

Análisis de la factibilidad de uso del agua tratada en la planta purificadora del Instituto Tecnológico Superior de Motul y su aplicación como herramienta de aprendizaje

F. Canul-Bacab^{1*}, J.A. Alonzo-Pacheco¹, C.G. Dzib-Pool¹

Resumen- Con el problema de las enfermedades intestinales el consumo de agua purificada es recomendado para evitar la deshidratación y disminuir posibles problemas por beber agua contaminada con materia orgánica. El Instituto Tecnológico Superior de Motul cuenta con una Planta portátil de Purificación de Agua con capacidad de 40,000 L/d, fue construida con la finalidad de satisfacer la demanda del personal y para ser transportada de un lugar a otro; así mismo, cuenta con propio suministro de energía y Kit de pruebas para verificar la eficacia del proceso de purificación del agua. Entre los parámetros analizados son: pH, sólidos disueltos, coliformes totales y fecales, turbiedad, dureza total, cloro residual y color; la determinación se realizó tomando como referencia la norma Mexicana NOM-127-SSA1-1994; por necesidades de la Institución fue necesario la reubicación y reacomodo de equipos con el objetivo de que el agua producida sea confiable para el consumo humano. En conclusión, los resultados obtenidos en las muestras de agua purificada muestran que se encuentran dentro del intervalo de los parámetros que indica la norma; por lo tanto, puede ser utilizada para el consumo de las personas; además, permitió capacitar a los estudiantes en el ensamble de equipos de tratamiento de agua.

Palabras claves: Dureza, osmosis inversa, ozonificación, pH, Purificación, Tratamiento de agua.

Abstract- Due to the problem of intestinal diseases is recommended for the population the consumption of purified water to avoid dehydration and reduce possible risks of drinking contaminated water with organic matter. The Motul's Higher Technological Institute has a portable Water Purifying Plant with a capacity of 40,000 L/d, it was

and total coliforms, turbidity, total hardness, residual chlorine, and color; the determination was made with reference the NOM-127-SSA1-1994 Mexican standard; Due to the Institution's needs, it was necessary relocate and rearrange the equipment in order to ensure the reliability of produced water for human consumption. In conclusion, the results obtained in the purified water samples show that the analyzed parameters are within the range accepted by the standard; therefore, it can be used for human consumption; this relocation allowed students to be trained in the water purifying equipment assembly.

Keywords: Total hardness, reverse osmosis, ozonation, pH, Purification, Water treatment.

I. INTRODUCCIÓN.

El Estado de Yucatán México se ha caracterizado por su gran volumen de agua subterránea; no obstante, sus condiciones hidrogeológicas, la superficie del terreno y sus condiciones climatológicas hacen al acuífero vulnerable a la contaminación. En los últimos años se ha manifestado un alto grado de contaminación de tipo orgánica e industrial, esta degradación del agua se debe al desarrollo poblacional e industrial que se ha presentado [1].

Con el problema de las enfermedades intestinales en ciertas épocas del año principalmente en la de calor, el consumo de este vital líquido (agua purificada) es recomendado para evitar deshidratación y como medio para disminuir posibles problemas en el sistema digestivo por beber agua contaminada con materia orgánica [2]; por lo tanto, resulta un factor positivo el consumo de agua purificada y el costo de adquisición es elevado comparado con lo que cuesta a las empresas procesarla. No toda la población cuenta con los medios necesarios para su adquisición; con el paso de los años el consumo de agua purificada ha aumentado, las empresas que distribuyen este tipo de producto han tenido ganancias elevadas debido a que el proceso de purificación de agua es simple y los equipos requeridos para la eliminación de sales se pueden adquirir en cualquier parte de México.

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Motul, Tablaje catastral 383, carretera Mérida-Motul, Yucatán, México.

*fernando.canul@itsmotul.edu.mx

Con el desarrollo de la tecnología se han creado alternativas para el tratamiento de aguas y efluentes de la industria, algunos de los métodos de tratamiento para la eliminación de sales incluyen filtración, sedimentación, coagulación, oxidación, irradiación con haz de electrones, tratamiento con radio coloide y osmosis inversa complementado con luz ultravioleta y generación de ozono [3].

