

## Artículo científico

**Calidad bacteriológica del agua y su relación con el potencial de óxido reducción (ORP)****Marvin Eduardo Mérida Cano**

Ingeniero Químico. MSc. Ingeniería Sanitaria ERIS-USAC-Guatemala.

Dirección para recibir correspondencia: marvinedumerida@gmail.com

Félix Alan Douglas Aguilar Carrera

Ingeniero Civil; Profesor titular ERIS, USAC, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia faguilar@inversionesambientales.com

Recibido: 15.10.2018 Aceptado: 08.11.2018

**Resumen**

Este artículo presenta la relación que existe entre la calidad bacteriológica del agua y el potencial de óxido reducción (ORP) en una planta potabilizadora. Para esto, se realizó un monitoreo determinando los valores de ORP y coliformes fecales y totales en la unidad de filtración rápida y en el tanque de almacenamiento con agua desinfectada. Según los resultados obtenidos, la presencia de coliformes fecales y totales se dio con valores promedio de potencial de óxido reducción (ORP) de 250 mV (mili voltios), y la ausencia de estos se presentó con un ORP promedio de 760 mV. El trabajo de investigación demostró una relación de presencia-ausencia de coliformes fecales y totales respecto al potencial de óxido reducción, por lo que es posible utilizar este parámetro para determinar la contaminación bacteriológica en el agua en una planta potabilizadora. Según el análisis estadístico realizado para los datos obtenidos de coliformes en la unidad de filtración se obtuvo que 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. Para valores de ORP por debajo de 300 mV, no existe un comportamiento lineal que permita establecer la relación de coliformes fecales y totales con el potencial de óxido reducción.

Palabras clave: coliformes, Escherichia Coli, metodología de Colilert, filtración, desinfección.

**Abstract**

This article presents the relationship between the bacteriological quality of water and the oxide-reduction potential (ORP) in a water treatment plant. For this, a monitoring it was carry out determining the values of ORP and fecal and total coliforms in the fast filtration unit and in the reservoir of drinking water with disinfected water. According to the results obtained, the presence of fecal and total coliforms occurred with average values of oxide-reduction potential (ORP) of 250 mV, and the absence of these was presented with an average ORP of 760 mV. The research work showed that there is a relation of presence absence of fecal and total coliforms with respect to the potential of oxide reduction, so it is possible to use this parameter to determine the presence or absence of coliforms in water in a water treatment plant. According to the statistical analysis performed for the data obtained from coliforms in the filtration unit, it was obtained that there is no direct correlation between the ORP and fecal and total coliforms, given that the Pearson coefficients found were -0.203, -0.388 with a significance of 0.549 and 0.239 respectively, which shows that there is no statistically significant relationship between these variables. For ORP values below 300 mV, there is no linear behavior that allows to establish the ratio of fecal and total coliforms with the oxide-reduction potential.

Keywords: coliforms, Escherichia Coli, Colilert's methodology, filtration, disinfection.

**Introducción**

El presente artículo realiza un análisis entre el potencial de óxido reducción (ORP) y la presencia de coliformes fecales y totales en una planta potabilizadora. Se realizó un monitoreo en la unidad de filtración rápida y en el tanque de almacenamiento, en los procesos antes y después de la desinfección. Un análisis estadístico de correlación de Pearson se aplicó a los datos para

conocer si existía una relación lineal entre el ORP y las coliformes fecales y totales. Según los resultados del muestreo del ORP y coliformes fecales y totales para la unidad de filtración, no existe una correlación lineal significativa entre el ORP y los coliformes fecales y totales, y para el tanque de almacenamiento no existió presencia de coliformes fecales y totales según el muestreo realizado. Según el estudio existe una relación de presencia-ausencia entre el ORP y las

coliformes fecales y totales para una planta potabilizadora.

**Antecedentes**

El potencial de óxido reducción (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 de ORP pueden detectar el valor neto de ORP en la solución, determinando así la habilidad para oxidar o reducir sustancias. El ORP ofrece muchas ventajas en las cuales podemos mencionar el monitoreo y registro en tiempo real o en tiempo exacto del potencial de desinfección del agua, ya que puede ser un parámetro crítico del monitoreo y la calidad del agua.

