se consideran el principal indicador de contaminación fecal del agua de uso doméstico, industrial y otros. Su presencia en el agua es indicadora de la calidad bacteriológica. Forman parte del grupo coliforme total, y son microorganismos que fermentan la lactosa con producción de gas a 44° C en un período de 24 a 48 horas.

Al grupo coliforme fecal, también se le pueden denominar como termorresistente, estas también están en la clasificación del género *Escherichia* y en menor grado, especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*.

Los coliformes termorresistentes distintos de E. Coli pueden provenir también de aguas orgánicamente enriquecidas. Como los organismos coliformes termorresistentes se detectan con facilidad, pueden desempeñar una importante función secundaria como indicadores de la eficacia de los procesos de tratamiento del agua, para eliminar las bacterias fecales. (Hernández, 2012, p. 18-19)

2.2.3. Métodos de análisis bacteriológicos

2.2.3.1. Filtración por membrana

El método de filtración por membrana es un método de laboratorio práctico que permite analizar grandes volúmenes de muestra obteniéndose resultados comparables con el procedimiento de fermentación de tubos múltiples.

En este método se utilizan filtros de membrana de esteres de celulosa, con poros de aproximadamente 0.45 micrómetros de diámetro, las cuales tienen como objetivo retener las bacterias al filtrar con la ayuda de un sistema al vacío, las membranas son colocadas posteriormente en medios selectivos como: Agar Endo C o agar Chromocult, que contienen los nutrientes necesarios que favorecen el crecimiento de las bacterias que se desean identificar; primero se incuba durante 24 horas a 35° C; el segundo durante el mismo tiempo a 44° C.

2.2.3.2. Método de fermentación de tubos múltiples o número más probable (NMP)

El método de número más probable o de fermentación de tubos es considerado como estándar para la determinación del grupo coliforme, se fundamenta en que los microorganismos del grupo coliforme fermentan la

lactosa, producen ácido y gas; es utilizado para determinar estadísticamente el número más probable de bacterias presentes en una muestra de agua o alimentos. Este método se basa en tablas de probabilidad estadística, las cuales tienen un límite de confianza del 95 por ciento.

El método de fermentación de tubos múltiples consta de tres fases: la presuntiva, confirmatoria y complementaria. La fase presuntiva se realiza a través de la presencia de gas, debido a la fermentación de la lactosa y turbidez en el medio; la fase confirmatoria utiliza el caldo Verde Brillante (BLVB), obteniendo el NMP de coliformes totales por gramo o mililitro de muestra. Los tubos de la fase presuntiva y los de la confirmatoria, deben incubarse durante 24 a 48 horas a 35° C.

La fase complementaria se realiza a partir de los tubos de la fase confirmatoria, establece en definitiva la presencia de coliformes y es un control de calidad de los datos. Esta prueba puede hacerse por la doble confirmación de caldo Bilis Verde Brillante para coliformes totales y caldo EC (para la determinación selectiva de coliformes fecales y E. Coli).

2.2.3.3. Método modificado para NMP *Colilert Quanti-Tray*

El método de Colilert es una tecnología nueva, la cual utiliza sustratos éstos contienen dos nutrientes indicadores, ONPG (Indicador de Coliformes totales) y MUG (Indicador de Coliformes Fecales), estos son las fuentes principales de carbono en Colilert. Cuando los coliformes totales metabolizan el indicador ONPG de nutrientes de Colilert, existe una coloración en la muestra toma un color amarillo. Cuando E. Coli metaboliza el indicador MUG de nutrientes de Colilert, la muestra fluoresce. El método de Colilert puede detectar simultáneamente

estas bacterias a una concentración de 1 UFC/100ml dentro de 24 horas hasta en presencia de 2 millones de bacterias heterotróficas por cada 100 ml. Es considerado un método estándar para examen del agua y de aguas residuales. (Hernández, 2012, p. 20-21)

2.3. Desinfección con cloro

El método de desinfección más aplicado en los sistemas de abastecimiento de agua, es el que emplea cloro y sus compuestos derivados en el tratamiento. La finalidad principal de la cloración es destruir las bacterias por la acción germicida del cloro. También son importantes otros efectos secundarios como la oxidación del hierro, el manganeso y los sulfuros de hidrógeno, así como la destrucción de algunos compuestos que producen olores y sabores.

El cloro es el desinfectante más efectivo para las bacterias y los virus, porque el efecto residual de la desinfección puede y debe durar hasta el grifo del consumidor. La acción desinfectante se produce por su capacidad de traspasar la pared celular del patógeno y atacar su sistema enzimático, provocando la muerte del organismo. Los agentes desinfectantes son el ácido hipocloroso y el ión hipoclorito.

El cloro disminuye el pH del agua a causa de los iones hidrógeno que se producen en las reacciones con el agua. La desinfección es más eficiente con niveles de pH bajos, debido a que favorece la formación de ácido hipocloroso, un agente alrededor de 80 veces más eficaz que el ión hipoclorito. Es necesario añadir la dosis necesaria de cloro para que, a la salida del tratamiento, el agua contenga un mínimo de 0,5 mg/l de cloro libre residual, y se mantenga un mínimo de 0,2 mg/l en todos los puntos de la red de distribución permanentemente.

El cloro que existe en el agua en forma de ácido hipocloroso o de iones hipoclorito se conoce con el nombre de cloro libre disponible, pero no todo el cloro que se agrega al agua da lugar a estas formas. La dosis necesaria en la desinfección del agua es la suma de dos factores, la demanda de cloro y el cloro libre residual exigido.

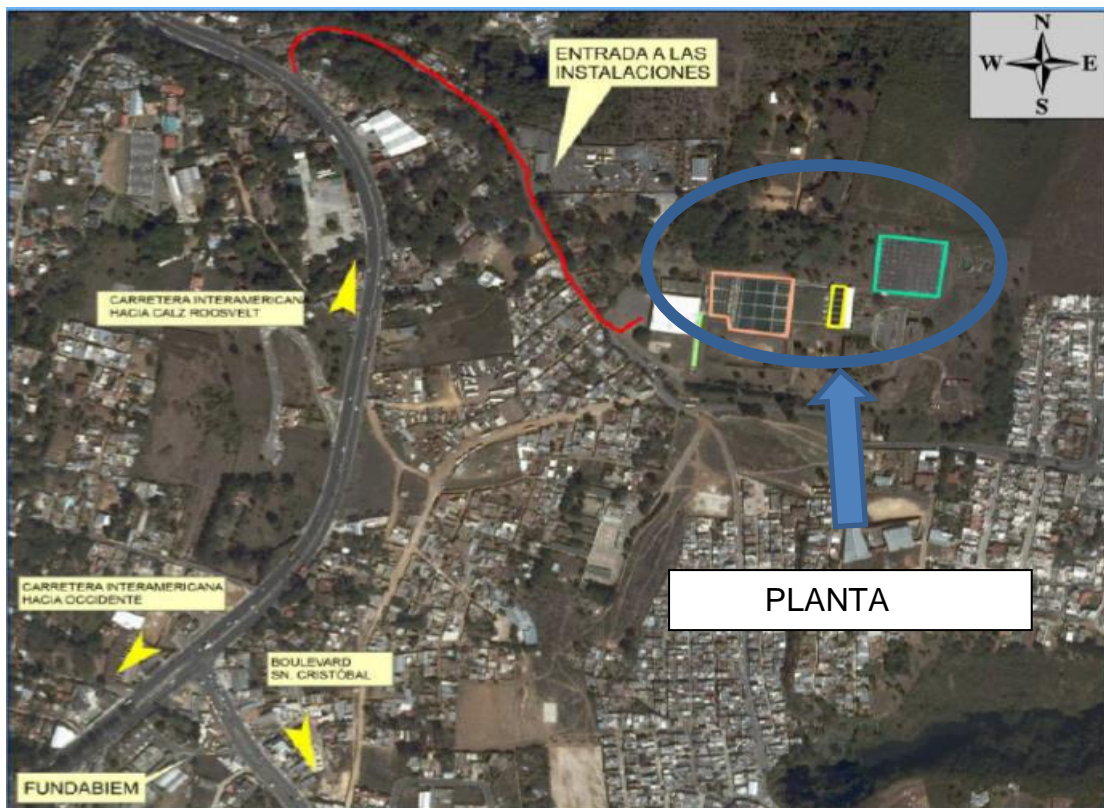
El análisis de desinfectante residual se realizará semanalmente a la salida del depósito, donde se realice la desinfección, y diariamente en distintos puntos de la red de forma rotativa dando prioridad a puntos terminales de red. Si el valor obtenido se encontrase por debajo de 0,2 mg/l, se procederá a tomar muestra por parte del gestor para análisis bacteriológico, donde se determinarán *Escherichia Coli* y bacterias coliformes, y además se contemplará la instalación de un sistema de re cloración. (Poso, 2009, p. 28)

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del sitio de estudio

El área de estudio se ubica en el kilómetro 17.5 de la Carretera Interamericana, Mixco, Guatemala. La planta de tratamiento se encontraba ubicada geográficamente en $14^{\circ}37'18.7''$ N y $90^{\circ}36'01.7''$ O.