Otros materiales que han sido utilizados para el tratamiento de aguas incluyen grafeno, óxido de grafeno, molibdeno disulfuro (MoS₂), nitruro de boro (BN), carburo de silicio y zeolita. Se han realizado simulaciones con membranas de nano estructura para desalinizar agua y los resultados han sido favorable; por lo tanto, puede ser utilizado tanto en la industria como en otras actividades para la eliminación de sales en el agua [4]. El uso de nano membranas para la eliminación de sales y tratamiento de aguas ha llamado la atención de los investigadores, estos materiales nano estructurados se han investigado en ósmosis inversa, son más eficientes energéticamente y ambientalmente amigable [5]; existen inconvenientes para el uso de materiales nano estructurados por la baja permeabilidad ocasionado por acumulación de sales. La utilización del proceso de ósmosis inversa (OI) para la eliminación de sales, se basa en el uso de la Tecnología de Membranas (EMS- Engineered Membranes System), el cual ha tenido un desarrollo masivo en los últimos años. La OI permite la remoción de una amplia gama de contaminantes del agua (metales, sales, compuestos orgánicos, etc.), es un proceso altamente tecnificado pero sencillo y no excluye otros procesos que se aplican en las plantas de tratamiento de agua. El proceso de OI consiste en separar un componente de otro en una solución mediante las fuerzas ejercidas sobre una membrana semi-permeable; su nombre proviene de "ósmosis", fenómeno natural por el cual se proveen de agua las células vegetales y animales para mantener la vida.

Por lo tanto, en este trabajo se propone la reubicación y reacomodo de equipos para la rehabilitación de la planta purificadora de agua para el suministro de este vital liquido a la comunidad de la Institución con el objetivo de que el agua producida sea confiable para el consumo humano; por lo tanto, es necesario el desensamble y ensamble de los equipos en otra área para su puesta en servicio.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La figura 1 muestra la planta portátil de Purificación de Agua del Instituto Tecnológico Superior de Motul (PPAITSM) con capacidad de 40,000 L/d, es compacta, versátil, fácil de operar fue ensamblada en una estructura para ser trasladada de un lugar a otro de forma segura; cuenta con propio suministro de energía por lo que no requería de alimentación de la red pública.

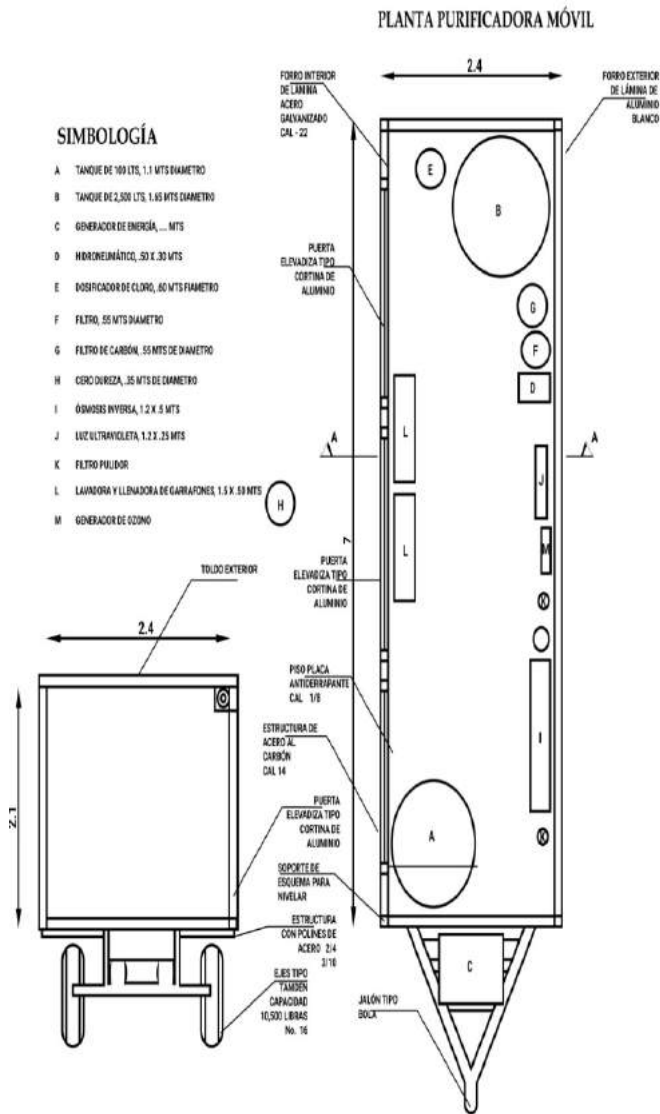


Figura 1. Distribución de los equipos en la estructura de transporte.

Además, cuenta con un Kit de calidad para controlar y verificar la eficacia del tratamiento de purificación del agua, la tabla I muestra los valores de los parámetros que indican las normas Mexicana NOM-127-SSA1-1994 [6] de tal manera que el agua purificada producida sea confiable para el consumo humano.