Suslow, (2,004), indica que, cuando el valor de ORP se encuentra en un rango de 650 a 700 mV se observa un decaimiento o disminución de bacterias en descomposición, incluyendo bacterias patógenas como E. Coli que mueren en pocos segundos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año de 1,971, determinó que el potencial de óxido reducción (ORP) puede ser una alternativa confiable para determinar y verificar la calidad sanitaria del agua, estableciendo que valores de ORP mayores a 650 mV pueden indicar la ausencia de altas concentraciones de microorganismos patógenos en el agua.

Actualmente los procesos de monitoreo bacteriológico que se realizan en las plantas de potabilización de agua dependen mayoritariamente del soporte del laboratorio cuyos tiempos de respuesta no facilita la toma de decisiones operativas como si lo podría ser un proceso de monitoreo instantáneo o en línea, el cual permitiría tener información en tiempo real de la presencia-ausencia de coliformes en el agua.

El ORP utiliza la dimensional en mili voltios (mV), la cual 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.

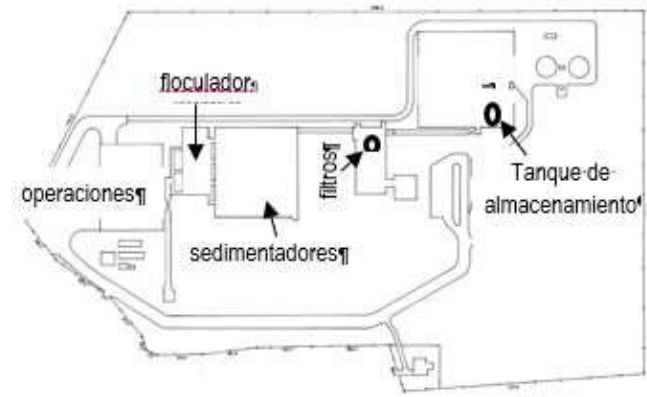
**Metodología**

**a) Descripción del sitio de estudio y las unidades:**

El estudio se realizó en una planta potabilizadora que se encuentra ubicada en el kilómetro 17.5 de la carretera Interamericana, Municipio de Mixco, Departamento de Guatemala.

Las unidades experimentales que se evaluaron para esta investigación fue la unidad de filtros rápidos y el tanque de almacenamiento (agua desinfectada), figura 1. La unidad de filtración está compuesta por seis filtros rápidos de arena, antracita y sílice. El agua filtrada de cada uno de estos filtros se unifica en un canal que la conduce al punto de inyección de cloro previo a su ingreso al tanque de almacenamiento. Finalmente, el agua que contiene ya desinfectante es almacenada en el tanque de almacenamiento lugar donde se le otorga el tiempo de retención necesario para realizar las reacciones necesarias para la desinfección de agua.

**Figura 1. Unidades experimentales de una planta potabilizadora.**



**Pre-muestreo del potencial de óxido reducción**

Considerando que la utilización del ORP en agua potable, ha tenido muy poco análisis estadístico que permita establecer una desviación estándar para dimensionar el tamaño de la muestra utilizado en el estudio, se optó por desarrollar un pre-muestreo que permitiera determinar este valor y con base en ella, establecer el tamaño de la muestra del estudio.

El pre-muestreo realizado consistió en determinar el valor del ORP en la salida de cada uno de los filtros rápidos, así como en el tanque de almacenamiento.

**b) Determinación del número de muestras**

Para la determinación del número de muestras 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.

La ecuación que se utilizó fue la siguiente:

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

Donde:

n: es el número sugerido de muestras

σ: es la desviación estándar

Z<sub>α/2</sub>: es el nivel de confianza, prueba t de student para un nivel de confianza dado y error máximo tolerante,

### c) Monitoreo de parámetros y toma de muestras

El proceso de monitoreo se realizó en la unidad de filtración rápida y en el tanque de almacenamiento, determinándose el ORP *In Situ* en ambos puntos, y al mismo tiempo se tomó la muestra para el examen bacteriológico utilizando para su análisis el método de Colilert el cual determina la presencia-ausencia de bacterias coliformes fecales y totales.

El proceso de monitoreo se realizó con el medidor de ORP. El medidor es portátil por lo que este fue calibrado con su respectivo estándar certificado. Una vez calibrado se comprobó al final de la medición la confiabilidad del equipo con el estándar de calibración para conocer la certeza del equipo.

### d) Equipo utilizado

Para el muestreo realizado se utilizó el siguiente equipo:

- ✓ Medidor Oakton 450 mV y sensor de banda de platino para ORP

El medidor Oakton 450 mV fue diseñado para la medición de parámetros de pH y ORP según el electrodo que se le adapte. Este medidor posee 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.

- ✓ Análisis bacteriológico por método de Colilert

En la metodología de Colilert se utilizan 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 toma una coloración amarilla. Cuando E. Coli

metaboliza el indicador MUG de nutrientes de Colilert, la muestra toma color fluorescente.

### e) 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 observó la tendencia de cada parámetro fisicoquímico de las muestras analizadas, con el fin de representarlas gráficamente.

### Resultados

Según la metodología, se realizó un pre-muestreo del ORP para las unidades de filtración y tanque de almacenamiento, los resultados se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1. Resultados del promedio del ORP en el pre-muestreo**

	Unidad de filtración	Tanque de almacenamiento
Día	ORP en mV	ORP en mV
1	291.2	797.2
2	300.1	780.1
3	298.2	786.1
4	298.5	789.2
5	298.7	785.3

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior la desviación estándar del ORP fue de 3.51 en la unidad de filtros y 6.29 en el tanque de almacenamiento (ver tabla 2).

**Tabla 2. Determinación del número de muestras**

	Unidad de filtración	Tanque de almacenamiento
Promedio	297.34	787.58

	Unidad de filtración	Tanque de almacenamiento
Desviación Estándar	3.51	6.29
Grados de libertad	4	4

Para la determinación del número de muestras se utilizó un nivel de confianza del 90 % para las dos unidades en el cual proporciona un valor z de 2.776, y un error de tolerancia de 3 % para la unidad de filtración y 5 % para el tanque de almacenamiento, (ver tabla 3).

**Tabla 3. Determinación del número de muestras**

	Unidad de filtración	Tanque de almacenamiento
"Z" 90%	2.776	2.776
E	3	6
No. De datos	5	5
Número de Muestras	11	9

En base en los datos de la tabla 3, se estableció un N=11, para la unidad de filtración y N=9 para el tanque de almacenamiento.

De acuerdo a la metodología del estudio, se realizó la determinación del ORP y coliformes fecales y totales en un total de 11 muestras tomadas estas en la unidad de filtración, haciendo énfasis que en este punto el agua no tiene ningún agente desinfectante.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4. Resultados de monitoreo de parámetros en la unidad de filtros (antes del proceso de desinfección)**

Muestreo	ORP en mV	Coliformes fecales NMP/100 cm <sup>3</sup>	Coliformes totales NMP/100 cm <sup>3</sup>
1	290.2	6	914
2	290.7	4	60
3	268.5	13	33

Muestreo	ORP en mV	Coliformes fecales NMP/100 cm <sup>3</sup>	Coliformes totales NMP/100 cm <sup>3</sup>
4	270.5	56	435
5	298.5	7	33
6	250.0	20	1046
7	248.3	11	1414
8	258.2	9	488
9	245.8	72	770
10	244.3	2	420
11	242.0	1	154

Otro punto analizado fue el agua contenida en el tanque de almacenamiento, la cual ya tiene la acción de un agente desinfectante. En este punto se realizó un total de 9 muestras cuyos resultados se muestran en la tabla 5.