Figura 2. Ubicación del sitio de estudio



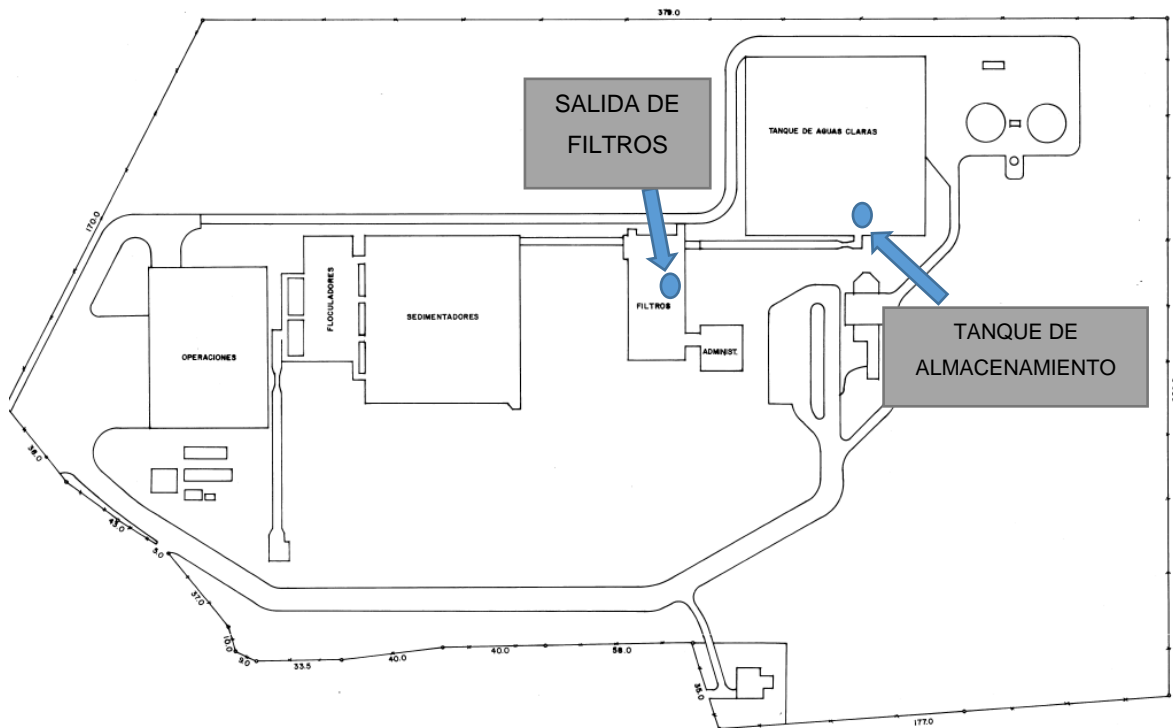
Fuente: Google Earth.

Para el desarrollo del estudio, se realizó los puntos de monitoreo en el área de filtros y en el tanque de almacenamiento.

3.2. Descripción de las unidades experimentales

Las unidades experimentales que se evaluaron para esta investigación es la unidad de filtros y el tanque de almacenamiento o agua clara, se evaluó el antes y el después del proceso de desinfección. En la unidad de filtros, se evaluó la calidad de agua en los diferentes filtros y en el canal de recolección de cada filtro para conocer si existía alguna variabilidad en los parámetros y en la unidad del tanque de almacenamiento.

Figura 3. Unidades experimentales



Fuente: elaboración propia.

3.3. Investigación experimental

La investigación experimental es aquella en la cual un investigador puede manipular algunas condiciones, características o fenómenos de un objeto o sujeto de estudio, la cual se trata de causar algún cambio en las condiciones, es decir, el investigador puede alterar, modificar, cambiar, variar, etc., algo para obtener un resultado diferente a la condición original. Por lo general, se plantea en los términos de la relación que existe entre dos o más variables (independiente y dependiente) y debe poder ser observada y probada en la realidad.

3.4. Procedimiento experimental

En este apartado, se presentó paso a paso los procesos para llegar a cumplir los objetivos propuestos en la investigación.

Figura 4. **Diagrama del diseño experimental**



Fuente: elaboración propia.

3.4.1. Pre-muestreo del potencial de óxido-reducción

Debido a la poca información respecto al ORP en los procesos de potabilización de agua, y a la falta de información sobre las desviaciones y errores de medición, se realizó un pre-muestreo para conocer la variabilidad de la medición en el proceso antes y después de la desinfección, en una planta de tratamiento. Este pre-muestreo tuvo como finalidad conocer la desviación para determinar el tamaño de la muestra para la fase experimental.

3.4.1.1. Puntos de monitoreo del potencial de óxido reducción

Los puntos de monitoreo del potencial de óxido reducción en la planta de tratamiento de agua potable, se realizaron en dos puntos importantes, antes y después de la desinfección, quiere decir a la salida de los filtros y en el tanque de almacenamiento.

Los puntos de monitoreo después de los filtros, se realizó en diferentes puntos, el agua de cada filtro se divide hasta llegar al canal de recolección que se dirige a la cloración, por lo que se compararon los diferentes datos de ORP en cada filtro con los valores del canal de recolección.

Para el punto de monitoreo en el tanque de almacenamiento, se realizó en la única entrada de acceso a ese tanque, tomando en cuenta que en ese punto es donde se realizan los monitoreos por parte de la planta potabilizadora.

3.4.2. Monitoreo y toma de muestras

El proceso de monitoreo se realizó en los puntos al igual que el pre-muestreo, en este caso, para cumplir con los objetivos de la investigación se tomaron los parámetros, además del potencial óxido reducción, el potencial de hidrógeno, el cloro residual y se tomaron muestras para el examen bacteriológico por medio de la técnica presencia ausencia del método de Colilert. El monitoreo se realizó con base a los resultados del pre-muestreo para conocer cuál es según el cálculo estadístico la cantidad de muestras que se tomaron en cada uno de los puntos.

El proceso de monitoreo, se realizó con los medidores de pH, ORP y el equipo para determinar el cloro residual. Los medidores son portátiles, por lo que se calibraron con su respectiva solución patrón y luego se pusieron en contacto los electrodos tanto de pH como ORP con el agua de proceso en los dos diferentes puntos, se estabilizaron la medición y se comprobaron al final de la medición, la confiabilidad de la medición con la solución patrón para conocer la certeza del equipo.

3.4.3. Equipos de medición

3.4.3.1. Medidor oakton 450 mV y sensor de banda de platino para ORP

El medidor oakton 450 estaba diseñado para la medición de parámetros de pH y ORP, según el electrodo que se le adapto. Este medidor tenía un intervalo de medición de ORP de ± 2000 mV, y una resolución de medición de 0.1 mV, y una precisión de toma de medidas de ± 0.2 mV.

El electrodo o sensor de banda es de material de platino marca oakton que estaba diseñado para mediciones de ORP para un medidor 450 pH/mV.

3.4.3.2. Medidor oakton 450 pH y electrodo de pH de doble unión

El medidor oakton 450 estaba diseñado para la medición del potencial de hidrogeno, el cual tuvo un intervalo para pH de medición de – 2.00 a 16.00 pH, con una resolución de medición de 0.01 pH, y una precisión de medición de \pm 0.01 pH. El electrodo para pH es de doble unión y diseñado para lecturas de pH.

3.4.3.3. Medidor de cloro residual *HACH TEST KIT*

Este *kit* de prueba de disco de color utilizaba polvo reactivo DPD que reacciona con cloro más rápidamente que DPD en forma de tableta, dando resultados más precisos. El polvo DPD también tenía una ventaja considerable sobre la ortotolidina, una sustancia peligrosa que a veces se usa como reactivo de prueba de cloro libre y total. Este medidor tiene un rango de medición de cloro residual de 0 – 3.5 mg/l.

3.4.3.4. Análisis bacteriológico por medio de la técnica de Colilert

La tecnología de Colilert utilizó dos nutrientes indicadores, ONPG (Para coliformes totales) y MUG (Coliformes fecales), cuando los coliformes totales metabolizan el indicador ONPG de nutrientes de Colilert, la muestra tomó una coloración amarilla. Cuando E. Coli metaboliza el indicador MUG de nutrientes de Colilert, la muestra fluoresce.

Colilert puede detectar simultáneamente estas bacterias a una concentración de 1 UFC/100ml dentro de 24 horas hasta en presencia de 2 millones de bacterias heterotróficas por cada 100 ml.

3.5. Metodología experimental de análisis bacteriológico

La metodología experimental para realizar el análisis bacteriológico se realizó por medio de la técnica de Colilert, la cual es una técnica que determinó cuantitativamente la presencia ausencia de las coliformes fecales y totales.

El análisis fue diseñado en la mayoría de las veces para el examen bacteriológico para el agua potable, es un análisis confiable y tiene la ventaja de conocer sus resultados en 24 horas. El procedimiento que se utilizó fue el siguiente:

- Se obtuvieron las muestras de los puntos de muestreo antes y después de la desinfección.
- Se colocaron en frascos de 100 ml, ya que el reactivo de Colilert es para detección en ese volumen.
- Se colocó el reactivo Colilert que corresponde a un volumen de 100 ml a la muestra y se agitó hasta disolver todo el reactivo.
- Se conectó el equipo sellador *Quanti-Tray* para su calentamiento para el proceso de sellado de las bandejas.
- Se etiquetó la bandeja, según el punto de muestreo y se le agregó la mezcla del reactivo con la muestra de agua.
- Se colocó la bandeja dentro del portadispositivo de goma del sellador orientando el lado de las celdas del molde de plástico hacia abajo con el dispositivo de goma.
- Se selló la bandeja de plástico con la selladora *Quanti-Tray*.

- Luego se colocó en la incubadora por 24 horas a una temperatura de 35° C.
- Después del tiempo de incubación, se realizó el conteo de las celdas pequeñas y grandes tanto que se tornaron amarillos con las fluorescentes y según la tabla del manual Quanti-Tray para Colilert, se determinaron el número más probable de coliformes totales y fecales en 100 ml.

3.6. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS, el cual es un programa que permite codificar variables y registros de acuerdo a las necesidades del usuario, para el procesamiento automático de los datos y construcción de gráficos. De esta manera, se observa la tendencia de cada parámetro físico y químico de las muestras analizadas, con el fin de representar gráficamente la distribución de cada variable experimental.

3.7. Método estadístico

El método estadístico que se utilizará tiene como objetivo, comprobar la hipótesis general de la investigación. Consiste en el procesamiento para el manejo de datos cuantitativos de la investigación.

3.7.1. Determinación del número de muestras

Para determinar el número de muestras se empleó una estimación estadística que utilizó el análisis de un pre-muestreo en el cual se conoció el valor de la desviación estándar de los parámetros, con los cuales se realizó un análisis de correlación de la desviación estándar la cual brindó el número de muestras necesarias para realizar el estudio de investigación.