Tabla I
Especificaciones de calidad para agua purificada [7]

Parámetros	Límites permisibles
pH	6.5-8.5
Alcalinidad mg/L (como CaCO ₃)	300
Dureza total mg/L (como CaCO ₃)	200
Turbiedad UTN	5
Cloro residual	0.1
Sabor	Inodoro
Cloruros como Cl ⁻ mg/L	250
Ozono al envasar mg/L	0.4
Olor	Insípido
Organismos coliformes totales NMP/100 ml	2
Organismos coliformes fecales NMP/100 ml	No detectable

Sin embargo, desde hace 2 años aproximadamente ha estado inactivo por problemas de diverso índole, poniendo en riesgo el funcionamiento de los equipos y la calidad de agua procesada; por lo tanto, fue necesario ponerlo en operación.

A. Metodología

Este trabajo se realizó en el Instituto Tecnológico Superior de Motul, se encuentra en la ciudad de Motul Yucatán México, el agua utilizada para el abastecimiento, servicios y purificación proviene de un pozo de extracción de una profundidad de 18 metros y se encuentra ubicado dentro de las instalaciones de la institución. La profundidad de 18 metros es considerada libre de materia orgánica y es la recomendada para la extracción del agua utilizada para el suministro y consumo de la población.

Para la determinación de las condiciones del sistema de purificación, se realizó una revisión de forma visual; además, se verificaron los sistemas eléctrico y hidráulico, con los resultados se realizó el diagnóstico de las condiciones en que se encontraban los equipos y la estructura del vehículo en donde se encontraba ensamblada la planta purificadora.

Para la ubicación del área en donde se conectarían los equipos, se consideró las condiciones, dimensiones y características del laboratorio de procesos asignado al programa educativo de Ingeniería Industrial; así como, la facilidad de acceso, espacio necesario para el movimiento de las personas durante la etapa de producción de agua purificada; para ello, se requirió de programas informático como el AutoCAD y Sketch.

Para el desacoplamiento de los equipos se requirió el apoyo de otros docentes; además, con la finalidad de contribuir con el aprendizaje de los estudiantes, en el mantenimiento y ensamble de equipos de purificación, se utilizaron alumnos de las carreras de Ingeniería Industrial e Ingeniería electromecánica.

Para el traslado de los equipos hacia el lugar de ensamble fue necesario el apoyo mecánico como son los diablos de carga y poleas manuales; así como herramientas para la separación de los diversos componentes.

Para el ensamble de los equipos en el área señalada, se requirió hacer un análisis de las condiciones actuales, las condiciones futuras y las modificaciones requeridas tanto en el sistema hidráulico como en el eléctrico; a partir de los resultados obtenidos, se procedió a realizar los requerimientos de material e insumo.

Después del ensamble de la PPAITSM, se realizaron pruebas de operación con los equipos en condiciones normales con la finalidad de verificar el funcionamiento y encontrar fugas de agua en la planta purificadora dentro del laboratorio de procesos.

Para la toma de la muestra del agua cruda en el pozo de abastecimiento, se limpió la tubería de salida, se desinfectó y con la finalidad de eliminar el agua estancada dentro del ducto se dejó fluir el agua durante 5 minutos. La toma de muestra del agua purificada se realizó en el muestreador de salida de la planta purificadora y analizadas al momento con la finalidad de corregir cualquier desviación que pudiera existir durante la operación del proceso de purificación.

B. Análisis físicos y químicos del agua

Par al determinación de la calidad del agua purificada se realizaron los siguientes: para la determinación del pH se utilizó un

potenciómetro marca Hach Sesión+PH1, modelo LPV2500.98.0002 con un electrodo Sesión CAT 5050T para PH1, para uso general y cuerpo de plástico. La conductividad fue determinada con un equipo marca Hach Sensión+ EC5 y con celda de conductividad 5060 con sensor de platino y temperatura. Para la determinación de sólidos disueltos totales se utilizó un medidor de TDS marca HM digital, con un rango de 0 – 9990 ppm (mg/L). El ozono fue determinado con un Kit de prueba, modelo OZ-2, con rango de 0 a 22 mg/L. Para la determinación de turbiedad se utilizó un conductímetro de laboratorio 2100N, EPA, 230 Vca. Para la determinación de dureza se utilizó un kit de medición de dureza del agua, modelo HACH 5B.

