

Aguas superficiales para consumo humano tratadas con luz ultravioleta

Flores Valverde Erasmo*, López Hernández Gabriela, Pérez Alva Adán Oswaldo,
Valladares Rodríguez María Rita

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Ciencias Básicas, Área de Química. Av. San Pablo número 180, Col. Reynosa, Del. Azcapotzalco. Ciudad de México, C.P. 02200, México.

Autor para correspondencia: efv@azc.uam.mx

Recibido:
08/marzo/2020

Aceptado:
11/diciembre/2020

Palabras clave:
Potable,
ultravioleta,
microorganismos

Keywords:
Potable,
ultraviolet,
microorganisms

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo la habilitación de agua potable para una comunidad en el estado de México. La materia prima del proyecto corresponde a las aguas superficiales del río el "Puendo", éstas se han caracterizado desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico, conforme a los resultados se ha determinado la factibilidad de obtener agua potable mediante la aplicación de luz ultravioleta a dichas aguas. La metodología se desarrolló utilizando un equipo de haz colimado a una longitud de onda de 254 nm, se determinaron los tiempos de exposición a irradiación en el agua para obtener la curva de luz UV aplicada y respuesta de los microorganismos. Al tratarse de un agua con un bajo contenido de coliformes fecales, se trabajó en un intervalo de dosis de luz UV de 0-1 mJ/cm, obteniéndose el resultado de no detectable para coliformes fecales en volúmenes menores del conjunto de pruebas, con lo cual se cumple con la normatividad vigente en materia de agua potable.

ABSTRACT

The objective of this research is to provide drinking water to a community in the state of Mexico. The raw material of the project corresponds to the surface waters of the "PUENDO" river, These have been characterized from the physicochemical and microbiological point of view. According to the results, the feasibility of obtaining drinking water has been determined by applying ultraviolet light to said waters. The methodology was developed using a collimated beam equipment at a wavelength of 254 nm. The exposure and irradiation times in the water were determined to obtain the applied UV light curve and the response of the microorganisms. This water have a low content of fecal coliforms, we worked in a UV light dose range of 0-1 mJ / cm, obtaining the result of not detectable for fecal coliforms in smaller volumes of the test set, which complies with current regulations of drinking water.

Introducción

El agua limpia y potable es absolutamente esencial para la salud pública, debemos por tanto disponer de métodos para conseguir agua de calidad potable, así como protocolos para valorar la efectividad de los métodos ya sean: físicos, químicos o biológicos empleados para tratar el agua. Desafortunadamente la calidad del agua puede fácilmente alterarse, y esto produce la transmisión de enfermedades infecciosas graves que pueden provocar la muerte.

El agua es fuente de enfermedades infecciosas importantes, por tanto, la potabilización del agua es la medida de salud pública más importante. Los métodos empleados para tratar el agua y conseguir que sea apta para consumo humano incluyen una variedad de tratamientos microbiológicos para eliminar contaminantes junto con tratamientos físicos y químicos de potabilización.

Mientras que la presencia de algunos microorganismos no patógenos en el agua puede ser tolerable, la presencia de organismos indicadores específicos puede alertar que el agua está contaminada con patógenos. Estos organismos indicadores están generalmente asociados con el tracto intestinal; su presencia indica contaminación fecal. Los microorganismos más ampliamente empleados son los coliformes. Estos se usan como indicadores de contaminación en el agua porque se encuentran en gran número en tracto intestinal de humanos y animales (Madigan, 2004).