Para la determinación del número de muestras que representen un análisis confiable, se utilizó la ecuación de estimación de poblaciones finitas normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, de acuerdo con *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 2002 utilizando la siguiente expresión matemática para su determinación:

$$n = \left[\frac{Z_{\alpha/2} * \sigma}{e} \right]^2$$

Donde:

n: es el número sugerido de muestras

σ : es la desviación estándar

$Z_{\alpha/2}$: es el nivel de confianza, prueba t de student para un nivel de confianza dado

e: error máximo tolerante,

Según el pre-muestreo se presentan a continuación los resultados.

Tabla I. **Determinación del número de muestras**

	Unidad de filtración	Tanque de almacenamiento
Promedio	297.34	787.58
Desviación estándar	3.51	6.29
Grados de libertad	4	4
"Z" 90%	2.776	2.776
e	3	6
No. De datos	5	5
Número de muestras	11	9

Fuente: elaboración propia.

3.7.2. Análisis estadístico de las variables experimentales

El análisis estadístico para el procesamiento de los datos, se realizó con el programa SPSS, se realizó el análisis para cada una de las variables experimentales que fueron parte de este estudio experimental.

El resultado del análisis para las variables en las etapas antes y después de la desinfección, se presenta a continuación.

3.7.3. Análisis de normalidad.

Para cada uno de las variables que se estudian en este estudio, se realizó la prueba de normalidad para las variables experimentales que se utilizaron en el estudio.

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos para alcanzar los objetivos planteados se muestran a continuación, tomando en cuenta el diseño metodológico y el orden de los objetivos de estudio.

Tabla II. **Monitoreo de parámetros antes del proceso de desinfección**

Muestreo	ORP en mV	pH	Cloro residual en mg/L	Turbiedad en NTU	Coliformes fecales NMP/100 cm ³	Coliformes totales NMP/100 cm ³
1	290.2	5.5	0	0.53	6	914
2	290.7	6.0	0	0.40	4	60
3	268.5	6.1	0	1.78	13	33
4	270.5	6.1	0	1.17	56	435
5	298.5	5.8	0	1.46	7	33
6	250.0	6.3	0	0.85	20	1046
7	248.3	6.2	0	2.63	11	1414
8	258.2	6.3	0	1.35	9	488
9	245.8	6.3	0	0.99	72	770
10	244.3	6.4	0	1.12	2	420
11	242.0	6.4	0	0.59	1	154

Fuente: monitoreo en planta de potabilizadora.

Tabla III. **Monitoreo de parámetros después del proceso de desinfección**

Muestreo	ORP en mV	pH	Cloro residual en mg/L	Turbiedad en NTU	Coliformes fecales NMP/100 cm ³	Coliformes totales NMP/100 cm ³
1	785.1	5.6	1.7	1.14	<1	<1
2	762.5	6.2	1.6	0.66	<1	<1
3	758.5	6.0	1.5	0.80	<1	<1
4	761.5	6.2	1.5	0.99	<1	<1
5	755.5	6.2	1.6	0.75	<1	<1
6	754.6	6.4	1.6	0.57	<1	<1
7	762.5	6.5	1.6	1.60	<1	<1
8	742.1	6.4	1.4	1.09	<1	<1
9	748.1	6.4	1.3	0.47	<1	<1

Fuente: monitoreo en planta de potabilizadora.

Tabla IV. **Correlaciones de parámetros antes y después del proceso de desinfección**

Nombre	Etapa	Correlación	R ²
pH vs ORP	Antes de la desinfección	$ORP = -66.291 \text{ pH} + 670.46$	0.773
pH vs ORP	Después de la desinfección	$ORP = -33.396 \text{ pH} + 972.57$	0.6274
ORP vs Cloro residual	Después de la desinfección	$[Cloro residual] = 0.0079 \text{ ORP} - 4.4287$	0.5905

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Análisis de normalidad para las variables en la etapa antes del proceso de desinfección**

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ORP	.208	11	.199	.874	11	.088
pH	.189	11	.200*	.868	11	.074
Turbiedad	.143	11	.200*	.923	11	.341
Fecales	.317	11	.003	.708	11	.001
Totales	.168	11	.200*	.913	11	.266

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

c. CloroResidual es constante. Se ha omitido.

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

Tabla VI. **Análisis de normalidad para las variables en la etapa después del proceso de desinfección**

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ORP	.272	9	.054	.898	9	.243
pH	.262	9	.076	.847	9	.069
CloroResidual	.262	9	.074	.906	9	.286
Turbiedad	.165	9	.200*	.941	9	.591

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

Tabla VII. **Análisis estadístico para el potencial óxido reducción antes del proceso de desinfección**

		Estadístico	Error estándar
ORP	Media	264.2727	6.27457
	95% de intervalo de confianza para la media		
	Límite inferior	250.2921	
	Límite superior	278.2533	
	Media recortada al 5%	263.6086	
	Mediana	258.2000	
	Varianza	433.072	
	Desviación estándar	20.81039	
	Mínimo	242.00	
	Máximo	298.50	
	Rango	56.50	
	Rango intercuartil	44.40	
	Asimetría	.594	.661
	Curtosis	-1.289	1.279

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

Tabla VIII. **Análisis estadístico para el potencial de hidrógeno antes del proceso de desinfección**

		Estadístico	Error estándar	
pH	Media	6.1273	.08322	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5.9418	
		Límite superior	6.3127	
	Media recortada al 5%	6.1470		
	Mediana	6.2000		
	Varianza	.076		
	Desviación estándar	.27601		
	Mínimo	5.50		
	Máximo	6.40		
	Rango	.90		
	Rango intercuartil	.30		
	Asimetría	-1.323	.661	
	Curtosis	1.529	1.279	

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

Tabla IX. **Análisis estadístico para la turbiedad antes del proceso de desinfección**

		Estadístico	Error estándar
Turbiedad	Media	1.1700	.19298
	95% de intervalo de confianza para la media		
	Límite inferior	.7400	
	Límite superior	1.6000	
	Media recortada al 5%	1.1317	
	Mediana	1.1200	
	Varianza	.410	
	Desviación estándar	.64003	
	Mínimo	.40	
	Máximo	2.63	
	Rango	2.23	
	Rango intercuartil	.87	
	Asimetría	1.127	.661
	Curtosis	1.661	1.279

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

Tabla X. **Análisis estadístico para las coliformes fecales antes del proceso de desinfección**

		Estadístico	Error estándar
Fecales	Media	18.3091	7.08009
	95% de intervalo de confianza para la media		
	Límite inferior	2.5337	
	Límite superior	34.0845	
	Media recortada al 5%	16.2879	
	Mediana	9.0000	
	Varianza	551.405	
	Desviación estándar	23.48201	
	Mínimo	1.00	
	Máximo	72.00	
	Rango	71.00	
	Rango intercuartil	15.90	
	Asimetría	1.807	.661
	Curtosis	2.211	1.279

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

Tabla XI. **Análisis estadístico para las coliformes totales antes del proceso de desinfección**

Descriptivos				
			Estadístico	Error estándar
Totales	Media		524.2727	139.20522
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	214.1042	
		Límite superior	834.4413	
	Media recortada al 5%		502.1364	
	Mediana		435.0000	
	Varianza		213159.018	
	Desviación estándar		461.69148	
	Mínimo		33.00	
	Máximo		1414.00	
	Rango		1381.00	
	Rango intercuartil		854.00	
	Asimetría		.659	.661
	Curtosis		-.497	1.279

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

Tabla XII. **Análisis estadístico para el potencial de óxido reducción después del proceso de desinfección**

		Estadístico	Error estándar
ORP	Media	758.9333	3.99340
	95% de intervalo de confianza para la media		
	Límite inferior	749.7245	
	Límite superior	768.1421	
	Media recortada al 5%	758.4148	
	Mediana	758.5000	
	Varianza	143.525	
	Desviación estándar	11.98019	
	Mínimo	742.10	
	Máximo	785.10	
	Rango	43.00	
	Rango intercuartil	11.15	
	Asimetría	1.109	.717
	Curtosis	2.759	1.400

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

Tabla XIII. **Análisis estadístico para el potencial de hidrógeno después del proceso de desinfección**

		Estadístico	Error estándar	
pH	Media	6.2111	.09196	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5.9990	
		Límite superior	6.4232	
	Media recortada al 5 %	6.2290		
	Mediana	6.2000		
	Varianza	.076		
	Desviación estándar	.27588		
	Mínimo	5.60		
	Máximo	6.50		
	Rango	.90		
	Rango intercuartil	.30		
	Asimetría	-1.480	.717	
	Curtosis	2.468	1.400	

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

Tabla XIV. **Análisis estadístico para la concentración de cloro residual después del proceso de desinfección**

		Estadístico	Error estándar	
Cloro Residual	Media	1.5333	.04082	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.4392	
		Límite superior	1.6275	
	Media recortada al 5%	1.5370		
	Mediana	1.6000		
	Varianza	.015		
	Desviación estándar	.12247		
	Mínimo	1.30		
	Máximo	1.70		
	Rango	.40		
	Rango intercuartil	.15		
	Asimetría	-.816	.717	
	Curtosis	.349	1.400	

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

Tabla XV. **Análisis estadístico para la turbiedad después del proceso de desinfección**

		Estadístico	Error estándar
Turbiedad	Media	.8967	.11640
	95% de intervalo de confianza para la media		
	Límite inferior	.6282	
	Límite superior	1.1651	
	Media recortada al 5%	.8813	
	Mediana	.8000	
	Varianza	.122	
	Desviación estándar	.34921	
	Mínimo	.47	
	Máximo	1.60	
	Rango	1.13	
	Rango intercuartil	.50	
	Asimetría	.908	.717
	Curtosis	.794	1.400

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Efecto que existe entre el potencial de hidrógeno y el potencial óxido reducción