Par la caracterización del agua de abastecimiento se realizaron las pruebas tomado como referencia las normas Mexicanas, las cuales se enumeran a continuación; para la determinación del color se utilizó la norma NOM-001-STPS-2008 [8], para olor la norma NMX-AA-83-1982 [9], para turbiedad la norma NMX-AA-038-SCFI-2001 [10], para cloro libre la norma NMX-AA-108-SCFI-2001 [11], para cloruros la norma NMX-AA-073-SCFI-2001 [12]), para dureza total la norma NMX-AA-072-SCFI-2001 [13], para nitratos la norma NMX-AA-079-SCFI-2001 [14], para nitritos la norma NMX-AA-099-SCFI-2006 [15], para nitrógeno amoniacal por el método de salicilato, para pH (25°C) la norma NMX-AA-008-SCFI-2016 [16], para sólidos disueltos totales la norma NMX-AA-034-SCFI-2015 [17], para sulfatos la norma NMX-AA-074-SCFI-2014 [18], para SAAM la norma NMX-AA-039-SCFI-2001 [19] y para conductividad norma NMX-AA-093-SCFI-2000 [20]).

C. Análisis microbiológico del agua cruda y purificada

Se determinaron coliformes totales y coliformes fecales basándose en la NOM-AA-42-1987 [21], en ella se encuentran descritos los requisitos sanitarios que deben cumplir las sustancias germicidas para tratamiento de agua, de tipo doméstico.

III. RESULTADOS

A. Desensamble y ensamble de los equipos

Para la instalación de equipos en un proceso de purificación de agua se requiere del conocimiento de sistemas hidráulicos, mecánica, programación y electricidad; por lo tanto, fue necesario el apoyo de docentes y alumnos de las

carreras de Ingeniería Industrial e Ingeniería electromecánica. Cada uno de estos programas educativos contribuyeron con personal, en donde desarrollaron y aplicaron sus competencias para el acoplamiento de los equipos, instalación del sistema eléctrico, programación del microcontrolador (PLC) y la realización de pruebas de operación.

Las figuras 2 y 3 muestran los resultados de las revisiones realizadas, se encontró que los soportes de la estructura se encontraban oxidados, esto se debió a la intemperie y las condiciones climatológicas; por otro lado, el ozono generado para oxidar la materia orgánica acelero la velocidad de oxidación de la estructura.



Figura 2. Corrosión en la estructura de la PPAITSM



Figura 3. Corrosión en la estructura de la base del equipo de transporte de la PPAITSM

El ozono se ha utilizado durante años para desinfectar el agua, también en otros usos comerciales como son desinfección de agua embotellada, agua de piscina, prevención de contaminación de torres de enfriamiento y en la industria alimentaria [22-23]. Vicent et al. [24], mencionan que la reactividad del ozono es elevada, tiene una variedad de aplicaciones, que incluyen: desinfección y oxidación de micro contaminantes orgánicos recalcitrantes (fármacos, pesticidas, contaminantes fenólicos, etc.); además,

oxida elementos como hierro, manganeso y sulfitos; por lo tanto, es importante considerar sus propiedades cuando esta contacto con ductos metálicos, ya que acelera la oxidación de metales como el hierro; por consiguiente, el ozono debido a su capacidad potencial oxidante es una sustancia antimicrobiana eficiente; sin embargo, ocasionó el deterioro del soporte de la estructura del vehículo. El uso del ozono puede tener ventajas para la desinfección de agua purificada ya que no deja olor residual; por consiguiente, sus propiedades químicas debe de ser considerado, sobre todo si se utilizan tuberías metálicas, ya que puede favorecer su oxidación.

Después de realizado el análisis y diagnóstico de las condiciones en que se encontraba la planta portátil de purificación de agua del ITS de Motul, se determinó el espacio en donde se ubicarían para la puesta en servicio en el laboratorio de proceso; las figuras 3 y 4 muestran las operaciones de desensamble de tuberías, equipos y sistema eléctrico, para la realización de esta operación fue necesario la participación de 3 estudiantes del programa educativo de Ingeniería Industrial e Ingeniería Electromecánica. La finalidad de la participación de los estudiantes fue para evaluar sus competencias adquiridas en el salón de clase; además, recibieron capacitación en el ensamble, instalación y operación de un proceso de purificación de agua.