El presente trabajo se refiere al posible uso de agua potable, procedente de aguas superficiales de río, mediante su tratamiento por medio de la aplicación de luz ultravioleta, asumiendo que las aguas de río no pueden ser usadas como agua potable mientras no se compruebe la ausencia de microorganismos patógenos y constituyentes químicos que registren valores por encima de los límites máximos permitidos en la norma. La necesidad de dotar de agua potable a una población en crecimiento constante obliga, en este caso a la academia, a hacer propuestas viables en este rubro y que ayuden a resolver el problema de la escasez de agua potable; toda vez que el consumo creciente ha llevado a sufrir escasez en la sociedad y sobre todo en los sectores de la población más vulnerables, siendo una de las causas, que al agua potable que se le ha dado un uso, es desechada, siendo invariablemente vertida sin ningún tratamiento a los cuerpos de agua nacionales (ríos, lagos, etc.), contaminándolos irreversiblemente y ocasionando daños en el ambiente, alterando ecosistemas y a su vez un desabasto de este líquido vital (OMS, 2015).

A manera de ejemplo, en el año 2015 México tenía una población de 119, 938, 473 habitantes (INEGI, 2015),

cifra que ha aumentado año con año. Anualmente 1,489 000 metros cúbicos de agua de lluvia, de esta agua, se estima que el 71.6% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.2% escurre por los ríos y arroyos, y el 6.2% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Generalmente las comunidades se abastecen de agua de ríos y manantiales, así el río el Puendo es una opción para el abastecimiento de agua. Éste se encuentra ubicado en el pueblo de San Juan Yautepec, municipio de Huixquilucan, estado de México, se localiza en las coordenadas del sistema de posicionamiento global (GPS): longitud en decimales (DEC): -99.339157 y latitud (DEC) 19.343360 a una altura media de 2800 metros sobre el nivel del mar (Nuestro México.com, 2017). El río el Puendo es un río de aguas perenes con un caudal promedio anual de de 15 m³ / hora inicia su formación por manantiales que nacen desde el paraje denominado el Toshte , un kilómetro aguas abajo manantiales las truchas y otro kilómetro aguas abajo manantiales el Puendo, hasta esta altura las aguas se conservan poco contaminadas, porque este pequeño río a partir de esta ubicación, empieza a servir de receptáculo de aguas residuales de algunos barrios del pueblo de San Juan Yautepec y a unos tres kilómetros aproximadamente aguas abajo se une al río San Martín, el cual tiene su nacimiento en el parque recreativo la Marquesa, estas aguas contaminadas terminan kilómetros abajo formando parte del río Chico los Remedios dentro de la jurisdicción del municipio de Naucalpan de Juárez, estado de México (IPOMEX, 2008).

Vecinos de la calle Lomas del Puendo se organizaron, contando con el apoyo técnico de investigadores de la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Azcapotzalco, para tomar un volumen menor al 1% del caudal del río para su abastecimiento y consumo, una vez potabilizada el agua. De esta propuesta surge un proyecto que se divide en cuatro etapas a saber: *primera*: determinación de la calidad del agua con la finalidad de conocer la magnitud del problema a resolver y plantear una propuesta para su potabilización; *segunda*: estudios topográficos con la finalidad de conocer el equipo y materiales requeridos para subir y distribuir el agua. El recorrido del agua del cárcamo (a la orilla del río) al tanque de almacenamiento es de 580 m y la altura a vencer es de 50 m; *tercera etapa*: diseño y construcción de un cárcamo a la orilla del río para contar con suficiente agua para ser bombeada; *cuarta*: construcción de un tanque de almacenamiento y distribución, en la parte más alta de la calle Lomas del Puendo y de ahí distribuir el agua por gravedad. Para la realización del proyecto, la comunidad cubre los costos económicos, y para abatir los costos ejecutan la mano de obra mediante el procedimiento de "faenas". El presente trabajo corresponde a la *primera etapa*, que es la determinación

de la calidad del agua conforme a la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000) y planteamiento de una propuesta para su potabilización a nivel biológico, mediante la utilización de luz ultravioleta, planteándose como *objetivo general*: evaluar la eficiencia de la desinfección del agua del río Puendo, mediante su radiación con luz UV, usando los microorganismos coliformes totales y coliformes fecales como indicadores del cumplimiento de los estándares de calidad para agentes biológicos que se establece en la Norma Oficial Mexicana modificada NOM-127-SSA1-1994.