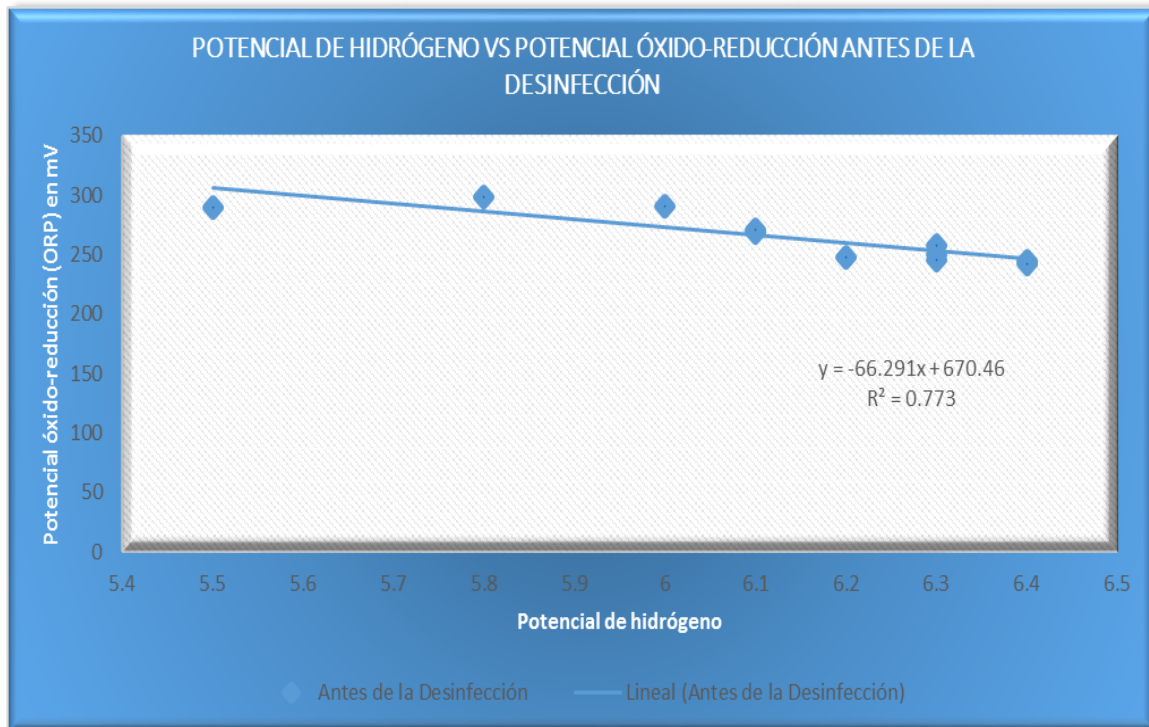
Del análisis de la figura 5, presenta los resultados de la etapa antes del proceso de la desinfección, la tendencia de los datos del potencial de hidrógeno respecto al potencial de óxido reducción se observa un comportamiento lineal descendiente cuando el potencial de hidrógeno aumenta existe una disminución en los valores del potencial de óxido reducción,

Los valores de ORP aumentan cuando el pH de la solución es más bajo y disminuye cuando el pH es más alto. (Acoua Tecnología, p. 1)

Los datos experimentales que se obtuvieron en el muestreo está conforme indica en la bibliografía.

La línea de tendencia que se muestra en la figura 5, presenta valores iniciales de 298 mV para un pH de 5.8 en los primeros días de análisis y el valor en los días siguiente fueron variando conforme variaba el valor de pH hasta llegar al final del día 11 con valores de 242 mV de ORP cuando se presenta un pH de 6.4, esta tendencia se presenta en el proceso después de la filtración antes de entrar al proceso de desinfección.

Figura 5. **Correlación del potencial de hidrógeno con el potencial óxido-reducción en el agua antes del proceso de desinfección**

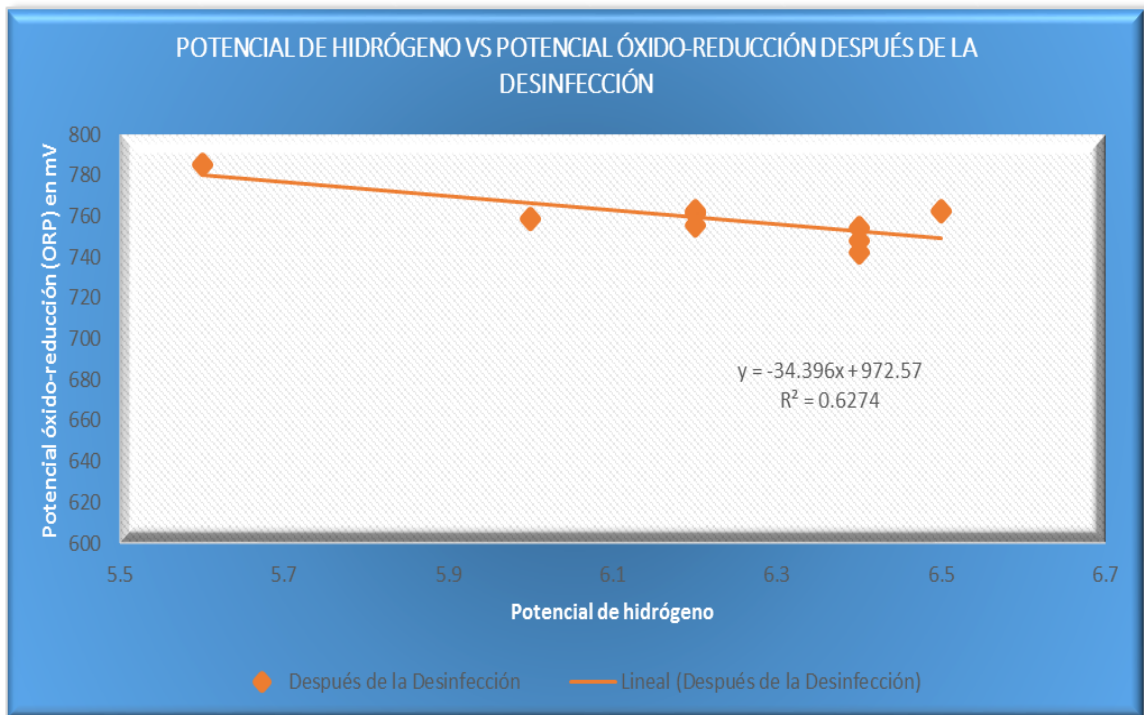


Fuente: elaboración propia.

Según la figura 6, muestra los datos experimentales en el punto después del proceso de desinfección, estos datos se tomaron en el tanque de abastecimiento en la planta de potabilización. El análisis de los datos presenta una tendencia lineal descendente en los datos respecto a los días de muestreo en la que los valores del potencial de óxido reducción disminuyen cuando el potencial de hidrógeno aumenta, misma tendencia que presenta la etapa antes de la desinfección, en la cual se presentaron valores más altos que los que resultaron cuando el agua no contenía ningún oxidante.

Según los resultados del potencial de óxido reducción iniciaron con valores de 785 mV en los primeros días cuando el agua presentaba valores de potencial de hidrógeno de 5.6, los datos fueron disminuyendo respecto los días de análisis con valores de 748 mV cuando los valores de pH aumentaron hasta valores de 6.4. Este análisis esta realacionado según la bibliografía, ya que existe una fuerte correlación entre el potencial de óxido reducción y los valores del potencial de hidrógeno.

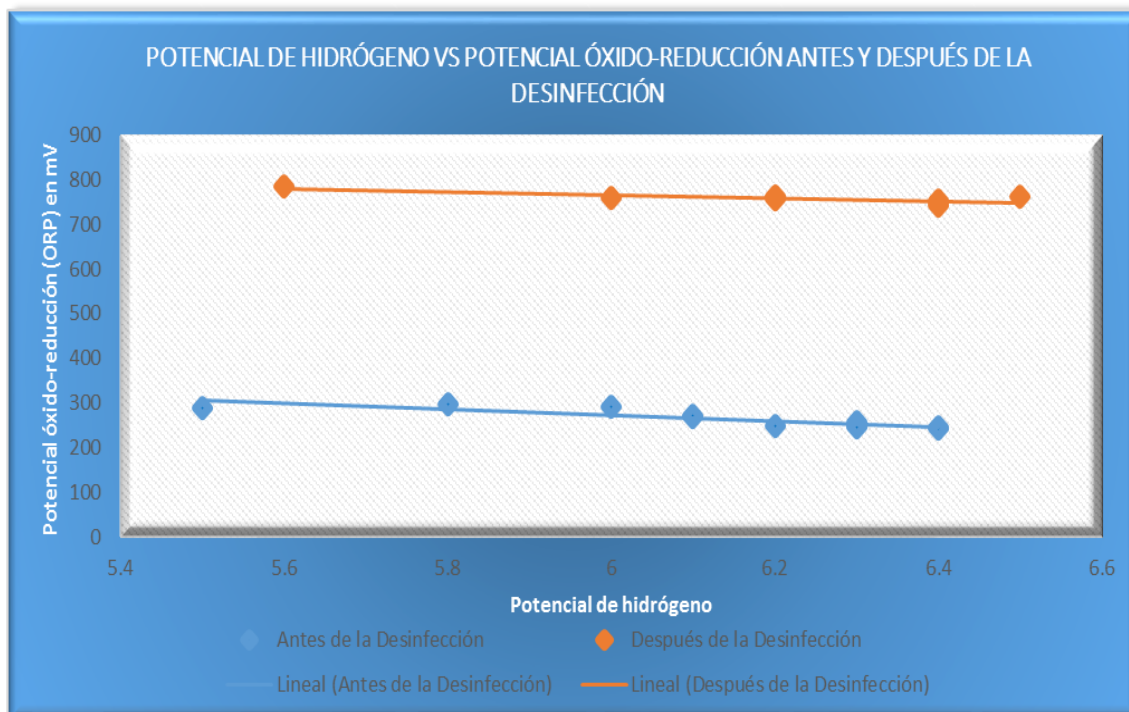
Figura 6. **Correlación del potencial de hidrógeno con el potencial óxido-reducción en el agua después del proceso de desinfección**



Fuente: elaboración propia.

Para el análisis de la figura 7, presenta una comparación de los valores del potencial de óxido reducción respecto al potencial de hidrógeno en la etapa después del proceso de desinfección, donde existe un efecto del potencial de hidrógeno en los valores del potencial de óxido reducción ya que el ORP depende del pH, cuando el pH aumenta el ORP tiende a disminuir, este efecto se da sin importar que en el agua exista un agente desinfectante. Esta tendencia se observa cuando no hay presencia de agente oxidante como se presenta luego de la etapa de filtración y cuando está presente un agente oxidante en el tanque de abastecimiento luego del proceso de desinfección.