Figura 3. Desensamble del filtro de sedimento y carbón activado de la PPAITSM



Figura 3. Desensamble de los equipos de la PPAITSM

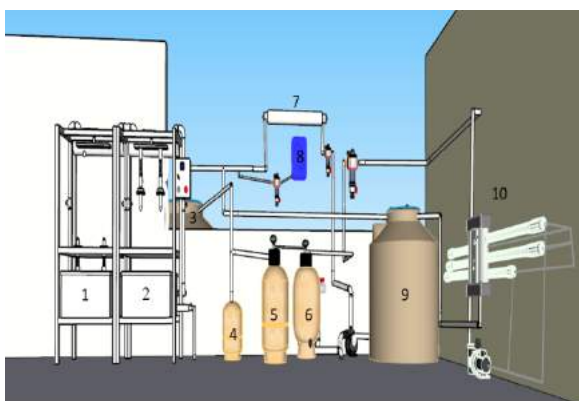
Conjuntamente, se requirió la asesoría y participación de 2 docentes, quienes se encargaron de dirigir los trabajos como son: instalación eléctrica, programación del PLC y la secuencia de funcionamiento de los equipos.

Durante el ensamble de los equipos se presentaron problemas por falta de material para conectar el sistema hidráulico y eléctrico, estos fueron ocasionados por las modificaciones que se realizaron en las uniones hidráulicas y eléctricas, por lo general ocurren cuando el sistema se traslada de un lugar a otro; por lo tanto, se requiere de ajuste en las configuraciones y modificación de las uniones; por consiguiente, se requirió la participación de los estudiantes para la solicitud de cotizaciones con proveedores. La realización de esta actividad les permitió a los estudiantes interactuar con proveedores y conocer el mecanismo para la adquisición tanto de materiales como insumos requeridos.

El laboratorio de proceso del programa educativo de Ingeniería industrial, al momento de su construcción no contemplaba la instalación de la PPAITSM en su interior; por consiguiente, fue necesario adaptar y ajustar el sistema a las condiciones del espacio asignado de trabajo; de tal manera cumpla los requerimientos de seguridad y trabajo que indica la norma.

Para la selección del espacio para el ensamble de la purificadora, se tomó como referencia las Normas Oficiales Mexicana NOM-031-STPS-2011 y la NOM-001-STPS-2008 [8-25], en donde describen las características y condiciones que debe de cumplir el área de trabajo. La figura 4 muestra la distribución final de los equipos, los programas computacionales de AutoCAD y Sketch, permitió determinar con

mayor precisión el lay-out de los equipos; además, los alumnos realizaron simulaciones con diferentes configuraciones de los equipos en menor tiempo; por lo tanto, determinaron con mayor precisión el espacio a ocupar; así mismo, se contribuyó con la preparación de los alumnos para aplicar las competencias adquiridas en el salón de clase en programas computacionales como la simulación.



1.- Lavadora
2.- Llenadora
3.- Tanque de almacenamiento
4.- Tanque regulador
5.- Filtro de antracita
6.- Filtro de carbón activado.
7.- Luz: Ultravioleta
8.- Generador de ozono
9.- Tanque de agua libre de sales
10.- Osmosis inversa

Figura 4. Distribución de los equipos de la PPAITSM

Antes de realizar las pruebas de funcionalidad de los equipos, se verificaron las conexiones hidráulicas en todo el sistema y la intensidad de alimentación del voltaje; posteriormente, se procedió a energizar todo el sistema. Durante el inicio de la prueba en la PPAITSM, se requirió de ajuste en la secuencia de trabajo de los equipos y reparaciones de fugas.

B. Caracterización del agua de abastecimiento

La tabla II muestra los resultados obtenidos en la caracterización del agua extraída del pozo de abastecimiento.

Tabla II.
Resultados de la caracterización del agua de abastecimiento

Parámetro	Resultados	NOM-127-SSA1-2017 [26]
Color	cero	20 unidades
Olor	Inodoro	Agradable
Sabor	Insípido	agradable
Cloruros mg/L	115.7	250
Dureza Total mg/L	384.29	500
Nitritos mg/L	< 0.004	0.05
Nitratos mg/L	4.72	10

Nitrógeno amoniacal	< 1.0	0.5
pH	7.1	6.5-8.5
Sulfatos mg/L	18.9	400
SAAM mg/L	< 0.1	0.5
SDT mg/L	617.56	100

SAAM, sustancias activas al azul de metileno; SDT, sólidos disueltos totales

Los parámetros analizados permitieron conocer las características del agua utilizada en las distintas áreas como son servicios sanitarios, cocina, consumo, limpieza, riego de jardines y alimentación del proceso de purificación de agua. Estos resultados se encuentran dentro del intervalo que es considerado apto para el consumo humano [6].

La tabla II muestra los valores de los parámetros analizados. El pH presentó un valor de 7.1, el cual se encuentra dentro del intervalo, la dureza total y los cloruros registraron valores de 384.29 y 115.7 mg/L, nitritos, nitratos y nitrógeno amoniacal registraron valores inferiores a lo indica la norma; por consiguiente, se considera que se encuentra libre de materia orgánica.