Varias formas de radiación son altamente mutagénicas, la radiación puede dividirse en dos categorías principales, ionizantes, aquellas cuyas longitudes de onda son menores a 400 nm y no ionizantes las mayores a 400 nm de longitud de onda, éstas se muestran mediante el espectro en la Figura 1 (Madigan, 2004) y en la Figura 2, se muestran las cuatro subregiones en que se divide la luz UV (Ponce, 2005).

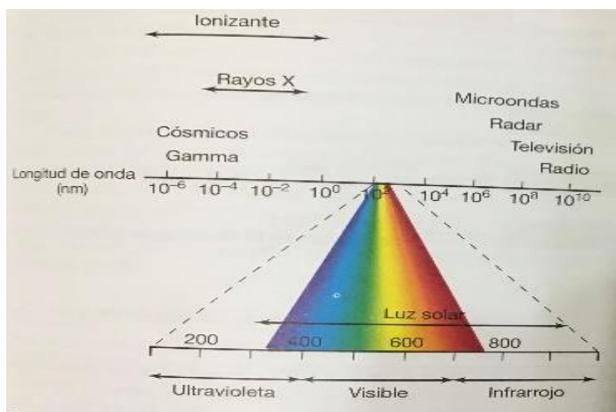


Figura 1. Espectro electromagnético.

UV-Vacio 100-200 nm	UV-C 200-280 nm	UV-B 280-315 nm	UV-A 315-400 nm
Reacción con O ₂ y O ₃ Sin efectos biológicos	Máxima absorción del ADN Acción germicida	Síntesis vitamina D Eritema cutáneo	Fluorescencia sustancias Pigmentación de la piel

Figura 2. Subregiones en que se divide la luz ultravioleta.

Aunque ambos tipos de radiación se usan en genética microbiana, las radiaciones ionizantes son las que se usaron en el presente trabajo. Las bases púricas y pirimídicas de los ácidos nucleicos DNA y RNA absorben intensamente luz UV en un rango germicida entre 240 y 280 nm y se obtiene la máxima eficiencia desinfectante cerca de los 260 nm. Está bien establecido que la muerte de las células por radiación UV se debe principalmente a su acción sobre el DNA, uno de los efectos bien establecido es la inducción de dímeros de pirimidina en el DNA, un estado en el que dos bases pirimídicas adyacentes (citosina o timina) se unen covalentemente,

de manera que se incrementa en gran medida la probabilidad de que, durante la replicación del DNA, la enzima DNA polimerasa inserte un nucleótido en posición incorrecta (Crittenden, 2012).

De acuerdo con el manual de guía de desinfección ultravioleta de la Environmental Protection Agency EPA, (EPA, 2003) se ha demostrado que cuando se usa la luz ultravioleta para tratar el agua con fines de uso humano, se destruyen patógenos como *Cryptosporidium* (microorganismos resistentes a desinfectantes comunes), teniendo la ventaja de que el agua resultante estará libre de subproductos de desinfección (SPDs) al tratarse de un proceso físico en el que no intervienen sustancias químicas. En el manual de la EPA se establecen los requisitos reglamentarios, como son el diseño y la importancia operacional e incluye los parámetros importantes de control del proceso de desinfección.

Estudios realizados en Venezuela demostraron que la radiación ultravioleta (UV) puede alcanzar un 99.95 % de desinfección, tomando en cuenta algunas características del agua como son: turbiedad y sólidos suspendidos (SST) que son parámetros importantes para que la luz UV penetre en todos los puntos del sistema aplicando valores adecuados como, tiempo de residencia, potencia de la lámpara, intensidad de la lámpara, área de exposición, dosis óptima de radiación UV y el diseño del equipo de desinfección, el cual debe ser un equipo de luz colimada con una lámpara de baja presión, a una longitud de onda de 254 nm (Gutiérrez, 2012).

Conforme a las investigaciones de Calderón (2014) se encuentra que el caudal y el tiempo de exposición están relacionados entre sí y son directamente proporcionales a la eliminación de microorganismos y la eficiencia del proceso de desinfección.