Figura 7. **Correlación del potencial de hidrógeno con el potencial óxido-reducción en el agua antes y después del proceso de desinfección**



Fuente: elaboración propia.

En la tabla V y VI, presenta los análisis de la prueba de normalidad para las variables que se utilizaron en la cual abarca las variables del ORP y el pH, esta prueba indica si existe una distribución normal con los datos de cada variable, para nuestro caso se utilizó el método de Shapiro-Wilk, porque se tenía un tamaño de muestra menor a 50 datos. Según la tabla V el valor de significancia es de 0.088 para los datos del potencial óxido reducción en la etapa antes de la desinfección, este valor de significancia está por encima del valor estimado que es de 0.05, por lo que se define que los datos del ORP tomaron una distribución normal. Para el análisis del potencial de hidrógeno para la etapa antes de la desinfección se obtuvo el valor de significancia de 0.074, para esta distribución de datos tomaron una distribución normal dado que el valor de significancia está por encima de 0.05.

En la tabla VI, se presentan los resultados de la prueba de normalidad para las variables en la etapa después del proceso de desinfección, se obtuvo una significancia de 0.243, la cual se encuentra por encima del nivel de significancia de 0.05, por lo que los valores del ORP tomaron una distribución normal en sus datos. Para el potencial de hidrógeno se obtuvo un valor de significancia de 0.069, por lo que los valores del pH se distribuyeron de una forma normal.

Según la tabla XVI presenta el análisis de correlación de los datos del potencial de hidrógeno respecto a los datos del potencial de óxido reducción, se utilizó la correlación de Pearson, tiene como función determinar si existe una relación lineal entre dos variables y que esta relación no sea debida al azar.

Según los datos que presenta la tabla XVI el valor del coeficiente de correlación de Pearson fue de -0.879, con un valor de significación de 0.000, que es un valor menor a 0.05, por lo que presenta una asociación lineal entre el pH y el ORP, dado que el coeficiente de correlación esta entre el rango de -0.8 a -1, se obtuvo una correlación muy buena, por lo que se presenta una asociación lineal estadísticamente significativa, muy buena e inversamente proporcional entre el valor del pH y el ORP en la etapa antes del proceso de desinfección.

Tabla XVI. **Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y el potencial de hidrógeno antes del proceso de desinfección**

Correlaciones del ORP y el pH antes de la desinfección

		ORP	pH
ORP	Correlación de Pearson	1	-.879**
	Sig. (bilateral)		.000
	N	11	11
pH	Correlación de Pearson	-.879**	1
	Sig. (bilateral)	.000	
	N	11	11

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

Fuente: elaboración propia, programa SPSS

Según la tabla XVII, presenta el análisis de correlación del ORP y el pH después del proceso de desinfección, en la cual se utilizó de la misma forma la correlación de Pearson, en la que se presentó 9 datos con un valor de significancia de 0.011, el cual está bajo el nivel de confianza establecido que es del 0.05, por lo que significa que existe una relación lineal entre estas dos variables.

Según la tabla XVII, el coeficiente de correlación de Pearson es de -0.792, esto indica que se obtuvo una correlación buena, porque está en el rango de 0.6 a 0.8. En conclusión, existe una relación lineal estadísticamente significativa con una relación buena e inversamente proporcional entre la variable del potencial de óxido reducción y el potencial de hidrógeno en la etapa después del proceso de desinfección.

Tabla XVII. **Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y el potencial de hidrógeno después del proceso de desinfección**

Correlaciones del ORP y el pH después de la desinfección

		ORP	pH
ORP	Correlación de Pearson	1	-.792*
	Sig. (bilateral)		.011
	N	9	9
pH	Correlación de Pearson	-.792*	1
	Sig. (bilateral)	.011	
	N	9	9

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Fuente: elaboración propia, programa SPSS

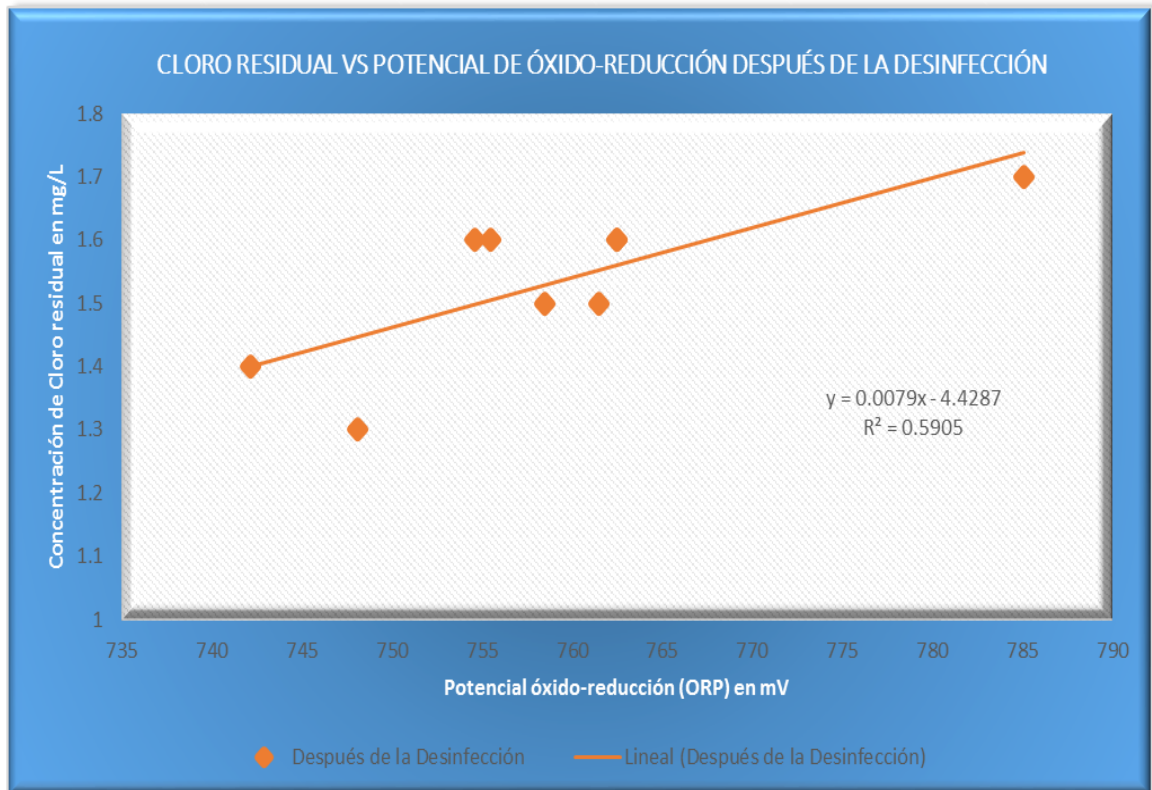
5.2. Relación entre la concentración de cloro residual y el potencial de óxido reducción

Una de las relaciones más significativas que se necesitaba conocer, según la fase experimental estaba entre las variables del potencial de óxido reducción y la concentración del cloro residual esto en la etapa luego del proceso de desinfección, según el gráfico 8 presenta la distribución de los valores de la concentración de cloro residual con el potencial de óxido reducción para los días de muestreo, según el gráfico, los valores de ORP en el día uno fueron de 785 mV cuando la concentración de cloro residual presentó valores de 1.6 mg/L; luego se obtuvo una disminución de valores del ORP hasta 748 mV cuando la concentración de cloro presento valores de hasta 1.4 mg/L, según estos datos se observa una tendencia lineal ascendente, es decir, cuando la concentración del cloro residual aumenta el valor del potencial de óxido reducción aumenta en sus valores.

No se ha determinado una relación directa entre el valor del ORP respecto a la concentración del desinfectante ya que el potencial oxido reducción mide la actividad de oxidación en el agua y no mide la concentración del desinfectante. (Acoua Tecnología, p. 1)

Con la referencia anterior, se observa que no es que exista una relación directa entre la concentración del cloro residual y el potencial de óxido reducción, pero cuando existe mayor presencia de agente desinfectante existe una mayor actividad de oxidación en el medio, por lo que el valor del potencial redox aumentará cuando la concentración de cloro aumente.

Figura 8. **Correlación de la concentración de cloro residual con el potencial óxido-reducción en el agua después del proceso de desinfección**



Fuente: elaboración propia.

La tabla VI presenta la tabla de los resultados del análisis de la prueba de normalidad, en la cual el valor de significancia es de 0.286 para los datos del cloro residual en la etapa después de la desinfección, este valor de significancia está por encima del valor estimado que es de 0.05, por lo que se define que los datos de cloro residual toman una distribución normal.

En la tabla XVIII, presenta los resultados de la prueba de correlación de Pearson entre las variables del potencial óxido reducción y la concentración de cloro residual, en la cual se observa que la distribución de datos presenta una significancia de 0.16, el cual está por debajo del nivel de confianza establecido que es de 0.05 dado esta comparación se obtiene que existe una relación lineal entre la concentración de cloro y el potencial de óxido reducción.

Según la tabla XVIII, representa los resultados del análisis de correlación de Pearson, para los datos de ORP y el cloro residual en donde el valor de significancia es de 0.016, el cual está por debajo del valor establecido de confianza que es el 5 %, por lo que se obtiene una relación lineal entre estas dos variables. El coeficiente de correlación de Pearson es de 0.768, indica que se obtuvo una correlación buena, ya que está en el rango de 0.6 a 0.8. En conclusión, existe una asociación lineal estadísticamente significativa con una relación buena y directamente proporcional entre la variable del potencial de óxido reducción y la concentración de cloro residual en la etapa después del proceso de desinfección.