En cuanto a los metales pesados, en pruebas previas realizadas al agua de abastecimiento (agua cruda) se observan que los valores determinados se encuentran en concentraciones muy por debajo de los límites que indica esta norma [26]; por lo tanto se consideró no determinarlo en el agua purificada. Los resultados de los metales pesados encontrados, se debió a las características de los procesos productivos y las actividades que se realizan en la región; por consiguiente, no generan este tipo de contaminantes.

C. Agua purificada

La tabla III muestran los valores de los parámetros analizados del agua purificada (después de la eliminación sales).

Tabla III.
Resultados del agua purificada

Parámetro	Resultados	NOM-127-SSA1-2017 [13]
Color	cero	20 unidades
Olor	Inodoro	Inodoro
Sabor	Insípido	Insípido
Cloruros mg/L	0	250
Dureza Total mg/L	0	500
Turbiedad UNT	0.28	
pH	7.3	65-8.5
Conductividad μS/cm	2	

Ozono mg/L	0.15	
SDT mg/L	36	100

Los resultados que se registraron se encuentran dentro de norma, los parámetros de color, olor y sabor cumplen con las pruebas organolépticas practicadas. En los resultados de dureza total y cloruros se encontraron resultados de 0.0 mg/L. En cuanto a los análisis de turbiedad el cual representa la materia que se encuentra suspendida, el resultado obtenido de 0.28 UNT muestra que el agua producida se encuentra libre de partículas suspendidas; la conductividad reportada de 2 μ S/cm y los SDT de 36 mg/L, indica la alta eficiencia ($\leq 95\%$) de eliminación de sales por el sistema, así como el funcionamiento de la ósmosis, Malaeb y Ayoub [27], en una revisión de trabajos de diferentes autores encontró rechazos de sales superiores al 99,5 y 97,8% utilizando equipo de osmosis inversa; de la misma manera, Tang et al. [28], realizaron trabajos utilizando osmosis inversa y mencionan que puede lograr alta eficiencia de eliminación de microorganismos, materia coloidal, sólidos disueltos, orgánicos e inorgánicos del agua de alimentación; además, la alta estabilidad del permeado son también las ventajas del proceso.

En cuanto a la concentración de ozono en el agua purificada antes de envasarse se encontraron concentración en un intervalo de 0.1 a 0.2, lo que garantizó la completa eliminación de los microorganismos debido a la oxidación de la materia orgánica. Galvis. et al. [29], mencionan que la turbiedad disminuye la efectividad del ozono en el agua ya que enmascara a los microorganismos y la presencia de metales como el hierro y manganeso disminuye la concentración; por consiguiente su efectividad de destrucción de los microorganismos. Con base a los resultados obtenidos se determinó que el agua procesada por la planta purificadora se considera apta para el consumo de las personas.

D. Coliformes totales y fecales

La tabla IV muestran los resultados microbiológicos obtenidos en las muestras de agua de abastecimiento y agua purificada (después del tratamiento de eliminación de sales).

Tabla IV.
Resultados microbiológicos

Parámetros	Agua de abastecimiento	Agua purificada	NOM-127-SSA1-2017 [26]
Coliformes totales NMP/100 ml	150	0	2
Coliformes fecales NMP/100 ml	0	0	No detectable

NMP: Número más probable

En el agua de abastecimiento, se reportaron resultados de coliformes totales de 150 NMP/100 ml y 0, después de proceso de purificación, la eliminación de los microorganismos fue completa; por consiguiente, se encontraron valores de cero.

Cáceres Báez y Chunga Quinde [30] mencionan que todos los microorganismos mueren al contacto con la luz ultravioleta; además, evita futura proliferación, es decir funciona como germicida, exterminando bacterias, gérmenes, virus, algas y esporas presentes en el agua, de igual manera Iriarte [31], menciona que cuando la radiación penetra la pared celular de un organismo, el material genético es modificado y la célula es incapaz de reproducirse. La luz ultravioleta destruye virus y bacterias; además, provee un método de operación y mantenimiento sencillo, es útil con tiempos cortos de contacto y no genera residuos tóxicos o subproductos, también describe que el ozono disuelto en el agua, forma radicales hidroxilo (OH⁻) que reaccionan con los microorganismos para inactivarlos; su unión con contaminantes tienen un mayor rendimiento de desinfección, que el radical hidroxilo; por lo tanto, la acción de la luz ultravioleta en conjunto con el ozono disuelto en el agua eliminó a los microorganismos.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Contar con un proceso de tratamiento de agua purificada en la Institución, es una herramienta útil en donde se puede evaluar las competencias adquiridas por los futuros profesionistas en el salón de clase; además, permite capacitarlos en un sistema que es aplicado en cualquier industria como es el tratamiento de aguas; en ellas, adquirieron conocimiento para la eliminación de sales disueltas en las aguas de abastecimiento ya que ocasionan incrustaciones en las tuberías por consiguiente obstrucción del flujo de agua.