En el agua y en el medio ambiente están presentes microorganismos que la gran mayoría no presentan un riesgo a los seres humanos y a los seres vivos, inclusive convivimos con ellos y son parte de los procesos de la vida. Sin embargo, algunos de ellos, y son pocos, presentan un riesgo a la salud, pudiendo causar incluso la muerte (CONAGUA, 2016).

El mecanismo de desinfección por luz ultravioleta difiere de los desinfectantes químicos, éstos inactivan a los microorganismos destruyendo ó dañando su estructura celular, interfiriendo con el metabolismo, su biosíntesis y crecimiento. La luz ultravioleta inactiva a los microorganismos dañando sus ácidos nucleicos, previniendo que el microorganismo no se replique, así, si el microorganismo no puede replicarse no puede infectar al huésped (EPA, 2003). La desinfección por luz UV es un proceso físico en el cual se transfiere energía electromagnética a la célula de los microorganismos, en

la Figura 3, se ilustra como los fotones penetran la membrana celular y son absorbidos por el material genético de la célula, ADN o ARN, inhibiendo así futuras transcripciones del código genético de la célula (Crittenden, 2012), debido a que no pueden multiplicarse, por lo que no pueden causar enfermedades, aunque todavía están metabólicamente vivas. El grado de inactivación de los microorganismos está determinado por la dosis de UV aplicada (Gutiérrez, 2012). La dosis UV se define como la intensidad de luz UV en un tiempo de exposición determinado y el efecto germicida dependerá de la dosis aplicada.

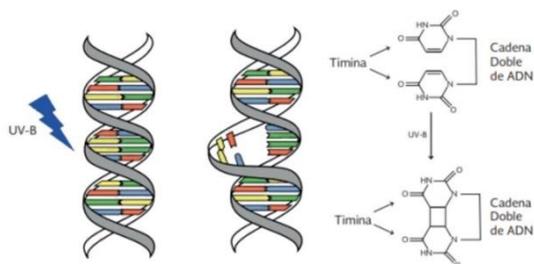


Figura 3. Acción de la luz UV en la formación de dímeros.

Es importante mencionar, que algunos microorganismos (particularmente bacterias) tienen mecanismos de reactivación que pueden reparar las lesiones del dímero de timina en la cadena de ADN causado por la aplicación de luz UV. Algunos virus pueden reactivarse usando las enzimas de reactivación del huésped (Bolton et al., 2008).

Metodología

El proyecto se desarrolló mediante dos etapas que se detallan a continuación.

Etapas. Etapa 1. En el año 2018 se realizaron muestreos y análisis en tres épocas del año, esto es: marzo, agosto y noviembre, en la Tabla 1. Se muestran los resultados promedio de los tres estudios que se llevaron a cabo, puede observarse que los resultados, de los parámetros fisicoquímicos ninguno queda fuera de norma y los valores registrados están siempre muy por debajo de los límites máximos permisibles, en el caso de los metales solamente el hierro sobrepasa ligeramente el límite permitido, mientras que los parámetros microbiológicos invariablemente quedan fuera de norma. Los tres muestreos y análisis efectuados en el año 2018 se llevaron a cabo siguiendo los protocolos de las normas siguientes. Muestreo del agua en el río el Puendo a la altura de los manantiales el Puendo. Conforme a la NOM-230-SSA1-2002. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y

privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo. En campo se determinaron los parámetros: pH, temperatura y sólidos disueltos totales SDT totales. Las muestras se conservaron en hielo y se transportaron al laboratorio para el análisis fisicoquímico y microbiológico, conforme a la MODIFICACIÓN a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (2000). Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. La determinación de coliformes totales y fecales se llevó a cabo conforme a la norma NMX-AA-042-SCFI-2015. Análisis de agua – enumeración de organismos coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* – Método del número más probable en tubos múltiples.