Tabla XVIII. **Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y la concentración de cloro residual después del proceso de desinfección**

Correlaciones ORP y cloro residual después de la desinfección

		ORP	Cloro Residual
ORP	Correlación de Pearson	1	.768*
	Sig. (bilateral)		.016
	N	9	9
Cloro Residual	Correlación de Pearson	.768*	1
	Sig. (bilateral)	.016	
	N	9	9

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Fuente: elaboración propia, programa SPSS

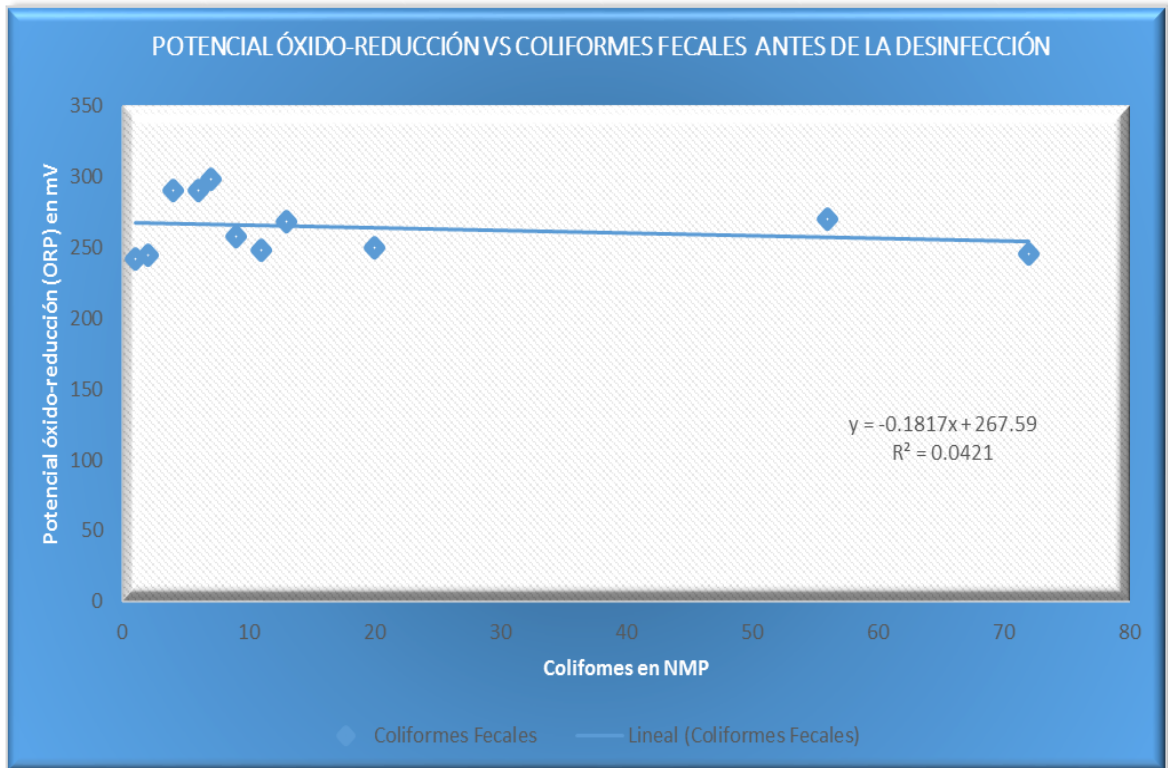
5.3. Relación del comportamiento del análisis bacteriológico de coliformes fecales y totales con los valores del potencial de óxido reducción

La importancia de la determinación de la relación del comportamiento del análisis bacteriológico con el potencial de óxido reducción es la parte fundamental del estudio, ya que el objetivo de toda la investigación fue conocer si era posible remplazar un análisis bacteriológico para el control de calidad del proceso de potabilización por el parámetro del potencial óxido reducción.

En la figura 9, presenta la distribución de datos de coliformes fecales respecto a los valores del potencial de óxido reducción, presentaron valores para el día 1 de 6 NMP para coliformes fecales/100ml y 290 mV de ORP; para el día 11 se obtuvieron valores de 1 NMP para valores de 242 mV de ORP, se observa que no hay una tendencia o relación directa entre las dos variables, ya que el valor del ORP disminuye respecto a los días de análisis y los valores de NMP de coliformes fecales son variados, unos días aumentaron otros disminuyeron por lo que no existe una relación directa entre estas dos variables.

La cantidad de coliformes fecales presentes pueden depender del proceso de potabilización que se esté aplicando, como por ejemplo, la calidad de agua cruda o agua al inicio del proceso, si existe una pre-cloración, el retrolavado de los filtros, ya que todos estos procesos son fundamentales para conocer la cantidad de contaminación de coliformes fecales antes de pasar al proceso de desinfección.

Figura 9. **Correlación de las coliformes fecales con el potencial óxido-reducción en el agua antes del proceso de desinfección**



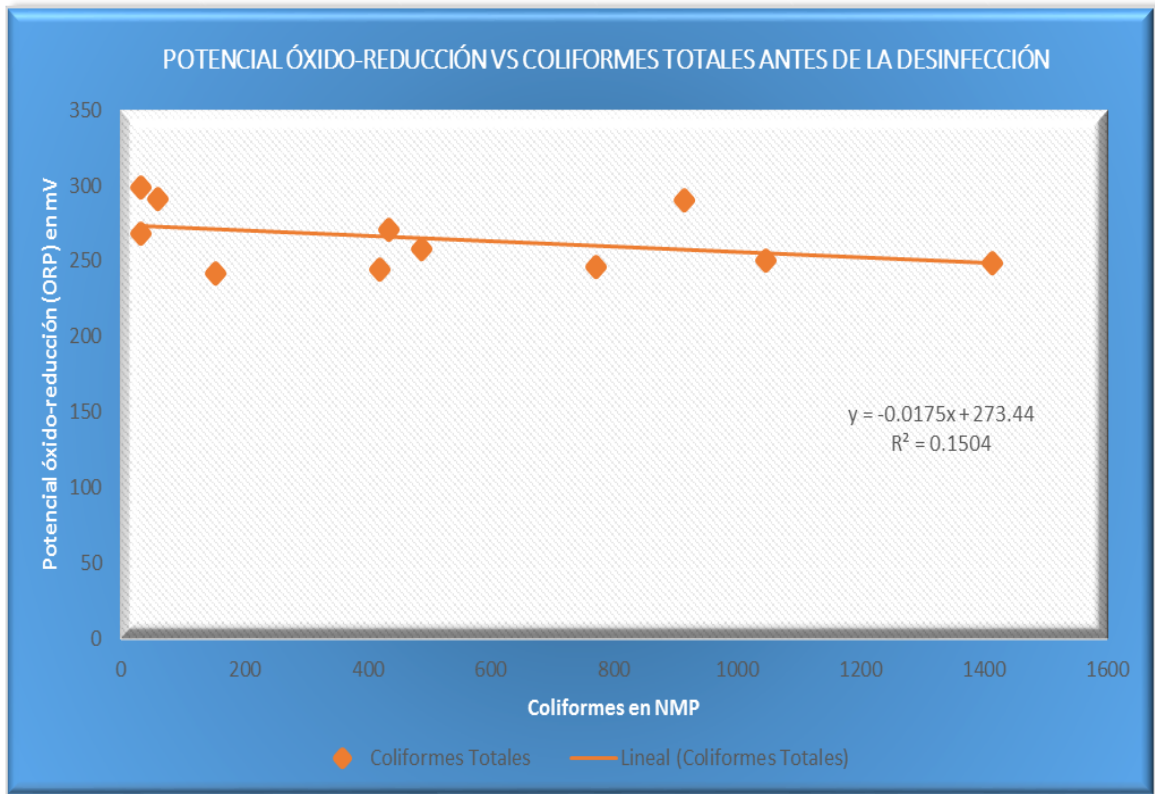
Fuente: elaboración propia.

Según la tabla III, en el apartado de resultados, presenta los valores de coliformes fecales después del proceso de desinfección, los valores que se obtuvieron del potencial de óxido reducción fueron superiores a los 650 mV que, según la OMS en 1972, reconoció en sus normas para agua potable que, a un nivel ORP de 650 mV, el agua se desinfecta y la desactivación viral ocurre casi de forma instantánea. La bibliografía muestra que cuando el valor de ORP esté por encima de 650mV no existe presencia de contaminación por bacterias, según los resultados se obtuvieron valores de 748 a 785 mV, y en ese rango no se obtuvo presencia de coliformes fecales.

Se presentan a continuación los resultados de la presencia de coliformes totales en el agua filtrada, antes del proceso de desinfección en la planta potabilizadora, según la figura 10, los valores del número más probable de coliformes totales respecto a los valores del potencial de óxido reducción, los valores de coliformes totales para el día 1 fueron de 914 NMP/100 ml, con un valor de 290 mV de ORP, para el día 2 de análisis se obtuvieron valores de 60 NMP/100ml para un valor de 290 mV, no existe una tendencia directa entre estas dos variables, dado que para un valor de ORP se tiene una diferencia muy grande entre el número más probable de coliformes totales. Para los siguientes días se observa valores de ORP que fueron disminuyendo respecto a los días de muestreo, pero los valores de coliformes totales son variados en sus resultados y no presentan una tendencia en disminuir o aumentar en su valor cuando el potencial óxido reducción disminuye en los días de análisis. Con esto concluimos que el valor de ORP solo puede indicar la presencia ausencia de contaminación de coliformes totales, pero no puede indicar una relación de cantidad.

La cantidad de presencia de las coliformes totales en el proceso de potabilización pueden depender en si del proceso de potabilización como la calidad bacteriológica del agua cruda, si existe una pre-cloración y el proceso de filtración, por lo que no es posible relacionar directamente la cantidad de presencia de coliformes totales con el potencial de óxido reducción, este valor solo va indicar si existe o no presencia de contaminación bacteriológica.

Figura 10. **Correlación de las coliformes totales con el potencial óxido-reducción en el agua antes del proceso de desinfección**



Fuente: elaboración propia.

En la tabla V, presenta los resultados de la prueba de normalidad que fueron aplicados a los datos de coliformes fecales y totales en la etapa antes de la desinfección, la tabla indica que el nivel de significancia para la distribución de datos de coliformes fecales es de 0.001, dado que este valor se encuentra por debajo del nivel de confianza del 5 %, la distribución de los datos no se comporta de una forma normal. Para el análisis de coliformes totales se obtuvieron valores de significancia de 0.266, para esta distribución de datos se toma como una distribución normal.