Se concientizó al grupo de trabajo de la importancia del mantenimiento de los equipos y saneamiento con la finalidad de evitar la contaminación con microorganismos patógenos y de otro tipo; por lo tanto, para que un producto sea elaborado y cumpla con las especificaciones que indica la norma, deben de participar las distintas áreas de un sistema productivo como son: control de calidad, mantenimiento y producción.

En cuanto a los resultados de los parámetros obtenidos en las muestras de agua purificada después de la reubicación se encuentra dentro del intervalo que indica la norma [26]; por lo tanto, puede ser consumida por las personas. El ejercicio de des-armar y armar los equipos utilizados para la purificación del agua permitió evaluar las competencias y capacidad de los estudiantes; al mismo tiempo, entrenarlos en actividades en las que se enfrentarán en el campo laboral.

Con base a los resultados obtenidos, se concluye que el trabajo realizado de rehabilitar la planta portátil de agua purificada del Instituto Tecnológico Superior de Motul al laboratorio de procesos del programa educativo de Ingeniería industrial beneficio a los docentes y alumnos que participaron. Los alumnos aplicaron las competencias adquiridas en el salón de clase, como son el manejo de programas de simulación, autocad y manejo de la normatividad para la delimitación de espacio de trabajo; además, visualizaron la importancia del trabajo en equipo con la finalidad de alcanzar resultados con base a un cronograma de actividades.

La realización de este tipo de proyecto permitió a los participantes desarrollar sus habilidades creativas e innovadoras en el ensamble de sistemas de purificación de agua. y aplicarlas en el salón de clase. Se recomienda realizar revisiones periódicas a los equipos para mantener sus operaciones en condiciones normales y el saneamiento cada vez que se inicie las operaciones y al final.

V. REFERENCIAS

- [1] Martínez-Salvador, C., Moreno-Gómez, M., and Lied, R. (2019) Estimating Pollutant Residence Time and NO_3 Concentrations in the Yucatan Karst Aquifer; Considerations for an Integrated Karst Aquifer Vulnerability Methodology, *Water*. 1431, 11
- [2] Morales, G. M. (2002) Saneamiento y salud: Impacto de las enfermedades diarreicas agudas en la península de Yucatán. IMTA, Cancún, Quintana Roo, México.
- [3] Ambashita, R. D. and Sillampaa, M. (2010) Water purification using magnetic assistance: A review, *Journal of Hazardous Materials*. 38-39, 180
- [4] Rassoulinejad-Mousavia, S. M., Azamatb, J., Khataee, A., and Zhanga, Y. (2020) Molecular dynamics simulation of water purification using zeolite MFI nanosheets, *Sep. Purif. Technol.* 1-8, 234
- [5] Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Mariñas, B. J., and Mayes, A. M. (2008) Science and technology for water purification in the coming decades, *Nature*. 301-310, 452
- [6] NOM-127-SSA1-1994, N. O. M., "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización," México, 1994.
- [7] NOM-041-SSA1-1993, N. O. M., "Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias," México, 1995.
- [8] NOM-001-STPS-2008, N. O. M., "Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo- Condiciones de seguridad.," in "Diario oficial de la federación," México, 2008.
- [9] NMX-AA-83-1982, N. M., "ANÁLISIS DE AGUA.- DETERMINACION DE OLOR," in "Diario Oficial de la Federación," México, 1992.
- [10] NMX-AA-038-SCFI-2001, "Análisis de agua - determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba," in "Diario Oficial de la Federación," México, 2001.
- [11] NMX-AA-108-SCFI-2001, "Calidad del agua - determinación de cloro libre y cloro total - método de prueba," in "Diario Oficial de la Federación," México, 2001.
- [12] NMX-AA-073-SCFI-2001, "Análisis de agua - determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba " in "Diario oficial de la Federación," México, 2001.
- [13] NMX-AA-072-SCFI-2001, "Análisis de agua - determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba," in "Diario oficial de la Federación," México, 2001.
- [14] NMX-AA-079-SCFI-2001, "Análisis de aguas - determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba " in "Diario oficial de la Federación," México, 2001.
- [15] NMX-AA-099-SCFI-2006, "Análisis de agua - determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales y residuales - métodos de prueba," in "Diario Oficial de la Federación," México, 2006.
- [16] NMX-AA-008-SCFI-2016, "Análisis de agua.- medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.-método de prueba-," in "Diario Oficial de la Federación," México, 2016.
- [17] NMX-AA-034-SCFI-2015, "Análisis de agua - medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba," in "Diario Oficial de la Federación," México, 2015.
- [18] NMX-AA-074-SCFI-2014, "Análisis de agua - medición del ion sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba," in "Diario Oficial de la Federación," México, 2014.
- [19] NMX-AA-039-SCFI-2001, "Análisis de aguas - determinación de sustancias activas al azul de metileno (saam) en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba," in "Diario Oficial de la Federación," México, 2001.