Etapas. Etapa 2. Esta etapa se llevó a cabo en el año 2019, tomando en cuenta la calidad del agua encontrada en el año anterior, resultados que constituyen la Tabla 1. Donde se puede observar que los parámetros fuera de norma son los que corresponden a coliformes totales y coliformes fecales. Tomando en consideración los resultados de la Tabla 1, se hace la propuesta para realizar el proyecto donde las aguas del río el Puendo se sometan a un proceso de desinfección mediante radiación con luz UV. Para esta prueba se usó el equipo de luz colimada de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UAM-A y se siguió el procedimiento descrito por, González, A. (2007). La sensibilidad de los microorganismos es determinada usando una prueba de haz colimado, donde una suspensión de muestra de los microorganismos es expuesta a la luz UV usualmente en una caja Petri abierta y esterilizada en un aparato de haz colimado donde la muestra es expuesta a rayos UV (Bolton y Cotton, 2008). El procedimiento más común para determinar la dosis UV requerida para la inactivación de los microorganismos implica el uso de un haz colimado y un pequeño reactor al que se le aplica una dosis UV conocida (EPA, 2003). En la Figura 4, se muestra un aparato de haz colimado. Con el uso de una lámpara monocromática de baja presión y baja intensidad el aparato de haz colimado permite la caracterización de la intensidad UV aplicada. Para la prueba de irradiación el equipo de haz colimado, cuenta con una lámpara de baja presión, a una longitud de onda de 254nm, colocada horizontalmente, la cual ha sido operada por un período de al menos 100 horas para garantizar la estabilidad de la radiación emitida por la lámpara, el equipo se colocó en una superficie plana y sin movimiento para evitar lecturas erróneas, el volumen de muestra fue de 50 mL, la dosis de "irradiación media en el agua" fue de 0.5 mJ/cm y un tiempo de exposición de 20 segundos (González, 2007).

Tabla 1. Resultados promedio de la calidad del agua obtenidos en tres muestreos efectuados en los meses de marzo, agosto y noviembre de 2018, conforme a la modificación de la NOM-127-SSA1-1994.

Parámetro	Norma o método	Valor (promedio)	Límite Máximo Permitido
pH (unidades de pH)	NMX-AA-008-SCFI-2016	6.81	6.5 - 8.5
Color (Unidades PtCo)	NMX-AA-045-SCFI-2001	7	20
Olor y sabor	NMX-AA-083-SCFI-1982	Agradable	Agradable
Turbiedad (UTN)	NMX-AA-038-SCFI-2001	1	5
Arsénico (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016	<0,02	0.05
Cadmio (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016	<0.0008	0.005
Cianuro (mg/L)	NMX-AA-058-SCFI-2001	<0.005	0.07
Cloro residual libre (mg/L)	NMX-AA-108-SCFI-2001	N. D	0.2-1.5
Cloruros (mg/L)	NMX-AA-073-SCFI-2001	4.5	250
Cobre (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016	<0.030	2
Cromo Total (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016	<0.007	0.05
Dureza Total (mg/L)	NMX-AA-072-SCFI-2001	7	500
Fenoles (mg/L)	NMX-AA-050-SCFI-2001	<0.0004	0.001
Fierro (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016	0.32	0.30
Fluoruros (mg/L)	NMX-AA-077-SCFI-2001	0.18	1.50
Manganeso (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016	0.02	0.15
Nitrógeno de nitratos (mg/L)	NMX-AA-079-SCFI-2001	1	10
Nitrógeno de nitritos (mg/L)	NMX-AA-099-SCFI-2006	<0.025	1.0
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	NMX-AA-026-SCFI-2010	<0.01	0.50
Plomo (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016	<0.003	0.01
Sodio (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2016	3	200
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	NMX-AA-034-SCFI-2015	160	1000
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	NMX-AA-034-SCFI-2015	7	No se indica*
Sulfatos (mg/L)	NMX-AA-074-SCFI-2014	2.2	400
Sustancias Activas al Azul de Metileno (mg/L)	NMX-AA-039-SCFI-2001	0.05	0.50
Zinc (mg/L)	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.2	5.00
Coliformes totales (NMP/100 mL)	NMX-AA-102-SCFI-2006	10	N.D.
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	NMX-AA-102-SCFI-2006	4	N.D.

N.D. No detectable

*Parámetro no contemplado en la norma

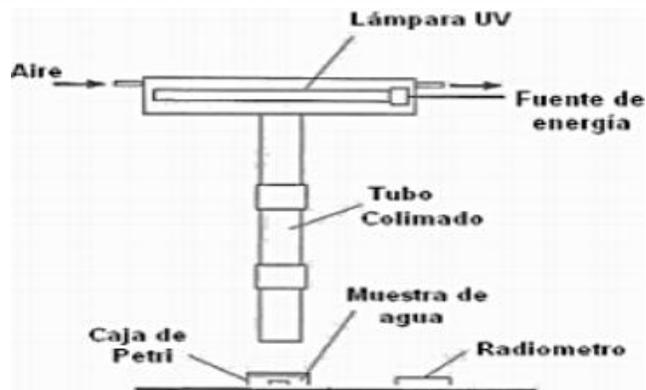


Figura 4. Aparato de haz colimado.

En esta etapa entre los meses de marzo a agosto de 2019, se tomaron muestras, siguiendo los lineamientos descritos en las normas mencionadas en la etapa 1. Los parámetros que se seleccionaron para evaluar el proceso son: coliformes totales y coliformes fecales, debido a que son los parámetros que invariablemente se encontraron fuera de norma en los análisis de calidad del agua que se efectuaron en el año 2018 y por tal razón son los que interesa cumplan con la norma para que el agua mejore de calidad y cumpla con la normatividad vigente. La determinación de estos parámetros se llevó a cabo por triplicado antes y después de someter la muestra al proceso de radiación con luz UV. los resultados se pueden ver en las tablas 2 a la 15 de los resultados.

Resultados y discusión

Tabla 2. Fecha del análisis, 13 de marzo de 2019. Antes de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M. P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	8	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	4	Ausencia

Tabla 3. Fecha del análisis, 13 de marzo de 2019. Después de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M. P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia

Tabla 4. Fecha del análisis, 23 de abril de 2019. Antes de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M.P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	10	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	3	Ausencia

Tabla 5. Fecha del análisis, 23 de abril de 2019. Después de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M.P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia

Tabla 6. Fecha del análisis, 20 de mayo de 2019. Antes de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M.P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	12	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	2	Ausencia

Tabla 7. Fecha del análisis, 20 de mayo de 2019. Después de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M.P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia

Tabla 8. Fecha del análisis, 12 de junio de 2019. Antes de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M.P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	10	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	4	Ausencia

Tabla 9. Fecha del análisis, 12 de junio de 2019. Después de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M.P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia

Tabla 10. Fecha del análisis, 10 de julio de 2019. Antes de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M.P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	14	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	4	Ausencia

Tabla 11. Fecha del análisis, 10 de julio de 2019. Después de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M.P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia

Tabla 12. Fecha del análisis, 20 de agosto de 2019. Antes de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M.P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	14	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	6	Ausencia

Tabla 13. Fecha del análisis, 20 de agosto de 2019. Después de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M.P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia

Tabla 14. Fecha de análisis, 26 de septiembre de 2019. Antes de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M.P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	16	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	6	Ausencia

Tabla 15. Fecha del análisis, 26 de septiembre de 2019. Después de la radiación.

Parámetro	Norma/Método	Resultado	L.M.P
C. Totales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia
C. Fecales NMP/100mL	NMX-AA-042-2015	Ausencia	Ausencia

Conforme a los resultados se observa que la contaminación por coliformes totales y fecales de las aguas estudiadas en los primeros cuatro meses (de marzo a junio) que corresponden a los meses de estiaje se registran valores similares con poca variación estos valores presentan similitud con los reportados en la Tabla 1. Los cuales fueron obtenidos en el año 2018, se puede decir que los resultados tienen ese comportamiento porque en los meses mencionados las aguas brotan y corren con bastante quietud y no son alteradas en su composición, por ejemplo, con aguas de lluvia, tierra, hojas que generalmente son arrastradas por la lluvia. Puede observarse que en los meses de julio a septiembre los valores de los organismos estudiados aumentan ligeramente, en este caso hay que considerar que ya son meses lluviosos y que las aguas de los manantiales y ríos son fácilmente alterados en su composición debido a que reciben contaminación por lo que implica el fenómeno de la lluvia.

En cuanto a los resultados de la población microbiológica de coliformes totales y fecales de las aguas sometidas a desinfección con luz UV de longitud de onda de 254 nm, se encuentra que las muestras irradiadas en todos los casos el resultado de los microorganismos mencionados es ausente ó no detectable, por lo que las aguas estudiadas cumplen con la normatividad vigente para uso y consumo humano. Conforme a dichos resultados se puede decir que la metodología aplicada es una opción adecuada para la desinfección de las aguas superficiales del río el Puendo.

Conclusiones

Es importante aclarar que ésta investigación debe considerarse como un proceso eficiente en la desinfección de aguas superficiales para emplearse para uso y consumo humano, sin embargo, hay que tomar en cuenta que las muestras irradiadas se realizaron con volúmenes de 50 ml y para que el agua ya potabilizada pueda ser suficiente para una población, aunque ésta sea pequeña, habrá que realizar más experimentación y adaptar una metodología que satisfaga las necesidades de agua potable de la población. De todas formas, los resultados obtenidos en el presente trabajo son una guía para futuras investigaciones (Beltrán, 2017).

Referencias

Beltrán Z. N. (2006). *Aplicación de luz ultravioleta para la desinfección de efluentes secundarios con alto contenido de patógenos*. Tesis pregrado, Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México, Ingeniería, México.

Bolton J.R., Cotton C.A. (2008). *The ultraviolet disinfection handbook*. Unites States of America: American water works association. First edition.

Calderón L.G. (2014). *Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de luz ultravioleta*. Tesis. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. Recuperado el 2017 de febrero de 2018, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7256/1/UPS-CT004152.pdf>

CONAGUA (2016). Capítulo 5. Luz ultravioleta. En *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento* (pág. 181). Ciudad de México

Crittenden J.C. (2012). *MWH's Water Treatment Beginning and Desing*. New Jersey: WILEY.

EPA (2003). Unites States Environmental Protection Agency. *Ultraviolet disinfection guidance manual*. Cap 2. Overview of UV disinfection. Recuperado el 19 de Junio de 2019, de <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/901T0000.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>

González A.A. (2007). *Evaluación del proceso combinado Ácido Peracético-Luz Ultravioleta para desinfección de agua residual tratada para utilizarse en riego de áreas verdes*. (Tesis de pregrado, Maestría), Universidad Autónoma Metropolitana.

Gutiérrez E.S. (2012). *Diseño de un equipo de desinfección por luz ultravioleta para el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización*. TECNOCIENTÍFICA URU (2), 9.

IPOMEX. (2008). *Información Pública de Oficio Mexiquense*. Recuperado el 20 de Febrero de 2018, de <http://www.ipomex.org.mx/ipo/archivos/downloadAttach/104477.web;jsessionid=B72AA911320521F709B032C6F0474F79>

Madigan T.M. (2004). *Biología de los microorganismos*. p-926-942. Pearson Educación, S. A. Madrid.

OMS (2015). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el 14 de Enero de 2019, de https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/

Ponce O. E. (2005). *Diseño de un tren de potabilización para una planta generadora de agua embotellada*. Tesis de pregrado, licenciatura, Universidad de las Américas Puebla., Escuela de ingeniería, Cholula, Puebla.

SEMARNAT (2012). Capítulo 6 Agua. Sección disponibilidad del agua. México, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Rittmann B.E. (2001). *Biología del Medio Ambiente Principios y Aplicaciones*. p-539-632. Mc Graw Hill, Madrid.