El análisis de correlación entre el potencial de óxido reducción y coliformes fecales se presenta en la tabla XIX, se observa que el un valor de coeficiente de Pearson de -0.203, según este valor del coeficiente la correlación es baja y descendiente. El valor de significancia es de 0.549 por lo que está por encima del valor de confianza, dado estos resultados se obtiene que no existe una asociación lineal estadísticamente significativa con una relación baja e inversamente proporcional entre la variable del potencial de óxido reducción y la presencia de coliformes fecales en la etapa antes del proceso de desinfección.

Tabla XIX. **Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y las coliformes fecales antes del proceso de desinfección**

Correlaciones del ORP y las coliformes fecales antes del proceso de desinfección

		ORP	Fecales
ORP	Correlación de Pearson	1	-.203
	Sig. (bilateral)		.549
	N	11	11
Fecales	Correlación de Pearson	-.203	1
	Sig. (bilateral)	.549	
	N	11	11

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

Para el análisis de correlación del ORP con los valores de coliformes totales, se presenta los resultados en la tabla XX, el coeficiente de correlación de Pearson es de -0.388, este valor está en el rango de 0.2 a 0.4, esto indica una correlación baja, y el nivel de significancia es de 0.239 el cual está por encima del valor de confianza que es del 5 %, dada esta comparación se puede definir que la correlación entre el ORP y la coliformes totales no tiene una asociación lineal

estadísticamente significativa con una relación de correlación baja e inversamente proporcional.

Tabla XX. **Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y las coliformes totales antes del proceso de desinfección**

Correlaciones del ORP y las coliformes totales antes de la desinfección.

		ORP	Totales
ORP	Correlación de Pearson	1	-.388
	Sig. (bilateral)		.239
	N	11	11
Totales	Correlación de Pearson	-.388	1
	Sig. (bilateral)	.239	
	N	11	11

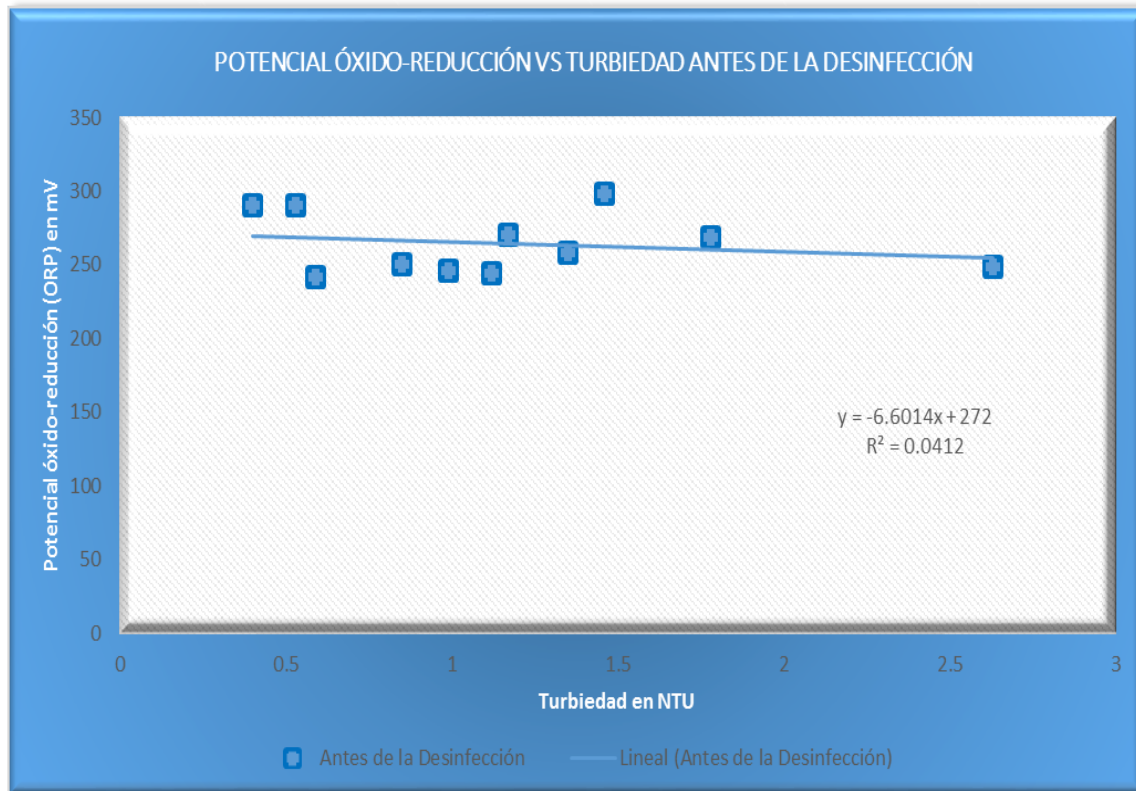
Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

5.4. Relación entre la turbiedad del agua y el potencial de óxido reducción

Conocer la relación del potencial de óxido reducción y la turbiedad es otro de los objetivos que se deseaba comprobar, dado que la presencia de turbiedad indica que existe alguna presencia de alguna sustancia en el agua, por lo que se realizó el análisis de turbiedad en las etapas antes y después del proceso de desinfección.

Según la figura 11, presenta la distribución de datos de la turbiedad respecto al valor del ORP en la etapa antes del proceso de desinfección, para el día 1 de muestreo se obtuvieron datos de turbiedad de 0.53 NTU cuando el valor de ORP era de 290 mV, y para un valor de 242 mV de ORP en el día 11 se obtuvo un valor de 0.59 NTU de turbiedad. Esto indica que el valor de la turbiedad no tiene una tendencia directa con los valores del potencial de óxido reducción.

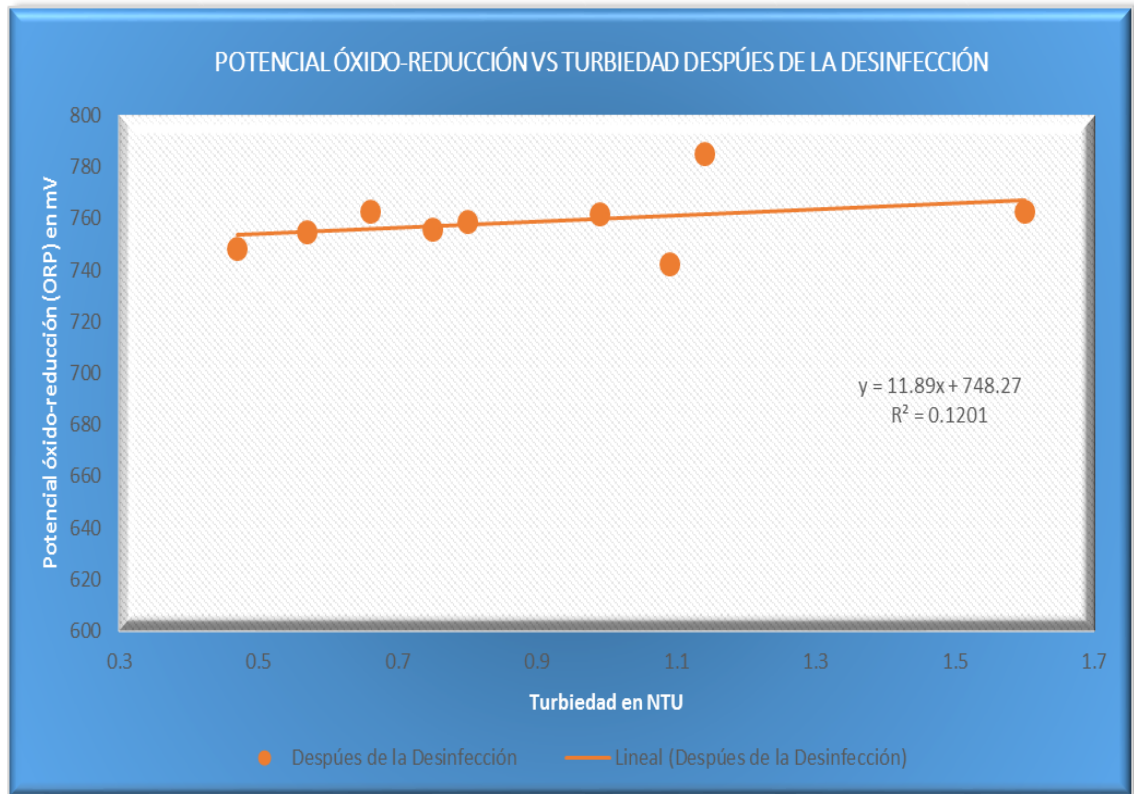
Figura 11. **Correlación de la turbiedad con el potencial óxido-reducción en el agua antes del proceso de desinfección**



Fuente: elaboración propia.

Para la correlación de la turbiedad con el ORP en la etapa después del proceso de desinfección se presenta en la figura 12, se obtuvieron valores en el día 1 de muestreo de 1.14 NTU de turbiedad para valores de 785 mV de ORP, y en el día 9 valores de 0.47 NTU de turbiedad cuando el ORP fue de 748 mV, según estos valores se puede establecer una correlación entre estas dos variables, pero en los días de muestreos intermedios presentan datos variados.

Figura 12. **Correlación de la turbiedad con el potencial óxido-reducción en el agua después del proceso de desinfección**



Fuente: elaboración propia.

En la tabla V y VI, presentan los resultados de la prueba de normalidad que se aplicó a los datos de la turbiedad en su etapa antes y después del proceso de desinfección, según la tabla V indica que el nivel de significancia para la distribución de datos de turbiedad antes del proceso de desinfección es de 0.341, dado que este valor se encuentra por encima del nivel de confianza del 5 %, se obtuvo que la distribución de los datos se distribuyó de una forma normal. Para el análisis luego del proceso de desinfección para la turbiedad se obtuvo un valor de significancia de 0.591, para esta distribución de datos es posible

tomarlos como una distribución normal ya que está por encima del valor de confianza.