- [20] NMX-AA-093-SCFI-2000, "Análisis de agua - determinación de la conductividad electrolítica - método de prueba," in "Diario Oficial de la Federación," México, 200.
- [21] NMX-AA-42-1987, N. M., "Calidad del agua- determinacion del numero mas probable (nmp) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli presuntiva," in "Diario Oficial de la Federación," México, 1992.
- [22] Zeynep, B., Guzel-Seydima, Annel, K., Greeneb, A., and Seydima, B. (2004) Use of ozone in the food indust, Society of Food Science and Technology. 453-460, 37
- [23] Jurado-Alameda, E., García-Román, M., Altmajer-Vaz, D., and Jiménez-Pérez, J. L. (2012) Assessment of the use of ozone for cleaning fatty soils in the food industry, J Food Eng. 44-52, 110
- [24] Vicent, S. C., Clavijo, J. G. B., Cuenca, R. M., and Agustina, J. C. (2017) Procesos de oxidación avanzada en el ciclo integral del agua, UNIVERSITAT JAUME. 1-170,
- [25] NOM-031-STPS-2011, N. O. M., "Construccion- condiciones de seguridad y salud en el trabajo," in "Diario oficial de la federación," México, 2011.
- [26] NOM-127-SSA1-2017, N. O. M., "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua," México, 2017.
- [27] Malaeb, L. and Ayoub, G. M. (2011) Reverse osmosis technology for water treatment: State of the art review, Desalination 1-8, 267
- [28] Tang, F., Hu, H.-Y., Sun, L.-J., Sun, Y.-X., Shi, N., and Crittenden, J. C. (2011) Fouling characteristics of reverse osmosis membranes at different positions of a fullscale plant for municipal wastewater reclamation, Water Research. 1-30,
- [29] Galvis., A., Aponte, G., Echeverry, D. F., González, M. I., and Cardona, D. A. (2005) Evaluación del funcionamiento de un Generador de Ozono a escala piloto en la desinfección de agua para consumo humano, Ingeniería y Competitividad. 65-72, 7
- [30] Cáceres Báez, E. A. and Chunga Quinde, P. A. (2017) Optimización del proceso tecnológico de purificación del agua en la empresa agualuz. Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba- Ecuador.
- [31] Iriarte, R. (2020) Nuevas tendencias en sistemas de purificación de aguas. Maestria, Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, España.

Superior Motul y la maestría en Administración en la Universidad del Sur campus Mérida, actualmente se encuentra estudiando el doctorado en la Universidad del Sur. Hasta la fecha se encuentra laborando en el Instituto Tecnológico Superior de Motul en el programa educativo de Ingeniería Industrial como Profesor de tiempo completo.



Claudia Guadalupe Dzib Pool. Nació en Mérida Yucatán México el 29 de agosto de 1984. Estudió la licenciatura de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Motul, la Maestría en Administración, en el área de Calidad y Productividad, en la Universidad TecMilenio Campus Mérida. Actualmente se encuentra laborando en el Instituto Tecnológico Superior de Motul en el programa educativo de Ingeniería Industrial como Jefa de la Carrera de Ingeniería Industrial.

VI. BIOGRAFÍA



Fernando Canul Bacab. Nació en Tekantó Yucatán México el 12 de noviembre de 1964. Estudió la licenciatura de Química Industrial en la Universidad Autónoma de Yucatán, la maestría en Ingeniería Ambiental en la Universidad Autónoma de Yucatán y el doctorado en Energías Renovables en el Centro de Investigación Científica de Yucatán. Actualmente se encuentra laborando en el Instituto Tecnológico Superior de Motul en el programa educativo de Ingeniería Industrial como Profesor Titular A de tiempo completo.



José Antonio Alonso Pacheco. Nació en Motul Yucatán México el 16 de abril de 1992. Estudió la licenciatura de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico