

**Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Agronómicas
Escuela de Posgrado y Educación Continua**

Programa de Posgrado en Agronomía Tropical Sostenible



“Evaluación de un sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto para mejorar la eficiencia en el uso del agua en el Laboratorio de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del Ministerio de Salud de El Salvador”

Presentada por:

Lic. Guillermo Emilio Alvarenga Marroquín

Tesis

**Presentada como requisito parcial para obtener el Grado de:
Maestro en Ciencias en Gestión Integral del Agua**

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2017.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Lic. M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS

SECRETARIO GENERAL:

Lic. M. Sc. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO:

Ing. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

Ing. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

Esta Tesis fue realizada bajo la dirección del Tribunal Evaluador de Tesis indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

**Maestro en Ciencias
en Gestión Integral del Agua**

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2017

Tribunal Evaluador de Tesis

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia
Asesor de Tesis y Presidente del Tribunal Evaluador de Tesis

Licda. M. Sc. Tania Morena Alas Rivera
Secretaria del Tribunal Evaluador de Tesis

Licda. M. Sc. Norma Esthela Molina Velásquez
Vocal del Tribunal Evaluador de Tesis

Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Nuñez
Director de la Escuela de Posgrado y Educación Continua

Dedicatoria

- Este trabajo esta de dicado al único Dios del universo, a ese Dios poderoso que es Padre, Hijo y Espíritu Santo, pues Yahvé mi Dios y Señor me condujo a la victoria por más difícil y adverso que pareciese la vida. Mi Dios me puso el pan y el agua aún en la escases; por eso la gloria, el honor, el poder y toda la adoración sean dadas a Él.
- A mamita María, porque a través de su intercesión pude alcanzar el favor de mi amado Señor.
- A mi amada esposa Tania Morena Alas Rivera y a mi hijo Donovan Mateo Alvarenga Alas, que me han llenado de mucho amor e inspiración para lograr alcanzar metas impensadas y que parecían imposibles.
- A mi madre Ana Yesenia Marroquín de Miranda.
- A mi padre Alexander Miranda Marroquín.
- A mi hermana Xiomara Noemí Miranda Marroquín,
- A mi hermano Melvin Alexander Miranda Marroquín.
- A mi sobrina Ana Yancy Miranda Lucero por continuar con el legado de mi hermano y mantenerlo vivo en mi corazón.
- A mis bisabuelos Cruz Flores y Manuel Sandoval.
- A mi querida orden Franciscana que ayudo a cultivar mi espíritu para permanecer siempre al lado de mi Dios.
- A mi comunidad Sabaot que me ha apoyado en las buenas y malas.
- Por último dedico este trabajo de investigación a todas las personas que habitaron, que habitan y habitarán el cantón que me vio nacer y crecer, mi amada gente del cantón San José La Fuente del municipio de Tonacatepeque, departamento de San Salvador.

Agradecimientos

- Agradezco al Señor mi Dios por haberme ayudado en todo lo que aconteció desde el comienzo hasta el final de la Maestría.
- Agradezco a mamita María por haberme mostrado la obediencia para seguir a mi Señor y que Él me favorezca en todos mis proyectos.
- Agradezco a mi esposa y a mi hijo por forjar mi espíritu y voluntad con su amor y su ejemplo.
- Agradezco a mi familia por ayudarme a forjar mi carácter que ayudo a finalizar este proyecto de vida.
- Agradezco a los Asesores por haberme brindado su apoyo a lo largo del desarrollo de la investigación.
- Agradezco de corazón a Don Héctor Antonio Rivas por haberme brindado su amistad y sobre todo por haber sacrificado su comodidad personal en aquellas noches de jueves y viernes, tanto en época seca como época lluviosa, transportándome hacia mi domicilio por más de un año.
- Agradezco a la Licda. Dinora Arteaga de Molina, Jefe de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad de la Dirección Nacional de Tecnologías Sanitarias del Ministerio de Salud por el apoyo brindado para la realización de la investigación.
- Agradezco al Dr. Carlos Enrique Hernández Ávila, Jefe de Departamento de Redes de Laboratorios del Instituto Nacional de Salud del Ministerio de Salud por la ayuda técnica en los análisis físico-químicos, traza de metales pesados y microbiológicos de las aguas en estudio.
- Agradezco al Ing. Will Ávila de HIDROPUR por el préstamo de la tecnología con la que se ensayó en la presente investigación.
- Por último pero no menos importante agradecer a mi compañero de maestría el Ing. Agr. José Edson Amaya por brindarme alojamiento en su casa cuando, por motivos de fuerza mayor, no podía transportarme a mi domicilio.

Índice

	Página
Resumen.....	13
Abstract	14
I. Introducción	15
II. Planteamiento del Problema.....	17
III. Objetivos	18
3.1 Objetivo general.....	18
3.2 Objetivos específicos	18
IV. Hipótesis	18
V. Marco Teórico	19
5.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	19
5.2 El recurso agua.....	20
5.3 Agua potable	21
5.3.1 Calidad del agua a nivel de laboratorio	21
5.4 Laboratorios de calidad de agua	22
5.5 Normas de calidad del agua	23
5.6 Componentes del equipo purificador de agua de un laboratorio	26
5.6.1 Generalidades de las resinas.....	30
5.6.2 Estructura de las resinas de intercambio iónico	33
5.6.3 Tipos de resinas de intercambio iónico según su funcionalidad química	33
5.7 Componentes del sistema de purificación de agua del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad	35
5.8 Importancia del monitoreo de la calidad del agua	36
5.8.1 Transmisión de enfermedades por aguas contaminadas.....	36
5.8.2 Contaminantes en el agua.....	37
5.8.3 Parámetros solicitados por el MINSAL	37
5.9 Conductividad eléctrica	46
5.10 Caudal	47
VI. Metodología	48
6.1 Ubicación del estudio.....	48
6.2 Investigación de campo	48
6.3 Parte experimental	49

6.4 Muestras de agua a recolectar	49
6.4.1 Parámetros bacteriológicos del agua	52
6.4.2 Parámetros fisicoquímicos	52
6.4.3 Parámetros metales pesados	52
6.4.4 Conductividad del agua	52
6.5 Determinación de la calidad del agua	52
6.6 Caudal de agua desperdiciada.....	53
6.6.1 Determinación del porcentaje de desperdicio.....	53
6.7 Elaboración del procedimiento operativo estandarizado del sistema reestructurado	54
6.8 Sensibilización del personal del Laboratorio de Control de Calidad de Medicamentos	54
VII. Análisis de Resultados.....	55
7.1 Objetivo Específico 1: Caracterizar las aguas del sistema purificador de agua actual del laboratorio de Control de Calidad del Ministerio de Salud.	55
7.1.1 Diagnóstico del sistema purificador de agua no reestructurado.....	55
7.1.1.1 Equipo de bombeo.....	55
7.1.1.2 Equipo desionizador.....	55
7.1.1.3 Destilador	57
7.1.1.4 Ultrapurificador.....	58
7.1.2 Caracterización de las aguas del sistema purificador de agua no reestructurado.....	58
7.2 Objetivo Específico 2: Comparar la calidad del agua producida por el sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 Agua. Agua Potable y con la Norma Salvadoreña Obligatoria Agua. Agua Envasada NSO 13.07.02:08.	64
7.2.1 Sistema purificador reestructurado	64
7.3 Desarrollo de objetivo: Comparar la eficacia y la calidad del agua producida por el sistema purificador de agua actual con el sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto a través de una evaluación costo-beneficio.	74
7.3.1 Diagnóstico socio-económico del sistema purificador sin reestructurar	74
7.3.2 Caudal y porcentaje de agua desperdiciada.....	81
7.3.3 Comprobación de hipótesis	84
7.3.4 Conductividad	85
7.3.4.1 Sistema purificador sin reestructurar	86
7.3.4.2 Sistema purificador reestructurado	88
7.4 Desarrollo de objetivo: Elaborar un procedimiento operativo estándar (POE) del sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto.	100

7.4.1 Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) del sistema purificador reestructurado	100
7.5 Desarrollo de objetivo: Sensibilizar y capacitar al personal del laboratorio de Control de Calidad en el uso racional del agua y del sistema reestructurado.....	102
7.5.1 Talleres de sensibilización del personal	102
VIII. Conclusiones	103
IX. Recomendaciones	105
X. Bibliografía.....	107
XI. Anexos	109

Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 1. Límites máximos permisibles para calidad microbiológica.	24
Cuadro 2. Límites permisibles de características físicas y organolépticas.	24
Cuadro 3. Valores para sustancias químicas.	24
Cuadro 4. Valores para sustancias químicas de tipo inorgánico de alto riesgo para la salud. .	25
Cuadro 5. Valores para cloro residual.	25
Cuadro 6. Límites máximos admisibles para la calidad microbiológica.	26
Cuadro 7. Parámetros exigidos por el Ministerio de Salud (MINSAL) para agua potable	38
Cuadro 8. Parámetros físico-químicos requeridos por el MINSAL.	38
Cuadro 9. Parámetros para trazas de metales pesados requeridos por el MINSAL.	42
Cuadro 10. Resultados de análisis físico-químicos, trazas de metales y microbiológicos de las aguas del sistema purificador no reestructurado.	61
Cuadro 11. Resultados de análisis físico-químicos, trazas de metales y microbiológicos de las aguas del sistema purificador reestructurado por semana.	67
Cuadro 12. Resultados de análisis físico-químicos, trazas de metales y microbiológicos de las aguas del sistema purificador reestructurado por mes.	73
Cuadro 13. Caudales de agua desmineralizada producida por el sistema purificador de agua no reestructurado.	76
Cuadro 14. Depreciación del desionizador.	78
Cuadro 15. Costos de producción del agua desionizada.	79
Cuadro 16. Precio de equilibrio por volumen de agua desionizada.	79
Cuadro 17. Precio teórico de referencia para el agua desionizada semidespilada que desperdicia el destilador.	80
Cuadro 18. Precio teórico por volumen del agua desionizada desperdiciada.	80
Cuadro 19. Precios comerciales para las aguas producidas por el sistema purificador de agua del área de microbiología de la UAC.	81
Cuadro 20. Caudal y porcentaje de agua desionizada semidespilada de excelente calidad que desperdicia el sistema purificador de agua sin reestructurar.	82
Cuadro 21. Precio estimado del agua desionizada de excelente calidad que se desperdicia. ..	83
Cuadro 22. Datos para comprobación de hipótesis por chi-cuadrado.	84
Cuadro 23. Contingencia para chi-cuadrado.	84
Cuadro 24. Conductividad recomendada por la Farmacopea de los Estados Unidos.	85
Cuadro 25. Conductividad y pH del agua desionizada semidespilada desperdiciada por el sistema purificador de agua.	87
Cuadro 26. Conductividad y pH de las aguas del sistema purificador de agua sin reestructurar.	88
Cuadro 27. Valores de conductividad de aguas de venta comercial y su equivalente con las aguas que produce el sistema purificador de agua de la UAC.	88
Cuadro 28. Conductividad y pH de las aguas generadas por el sistema purificador reestructurado.	89
Cuadro 29. Conductividad y pH de las aguas del sistema purificador de agua reestructurado de la UAC.	90

Cuadro 30. Tiempo que se debe de purgar el contenedor de la resina de lecho mixto para lograr la conductividad deseada en el agua producida.....	90
Cuadro 31. Resultados del ICA del Comité Canadiense de Ministros del Medio Ambiente de las aguas del sistema purificador no reestructurado.	93
Cuadro 32. Resultados del ICA del Comité Canadiense de Ministros del Medio Ambiente de las aguas del sistema purificador de agua reestructurado por semana.	96
Cuadro 33. Resultados del ICA del Comité Canadiense de Ministros del Medio Ambiente de las aguas del sistema purificador de agua reestructurado por mes.	97
Cuadro 34. ICA del Comité Canadiense de Ministros del Medio Ambiente de las aguas esterilizadas por autoclaveado.....	98

Índice de Figuras

	Página
Figura 1. Caso ideal de una resina.	31
Figura 2. Resina totalmente regenerada al inicio del ciclo.	31
Figura 3. Resina parcialmente agotada al inicio del ciclo.....	32
Figura 4. Resina regenerada usando co-corriente.	32
Figura 5. Componentes del sistema purificador de agua del laboratorio de Control de Calidad del MINSAL.	35
Figura 6. Ubicación del edificio Dr. Max Bloch del Ministerio de Salud.	48
Figura 7. Puntos de muestreo en el sistema purificador de agua sin reestructurar del MINSAL.	50
Figura 8. Puntos de muestreo en el sistema purificador reestructurado.....	51
Figura 9. pH de las aguas producidas por el sistema purificador sin reestructurar.....	62
Figura 10. Cloro residual de las aguas producidas por el sistema purificador sin reestructurar.....	62
Figura 11. Contenido de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas en las aguas producidas por el sistema purificador sin reestructurar.	63
Figura 12. Contenido de <i>Pseudomona aeruginosa</i> en las aguas producidas por el sistema purificador sin reestructurar.	63
Figura 13. pH de las aguas producidas por el sistema purificador reestructurado semanalmente.	68
Figura 14. Contenido de Coliformes totales de las aguas producidas por el sistema purificador reestructurado semanalmente.	69
Figura 15. Contenido de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas de las aguas producidas por el sistema purificador reestructurado semanalmente.	69
Figura 16. Contenido de <i>Pseudomona aeruginosa</i> en las aguas producidas por el sistema purificador reestructurado semanalmente.	70
Figura 17. pH de las aguas producidas por el sistema purificador reestructurado mensualmente.....	72
Figura 18. Contenido de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas en las aguas producidas por el sistema purificador reestructurado mensualmente.....	74
Figura 19. Índices de Calidad de las Aguas analizadas del sistema purificador sin reestructurar.....	94
Figura 20. Índices de Calidad de las Aguas analizadas del sistema purificador reestructurado.	99

Índice de Anexos

	Página
Anexo 1. Equipo de bombeo utilizado en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.....	109
Anexo 2. Equipo desionizador de doble lecho utilizado en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.	110
Anexo 3. Destilador utilizado en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.	111
Anexo 4. Lugar donde ocurre el desperdicio de agua en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.	112
Anexo 5. Ultrapurificador (osmosis inversa) utilizado en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.	113
Anexo 6. Tanques reservorio para agua destilada y ultrapura del Laboratorio de Control de Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.	113
Anexo 7. Tanque de neutralización de lavados utilizado en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.	114
Anexo 8. Encuesta dirigida al personal del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del MINSAL.....	115
Anexo 9. Sistema purificador de agua reestructurado.	116
Anexo 10. Ficha técnica de la resina de lecho mixto.....	117
Anexo 11. Informe de análisis de las aguas del sistema purificador de agua sin reestructurar.....	118
Anexo 12. Informes de análisis de las aguas del sistema purificador de agua reestructurado.	122
Anexo 13. Tabla para el cálculo de la distribución Chi-cuadrado λ^2	127
Anexo 14. Listado del personal de laboratorio que asistió al primer taller de sensibilización y capacitación en el uso racional del agua y del sistema reestructurado.	128
Anexo 15. Listado del personal de laboratorio que asistió al segundo taller de sensibilización y capacitación en el uso racional del agua y del sistema reestructurado.	129

Resumen

Alvarenga Marroquín, GE. 2017. Evaluación de un sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto para mejorar la eficiencia en el uso del agua en el Laboratorio de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del Ministerio de Salud de El Salvador. Tesis Maestría. Universidad de El Salvador. 129 p.

El recurso hídrico en El Salvador es el más utilizado por los seres humanos en todos los estadios de su vida. Por esta razón, la presente investigación se centra en el sistema purificador de agua del edificio laboratorio Central Dr. Max Bloch, del Ministerio de Salud (MINSAL), pues dicho sistema desperdicia demasiada agua, de mejor calidad que la potable, para producir agua ultra pura. La investigación consistió en reestructurar el sistema purificador de agua, específicamente el equipo desionizador de doble lecho, acoplándole después de éste un contenedor de resina de lecho mixto. Se caracterizaron las aguas, de acuerdo a metodologías APHA y USP 39, usadas como materia prima para alimentar el sistema purificador de agua y las generadas por el sistema purificador de agua antes y después de la reestructuración en el período comprendido del mes de enero a mayo de 2017, obteniéndose los siguientes resultados: los parámetros microbiológicos de las aguas no cumplen con límites máximos establecidos por las Normas Salvadoreñas Obligatorias NSO 13.07.01:08 y 13.07.02:08; esto se debió a que en la fuente de agua de alimentación del sistema purificador de agua se encontró presencia de *Pseudomonas aeruginosa* y conteo elevado de bacterias heterótrofas aerobias, obteniéndose por consiguiente un ICA excelente en el agua desperdiciada analizada debido al proceso térmico al que esta es sometida en el destilador. La efectividad del sistema se obtuvo con la conductividad y se calculó el caudal de desperdicio antes y después de la reestructuración; para predecir el costo-beneficio del uso del agua por el sistema purificador sin reestructurar y reestructurado.

Palabras claves: Agua, caudal, calidad, desionizador, metales, microbiológico, *Pseudomonas aeruginosa*, purificador, resinas, sistema.

Abstract

Alvarenga Marroquín, GE. 2017. Evaluación de un sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto para mejorar la eficiencia en el uso del agua en el Laboratorio de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del Ministerio de Salud de El Salvador. Tesis Maestría. Universidad de El Salvador. 129 p.

The water resource in El Salvador is the most used by humans in all stages of life. For this reason, the present research focuses on the water purification system of the Central Laboratory building Dr. Max Bloch, of the Ministry of Health (MINSAL), because this system wastes too much water, of better quality than the drinking water, to produce ultra-water pure. The research consisted of the restructuring of the water purification system, specifically the double-bed deionizing equipment, after which a mixed-bed resin container was attached. The waters were characterized according to APHA and USP methodologies 39, used as feedstock to feed the water purifying system and those generated by the water purification system before and after the restructuring in the period from January to May of 2017, obtaining the following results: the microbiological parameters of the waters do not comply with the maximum limits established by the Obligatory National Standards NSO 13.07.01: 08 and 13.07.02: 08; this was due to the presence of *Pseudomonas aeruginosa* and high count of aerobic heterotrophic bacteria in the water source of the water purification system, resulting in an excellent ICA in the wasted water analyzed due to the thermal process to which it is in the distiller. The effectiveness of the system was obtained with the conductivity and the flow stream was calculated before and after the restructuring; for predict the cost-benefit of water use by the purifying system without restructuring and restructuring.

Key words: Water, flow, quality, deionizer, metals, microbiological, *Pseudomonas aeruginosa*, purifier, resins, system.

I. Introducción

El agua es el recurso más utilizado por los seres humanos en diferentes contextos de la vida, ya sea para uso personal, industrial, recreativo, otros. En El Salvador, la cuenca del río Lempa es la más importante, ya que de dicho río es tomada una buena cantidad de agua que abastece al gran San Salvador para su uso diario.

Para potabilizar el agua ésta es tratada con sustancias químicas como el Hipoclorito de calcio, un método bastante económico. Dicho método, al no ser usado adecuadamente, le es casi imposible reducir o eliminar la carga microbiana, potenciando así la propagación de enfermedades hídricas, como: diarreas, hepatitis A, giardiasis, entre otras; además, contiene trazas de sustancias orgánicas e inorgánicas que pueden ser perjudiciales para la salud humana (OMS 2009).

El agua potable que es distribuida por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), es la materia prima que utiliza el Sistema purificador de agua del edificio laboratorio Central Dr. Max Bloch del Ministerio de Salud (MINSAL) para producir agua de diferente calidad para uso del Laboratorio de Control de Calidad (LCC), de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad (UAC), perteneciente a la Dirección de Tecnologías Sanitarias (DIRTECS), del Ministerio de Salud.

En la presente investigación se elaboró una propuesta para reestructurar y optimizar el trabajo del Sistema purificador de agua del laboratorio, logrando reducir el desperdicio de agua a lo largo del proceso de purificación. Por esta razón, se realizó la caracterización del agua producida por el sistema purificador de agua durante todo el proceso de purificación y del agua que es usada como materia prima, aplicando los parámetros requeridos por el Ministerio de Salud cuando aprueba factibilidades y autorizaciones para abastecimiento de agua potable.

Con la investigación se determinó que algunas aguas no cumplen con los límites establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 Agua. Agua Potable y en la Norma Salvadoreña Obligatoria Agua. Agua envasada NSO 13.07.02:08, utilizando como base la metodología establecida en el APHA y en USP 39; ya que todas las aguas producidas por el

sistema purificador sin reestructurar y reestructurado tienen recuentos altos de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas y en el agua de alimentación que se bombea de la cisterna, además del recuento alto, también se identificó *Pseudomona aeruginosa*. Solamente el agua desperdiciada por el sistema purificador de agua sin reestructuras obtuvo un Índice de Calidad de Agua excelente.

La investigación demostró que la eficiencia en el uso del agua del sistema purificador sin reestructurar es de 5.37%. Además, se demostró que por cada litro de agua que se desperdicia, el Ministerio de Salud gasta \$0.14 dólares.

El estudio muestra que el personal técnico encargado de brindar el mantenimiento al equipo se preocupa únicamente por mantener en regla la mayoría de parámetros físico-químicos y trazas de metales pesados; pero descuidan los parámetros microbiológicos, y como se describe en la presente investigación, estos son los que confieren pésimos ICAs a las aguas producidas tanto por el sistema purificador no reestructurado como el reestructurado.

Los resultados de la investigación y las propuestas de mejora fueron proporcionados al Ministerio de Salud, para que con ellas puedan optimizar el trabajo del sistema purificador de agua del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad, para contribuir así a la gestión integral del recurso hídrico en el país.

II. Planteamiento del Problema

La contaminación y escasez del agua en El Salvador representa el mayor riesgo ambiental, junto con los efectos del cambio climático, que potencia los impactos en contra de la economía, la sociedad y la salud, lo cual hace prever el posible camino a una crisis ambiental que podría afectar no únicamente al país sino también a toda la comunidad internacional.

La declaración en el mes de abril de 2016 de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), sobre el “estado de emergencia por la crisis del agua en el país”, además de la sobre explotación de los recursos hídricos, el uso irracional del agua, los problemas de contaminación del agua, entre otros, han hecho que el gobierno, la población civil e instituciones relacionadas a la salud ambiental se interesen más por la protección de este recurso tan esencial.

En la actualidad, el sistema purificador de agua potable del Laboratorio de Control de Calidad (LCC) de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad (UAC), perteneciente a la Dirección de Tecnologías Sanitarias (DIRTECS), ubicado en el edificio laboratorio Central Dr. Max Bloch, del Ministerio de Salud, es ineficiente, por el desperdicio de agua que sucede todos los días en que se procesa el agua potable para la obtención de agua desionizada, agua destilada y agua ultra pura.

Por lo anterior, la presente investigación pretendía mejorar las tecnologías existentes a través de la reestructuración del sistema purificador de agua, específicamente en la parte del equipo desionizador, al comparar su rendimiento con el sistema sin reestructurar.

Para conocer la calidad del agua se tomaron de base los parámetros exigidos por el MINSAL cuando aprueba factibilidades y autorizaciones para abastecimiento de agua potable, cuyos límites máximos están contemplados en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 Agua. Agua potable, y en la Norma Salvadoreña Obligatoria Agua. Agua envasada NSO 13.07.02:08.

III. Objetivos

3.1 Objetivo general

- Evaluar el sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto en el laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del Ministerio de Salud para aumentar la eficiencia y reducir el desperdicio de agua.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las aguas del sistema purificador de agua actual del laboratorio de Control de Calidad del Ministerio de Salud.
- Comparar la calidad del agua producida por el sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 Agua. Agua Potable y con la Norma Salvadoreña Obligatoria Agua. Agua Envasada NSO 13.07.02:08.
- Comparar la eficacia y la calidad del agua producida por el sistema purificador de agua actual con el sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto a través de una evaluación costo-beneficio.
- Elaborar un procedimiento operativo estándar (POE) del sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto.
- Sensibilizar y capacitar al personal del laboratorio de Control de Calidad en el uso racional del agua y del sistema reestructurado.

IV. Hipótesis

- Si al sistema purificador de agua del laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad se le acopla un contenedor de resina de lecho mixto, aumentará su eficiencia y reducirá al mínimo el desperdicio de agua al operar.

V. Marco Teórico

5.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible constituyen un compromiso audaz para finalizar lo comenzado y terminar con la pobreza en todas sus formas y dimensiones de aquí a 2030. Los objetivos globales de la nueva Agenda para el Desarrollo Sostenible impulsadas por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) requieren de un crucial enfoque integral para alcanzarlos. A continuación se menciona una breve descripción de dichos objetivos (PNUD 2015):

1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
4. Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad, y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.
5. Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas.
6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
10. Reducir la desigualdad en y entre los países.
11. Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
14. Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una ordenación sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la

degradación de las tierras y poner freno a la pérdida de diversidad biológica.

16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
17. Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible.

Con esta investigación se busca contribuir al Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, que dice: Con el fin de garantizar el acceso universal al agua potable segura y asequible para todos en 2030, es necesario realizar inversiones adecuadas en infraestructura, proporcionar instalaciones sanitarias y fomentar prácticas de higiene en todos los niveles. Si queremos mitigar la escasez de agua, es fundamental proteger y recuperar los ecosistemas relacionados con este recurso, como bosques, montañas, humedales y ríos. También se requiere más cooperación internacional para estimular la eficiencia hídrica y apoyar tecnologías de tratamiento en los países en desarrollo. Se estima que al menos una de cada cuatro personas se verá afectada por escasez recurrente de agua para 2050 (PNUD 2015).

5.2 El recurso agua

En ecología se entiende que un recurso es algún bien del que depende el ser viviente para su mantenimiento o abastecimiento. Por ejemplo, un recurso para las plantas es el agua, la luz solar y los nutrientes del suelo. Los recursos naturales son entonces, más específicamente para el ser humano, los elementos o cosas naturales que la humanidad aprovecha para su propia existencia material o estética (OMS 2009).

El agua es el recurso natural más esencial para el ser humano, pues está constituido en su mayoría por dicho recurso, por lo tanto el acceso al agua es fundamental para la salud. La importancia del recurso agua hizo que la Asamblea General de las Naciones Unidas declarará el periodo de 2005 a 2015 como el Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida»; además, por lo esencial de este recurso, el objetivo N° 6 de desarrollo sostenible pretende garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible para apalear el enorme daño que se le ha hecho a dicho recurso a lo largo de la historia (OMS 2004, PNUD 2015).

5.3 Agua potable

El agua potable es el agua que no ocasiona ningún riesgo a la salud cuando se consume. El agua es esencial para la vida y todos deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, salubre y accesible); además, el acceso al agua potable es una cuestión importante en materia de salud y desarrollo en los ámbitos nacional, regional y local. La mejora del acceso a agua salubre puede proporcionar beneficios tangibles para la salud, por lo tanto, debe realizarse el máximo esfuerzo para lograr que la salubridad del agua de bebida sea la mayor posible (OMS 2004).

El agua potable es adecuada para todos los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal (OMS 2009).

5.3.1 Calidad del agua a nivel de laboratorio

Uno de los reactivos más comunes y considerado como disolvente universal es el agua, por lo tanto, es de vital importancia cuidar su pureza. Si se mantiene un control sistemático de la pureza o calidad del agua para uso en el laboratorio, se promueve la eliminación de sesgo en los resultados, se evitan interferencias o reacciones colaterales y se aumenta así la confiabilidad en dichos resultados. Estacionalmente se pueden encontrar en el agua potable niveles excesivos de aluminio, fluoruros y cloro como resultado del tratamiento con ciertos productos químicos; además, sales de calcio y magnesio, las cuales aportan dureza, también puede contener otras sustancias como hierro, sílice, manganeso, sulfatos, sodio y otros materiales en suspensión. La dureza del agua es un factor que limita su uso en determinados procesos, es importante el conocimiento del contenido de calcio y magnesio por la propiedad que tienen de producir incrustaciones. Varios son los métodos utilizados en el tratamiento de las aguas y el empleo de cada uno de ellos depende del objetivo que se persiga con el agua tratada. Los métodos son: filtración, desionización, destilación, osmosis inversa, entre otros (APHA 2012).

1. Agua desionizada

Esta agua se produce mediante un proceso de intercambio de iones, en el que los iones contaminantes se reemplazan con iones H^+ u OH^- . Este tipo de agua se usa principalmente como disolvente para preparación de reactivos, pero también se especifica en la ejecución de otras

operaciones en las pruebas analíticas en el laboratorio como: la transferencia de un analito en un procedimiento de prueba, como estándar de calibración o blanco analítico, para uso en los autoclaves y para limpieza de aparatos de prueba (USP 2016).

2. Agua destilada

Esta agua se produce vaporizando agua líquida y luego condensándola en un estado más puro. Se usa principalmente como disolvente para la preparación de reactivos, pero también se especifica en la ejecución de otros aspectos de pruebas analíticas como: para enjuagar un analito, transferir materiales de prueba en forma de suspensión espesa, como estándar de calibración o blanco analítico y para limpieza de aparatos de prueba (USP 2016).

3. Agua ultrapura

Esta agua se puede preparar desionizando agua previamente destilada y luego filtrándola a través de una membrana con un tamaño de poro de 0,45 μm . Esta agua debe tener una conductividad en línea que no supere 0,15 $\mu\text{S/cm}$ (no menos de 6,67 Mohmio-cm) a 25° C. Si el agua de esta pureza entra en contacto con la atmósfera, incluso brevemente cuando se está usando o extrayendo de su sistema de purificación, su conductividad aumentará inmediatamente a 1,0 $\mu\text{S/cm}$, ya que el Dióxido de carbono de la atmósfera se disuelve en el agua y se equilibra con iones de Hidrógeno y Bicarbonato. Esta agua se usa como reactivo, como disolvente para preparaciones de reactivos y para limpieza de aparatos de prueba cuando aguas menos puras no tienen un desempeño aceptable (USP 2016).

5.4 Laboratorios de calidad de agua

En la actualidad, los laboratorios que se encargan de analizar la calidad del agua tienen establecidos requisitos de calidad o pureza, así como métodos de producción y análisis de agua. Por la variedad del uso del agua el laboratorio debe tener la capacidad de analizar parámetros físicos, químicos y microbiológicos muy diversos y en distintos casos reglamentados en función del uso y destino del agua, con normativas vigentes y armonizadas internacionalmente (Espina y Mazziota 2005).

En el país las directrices y recomendaciones para los laboratorios de calidad de aguas proceden

de la Organización Mundial de la Salud recopiladas en las Normas Salvadoreñas Obligatorias para aguas; además, para que los resultados de los análisis brindados por los laboratorios de agua sean confiables, de preferencia estos deben estar acreditados bajo la norma ISO/IEC 17025:2005 (OMS 2004).

5.5 Normas de calidad del agua

- **Norma ISO/IEC 17025:2005**

La Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) forman el sistema especializado para la normalización mundial; además, los organismos nacionales miembros participan en el desarrollo de las normas internacionales a través del comité de ISO para la evaluación de la conformidad (CASCO) establecidos por la organización (ISO/IEC 2005).

La primera edición de la Norma ISO/IEC 17025 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración” nació en 1999 como producto de la amplia experiencia adquirida en la implementación de la guía ISO/IEC 25 y de la Norma EN 46001, a las que reemplazó. La aceptación de los resultados de ensayo y de calibración entre países debería ser más fácil si los laboratorios cumplen esta norma internacional y obtienen la acreditación de organismos que han firmado acuerdos de reconocimiento mutuo con organismos equivalentes que utilizan esta norma internacional entre otros países, en nuestro país el organismo encargado es el Consejo Nacional de Calidad (CNC) a través de su Organismo Salvadoreño de Acreditación (OSA) (ISO/IEC 2005).

Actualmente se usa la segunda edición ISO/IEC 17025:2005, la cual facilita la implementación del sistema de gestión de la calidad por el laboratorio, la cooperación entre los laboratorios y otros organismos; además, ayuda al intercambio de información, experiencia, así como a la armonización de normas y procedimientos (ISO/IEC 2005).

- **Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 Agua. Agua Potable**

Es la Norma Salvadoreña obligatoria que recomienda los límites mínimos o máximos

permisibles, dependiendo del parámetro analizado, que debe de cumplir el agua potable, dicha normativa ha sido armonizada con las guías para la calidad del agua potable recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (CONACYT 2009).

Cuadro 1. Límites máximos permisibles para calidad microbiológica.

Parámetro	Límite máximo permisible		
	Técnicas		
	Filtración por membranas	Tubos múltiples	Placa vertida
Bacterias coliformes totales	0 UFC/mL	<1.1 NMP/100 mL	-----
Bacterias coliformes fecales o termotolerantes	0 UFC/mL	<1.1 NMP/100 mL	-----
<i>Escherichia coli</i>	0 UFC/mL	<1.1 NMP/100 mL	-----
Conteo de bacterias heterótrofas, aerobias y mesófilas	100 UFC/mL	-----	100 UFC/mL
Organismos patógenos	Ausencia		

Cuadro 2. Límites permisibles de características físicas y organolépticas.

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible
Color verdadero	(Pt-Co)	15
Olor	-	No rechazable
pH	-	8.5 ¹⁾
Sabor	-	No rechazable
Sólidos totales disueltos	mg/L	1000 ²⁾
Turbidez	UNT	5 ³⁾
Temperatura	°C	No rechazable

1) Límite mínimo permisible 6.0 unidades.

2) Por las condiciones propias del país.

3) Para el agua tratada en la salida de la planta de tratamiento de aguas superficiales, el límite máximo permisible es 1.

Cuadro 3. Valores para sustancias químicas.

Parámetro	Límite máximo permisible (mg/L)
Aluminio	0.20

Antimonio	0.006
Cobre	1.3
Dureza total como (CaCO ₃)	500
Fluoruros	1.00
Plata	0.07
Sodio	200.00
Sulfatos	400.00
Zinc	5.00
Hierro total	0.30 ¹⁾
Manganeso	0.1 ¹⁾

1) Cuando los valores del hierro y manganeso superen el límite máximo permisible establecido en esta Norma y no sobrepasen los valores máximos sanitariamente aceptables de 2.0 mg/L para el hierro y 0.5 mg/L para el manganeso, se permitirá el uso de quelantes para evitar los problemas estéticos de color, turbidez y sabor que se generan.

Cuadro 4. Valores para sustancias químicas de tipo inorgánico de alto riesgo para la salud.

Parámetro	Límite máximo permisible (mg/L)
Arsénico	0.01
Bario	0.70
Boro	0.30
Cadmio	0.003
Cianuros	0.05
Cromo (Cr ⁺⁶)	0.05
Mercurio	0.001
Níquel	0.02
Nitrato (NO ₃)	45.00
Nitrito (medido como nitrógeno)	1.00
Molibdeno	0.07
Plomo	0.01
Selenio	0.01

Cuadro 5. Valores para cloro residual.

Parámetro	Límite máximo permisible (mg/L) ¹⁾
Cloro residual libre	1.1

1) Límite mínimo permisible 0.3 mg/L en condiciones en las que no hayan brotes de enfermedades por consumo de agua contaminada.

- **Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.02:08 Agua. Agua Envasada**

Es la Norma Salvadoreña obligatoria que recomienda los límites mínimos o máximos permisibles, dependiendo del parámetro analizado, que debe cumplir el agua envasada destinada al consumo humano; esta Norma contempla recomendaciones de las guías para la calidad del

agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Esta normativa señala el organismo patógeno que da mayor problema en los sistemas purificadores y envasadores de agua (CONACYT 2009).

Cuadro 6. Límites máximos admisibles para la calidad microbiológica.

Parámetro	Límite máximo permisible		
	Técnicas		
	Filtración por membranas	Tubos múltiples	Placa vertida
Bacteria coliformes totales	0 UFC/mL	<1.1 NMP/100 mL	N/A ²⁾
Bacterias coliformes fecales o termotolerantes	0 UFC/mL	<1.1 NMP/100 mL	N/A ²⁾
Conteo de bacterias heterótrofas, aerobias y mesófilas ¹⁾	100 UFC/mL	N/A ²⁾	100 UFC/mL
Organismos patógenos: <i>Pseudomona aeruginosa</i>	Ausencia	N/A	Ausencia
<i>Escherichia coli</i>	0 UFC/mL	<1.1 NMP/100 mL ³⁾	N/A ²⁾

1) Este parámetro aplica a muestras tomadas en las plantas nacionales envasadoras de agua.

2) N/A: No aplica el tipo de metodología aplicada.

3) Ausencia: si se aplicó otro método.

5.6 Componentes del equipo purificador de agua de un laboratorio

Para seleccionar los componentes de un equipo de purificación de agua es necesario caracterizar el agua de alimentación del sistema, para conocer su naturaleza fisicoquímica y microbiológica. Dichas aguas deben cumplir los requisitos de los Reglamentos Básicos Nacionales, en el caso de El Salvador cumplirán la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 Agua. Agua potable y la Norma Salvadoreña Obligatoria Agua. Agua envasada NSO 13.07.02:08 (CONACYT 2009).

También, existen otras normativas internacionales como: normativa de la Dirección de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), normativa de la Unión Europea, Normativa de Japón y las Guías para Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS), pues el agua que se genera se utiliza para uso en laboratorio (USP 2016).

Los componentes de un equipo purificador de agua son:

1. Filtración previa

El propósito de la filtración previa es eliminar los contaminantes sólidos que tengan un tamaño mayor de 7-10 μm provenientes del suministro de agua que ingresa al sistema y proteger de esas partículas a los componentes del mismo que se ubican a continuación, dado que aquellas pueden inhibir su desempeño y acortar su vida útil. Esta tecnología de filtración usa principalmente efectos de tamizado para la captura de partículas y un medio de filtración de profundidad que tiene una gran capacidad de “carga sucia”. Las unidades de filtración pueden ser: filtros de lecho granular como los de medios múltiples o los de arena como los sistemas de agua más grandes, hasta cartuchos filtrantes de profundidad para sistemas de agua más pequeños (USP 2016).

2. Carbón activado

Los lechos de carbón activado adsorben material orgánico de bajo peso molecular y aditivos oxidantes, por ejemplo, compuestos que contengan cloro y cloramina, eliminándolos del agua. Se usan para lograr atributos de calidad y proteger de ciertas reacciones a las superficies de acero inoxidable, a las resinas y a las membranas que están a continuación en el sistema (USP 2016).

3. Aditivos

Los aditivos químicos se emplean en los sistemas de agua para: controlar microorganismos mediante el uso de higienizantes como los compuestos clorados y el ozono, eliminar sólidos en suspensión mediante el uso de agentes floculantes, eliminar compuestos clorados para evitar el depósito de sarro sobre las membranas de ósmosis inversa y para ajustar el pH y lograr una eliminación más efectiva de compuestos que contienen amoníaco y carbonatos mediante ósmosis inversa (USP 2016).

4. Barrido orgánico

Estos dispositivos emplean resinas de intercambio aniónico débilmente básicas macrorreticulares capaces de eliminar del agua materiales orgánicos y endotoxinas. Pueden regenerarse con soluciones de salmuera cáustica biocidas apropiadas (USP 2016).

5. Ablandadores

Los ablandadores de agua pueden estar ubicados antes o a continuación de las unidades de eliminación de desinfectantes. Se usan resinas de intercambio catiónico en su forma sódica para eliminar los iones que confieren la dureza al agua, como por ejemplo el Calcio y el Magnesio, que podrían ensuciar o interferir con los equipos de procesamiento ubicados a continuación en el sistema, por ejemplo, las membranas de ósmosis inversa, los dispositivos de desionización y las unidades de destilación. También se pueden usar para eliminar cationes de menor afinidad como el ión amonio, que se pueden liberar a partir de los desinfectantes que contienen cloramina, comúnmente usados en el agua potable y de otra manera podrían trasladarse a las operaciones unitarias que están a continuación en el sistema (USP 2016).

6. Desionización

La desionización (DI) y la electrodesionización continua (EDIC) son métodos eficaces para mejorar los atributos de calidad química del agua mediante la eliminación de cationes y aniones. Los sistemas de DI tienen resinas cargadas que requieren una regeneración periódica con un ácido y una base. Usualmente las resinas catiónicas se regeneran empleando ácido clorhídrico o ácido sulfúrico, que reemplazan los iones positivos capturados por iones hidrógeno. Las resinas aniónicas se regeneran con Hidróxido de sodio o de potasio, que reemplazan los iones negativos capturados con iones hidróxido. Debido a que las endotoxinas libres tienen carga negativa, se produce algo de eliminación de endotoxinas ocasionada por la resina aniónica (USP 2016).

El sistema puede estar diseñado de tal manera que las resinas catiónicas y aniónicas estén en lechos separados (gemelos) o pueden estar mezcladas entre sí para formar un lecho mixto. Los lechos gemelos se pueden regenerar con facilidad pero desionizan el agua de forma menos eficiente que los lechos mixtos, que tienen un proceso de regeneración considerablemente más complejo. También se pueden emplear envases de resinas recargables para este fin (USP 2016).

7. Ósmosis inversa

Las unidades de ósmosis inversa (OI) emplean membranas semipermeables. Los poros de las membranas de OI son en realidad espacios intersegmentales entre las moléculas del polímero. Estos espacios son lo suficientemente grandes para la permeación de las moléculas de agua,

pero demasiado pequeños para permitir el pasaje de iones químicos hidratados. Sin embargo, muchos factores, incluyendo el pH, la temperatura y la presión diferencial a través de la membrana afectan la selectividad de esta permeación. Con los controles adecuados las membranas de OI pueden lograr mejorar la calidad química, microbiológica y de endotoxinas (USP 2016).

8. Luz ultravioleta

Las lámparas ultravioleta (UV) a presión reducida que emiten la longitud de onda de 253.7–254 nm, se usan para el control microbiano, se trata en higienización, reducción de carga microbiana, pero también está surgiendo la aplicación de la luz UV en la purificación química. Dicha longitud de onda es también útil para la destrucción del ozono, destrucción de los desinfectantes que contienen cloro usados en el agua de alimentación y etapas intermedias del tratamiento del agua. En combinación con otros higienizantes por oxidación, por ejemplo el Peróxido de Hidrógeno, se han usado para hacer descender los niveles de carbono orgánico total (COT) en sistemas de distribución recirculantes (USP 2016).

9. Destilación

Las unidades de destilación proporcionan purificación química y microbiana por vaporización térmica, eliminación de niebla y condensación de vapor de agua. Existe una variedad de diseños disponibles que incluyen destiladores de efecto sencillo, efecto múltiple y por compresión de vapor. Generalmente estas dos últimas configuraciones se usan en sistemas más grandes dada su capacidad de generación y eficiencia. Los sistemas de agua destilada requieren controles del agua de alimentación distintos de los que requieren los de sistemas de membrana (USP 2016). Para la destilación se debe tener en cuenta la eliminación previa de las impurezas del agua y las impurezas silíceas que pueden contaminar o corroer las superficies de transferencia de calor, así como la eliminación previa de aquellas impurezas que podrían volatilizarse y condensarse junto con el vapor de agua. A pesar de la percepción general, incluso el mejor proceso de destilación no puede proporcionar la eliminación absoluta de los iones y endotoxinas contaminantes (USP 2016).

10. Tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento se incluyen como parte de los sistemas de distribución de agua para optimizar la capacidad del equipo de procesamiento. El almacenamiento también permite el mantenimiento de la rutina dentro del tratamiento previo mientras mantiene un suministro continuo de agua para satisfacer las necesidades de producción. Se necesita tener en cuenta el diseño y las condiciones de operación para impedir o reducir al mínimo el desarrollo de biopelículas, minimizar la corrosión, ayudar a usar la higienización química de los tanques y proteger la integridad mecánica (USP 2016).

11. Sistema de distribución

La configuración del sistema de distribución debe permitir un caudal continuo de agua en la cañería por medio de la recirculación. El uso de sistemas o segmentos de sistemas de un solo sentido, sin salida o no recirculantes, debe evitarse siempre que sea posible. Si no fuese posible, estos sistemas se deben purgar periódicamente y realizar un seguimiento con más detenimiento. La experiencia ha indicado que los sistemas de recirculación continua son más fáciles de mantener. Las bombas deben estar diseñadas para que proporcionen condiciones de flujo de turbulencia total, para facilitar la distribución del calor (para sistemas higienizados mediante agua caliente) así como para facilitar una distribución exhaustiva de las sustancias químicas higienizantes (USP 2016).

5.6.1 Generalidades de las resinas

Las resinas pueden ser: resinas de ácidos fuertes, resinas de ácidos débiles, resinas de bases fuertes y resinas de bases débiles. En un caso ideal, la resina está completamente regenerada al principio del ciclo. Durante el período de agotamiento la frente de intercambio es totalmente llana, es decir, que cada capa infinitesimal de resina se convierte inmediatamente a la forma agotada a medida que los iones se eliminan del agua bruta o de la solución de tratar. La resina sigue cargando iones desde arriba y esta frente llana se mueve poco a poco hacia el fondo de la columna, hasta que la frente llegue al fondo. En este caso el lecho de resina está totalmente agotado y la capacidad útil es igual a la capacidad total de la resina. Este caso no existe en la realidad, porque la frente de intercambio no es llana y la resina no está siempre completamente regenerada al principio del ciclo (USP 2016 y de Dardel 2016).

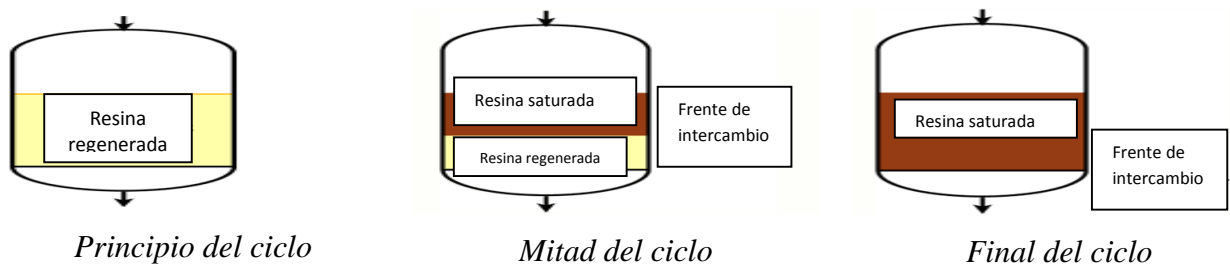


Figura 1. Caso ideal de una resina.