Para el análisis de correlación del ORP con los valores de turbiedad en la etapa antes del proceso de desinfección, se presentan los resultados en la tabla XXI el coeficiente de correlación de Pearson es de -0.203, este valor está en el rango de 0.2 a 0.4, esto indica una correlación baja, y el nivel de significancia es de 0.549 el cual está por encima del valor de confianza que es del 5 %, dada esta comparación se define que la correlación entre el ORP y la turbiedad no tiene una asociación lineal estadísticamente significativa con una relación de correlación baja e inversamente proporcional.

Tabla XXI. **Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y la turbiedad antes del proceso de desinfección**

Correlaciones del ORP y la turbiedad antes de la desinfección

		ORP	Turbiedad
ORP	Correlación de Pearson	1	-.203
	Sig. (bilateral)		.549
	N	11	11
Turbiedad	Correlación de Pearson	-.203	1
	Sig. (bilateral)	.549	
	N	11	11

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

Para el análisis de correlación del ORP con los valores de turbiedad, se presenta los resultados en la tabla XXII, en la cual el coeficiente de correlación de Pearson es de 0.347, este valor está en el rango de 0.2 a 0.4, esto indica una correlación baja, y el nivel de significancia es de 0.361 el cual está por encima del valor de confianza que es del 5 %, dada esta comparación podemos definir que la correlación entre el ORP y la turbiedad no tiene una asociación lineal estadísticamente significativa con una relación de correlación baja y directamente proporcional.

Tabla XXII. **Análisis de correlación de potencial de óxido reducción y la turbiedad después del proceso de desinfección**

Correlaciones del ORP y la turbiedad después de la desinfección

		ORP	Turbiedad
ORP	Correlación de Pearson	1	.347
	Sig. (bilateral)		.361
	N	9	9
Turbiedad	Correlación de Pearson	.347	1
	Sig. (bilateral)	.361	
	N	9	9

Fuente: elaboración propia, programa SPSS.

5.5. Análisis económico de la utilización del potencial de óxido reducción en sustitución de otro método, para determinar la calidad bacteriológica del agua

La razón más importante de este estudio era conocer si era posible utilizar la variable del ORP en sustitución de los análisis bacteriológicos, lo cual se realizó la parte experimental en donde indica que es factible realizar la sustitución en el tema de metodología y resultados. Se pretende conocer si es factible económicamente la sustitución, y si da ventaja en temas como tiempo y facilidad el adaptar el ORP como un control de calidad, por lo que en la tabla XXIII, presenta un análisis económico, donde se comparó el costo de las dos opciones para el control y monitoreo de la calidad de agua.

Según la tabla XXIII, presenta una comparación de los dos métodos que se pueden utilizar, tanto el análisis bacteriológico en un laboratorio certificado y el control por medio de un sistema en línea con el parámetro del potencial de óxido reducción, este análisis se realizó en la comparación de los costos para el control de calidad con un laboratorio en un año y la inversión de la implementación de un sistema de monitoreo en línea por medio del ORP.

Se realizó un análisis de frecuencia promedio del análisis bacteriológico de coliformes totales y fecales de dos días a la semana, se obtuvo un costo promedio entre varios laboratorios certificados locales de Q 200.00 por muestra, por lo que al año se obtiene un costo total de Q 19,200.00. Dado que un análisis bacteriológico conlleva de 3 a 4 días de respuesta de resultados, por la misma razón no es posible tomar soluciones en tiempo real, no se puede resolver los inconvenientes dado que los resultados de los análisis son recibidos cuando la cantidad de agua tratada ya ha sido distribuida en las redes de los sistemas.

Según la tabla XXIII presta los costos de los equipos que son necesarios adaptar para obtener un sistema de control en línea con el ORP, un mini controlador de ORP con un costo de Q 2,785.57, y una sonda de ORP con un costo de Q 2,630.81 dando un costo total de inversión de un sistema en línea de ORP, para el control de calidad bacteriológica de Q 5,416.39. En esta comparación se observa que el costo con el ORP es 3.5 veces menos con el costo del análisis bacteriológico realizado en un laboratorio. No solo el beneficio es económico, para este caso se menciona que con un sistema en línea el monitoreo se puede realizar en tiempo real y si existe una variabilidad en los parámetros es posible realizar un ajuste inmediato de los parámetros y no esperar un tiempo de respuesta de días para poder corregirlos.

Tabla XXIII. **Análisis de costos de los métodos para determinar calidad bacteriológica del agua**

Control de calidad en laboratorio		Control de calidad en con el potencial óxido reducción	
Actividad o Equipo	Costo en Q	Actividad o Equipo	Costo en Q
Análisis bacteriológico en laboratorio certificado con una frecuencia de 2 análisis a la semana en un año.	200	Mini controlador ORP, sin sonda	2,785.57
		Sonda de ORP en PT con 3M cable	2,630.81
Total	19,200		5,416.38

Fuente: cotizaciones de empresas nacionales.

CONCLUSIONES

1. Sí es posible la utilización del potencial de óxido reducción para el monitoreo de la calidad bacteriológica del agua en una planta de potabilización, dado que, con un valor de ORP arriba de 748 mV no hay presencia de coliformes totales y fecales, por lo que se comprobó la hipótesis planteada en este estudio.
2. No existe una correlación directa entre el ORP y coliformes fecales y totales, dado que los coeficientes de Pearson encontrados fueron -0.203 - 0.388 con una significancia de 0.549 y 0.239 respectivamente, lo cual demuestra que no existe una relación estadísticamente significativa entre estas variables.
3. Existe una correlación lineal estadísticamente significativa entre el potencial de hidrógeno y el potencial de óxido reducción antes del proceso de desinfección, con un coeficiente de correlación de Pearson de -0.879, con un valor de significancia de 0.000, generando la ecuación de correlación siguiente: $ORP = -66.291 \text{ pH} + 670.46$.
4. Si existe una correlación lineal significativa entre la concentración del cloro residual y el potencial de óxido reducción, según los datos obtenidos del estudio; sin embargo, dado que no existió un rango amplio de análisis para la variable del cloro residual, los resultados obtenidos deben de tomarse con las reservas y limitaciones indicadas en el estudio.

5. Cuando el valor de ORP se ubicó arriba de 748 mV no existió presencia de contaminación por bacterias por coliformes fecales y totales, por lo que este sería el rango para la planta de potabilización evaluada en la que podría regular la no presencia de coliformes.
6. No existe una correlación lineal estadísticamente significativa entre la turbiedad y el potencial de óxido reducción en las etapas antes y después del proceso de desinfección, con un coeficiente de correlación de Pearson de -0.203 y 0.347, con un valor de significación de 0.549 y 0.361 respectivamente.
7. La implementación del monitoreo de la calidad de agua utilizando el potencial de óxido reducción es 3.5 veces menos que el monitoreo de control de calidad, con el análisis bacteriológico realizado en un laboratorio para agua potable, a lo que se le adiciona la ventaja que con la determinación del ORP se puede hacer en tiempo real, mientras que la del laboratorio demora un promedio de 3 a 4 días.

RECOMENDACIONES

1. Realizar una investigación donde se realice un monitoreo en verano, y otro en invierno, para realizar una comparación entre los valores del potencial de óxido reducción y el potencial de hidrógeno.
2. Dado los resultados adquiridos es necesario realizar un análisis de la desviación de los resultados obtenidos para coliformes fecales y totales, así obtener un mayor número de muestras para conocer la tendencia que pueda tener respecto al tiempo.
3. Evaluar el comportamiento del potencial de óxido reducción cuando se utilice otro tipo de agente oxidante, para el proceso de desinfección.
4. Es aconsejable realizar investigaciones donde pueda conocer los valores de tendencia del potencial de óxido reducción en agua residuales y en aguas industriales.
5. Dado los resultados, se aconseja que no se relacione la concentración de cloro con el porcentaje de óxido reducción, para nuevas investigaciones

BIBLIOGRAFÍA

1. Acoua Tecnología, *Potencial Redox*, [En línea] Ingeniería en tratamientos de Agua y Procesos. San Luis, Lima, web:http://acquatecnologiaperu.com/wp-content/uploads/Potencial_Redox_Acqua_Tecnologia.pdf. [Consulta: 04 de septiembre del 2018], p.1.
2. Agirrezabalaga, Florencio, Cruz Igor. *Estudio ecológico integral (agua, sedimento y macrofauna bentónica) del tramo final de la Regata de Jaitzubia y de las nuevas zonas intermareales creadas tras la ejecución del proyecto “restauración ambiental de marismas de la vega de Jaitzubia”*. Dirección de biodiversidad del departamento de ordenación del territorio y medioambiente del gobierno vasco, España, 2004.
3. Aguirre Néstor, Echeverría Félix, Castaño Juan. Caracterización fisicoquímica y biológica de la bahía de Cartagena en la zona de Mamonal para la evaluación de pinturas antiincrustantes en condiciones estáticas. Grupo de Corrosión y Protección, Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 2006.
4. Hernández C. Jackeline. *Evaluación de la calidad bacteriológica de agua de pozos para consumo humano del casco urbano del departamento de Chiquimula*, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacias, Guatemala, 2012. p.17-21.

5. OMS, *Guía para la calidad del agua potable*, Primer Apéndice, Volumen 1, Tercera edición. Suiza, 2006. p. 11 a 34.
6. Poso S. Raquel. *Métodos de Desinfección para la Potabilización de Agua*, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, Escuela Profesional de Química, Lima, Perú, 2009. p. 28-33.
7. Romero R. Jairo, *Calidad de Agua*, Tercera Edición, Escuela Colombiana de Ingeniería, Edición 2009, p. 54,55
8. Suslow V. Trevor. *Oxidation-Reduction Potential (ORP) for Water Disinfection Monitoring, Control, and Documentation*, Department of Vegetable Crops, University of California, Davis. Publication 8149, 2004. p. 1-3.
9. Tirado G. María. Red inalámbrica de sensores para el monitoreo de la calidad del agua de la microcuenca del río Quero, Universidad técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, carrera de ingeniería en electrónica y comunicaciones. Ambato, Ecuador. 2015. p. 25-88