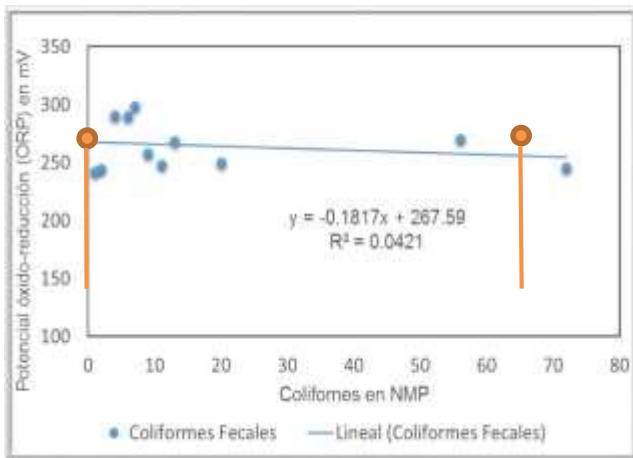
**Tabla No.5 Resultados de monitoreo de parámetros en el tanque de almacenamiento (después del proceso de desinfección)**

Muestreo	ORP en mV	Coliformes fecales NMP/100 cm <sup>3</sup>	Coliformes totales NMP/100 cm <sup>3</sup>
1	785.1	<1	<1
2	762.5	<1	<1
3	758.5	<1	<1
4	761.5	<1	<1
5	755.5	<1	<1
6	754.6	<1	<1
7	762.5	<1	<1

Muestreo	ORP en mV	Coliformes fecales NMP/100 cm <sup>3</sup>	Coliformes totales NMP/100 cm <sup>3</sup>
8	742.1	<1	<1
9	748.1	<1	<1

Con los datos obtenidos en el muestreo en la unidad de filtración se presenta en la figura 2 la correlación de coliformes fecales respecto al ORP.

**Figura 2.** Correlación de los coliformes fecales con el ORP en la unidad de filtros (antes del proceso de desinfección).



El análisis estadístico de la correlación de Pearson para los resultados de coliformes fecales en la unidad de filtración se presenta en la tabla 6.

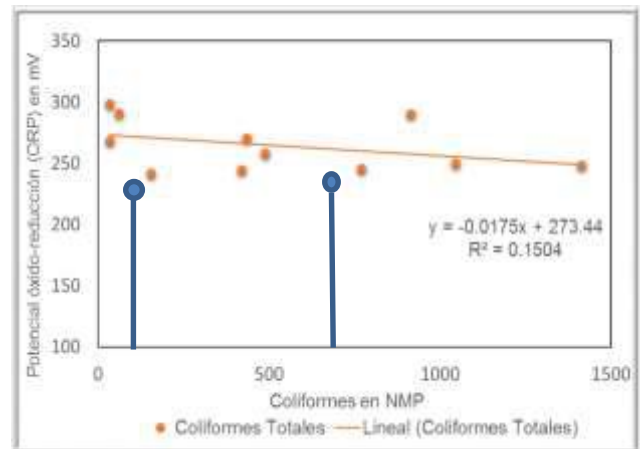
**Tabla 6.** Análisis de correlación del ORP y los coliformes fecales en la unidad de filtros (antes del proceso de desinfección).

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

		ORP	Fecales
N		11	11

Con los datos obtenidos en el muestreo en la unidad de filtración se presenta en la figura 3, la correlación de coliformes totales respecto el ORP.

**Figura 3.** Correlación de los coliformes totales con el ORP en la unidad de filtros (antes del proceso de desinfección)



Para conocer si existe una relación lineal con los datos obtenidos, para coliformes totales en la unidad de filtros, se realizó el análisis de correlación de Pearson que se presenta en la tabla 7.

**Tabla 7.** Análisis de correlación del ORP y los coliformes totales en la unidad de filtros (antes del proceso de 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

## Análisis de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos en las muestras realizadas en la unidad de filtración rápida, cuando el valor del ORP se encontró en un rango de 242 a 290 mV, se obtuvo presencia de coliformes fecales con valores de 1 a 72 NMP/100ml y para los coliformes totales valores de 60 a 1,414 NMP/100ml.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el muestreo realizado en el tanque de almacenamiento, cuando se presentaron valores de ORP en un rango de 748 a 785 mV, no se obtuvo presencia de coliformes totales y fecales, coincidiendo este hallazgo con lo expresado por la Organización Mundial de la Salud en 1,972 al indicar que, valores superiores a 650 mV de ORP son indicativo de la no presencia de contaminación bacteriológica.

Según Acoua Tecnología, a 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 poder destruirlas. El tiempo de eliminación de contaminación bacteriológica en el agua tiene variación según el ORP, para valores de 650 mV según la OMS 1,972, existe una desinfección casi instantánea, pero cuando el ORP disminuye el tiempo de desactivación aumenta, hasta llegar a valores de 450 mV en donde no existe una desinfección o eliminación de bacterias en el agua.

En la figura 2, se muestra la distribución de datos de coliformes fecales respecto a los valores del ORP de las muestras analizadas en la unidad de filtración rápida. En esta grafica se observa que no existe una relación directa entre la concentración de coliformes fecales y el ORP, dado que, cuando se presentó un valor de 1 NMP para coliformes fecales/100ml el valor de ORP fue de 242 mV; mientras que cuando se obtuvo valores de 72 NMP de coliformes fecales/100ml el valor de ORP fue de 248 mV.

El comportamiento anteriormente indicado puede responder a la poca amplitud del rango del ORP evaluado, razón por la cual es recomendable ampliar este rango con valores de 200 a 600 mV para evaluar el tiempo de inactivación de presencia de bacterias.

El análisis de correlación entre el ORP y coliformes fecales se muestra en la tabla 6. Se observa que el valor de coeficiente de Pearson obtenido es de -0.203, lo que indica que la correlación es baja y descendiente.

El valor de significancia obtenido fue de 0.549 por lo que está por encima del valor de confianza. Estos resultados demuestran que no existe una asociación lineal estadísticamente significativa con una relación baja e inversamente proporcional entre la variable del ORP y la presencia de coliformes fecales en la etapa antes del proceso de desinfección.

En base a la figura 3, no existen una relación lineal entre los coliformes totales y el ORP, evidenciado esto al observar que una concentración de 152 NMP de coliformes totales/100 ml, se obtuvo un valor de ORP de 242 mV, y para 770 NMP de coliformes totales/100 ml se obtuvo un valor de ORP de 245.8 mV.

En base a la tabla 7, el coeficiente de correlación de Pearson es de -0.388, este valor está en el rango de 0.2 a 0.4, lo que 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.

## Conclusiones

Con los resultados, se puede indicar que con un nivel de confianza del 95 %, existe una relación de presencia-ausencia de coliformes fecales y totales respecto al ORP, dado que cuando los valores de ORP se ubicaron con valores superiores de 748 mV no existió presencia de bacterias por coliformes fecales y totales.

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.

Para valores de ORP por debajo de 300 mV, no existe un comportamiento lineal que permita establecer la relación de coliformes fecales y totales con el ORP.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la utilización del ORP como un método alternativo para el control bacteriológico del agua en una planta potabilizadora, es viable teniendo la ventaja de proporcionar valores en tiempo real que permiten una toma de decisión más inmediata.

## Bibliografía

- Acoua Tecnología, Potencial Redox, [En línea], ficha técnica, Ingeniería en tratamientos de Agua y Procesos. San Luis, Lima, Disponible en: [web:http://acquatecnologiaperu.com/wp-content/uploads/Potencial\\_Redox\\_Acqua\\_Tecnologia.pdf](http://acquatecnologiaperu.com/wp-content/uploads/Potencial_Redox_Acqua_Tecnologia.pdf). Consultado el 04 de septiembre del 2018, p.1.
- Hybrid Turkeys, Potencial de Reducción de oxidación (ORP), Hoja Informativa, Hendrix Genetics. Canadá. p.1-5.
- Mérida C. Marvin. Propuesta de una metodología para el monitoreo de la calidad de agua a través del potencial de óxido reducción en una planta potabilizadora, Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Regional de Ingeniería Sanitaria. 2018. p. 1-67.
- Romero R. Jairo, Calidad de Agua, Tercera Edición, Escuela Colombiana de Ingeniería, Edición 2009, p. 54,55
- 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.
- 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. 25-8
- World Health Organization, International Standards for Drinking Water, Third Edition, Geneva 1971, p. 1-70

## Información del autor:

Ingeniero Químico, Marvin Eduardo Mérida Cano, graduado en la Universidad de San Carlos de Guatemala (2013), con experiencia en el área de control de calidad metalúrgica en agua y suelos, gestión ambiental, procesos de extracción de minerales.

M.Sc. en Ingeniería Sanitaria por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS-USAC (2018).