En el mundo real hay dos casos:

Caso 1: La resina está totalmente regenerada al principio del ciclo: Este caso es visto en las resinas de ácidos y bases débiles, al principio del ciclo de intercambio la resina se encuentra en forma totalmente regenerada. Durante el período de agotamiento las capas superiores del lecho se agotan progresivamente. No obstante, la reacción de intercambio no es instantánea, porque los iones deben caminar hasta los sitios disponibles dentro de cada perla de resina. Por eso, algunos iones pasan hasta una capa de resina más baja antes que las capas superiores estén completamente saturadas. La zona incluida entre la resina totalmente saturada y la resina completamente agotada se llama zona de intercambio o zona de reacción (de Dardel 2016).

Después de cierto tiempo, cuando las capas superiores están totalmente agotadas y las capas inferiores empiezan a agotarse, los iones no eliminados "huyen" en el agua tratada. Se llega a la fase de agotamiento cuando la concentración de esta "fuga iónica" alcanza un valor predeterminado que se llama "punto final del ciclo". En este punto el lecho de resina no está totalmente agotado (de Dardel 2016).

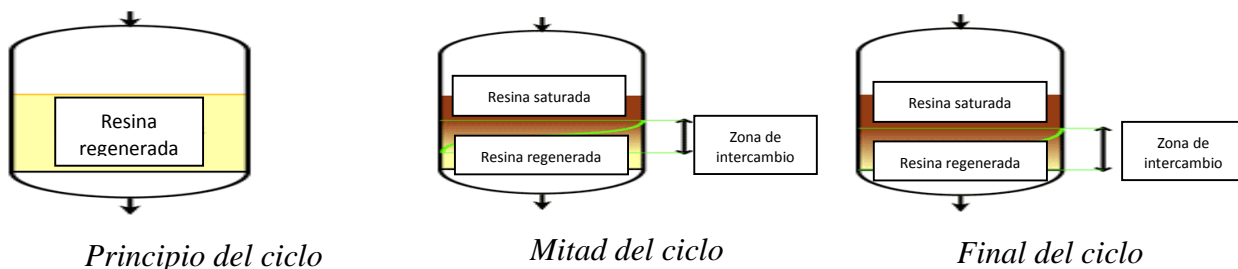


Figura 2. Resina totalmente regenerada al inicio del ciclo.

Caso 2a: La resina está parcialmente agotada al principio del ciclo: Este segundo caso es lo encontrado con resinas fuertemente ácidas y fuertemente básicas, que se regeneran más

difícilmente y necesitan un exceso a veces grande de ácido o de sosa. Aún con exceso, no es económico regenerar totalmente estas resinas, puesto que esto necesitaría una cantidad muy grande de regenerante, de manera que en la mayoría de casos la regeneración es incompleta (de Dardel 2016).

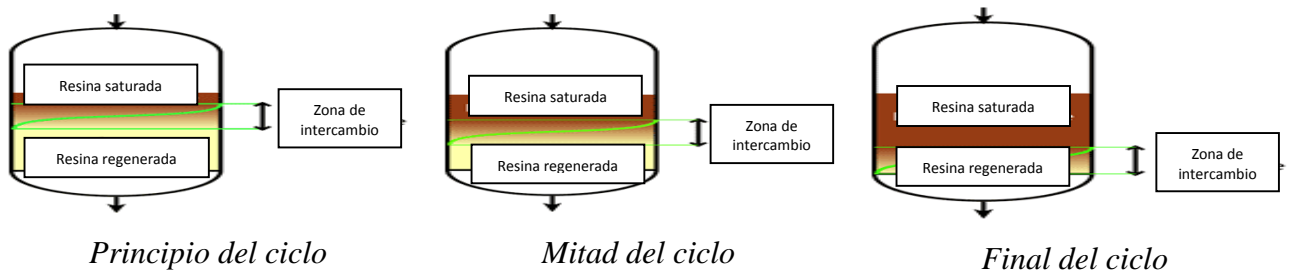


Figura 3. Resina parcialmente agotada al inicio del ciclo.

Caso 2b: Resinas regeneradas en co-corriente: El regenerante pasa a través del lecho de resina en la misma dirección que el agua de tratar: de arriba abajo. Resulta que las capas superiores del lecho están bien regeneradas al principio del ciclo, pero no las capas inferiores. Durante la fase de producción, una pequeña parte de los iones se desplazan hacia abajo y pasan al agua tratada, lo que produce una fuga iónica (de Dardel 2016).

Por ejemplo, si la resina ha sido regenerada con ácido, algunos de los iones H^+ desplazados por los cationes entrantes caminan hacia el fondo y desplazan a su vez los cationes no eliminados de las capas inferiores durante la regeneración previa. Los cationes más fáciles de desplazar son los iones Na^+ , de manera que la fuga de sodio es más grande que la producida por una regeneración de flujo inverso (contra-corriente).

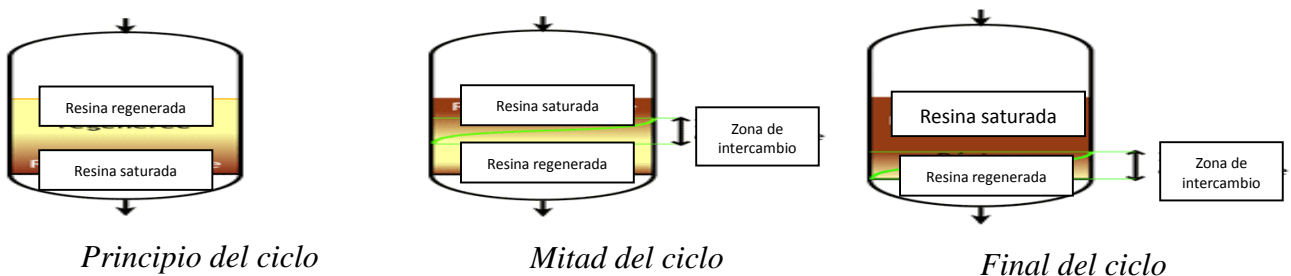


Figura 4. Resina regenerada usando co-corriente.

5.6.2 Estructura de las resinas de intercambio iónico

La Zeolita de sodio, un compuesto natural, fue la primera resina comercial que se comenzó a utilizar para el intercambio iónico. Las Zeolitas naturales han sido reemplazadas por Zeolitas sintéticas y orgánicas, de intercambio mayor, mejor resistencia al desgaste físico, estabilidad a la oxidación y al ataque químico; con una porosidad tal que ayuda a eliminar el envenenamiento por sustancias orgánicas. Se conforman generalmente por estructuras de red, que por lo general provienen de polimerización de sustancias orgánicas que mayormente son los monómeros de Estireno y de Divinilbenceno (DVB). Estas sustancias presentan una estructura bien definida y gran estabilidad en un amplio rango de pH (de Dardel 2016).

5.6.3 Tipos de resinas de intercambio iónico según su funcionalidad química

Los grupos funcionales son los elementales en una resina, debido a que en esos puntos ocurren los intercambios iónicos en función de la naturaleza de estos. Se observan dos grandes grupos de resinas:

1) Resinas catiónicas

Caracterizadas por su matriz de grupos funcionales con radicales de función ácida, capaces de fijar cationes orgánicos e inorgánicos, intercambiándolos por iones hidronio (H^+) o sodio (Na^+), según sea su uso. Entre los cationes más comunes se encuentra el Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio. Este tipo de resinas se clasifican en cationes fuertes y débiles, y algunas de sus características son:

a) Resinas catiónicas fuertes

- Grupo funcional fuerte sulfónico (HSO_3^-).
- Remueven todo tipo de cationes disociados en solución.
- Regenerados con Cloruro de Sodio producen agua suavizada.
- Regenerados con Ácido Sulfúrico o Ácido Clorhídrico sirven como lecho primario en un desmineralizador de dos lechos.
- Transforman las sales en cantidades equivalentes de los ácidos correspondientes (de Dardel 2016).

b) Resinas catiónicas débiles

- Grupo funcional Ácido Carboxílico débil ($COOH^-$).

- Efectiva removiendo dureza asociada con alcalinidad de carbonatos o una base fuerte tipo OH⁻.
- Muy usadas en desalcalinización.
- Más capacidad y eficiencia en la regeneración que las resinas catiónicas fuertes.
- Usadas precediendo a las catiónicas fuertes para disminuir carga iónica a estas y ahorrar regenerantes.

2) Resinas aniónicas

Caracterizadas por su matriz de grupos funcionales con radicales de función básica, por ejemplo, aminas terciarias o sales de amonio cuaternario, capaces de fijar aniones orgánicos e inorgánicos e intercambiarlos por iones hidróxidos (OH⁻) o cloruros (Cl⁻). Entre los aniones más comunes esta el Cloruro, Bicarbonato, Nitrato, Carbonato. De igual forma que las resinas catiónicas, se subdividen en fuertes y débiles, algunas de sus características son:

a) Resinas aniónicas fuertes

- Grupo funcional es una amina cuaternaria.
- Remueven Sílice y Dióxido de Carbono, como también todos los iones asociados a ácidos;
- Se subdividen en dos categorías: Tipo I, más básica, mejor remoción de Sílice y mayor capacidad y resistencia térmica; Tipo II, menos básica, menor capacidad de intercambio, menor resistencia térmica.

b) Resinas aniónicas débiles

- Grupo funcional son aminas secundaria o terciaria.
- Alta capacidad para remover ácidos fuertes.
- No remueven Sílice ni Dióxido de Carbono.
- Usadas en desionización precediendo a las resinas aniónicas fuertes para ahorrar en regenerante.
- Más resistente al envenenamiento orgánico, usadas antes de las resinas aniónicas fuertes para protegerlas (de Dardel 2016).

5.7 Componentes del sistema de purificación de agua del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad

El sistema de purificación de agua está compuesto por un tanque de almacenamiento, tanque de neutralización, sistema de distribución, filtro de carbón activado, equipo de desionización, sistema de destilación y equipo de ultra purificación a base de ósmosis inversa (anexos 1-3, 5-7).

En el laboratorio se generan tres tipos de agua:

1. Agua desionizada.
2. Agua destilada.
3. Agua ultrapura.



Figura 5. Componentes del sistema purificador de agua del laboratorio de Control de Calidad del MINSAL.

5.8 Importancia del monitoreo de la calidad del agua

Deben hacerse monitoreos generales para determinar la calidad del agua de consumo humano para verificar si han habido cambios en las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua, que pudiesen resultar en consecuencias adversas al entrar en contacto con los consumidores, como: irritación de la piel, ojos y mucosas, malestares estomacales; esto predispone a un mayor riesgo de infección (OMS 2009).

Los parámetros que deben monitorearse con mayor frecuencia son aquellos cuya medición brinden información precisa de las características sanitarias reales del agua y que puedan ser medidos fácilmente por los analistas y usuarios, dando resultados confiables, entre los parámetros a medir están: turbidez y propiedades organolépticas. La necesidad de monitorear otros parámetros está sujeta a la capacidad de supervisión de las Unidades de Salud, presupuesto, densidad de pobladores, uso y consumo; sin embargo, siempre es recomendable realizar monitoreos microbiológicos en cualquier cuerpo de agua usado para el consumo humano y con menor frecuencia los demás parámetros (OMS 2009).

5.8.1 Transmisión de enfermedades por aguas contaminadas

Se puede realizar a través de cuatro mecanismos:

1. Ingestión de aguas contaminadas con desechos fecales que podrían propagar virus, bacterias y protozoarios; además, metales pesados que pueden acarrear efectos adversos a la salud del consumidor (OMS 2009).
2. Por contacto con aguas contaminadas con microorganismos: *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas spp.* y amebas como *Acanthamoeba sp.* y *Naegleria sp.*, que pueden causar meningoencefalitis.
3. Por inhalación de aerosoles contaminados con bacterias como *Legionella sp.* y *Micobacterium sp.*, provocando neumonías y otros tipos de afecciones.
4. Por contacto del agua contaminada con sustancias tóxicas con heridas superficiales, facilitando la expansión de gérmenes y metales pesados por el torrente sanguíneo (OMS 2004).

5.8.2 Contaminantes en el agua

1. Contaminación bacteriológica

La presencia y la extensión de la contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad del agua. Las heces contienen una variedad de microorganismos y formas de resistencia de algunos de éstos, involucrando organismos patógenos, los cuales son un riesgo para la salud pública al entrar en contacto con el ser humano. El examen de muestras de agua para determinar la presencia de microorganismos del grupo coliformes que habitan normalmente en el intestino humano y de otros animales de sangre caliente, da una indicación del índice de contaminación. Dada la limitada capacidad de algunos miembros del grupo coliforme para sobrevivir en aguas tratadas, su presencia puede emplearse para estimar el grado de contaminación fecal que involucran organismos patógenos intestinales bacterianos, virales y parasitarios (OMS 2004).

2. Contaminación físico-química

a) Residuos de químicos orgánicos

Se encuentran las moléculas de insecticidas y pesticidas, aceites, grasas y solventes orgánicos, por ejemplo: benceno, acetileno, fenol, endrin, lindano, otros (APHA 2012).

b) Residuos de químicos inorgánicos

Sustancias no compuestas por cadenas largas de hidrocarburos, entre las cuales se pueden mencionar sólidos totales disueltos, manganeso, hierro, nitratos, sulfatos, halógenos, entre otros (APHA 2012).

c) Metales pesados

Son átomos metálicos los cuales son altamente dañinos para la salud del ser humano, entre ellos se pueden mencionar: arsénico, boro, cobre, cadmio, plomo, mercurio, entre otros (APHA 2012).

5.8.3 Parámetros solicitados por el MINSAL

Los parámetros solicitados por el MINSAL para aguas de consumo humano son:

Cuadro 7. Parámetros exigidos por el Ministerio de Salud (MINSAL) para agua potable.*

N°	Parámetros	Parámetros	Bacteriológicos
1	pH	Cobre	Coliformes totales
2	Olor	Cadmio	Coliformes fecales
3	Color	Zinc	<i>Escherichia coli</i>
4	Turbidez	Cromo	Conteo de Bacterias Heterótrofas y aerobias mesófilas
5	Temperatura	Níquel	Organismos patógenos
6	Sólidos totales disueltos	Sodio	
7	Hierro	Plomo	
8	Manganeso		
9	Dureza		
10	Sulfatos		
11	Nitratos		
12	Fluoruros		
13	Cloro		

*Cuando éste aprueba factibilidades y autorizaciones para abastecimiento de agua potable.

1. Parámetros físico-químicos

Los parámetros físico-químicos exigidos por el MINSAL cuando aprueba factibilidades y autorizaciones para abastecimiento de agua potable, cuyos límites máximos están contemplados en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 Agua. Agua potable, se presentan en el cuadro 8.

Cuadro 8. Parámetros físico-químicos requeridos por el MINSAL.

		Según NSO 13.07.01:08	
N°	Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible
1	pH	---	6.0-8.5
2	Olor	---	No rechazable
3	Color	(Pt-Co)	15
4	Turbidez	UNT	5
5	Temperatura	°C	No rechazable
6	Sólidos totales disueltos	ppm	1000
7	Hierro	ppm	0.30
8	Manganeso	ppm	0.10
9	Dureza	ppm	500.00
10	Sulfatos	ppm	400.00

11	Nitratos	ppm	45.00
12	Fluoruros	ppm	1.00
13	Cloro	ppm	0.3-1.1

Fuente: Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable NSO 13.07.01:08.

- **pH**

El pH o la actividad del ión hidrógeno indica a una temperatura dada, la intensidad de las características ácidas o básicas del agua, mide la concentración de iones hidronio presentes en el agua. Se determina con la ayuda de un pHchímetro, el cual consta de un electrodo de vidrio que genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración de protones de la solución y que se mide en un galvanómetro. El pH se define como el logaritmo de la inversa de la actividad de los iones hidrógeno, $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. Donde:

$[\text{H}^+]$ = Concentración de iones hidrógeno en mol/L (APHA 2012).

- **Olor**

Las pruebas de sabor y olor son útiles como comprobación de la calidad del agua cruda y del agua tratada, para el control del olor en las diversas unidades de una planta potabilizadora, para determinación de las dosis convenientes para el tratamiento, para verificar la efectividad de las diversas clases de tratamiento y como un medio para definir la fuente de contaminación. Los órganos del gusto y del olfato son notablemente sensibles pero no son precisos. A pesar de los esfuerzos realizados durante más de un siglo, aún no existe un método satisfactorio para caracterizar el olor, por lo cual, las descripciones que se obtienen son cualitativas, por lo que la evaluación del olor depende únicamente del sentido del olfato.

Se requiere la preparación de agua inodora diluida mediante filtración por un lecho de carbón activado. Luego se determina el “Número de Olor Incipiente” (N.O.I.), es decir, la proporción en la cual la muestra a analizar debe ser diluida con agua inodora para que el olor de la misma pueda apenas detectarse (APHA 2012).

- **Color**

El color en el agua resulta de la presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. La expresión color se debe considerar

que define el concepto de “color verdadero”, esto es, el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad. El término “color aparente” engloba no sólo el color debido a sustancias disueltas sino también a las materias en suspensión y se determina en la muestra original sin filtrarla o centrifugarla.

El color puede determinarse por espectrofotometría o por comparación visual. Este último resulta más sencillo y consiste en la comparación de la muestra con soluciones coloreadas de concentraciones conocidas. El método estandarizado utiliza patrones de platino cobalto y la unidad de color (UC) es la producida por 1 mg/L de platino en la forma de ion cloroplatinato, cloruro de cobalto y ácido clorhídrico (APHA 2012).

- **Turbidez**

La turbidez es una medida de la propiedad óptica que causa dispersión y absorción de la luz con disminución de la transmisión en línea recta. Se mide en unidades de turbidez nefelométrica (NTU) (APHA 2012).

- **Temperatura**

Es un parámetro físico que afecta mediciones de otros como pH, alcalinidad o conductividad. Las temperaturas elevadas resultantes de descargas de agua caliente pueden tener un impacto ecológico significativo, por lo que la medición de la temperatura del cuerpo receptor resulta útil para evaluar los efectos sobre éste. Las mediciones se pueden efectuar con cualquier termómetro centígrado de mercurio; debe ser siempre registrada en el campo y hasta una temperatura constante (APHA 2012).

- **Sólidos totales disueltos**

La determinación de los sólidos sedimentables permite estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un agua, pero el resultado está condicionado por la temperatura y la duración de la desecación. Su determinación se basa en una medición cuantitativa del incremento de peso que experimenta una cápsula previamente tarada tras la evaporación de una muestra y secado a peso constante a 103-105° C (APHA 2012).

- **Hierro**

La determinación de hierro se hace por el método de fenantrolina o por la espectrofotometría de absorción atómica. El primero se usa cuando no hay interferencia de sustancias o iones metálicos (APHA 2012).

- **Manganeso**

Se usa el método calorimétrico con Persulfato de amonio, pero también puede ser determinado por espectrofotometría de absorción atómica (APHA 2012).

- **Dureza**

La dureza total se define como la suma de concentración de iones Calcio y Magnesio, expresados como Carbonato de calcio, en mg/L (APHA 2012).

- **Sulfatos**

Se determinan por métodos gravimétricos y turbidimétrico. Para concentraciones superiores a 10 mg/L se considera que el método gravimétrico de calcinación (800° C) es el método más exacto. El método turbidimétrico es recomendable para niveles por debajo de los 10 mg/L (APHA 2012).

- **Nitratos**

- a) **Nitratos propiamente dichos**

Se pueden determinar por el método de Brucina (sulfato de brucina y ácido sulfanílico), el cual se basa en que al reaccionar el nitrato y la brucina se produce un color amarillo que puede ser usado para la estimación colorimétrica del nitrato (APHA 2012).

- b) **Nitritos**

La determinación de nitritos se basa en que en medio ácido el ion nitrito como ácido nitroso reacciona con el ácido sulfanílico para formar la sal de diazonio (APHA 2012).

- **Fluoruros**

El principio de la determinación se basa en el efecto “blanqueador” del ión fluoruro en un color

previamente formado por la acción entre el ión circonio y la colorante alizarina. La acción decolorante es directamente proporcional a la concentración del ión fluoruro (APHA 2012).

- **Cloro**

El ion cloruro es uno de los principales aniones de las aguas, incluidas las aguas residuales. En concentraciones altas, el cloruro puede impartir al agua un sabor salino. Se determina fácilmente por el método del reactivo de color, N-N-dietil-p-Fenilenediamina, por exactitud y precisión (APHA 2012).

2. Metales pesados

Las trazas de metales pesados exigidos por el MINSAL cuando aprueba factibilidades y autorizaciones para abastecimiento de agua potable, cuyos límites máximos están contemplados en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 Agua. Agua potable, se exhiben en el cuadro 9.

Cuadro 9. Parámetros para trazas de metales pesados requeridos por el MINSAL.

N°	Parámetros	Según NSO 13.07.01:08	
		Unidad	Límite máximo permisible
1	Cobre	ppm	1.30
2	Cadmio	ppm	0.003
3	Zinc	ppm	5.00
4	Cromo	ppm	0.05
5	Níquel	ppm	0.02
6	Sodio	ppm	200.00
7	Plomo	ppm	0.01

Fuente: Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable NSO 13.07.01:08

- **Cobre**

El método más utilizado en la determinación de este elemento consiste en la aplicación del reactivo de cuprethol, el cual hace que los iones de cobre formen un compuesto amarillo soluble (APHA 2012).

- **Cadmio**

Puede ser determinado por el método colorimétrico de Ditizona o por espectrofotometría de absorción atómica (APHA 2012).

- **Zinc**

Este metal al igual que otros 19 más es capaz de reaccionar con la difeniltiocarbazona (Ditizina), para producir compuestos coloridos (Ditizonatos), que se pueden extraer con disolventes orgánicos como el tetracloruro de carbono (APHA 2012).

- **Cromo**

El cromo se puede presentar en las aguas en forma hexavalente como trivalente, aunque esta última forma rara vez existe en agua potable. El cromo total puede determinarse por espectrofotometría de absorción atómica o por el método colorimétrico de difenilcarbazida. En este último debe oxidarse primero el cromo trivalente existente a cromo hexavalente (APHA 2012).

- **Níquel**

Se usa el método colorimétrico con heptoxina (cicloheptano-dionadioxima). Este método se basa en el níquel de los otros iones por extracción del complejo níquel-heptoxina con cloroformo y luego se mide la intensidad de color del complejo coloreado que se ha formado (APHA 2012).

- **Sodio**

Se determina a través del método de espectrofotometría de absorción atómica, pudiéndose calcular concentraciones de 0.02 a 1.0 mg/L (APHA 2012).

- **Plomo**

Puede ser determinado por un método colorimétrico de Ditizona o por espectrofotometría de absorción atómica (APHA 2012).

3. Parámetros bacteriológicos

a) Bacterias indicadoras de contaminación

Las normas bacteriológicas de calidad establecen que el agua debe estar exenta de patógenos de origen entérico, responsables de transmitir enfermedades gastrointestinales, cutáneas, óticas, oculares, así como del tracto genitourinario. Los microorganismos indicadores de contaminación deben cumplir con los siguientes requisitos: ser fáciles de aislar y crecer en laboratorio; ser relativamente inocuas para las personas y los animales; además de presentar relación cualitativa y cuantitativamente con otros microorganismos patógenos de aislamiento más difícil. Tres tipos de bacterias cumplen con los requisitos:

- Coliformes totales.
- Coliformes fecales: indican contaminación fecal.
- Bacterias heterótrofas: determinan efectividad del tratamiento de las aguas.
- *Pseudomonas*: señalan deterioro en la calidad del agua o una recontaminación.

Para determinar la potabilidad del agua es necesario investigar la presencia de Bacterias Heterótrofas, Coliformes totales y fecales. La gran sensibilidad de las Bacterias Mesófilas aeróbicas a los agentes de cloración y otros procesos, las ubica como indicadoras de la eficacia del tratamiento del agua; por lo tanto, la medición del carbono orgánico total (COT) no reemplaza las pruebas de control microbiológico en aguas (APHA 2012 y USP 2016).

Los microorganismos para los que se deben hacer pruebas de identificación y posterior cuantificación comprenden: Coliformes Totales, Coliformes Fecales, *Escherichia coli*, conteo de Bacterias Heterótrofas Aeróbicas. Otras pruebas con las cuales puede complementarse el análisis bacteriológico incluye: identificación de presencia de *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes* y *Enterococcus faecalis* (APHA 2012 y CONACYT 2009).

b) Coliformes como indicadores

Las bacterias coliformes son organismos indicadores de la presencia de contaminación fecal, debido a que suelen habitar el tracto intestinal de los animales vertebrados y por tanto

encontrarse grandes cantidades de éstas en las heces de dichos animales. Se caracterizan por su capacidad de fermentar lactosa a 35° C, los géneros que componen el grupo son: *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter* y *Edwardsiella*. Todas pueden existir como saprófitas independientes o como microorganismos intestinales, excepto el género *Escherichia* cuyo origen es casi exclusivamente fecal.

Estas diferencias han llevado a la necesidad de distinguir entre coliformes totales: grupo que incluye a todos los Coliformes de cualquier origen; y Coliformes fecales: término que designa a los Coliformes de origen exclusivamente intestinal, con capacidad de fermentar lactosa a 44.5° C, cuyo representante es la *Escherichia coli*. El hallazgo microbiológico de la presencia de Coliformes fecales en una muestra se restringe a una contaminación de origen fecal, mientras que la presencia de coliformes totales, que desarrollan a 35° C, sólo indica existencia de contaminación, sin asegurar su origen (Gamboa Coronado et al. 2005).

Tradicionalmente se les ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de la calidad del agua destinada al consumo humano, en razón de que, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura; asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal, mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga reciente de heces (Gamboa Coronado et al. 2005).

c) Organismo patógeno del género *Pseudomonas*

En los seres humanos son patógenos oportunistas, pueden aprovechar cualquier supresión, disminución del sistema inmunológico o daño en los tejidos para invadir, por ejemplo: pueden invadir los pulmones de personas que padecen fibrosis quística (FQ), se ha encontrado en personas con infecciones oculares, es peligrosa en víctimas de quemaduras, en personas inmunosuprimidas como resultado de diversos tratamientos y en personas que padecen SIDA (Gamboa Coronado et al. 2005).

La patogenicidad se debe a la secreción de una gran cantidad de toxinas; su crecimiento y tipo de colonización formando biopelículas que debilitan o permiten la evasión del sistema inmune del huésped, permitiendo a las bacterias sobrevivir una vez que han invadido los tejidos. El

género *Pseudomonas* incluye: Bacterias Gram negativas, no formadoras de esporas, con morfología externa de bacilo, móviles por medio de uno o más flagelos polares, son aerobios obligados, algunas especies pueden crecer en condiciones anaeróbicas ante la presencia de nitratos (Gamboa Coronado et al. 2005).

Las tres enfermedades humanas más comunes causadas por *Pseudomonas aeruginosa* son: bacteremia en víctimas de quemaduras graves, infección pulmonar crónica en pacientes de la fibrosis quística (FQ) y la queratitis ulcerativa aguda en mineros del carbón, los agricultores y personas que utilizan lentes de contacto por tiempo prolongado. También causa infecciones en las vías urinarias y osteomielitis. Éste patógeno oportunista produce muchos factores que promueven la adhesión a las células huésped y mucinas, dañan los tejidos del huésped, provocan inflamación y bloquean la acción de los mecanismos de defensa (Gamboa et al. 2005).

En los equipos de purificación de agua se acumulan formando biopelícula especialmente sobre los filtros a los que se les ha dado escaso mantenimiento; también, tiende a acumularse en la superficie de las orillas, drenajes, parrillas, donde se encuentra en un medio ideal para su desarrollo (Gamboa Coronado et al. 2005).

5.9 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del agua es una medida del flujo de electrones facilitado con iones y sus unidades suelen expresarse como Siemens por centímetro (S/cm). Moléculas de agua se disocian en iones en función del pH y la temperatura, produciéndose una conductividad fácil de predecir. Algunos gases, especialmente el Dióxido de carbono, se disuelven fácilmente en el agua e interactúan para formar iones, lo que también afecta la conductividad en forma predecible. La medición consiste en la determinación de la conductancia (G), o su inversa que es la resistencia (R), del fluido entre y alrededor de los electrodos. La conductancia (1/R) se ve directamente afectada por las propiedades geométricas de los electrodos, es decir, la conductancia es inversamente proporcional a la distancia (d) entre los electrodos y proporcional al área (A) de los mismos. Esta relación geométrica (d/A) se conoce como constante de celda (Θ). Por consiguiente, la conductancia medida se normaliza para la constante de celda a fin de determinar la conductividad (k), de acuerdo con la siguiente ecuación (USP 2016):

$$k = \frac{\Theta\left(\frac{1}{\text{cm}}\right)}{R(\Omega)}$$

5.10 Caudal

El caudal es el volumen de agua dada en litros (l), metros cúbicos (m³), entre otras unidades, que fluye a través de una sección en un tiempo específico. La forma más sencilla de calcular los caudales es por el método del aforo volumétrico, el cual consiste en la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. La corriente se desvía hacia un canal o cañería que descarga en un recipiente adecuado y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronómetro o reloj. El tiempo que se tarda en llenarlo se medirá con precisión, especialmente cuando sea de sólo unos pocos segundos. La variación entre diversas mediciones efectuadas sucesivamente dará una indicación de la precisión de los resultados (USP 2016).

VI. Metodología

6.1 Ubicación del estudio

El laboratorio Central Dr. Max Bloch con coordenadas geográficas 13.700018 Latitud Norte y -89.207462 Longitud Oeste, está ubicado contiguo al Hospital Rosales en San Salvador, El Salvador. En este edificio funcionan las dependencias denominadas: Laboratorio de Control de Calidad (LCC) de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad (UAC), Laboratorio Nacional de Referencia (LNR) y la Dirección de Saneamiento Ambiental (DISAM) del Ministerio de Salud (MINSAL).

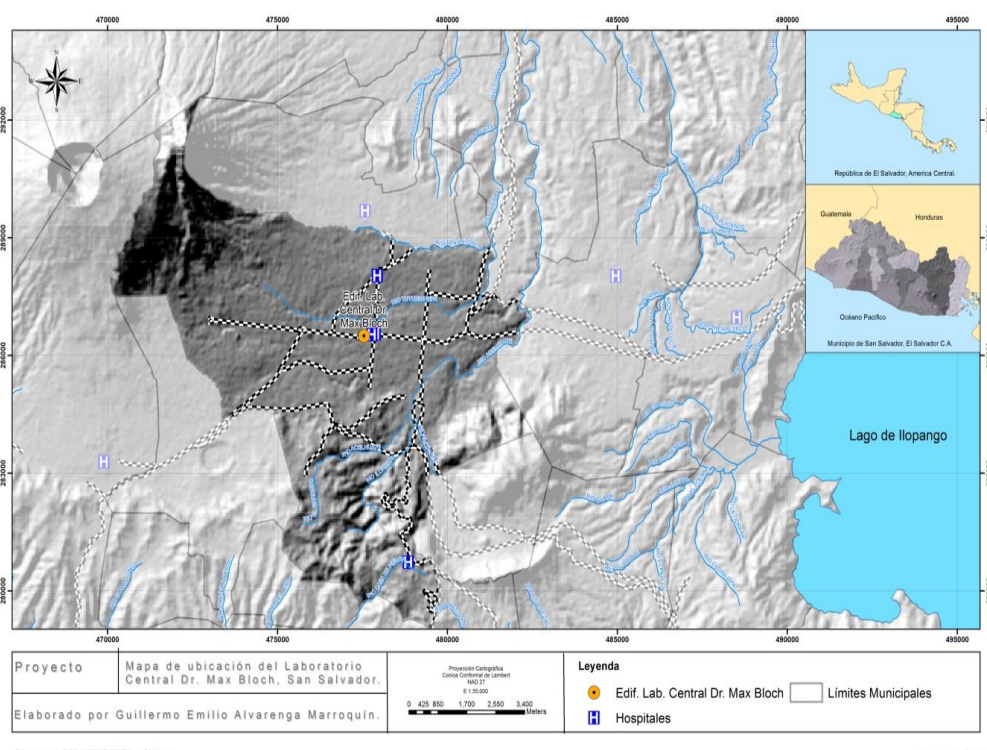


Figura 6. Ubicación del edificio Dr. Max Bloch del Ministerio de Salud.

6.2 Investigación de campo

Se hizo una visita de campo para el reconocimiento de las instalaciones del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del MINSAL, en donde se encuentra el sistema purificador de agua en estudio; además, se realizó un diagnóstico participativo para verificar el estado actual del sistema purificador de agua, identificar y ubicar

si existen puntos en los que haya desperdicio de agua.

Los resultados del diagnóstico sirvieron para buscar puntos estratégicos en donde se pudiese reestructurar el sistema purificador de agua, determinar los puntos de muestreo y en base a esto el número de muestras de agua a recolectar antes y después de la reestructuración del sistema purificador de agua (figura 7).

6.3 Parte experimental

Como medida de reestructuración del sistema purificador de agua se acoplo un contenedor de resina de lecho mixto en el equipo desionizador, para ver cómo se podía mejorar la eficiencia del sistema purificador de agua. Se recolectaron cinco muestras de agua en el sistema purificador sin reestructurar y dos en el reestructurado, se analizaron aplicando los métodos establecidos por la APHA y USP (figuras 7 y 8).

Se analizó la “conductividad” para valorar la eficiencia en la producción de agua ultrapura de calidad entre el sistema purificador de agua sin y reestructurado. Se midió el caudal de agua (aforo) en los puntos detectados donde hay desperdicio de agua para conocer su caudal y el costo que incurre el Ministerio de Salud al hacer esta mala práctica.

Se buscaron soluciones para reducir el desperdicio de agua por el sistema purificador de agua actual, en el caso que hubiese, se realizó un diagnóstico socio-económico para valorar el costo-beneficio entre el sistema purificador de agua sin y reestructurado, a través de un análisis financiero y de una encuesta dirigida al personal del Laboratorio de Control de Calidad que utiliza el agua producida por el sistema purificador (anexo 8).

6.4 Muestras de agua a recolectar

Se tomaron cinco muestras de agua en el sistema purificador al inicio del estudio (figura 7):

1. Agua de alimentación del sistema.
2. En la salida del desionizador.
3. En la salida del destilador.
4. En la purga del destilador.

5. A la salida del ultrapurificador.



Figura 7. Puntos de muestreo en el sistema purificador de agua sin reestructurar del MINSAL.

Del sistema purificador con la nueva tecnología se tomaron dos muestras de agua (figura 8):

1. En la salida del desionizador de doble lecho.
2. En la salida del desionizador de resina de lecho mixto acoplado.

Las muestras se recolectaron el primer día de operación del sistema reestructurado, una muestra cada semana por un mes y una muestra mensual por dos meses.



Figura 8. Puntos de muestreo en el sistema purificador reestructurado.

Los puntos de muestreo se escogieron de acuerdo al criterio del investigador: que fuesen fáciles de muestrear, que evaluará individualmente cada paso del proceso de purificación de agua, y que fuesen puntos críticos de control para poder brindar posibles mejoras; y la recolección se realizó tomando todas las medidas necesarias para garantizar la fiabilidad de los resultados. Las muestras se tomaron en frascos de vidrio estériles para parámetros bacteriológicos y en frascos de plástico no estériles para los demás parámetros.

Se tomaron muestras en frascos de plástico de un galón para parámetros físico-químicos, frascos de plástico de un litro con 2 mL de Ácido nítrico concentrado para metales pesados y frascos de vidrio de 200 mL con 0.1 mL de Tiosulfato para parámetros bacteriológicos en los puntos de muestreo seleccionados; las muestras bacteriológicas se almacenaron y transportaron en una hielera para mantener la cadena de frío y proteger las muestras.

6.4.1 Parámetros bacteriológicos del agua

A las muestras recolectadas tanto del sistema purificador original como del reestructurado se les analizaron conteo de: Coliformes totales, Coliformes fecales, *Escherichia coli* y Bacterias Heterótrofas, utilizando los métodos basados en la APHA. Para la determinación de ausencia de *Pseudomonas aeruginosa* se utilizaron métodos respaldados por la Farmacopea de los Estados Unidos edición 39.

6.4.2 Parámetros fisicoquímicos

A las muestras recolectadas tanto del sistema purificador original como del reestructurado se les analizaron: pH, olor, color, turbidez, temperatura, sólidos totales disueltos, Hierro, Manganeso, dureza, Sulfatos, Nitratos, Fluoruros, Cloro como Cloro libre residual.

6.4.3 Parámetros metales pesados

A las muestras recolectadas tanto del sistema purificador original como del reestructurado se les analizaron: Cobre, Cadmio, Zinc, Cromo, Níquel, Sodio y Plomo.

6.4.4 Conductividad del agua

Esta se tomó utilizando un conductivímetro calibrado perteneciente al Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del MINSAL; esta se hará siempre que se tomen muestras.

6.5 Determinación de la calidad del agua

Para comunicar de forma más sencilla la calidad del agua del sistema purificador, antes y después de la reestructuración, ésta se determinó por el Índice de Calidad de Aguas Canadiense (CCME_ICA), para ello se usaron las siguientes fórmulas:

$$ICA_{CCME} = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732}$$

Dónde: F1 es el factor “alcance”, F2 es el factor “frecuencia” y F3 es el factor “amplitud”.

- **Factor alcance (F1):**

$$F1 = \frac{\text{Parámetros fallidos}}{\text{Total de parámetros}} \times 100$$

- **Factor frecuencia (F2):**

$$F2 = \frac{\text{Ensayos fallidos}}{\text{Total de ensayos realizados}} \times 100$$

- **Factor Amplitud (F3):**

Cálculo de la excursión cuando el valor fallido sea mayor que el límite máximo normado:

$$\text{Excursión} = \frac{\text{Valor de parámetro fallido}}{\text{Valor de parámetro normado}} - 1$$

Cálculo de la excursión cuando el valor fallido sea menor que el límite mínimo normado:

$$\text{Excursión} = \frac{\text{Valor de parámetro normado}}{\text{Valor de parámetro fallido}} - 1$$

Cálculo de suma normalizada de excursiones:

$$\text{sne} = \frac{\sum \text{excursiones}}{\text{Total de ensayos realizados}}$$

$$F3 = \left(\frac{\text{sne}}{0.01 \text{ sne} + 0.01} \right)$$

6.6 Caudal de agua desperdiciada

Se calculó por el método del aforo volumétrico, descargando el agua directamente en un balón volumétrico de un litro, mientras se toma el tiempo que transcurre hasta que el agua llegue a la línea aforadora del balón volumétrico; esto se hizo los días en que trabajaba el equipo durante el periodo de 5 meses.

6.6.1 Determinación del porcentaje de desperdicio

Se determinó un porcentaje de desperdicio utilizando la relación del caudal de agua de entrada con el caudal del agua que desperdicia el equipo, dicha razón se multiplico por cien para obtener un valor en porcentaje y así facilitar la comprensión de la cantidad de agua que se desperdicia. Además, este desperdicio se tradujo a un valor en dólares (cuadro 25).

6.7 Elaboración del procedimiento operativo estandarizado del sistema reestructurado

Se elaboró un procedimiento operativo estandarizado (POE) del sistema reestructurado con la información proporcionada por el fabricante para facilitar su manipulación y el buen manejo por parte de los encargados del sistema purificador de agua del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del MINSAL.

6.8 Sensibilización del personal del Laboratorio de Control de Calidad de Medicamentos

Se realizaron dos talleres de sensibilización para el personal del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad al final de la investigación, de la siguiente forma:

- El primer taller se impartió a nivel de jefaturas de los laboratorios de análisis que se benefician del agua que produce el sistema purificador de agua en base a los resultados y la relación costo-beneficio.
- El segundo taller a todo el personal técnico del laboratorio de análisis que se beneficia del agua que produce el sistema purificador de agua en base a los resultados arrojados por la investigación.

VII. Análisis de Resultados

7.1 Objetivo Específico 1: Caracterizar las aguas del sistema purificador de agua actual del laboratorio de Control de Calidad del Ministerio de Salud.

7.1.1 Diagnóstico del sistema purificador de agua no reestructurado

7.1.1.1 Equipo de bombeo

El equipo de bombeo del sistema purificador de agua tiene dos bombas no sumergibles de 7.5 HP cada una y cada bomba posee dos tanques de presión (hidrotanques) que protegen a las bombas del golpe de ariete para que estas no se dañen; además, cada bomba cuenta con su propia válvula check. Las bombas extraen el agua de una cisterna con capacidad de almacenamiento de 108 m³ y con dimensiones de 6 m de largo, 6 m de ancho y 3 m de profundidad (anexo 1).

La presión está ajustada entre 40-70 psi, se bombea agua no solamente al sistema sino también a todo el edificio, pero no se cuenta con micromedidores en los ramales de alimentación de agua que se derivan para el edificio y para el sistema purificador de agua, el ramal que da al sistema purificador de agua pasa por un regulador de presión que la baja entre 30-50 psi.

7.1.1.2 Equipo desionizador

Después de regulada la presión el agua pasa a un filtro de carbón activado auto lavable, de dos pies³ y caudal de 0.14 m³/h; el sistema ha perdido la configuración hidráulica de fábrica y no cuenta con un filtro sedimentador, lo que hace que el filtro de carbono se obstruya con frecuencia.

El agua al salir del filtro de carbono, antes de entrar al contenedor de resina de intercambio catiónico, sufre una caída de presión (ΔP) de 4 psi, es decir, de 30-46 psi, porque el equipo desmineralizador del sistema purificador de agua cuenta con una válvula check que se instaló para prevenir los golpes de ariete. Las capacidades del contenedor de resina de intercambio catiónico y contenedor de resina de intercambio aniónico son de 5 pies³ cada uno, los cuales están cargados con 4 pies³ de resina.

El representante de la empresa que da mantenimiento al equipo expreso que el daño que sufrió el equipo desionizador se debió a que el equipo estuvo en bodega demasiado tiempo y que la resina está todavía dentro de la vida útil que el fabricante señala; por esta razón, al equipo se le hicieron ajustes para lograr 18-22 m³ de agua desionizada por corrida y se pretende lograr hasta un máximo de 26 m³ por corrida. Además, menciona que las resinas están desbalanceadas, pues la resina de intercambio aniónico debería de ser aproximadamente el doble respecto a la resina de intercambio catiónico, por esta razón se trató de encontrar el balance, ya que la resina de intercambio catiónico se regenera del 60-70% y la resina de intercambio aniónico al 100%.

La regeneración de las resinas de intercambio catiónico y aniónico se lleva a cabo con 40 litros de Ácido clorhídrico (HCl) 30% y 40 litros de Hidróxido de sodio (NaOH) 50%. Desde la regeneración hasta el agotamiento de la resinas pasan aproximadamente 9 días laborales, esto depende de la demanda, puesto que el equipo desionizador no solamente distribuye agua al área de microbiología de medicamentos de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad (UAC) sino también a otras áreas de análisis del edificio como al lavado de cristalería, al destilador del área de análisis físico-químico de medicamentos de la UAC y al área de análisis del Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos y Toxicología del Instituto Nacional de Salud (INS).

Cuando el agua sale de las resinas de intercambio catiónico y aniónico, hay sensores de conductividad, sensores de flujo y pH averiados. Estos mandaban sus datos a un panel electrónico que se quemó cuando se hizo el traslado del equipo y dejaron mal la conexión eléctrica auxiliar. Por lo tanto, para que las válvulas neumáticas funcionen se instaló un compresor de 2 HP; además, había un contador de agua electrónico a la salida del desionizador que se quemó, así que se instaló un micromedidor análogo (anexo 2).

El técnico encargado del sistema hace un monitoreo manual de la conductividad eléctrica del agua una vez al día por la mañana, obteniendo valores de conductividad de 10-25 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Al apagarse el equipo desionizador se cierra la válvula de entrada y la de salida, para que no se combinen las aguas entre las resinas.

El agua producida solo es utilizada como materia prima para el destilador del sistema purificador de agua y como el sistema se hizo manual el gasto energético es nulo.

Problemas que presenta el equipo desionizador

1. No tiene filtro Sedimentador.
2. No se caracterizó el agua de entrada para el diseño del sistema.
3. El equipo perdió su configuración hidráulica de fábrica.
4. Pérdida de todos los sensores electrónicos.
5. Por pérdida de sensores electrónicos la regeneración es manual y se contrata una empresa para su regeneración.
6. Se presentan golpes de ariete (presión) que dañan las válvulas neumáticas.
7. Por pérdida de válvulas hidroneumáticas y su alto costo de importación se cambiaron a válvulas manuales.
8. El mal diseño del cuarto del desionizador hace evidente la corrosión y daños en válvulas.
9. Pérdidas de válvulas de succión de ácido y soda caustica.
10. Se tiene un desbalance de resinas dentro de los contenedores, lo que genera una oscilación de pH de rango 4-10.
11. La instalación ocupada por el equipo desionizador del sistema purificador de agua es ocupada como bodega de descarte de reactivos y equipos.
12. Problemas de contaminación microbiológica por áreas inadecuadamente protegidas.
13. Formación de biopelículas.

7.1.1.3 Destilador

Al destilador entra agua con conductividad menor a 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para obtener agua menor de 1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El flujo de agua lo mide el equipo en galones por minuto, es de vidrio, utiliza electricidad, marca Thermo Scientific y está equipado con cuatro resistencias que cuando están funcionando todas dan una relación de eficiencia de 1:10, cuenta con un solo vaso evaporador con capacidad para 4 galones y un regulador de paso que modula el caudal.

El agua producida es utilizada para el uso de autoclaves, enjuague de cristalería, producir agua estéril y preparación de medios de cultivo que se pueden esterilizar en autoclave; el encargado

del equipo expreso que el caudal que producía era de 11 L/h y que actualmente solo produce 7.2 L/h; además, que la producción de agua actual es de 60 litros por día laboral.

El regulador de paso deriva el agua desionizada hacia una salida denominada “purga”, la cual es directamente canalizada al desagüe.

Problemas:

1. El equipo tiene dos resistencias quemadas, eso hace que su eficiencia en teoría se haya reducido a la mitad.
2. Desperdicia grandes cantidades de agua desionizada de alta calidad.
3. Consumo de energía eléctrica alto.

7.1.1.4 Ultrapurificador

El equipo es marca Thermo Scientific, es a base de una membrana semi-permeable, es decir, que ocupa el principio de osmosis inversa para la producción de agua ultra pura o de alta pureza, el equipo funciona con electricidad, tiene incorporada dos lámparas de luz ultravioleta, expresa una resistencia de 18 MΩ y produce agua, en teoría, con una conductividad optima de 0.056 μS/cm, la cual es usada para análisis delicados y para preparación de medios de cultivo que no pueden esterilizarse por autoclaveado.

Problemas:

1. La membrana de osmosis inversa finalizó su vida útil.
2. Lentitud en la compra de los repuestos para el equipo.

7.1.2 Caracterización de las aguas del sistema purificador de agua no reestructurado

Los resultados de los análisis físico-químicos, de trazas de metales y microbiológicos reportados por el Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos y Toxicología del Ministerio de Salud de El Salvador se presentan en el cuadro 10.

Los resultados contemplan al agua de ANDA tomada de la cisterna del edificio laboratorio Central Dr. Max Bloch, del Ministerio de Salud, la cual es usada como materia prima para el

sistema purificador de agua; además, el agua desionizada y agua desionizada semidestilada desperdiciada tomadas directamente del sistema y el agua destilada y ultrapura tomadas de los contenedores.

- 1) Agua de ANDA: todos los parámetros trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma NSO 13.07.01:08, pero en los parámetros físico-químicos y microbiológicos, éstos exceden el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08 para el cloro residual 0.25 mg/mL, recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas 330 UFC/mL y organismos patógenos con presencia de *Pseudomona aeruginosa*. Además, no cumple con el límite máximo permisible para *Pseudomona aeruginosa* establecida por la Norma NSO 13.07.02:08, haciéndola no apta para el consumo humano porque es de regular calidad.
- 2) Agua desionizada: de los parámetros físico-químicos, el pH 9.17 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, debido al desbalance en las proporciones de resina de intercambio catiónico respecto a la de intercambio aniónico del desionizador; las trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma, pero en cuanto a los parámetros microbiológicos, el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas 280 UFC/mL excede el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, aún así el agua presenta buena calidad. Esto indica que la contaminación microbiológica del agua de la cisterna ha afectado al equipo desionizador del sistema purificador de agua.
- 3) Agua desionizada semidestilada desperdiciada: el pH 9.02 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08; las trazas de metales y parámetros microbiológicos cumplen con los límites máximos permitidos por la Norma NSO 13.07.01:08; es decir, que el agua es de excelente calidad. La reducción de la carga microbiana es debido al proceso de calentamiento del agua desionizada en el vaso evaporador del destilador antes de ser descartada a la alcantarilla, volviéndola estéril e idónea para realizar pruebas de laboratorio que ameriten el uso de aguas de esta característica.

- 4) Agua destilada: todos los parámetros físico-químicos y trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma NSO 13.07.01:08; sin embargo, el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas ($>3,000$ UFC/mL) exceden el límite máximo permitido por la Norma, haciendo que el agua sea de calidad regular. La contaminación microbiológica del agua proviene de los contenedores en los cuales se almacena el agua destilada, ya que el agua recién destilada posee una temperatura elevada que la hace estéril en su momento.

- 5) Agua ultrapura: todos los parámetros físico-químicos y trazas de metales cumplen con los límites máximos permitidos por la Norma NSO 13.07.01:08; pero el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas ($>3,000$ UFC/mL) no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, haciendo su calidad regular. Como el ultrapurificador es alimentado con agua destilada que se almacena en los contenedores para agua, éste logra reducir la carga microbiana en el proceso de osmosis inversa y el paso del agua por luz ultravioleta, volviendo a recuperar su carga microbiana al almacenarse en los contenedores para agua con carga microbiana.

Las aguas destilada y ultrapura producidas no son usadas inmediatamente que se generan, por esta razón no se muestrearon directamente de la salida de los equipos, sino, que se realizó de los contenedores de agua en donde se almacenan para someter las aguas en estudio a las mismas condiciones en las que son usadas por el personal del laboratorio, evidenciando así la contaminación de las aguas de más alta calidad por el descuido de no darle el tratamiento adecuado a los contenedores donde se almacenan para su posterior uso.

Cuadro 10. Resultados de análisis físico-químicos, trazas de metales y microbiológicos de las aguas del sistema purificador no reestructurado.

N°	Tipo de parametro	Determinaciones	Límite máximo permisible por NSO 13.07.01:08	Resultados				
				Agua ANDA	Agua desionizada	Agua desionizada semidestilada desperdiciada	Agua destilada	Agua Ultrapura
1	Físico-químico	pH	6.0-8.5	6.91	9.17	9.02	8.17	7.68
2		Olor	NR	NR	NR	NR	NR	NR
3		Color verdadero	15 mg/L	0	0	0	0	0
4		Turbidez	5 UNT	0.34	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
5		Temperatura	NR °C	27	27	27	27	27
6		Solidos totales disueltos	1000 mg/L	505.5	12	<12	<12	<12
7		Hierro total	0.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
8		Manganeso	0.1 mg/L	0.05	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
9		Dureza total (CaCO ₃)	500 mg/L	259.05	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66
10		Sulfatos	400 mg/L	89.32	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
11		Nitratos	45 mg/L	18.54	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28
12		Fluoruros	1 mg/L	0.2	0.05	0.05	0.05	0.05
13		Cloro residual	0.3-1.1 mg/L	0.25	0	0	0	0
14	Traza de metales	Cobre	1.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
15		Cadmio	0.003 mg/L	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007
16		Zinc	5 mg/L	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16
17		Cromo	0.05 mg/L	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017
18		Níquel	0.02 mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
19		Sodio	200 mg/L	53.86	2.61	2.77	2.56	3.37
20		Plomo	0.01 mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
21		Arsénico	0.01 mg/L	0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
22	Microbiológicos	Bacterias Coliformes totales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
23		Bacterias Coliformes fecales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
24		<i>Escherichia coli</i>	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
25		Recuento de bacterias aerobias, heterótrofas mesófilas	100 UFC/mL	330	280	6	>3,000	2500
26		Organismos patógenos	Ausencia	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Fuente: Informes de resultados de análisis de agua del Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos y Toxicología del MINSAL (2017).

En la figura 9 se observa que el agua desionizada y el agua desperdiciada se encuentran por arriba del límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08. Esto se debe al desbalance de resinas entre los contenedores de resina catiónica y aniónica, lo anterior hace que el pH

fluctuó. Además, es de señalar que debido al desbalance entre resinas se deja un exceso de Hidróxido de sodio para que la resina de intercambio aniónico pueda durar más tiempo entre regeneraciones, a eso se debe el aumento del pH del agua desionizada y desperdiciada.

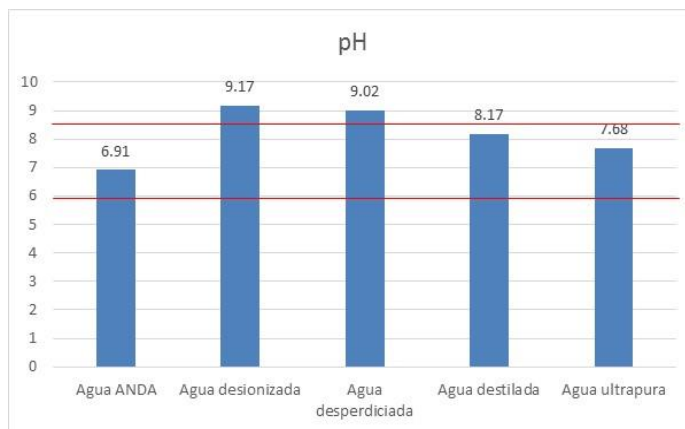


Figura 9. pH de las aguas producidas por el sistema purificador sin reestructurar.

En la figura 10 se observa que el cloro residual en el agua de ANDA está por debajo del límite mínimo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08; la disminución de las concentraciones de cloro es debido al trabajo realizado por la resina de intercambio aniónico. La no presencia de cloro residual en las aguas para uso del laboratorio no es concluyente de rechazo, al contrario, esto indica una excelente purificación del agua por parte del sistema.



Figura 10. Cloro residual de las aguas producidas por el sistema purificador sin reestructurar.

En la figura 11 se observa que el agua desperdiciada cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08 que es de 100 UFC/mL. La presencia de contaminación en el agua de ANDA y en el agua desionizada está relacionada, pero no hay relación con el agua destilada y ultrapura, porque la contaminación de estas es debida a la falta de limpieza de los contenedores donde se almacena el agua (anexo 6).

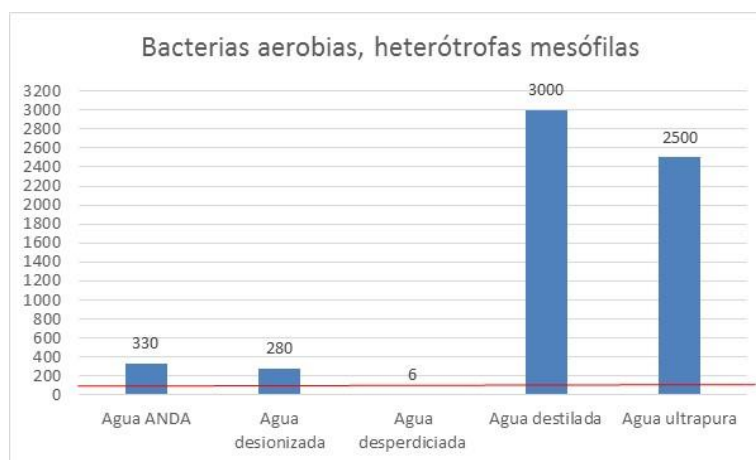


Figura 11. Contenido de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas en las aguas producidas por el sistema purificador sin reestructurar.

La figura 12 muestra que únicamente el agua de ANDA no cumple la Norma NSO 13.07.02:08 debido a la presencia de *Pseudomona aeruginosa*, indicando que el agua almacenada en la cisterna es la que está contribuyendo en la contaminación debido a la formación de biopelículas.



Figura 12. Contenido de *Pseudomona aeruginosa* en las aguas producidas por el sistema purificador sin reestructurar.

7.2 Objetivo Específico 2: Comparar la calidad del agua producida por el sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto con la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 Agua. Agua Potable y con la Norma Salvadoreña Obligatoria Agua. Agua Envasada NSO 13.07.02:08.

7.2.1 Sistema purificador reestructurado

Al sistema original se le acoplo un contenedor de resina de lecho mixto en la parte final del desionizador de resina de doble lecho. El resultado de los análisis físico-químicos, de trazas de metales y microbiológicos del agua producida por el sistema purificador de agua reestructurado (anexo 9) se muestran en el cuadro 11; el agua desionizada y el agua de lecho mixto fueron tomadas directamente del sistema.

1. Muestreo inicial

- a) Agua desionizada: de los parámetros físico-químicos, el pH 4.55 no cumple con el límite mínimo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, debido al desbalance en las proporciones de resina de intercambio catiónico respecto a la de intercambio aniónico del desionizador; las trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma, pero en cuanto a los parámetros microbiológicos, el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas (>3,000 UFC/mL) excede el límite máximo permitido por la Norma. La carga bacteriológica es debido a que el agua llega cruda desde la cisterna y la resina del desionizador ya estaba por agotarse.
- b) Agua de lecho mixto: de los parámetros físico-químicos, el pH 5.3 no cumple con el límite mínimo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, las trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma; en cuanto a los parámetros microbiológicos (>3,000 UFC/mL), estos exceden el límite máximo permitido por la Norma para el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas y organismos patógenos. Además, no cumple con el límite máximo permisible para *Pseudomona aeruginosa*. La carga bacteriana es causada por el agua almacenada en la cisterna, la cual contamina a la resina de lecho mixto; lo antes mencionado y el aumento del pH produjo el ambiente idóneo para que la *Pseudomona aeruginosa* pudiese superar la competencia con la flora biótica contaminante y así favoreciera su desarrollo. Además, es de mencionar que el muestreo se realizó cuando

la resina del desionizador ya estaba por agotarse, y se desconoce si la resina del lecho mixto proporcionada estaba libre de carga microbiana. No se hizo análisis de la resina porque el proveedor ya la proporciono en contenedor y argumento que al abrirlo perdería la garantía del fabricante.

2. Semana 1

- a) Agua desionizada: de los parámetros físico-químicos, el pH 9.86 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, las trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma; de los parámetros microbiológicos, el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas excede el límite máximo permitido por la Norma. A pesar de que la resina del desionizador estaba recién regenerada, la carga bacteriológica se mantuvo, poniendo en evidencia que ni el proceso químico de regeneración es capaz de eliminar por completo la carga microbiana.
- b) Agua de lecho mixto: los parámetros físico-químicos y las trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma NSO 13.07.01:08; en cuanto a los parámetros microbiológicos, estos exceden el límite máximo permitido por la Norma para bacterias Coliformes totales (8.0 NMP/100mL) y el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas (>3,000 UFC/mL). No se encontró presencia de *Pseudomona aeruginosa*, por el debilitamiento de la bacteria debido al proceso de regeneración de la resina del desionizador; pero el apareamiento de bacterias Coliformes totales es dudoso porque el agua desionizada se encuentra libre de dichas bacterias. El muestreo se realizó cuando la resina del desionizador ya estaba recién regenerada.

3. Semana 2

- a) Agua desionizada: de los parámetros físico-químicos, el pH 9.55 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, las trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma; en cuanto a los parámetros microbiológicos, el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas (>3,000 UFC/mL) excede el límite máximo permitido por la Norma. La resina del desionizador estaba en su vida media después de regenerada y la carga bacteriológica se siguió manteniendo.
- b) Agua de lecho mixto: de los parámetros físico-químicos, el pH 5.66 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, las trazas de metales no exceden los

límites máximos permitidos por la Norma; en cuanto a los parámetros microbiológicos, estos exceden el límite máximo permitido por la Norma para el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas. No se encontró presencia de bacterias Coliformes totales ni *Pseudomona aeruginosa*.

4. Semana 3

- a) Agua desionizada: de los parámetros físico-químicos, el pH 9.48 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, las trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma NSO; en cuanto a los parámetros microbiológicos, el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas (>3,000 UFC/mL) excede el límite máximo permitido por la Norma. La resina del desionizador estaba recién regenerada, pero la carga bacteriológica se siguió manteniendo.
- b) Agua de lecho mixto: de los parámetros físico-químicos, el pH 5.96 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, las trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma; en cuanto a los parámetros microbiológicos, estos exceden el límite máximo permitido por la Norma para el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas (>3,000 UFC/mL). No se encontró *Pseudomona aeruginosa*.

5. Semana 4

- a) Agua desionizada: de los parámetros físico-químicos, el pH 9.62 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, las trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma; en cuanto a los parámetros microbiológicos, el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas (>3,000 UFC/mL) excede el límite máximo permitido por la Norma. La resina del desionizador estaba en su periodo de vida media, pero la carga bacteriológica se siguió manteniendo debido a que la cisterna le confiere contaminantes al sistema.
- b) Agua de lecho mixto: los parámetros físico-químicos y las trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma NSO 13.07.01:08; en cuanto a los parámetros microbiológicos, estos exceden el límite máximo permitido por la Norma para el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas (>3,000 UFC/mL). No se identificó *Pseudomona aeruginosa*.

Cuadro 11. Resultados de análisis físico-químicos, trazas de metales y microbiológicos de las aguas del sistema purificador reestructurado por semana.

N°	Tipo de parametro	Determinaciones	Límite máximo permisible por NSO 13.07.01:08	Resultados									
				Inicio de prueba		Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
				Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)
1	Físico-químico	pH	6.0-8.5	4.55	5.3	9.86	6.57	9.55	5.66	9.48	5.96	9.62	6.46
2		Olor	NR	Rechazable	NR	Rechazable	NR	NR	NR	Rechazable	NR	Rechazable	NR
3		Color verdadero	15 mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4		Turbidez	5 UNT	<0.07	1.24	<0.07	0.8	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
5		Temperatura	NR °C	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
6		Sólidos totales disueltos	1000 mg/L	174.5	<12	19	16	<12	<12	<12	<12	<12	<12
7		Hierro total	0.3 mg/L	0.16	<0.02	0.04	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.08	0.02
8		Manganeso	0.1 mg/L	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02
9		Dureza total (CaCO3)	500 mg/L	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66
10		Sulfatos	400 mg/L	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
11		Nitratos	45 mg/L	<0.28	0.78	<0.28	<0.28	<0.28	0.36	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28
12		Fluoruros	1 mg/L	0	0	0	0	0	0	0.05	0.05	0.05	0.05
13		Cloro residual	0.3-1.1 mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Traza de metales	Cobre	1.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
15		Cadmio	0.003 mg/L	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007
16		Zinc	5 mg/L	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16
17		Cromo	0.05 mg/L	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017
18		Níquel	0.02 mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
19		Sodio	200 mg/L	5.08	3.3	4.14	2.58	1.17	0.53	13.57	11.36	12.43	12.23
20		Plomo	0.01 mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
21		Arsénico	0.01 mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
22	Microbiológicos	Bacterias Coliformes totales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	8.0	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
23		Bacterias Coliformes fecales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
24		<i>Escherichia coli</i>	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
25		Recuento de bacterias aerobias, heterótrofas mesófilas	100 UFC/mL	>3,000	>3,000	160	>3,000	>3,000	>3,000	>3,000	>3,000	>3,000	>3,000
26		Organismos patógenos	Ausencia	Ausencia	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Fuente: Informes de resultados de análisis de agua del Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos y Toxicología del MINSAL (2017).

En la figura 13 se muestra el pH obtenido a lo largo de cuatro semanas de investigación en donde se observa que resina recién regenerada presenta un pH de carácter básico y la resina saturada (necesita ser regenerada) presenta un pH ácido y que solo el agua del lecho mixto en la semana 1 y la semana 4 logra cumplir la Norma NSO 13.07.01:08 (pH 6.0–8.5). El agua desionizada cuando la resina se encontraba recién regenerada presento un pH básico, la resina de lecho mixto modifica el pH y lo llevo al límite establecido por la Norma. El agua desionizada cuando la resina está en su vida media mantiene siempre el pH básico; pero la resina de lecho mixto no logra compensar y llevar el pH al límite permitido por la Norma. A pesar de la gran fluctuación de pH, la resina de lecho mixto tiene la capacidad de corregirlo, como se muestra en la figura 13, llevando el pH del agua producida cercano a la neutralidad.

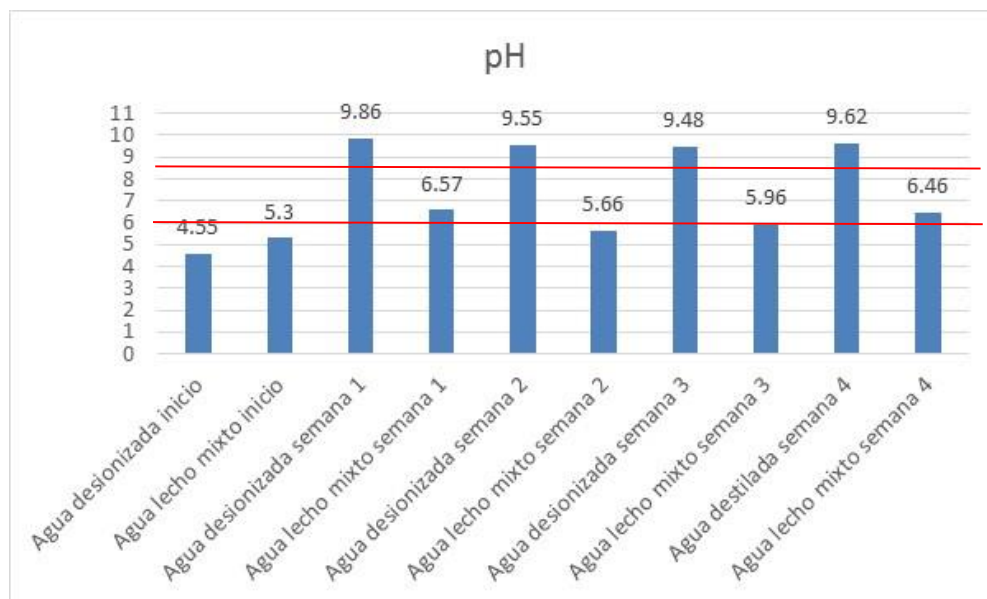


Figura 13. pH de las aguas producidas por el sistema purificador reestructurado semanalmente.

En la figura 14 se observa que solamente el agua de lecho mixto de la semana 1 aparece con Coliformes totales, posiblemente porque hubo una contaminación cruzada de la muestra con otras muestras, un posible frasco no esterilizado adecuadamente o un error de lectura de los tubos de fermentación.

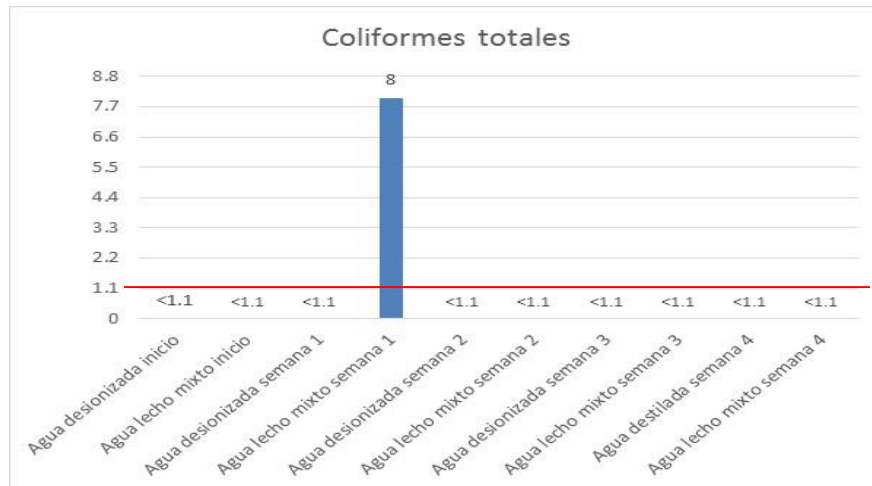


Figura 14. Contenido de Coliformes totales de las aguas producidas por el sistema purificador reestructurado semanalmente.

La figura 15 muestra que todas las aguas generadas por el sistema purificador reestructurado presentan un conteo de bacterias arriba del límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, lo cual es debido a que el tratamiento del agua el sistema lo realiza en función física y química pero no microbiológica; ya que la carga microbiana que llega de la cisterna se mantiene a lo largo del proceso de purificación del agua.



Figura 15. Contenido de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas de las aguas producidas por el sistema purificador reestructurado semanalmente.

En la figura 16 se muestra que en el agua del lecho mixto al inicio del muestreo hubo presencia de *Pseudomona aeruginosa*, esto hizo que se incumpliera la Norma NSO 13.07.02:08. La función purificadora del lecho mixto va en vía física y química, pero no microbiológica, ya que no fue capaz de inhibir a *Pseudomona aeruginosa*.



Figura 16. Contenido de *Pseudomona aeruginosa* en las aguas producidas por el sistema purificador reestructurado semanalmente.

El principal problema que se observó a lo largo de los análisis realizados semanalmente durante cuatro semanas, tanto en agua desionizada como en agua de lecho mixto, fue la contaminación bacteriana que presentaron, demostrando que el proceso de regeneración de las resinas no contribuye a la esterilización de estas. Además, el olor no es un factor determinante para el desuso del agua desionizada, debido a que por el desbalance de la resina catiónico respecto a la aniónica, el técnico encargado solicita que se le deje un pequeño exceso de Hidróxido de sodio, el cual le confiere un olor un poco desagradable al agua desionizada.

También, se tiene conocimiento que el encargado de darle mantenimiento al equipo desionizador manipulo el sistema purificador de agua reestructurado para hacer pruebas físico-químicas y no informo de ello; esto quedo en evidencia tras el muestreo de la primera semana, cuando al abrir la válvula de paso de agua para el contenedor de lecho mixto, este se encontró con agua acumulada, es decir, que después de haber utilizado el contenedor de resina de lecho mixto, este no se purgo. Por lo anterior, para realizar el primer muestreo se tuvo que purgar el

agua que quedo como remanente y hacer lavados de la resina con el agua destilada por un periodo aproximado de diez minutos, para después poder tomar las muestras de agua para análisis.

Es de hacer notar que, en el inicio, el muestreo se realizó cuando la resina del desionizador estaba a punto de agotarse; si observamos los resultados de loa análisis de los parámetros microbiológicos, estos confirman la presencia de *Pseudomona aeruginosa* como patógeno contaminante que posiblemente fue arrastrada desde la cisterna, la cual está contaminada con dicha bacteria. A continuación se muestran los resultados del comportamiento de los parámetros analizados a las aguas del sistema reestructurado mensualmente a lo largo de tres meses (anexo 9):

1. Mes 1

- a) Agua desionizada: de los parámetros físico-químicos, el pH 9.62 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, las trazas de métales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma; en cuanto a los parámetros microbiológicos, el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas (>3,000 UFC/mL) excede el límite máximo permitido por la Norma. La resina del desionizador estaba en su periodo de vida media; pero la carga bacteriológica se siguió manteniendo.
- b) Agua de lecho mixto: los parámetros físico-químicos y las trazas de métales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma NSO 13.07.01:08; los parámetros microbiológicos exceden el límite máximo permitido por la Norma para el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas (>3,000 UFC/mL). No se identificó *Pseudomona aeruginosa*.

2. Mes 2

- a) Agua desionizada: de los parámetros físico-químicos, el pH 9.81 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, las trazas de métales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma; en cuanto a los parámetros microbiológicos, el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas (490 UFC/mL) exceden el límite máximo permitido por la Norma. La resina del desionizador estaba en su periodo de vida media; pero la carga bacteriológica se

siguió manteniendo.

- b) Agua de lecho mixto: de los parámetros físico-químicos, el pH 4.91 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, las trazas de metales no exceden los límites máximos permitidos por la Norma; los parámetros microbiológicos exceden el límite máximo permitido por la Norma para el recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas (>3,000 UFC/mL). No se identificó *Pseudomona aeruginosa*.

3. Mes 3

- a) Agua desionizada: de los parámetros físico-químicos, el pH 10.09 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08; las trazas de metales y los parámetros microbiológicos no exceden los límites máximos permitidos por la Norma. La resina del desionizador estaba en su periodo de vida media; pero la carga bacteriológica se redujo debido a la limpieza de la cisterna.
- b) Agua de lecho mixto: de los parámetros físico-químicos, el pH 5.93 no cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08; las trazas de metales pesados y los parámetros microbiológicos no exceden los límites máximos permitidos por la Norma.

En la figura 17 se muestra el pH mensual a lo largo de tres meses, en donde solo el agua de lecho mixto del mes 1 cumple con la Norma NSO 13.07.01:08. La resina de lecho mixto intenta estabilizar el pH en todos los casos presentados en el gráfico.

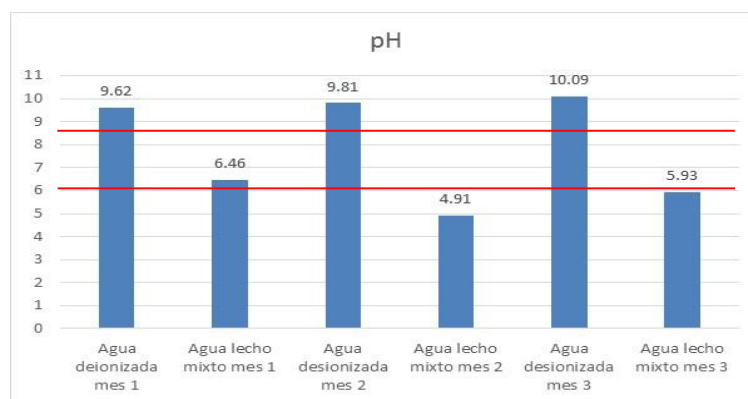


Figura 17. pH de las aguas producidas por el sistema purificador reestructurado mensualmente.

Cuadro 12. Resultados de análisis físico-químicos, trazas de metales y microbiológicos de las aguas del sistema purificador reestructurado por mes.

N°	Tipo de parametro	Determinaciones	Límite máximo permisible por NSO 13.07.01:08	Resultados					
				Mes 1		Mes 2		Mes 3	
				Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)
1	Físico-químico	pH	6.0-8.5	9.62	6.46	9.81	4.91	10.09	5.93
2		Olor	NR	Rechazable	NR	Rechazable	NR	Rechazable	NR
3		Color verdadero	15 mg/L	0	0	0	0	0	0
4		Turbidez	5 UNT	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
5		Temperatura	NR °C	27	27	27	27	27	27
6		Sólidos totales disueltos	1000 mg/L	<12	<12	17.5	<12	<12	<12
7		Hierro total	0.3 mg/L	0.08	0.02	0.1	0.03	0.19	0.19
8		Manganeso	0.1 mg/L	0.03	<0.02	0.21	0.22	0.08	0.08
9		Dureza total (CaCO ₃)	500 mg/L	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66
10		Sulfatos	400 mg/L	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
11		Nitratos	45 mg/L	<0.28	<0.28	<0.28	2.38	<0.28	<0.28
12		Fluoruros	1 mg/L	0.05	0.05	0	0.05	0	0
13		Cloro residual	0.3-1.1 mg/L	0	0	0	0	0	0
14	Traza de metales	Cobre	1.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02	<0.02
15		Cadmio	0.003 mg/L	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007
16		Zinc	5 mg/L	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16
17		Cromo	0.05 mg/L	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017
18		Níquel	0.02 mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
19		Sodio	200 mg/L	12.43	12.23	5.68	5.19	0.67	<1.12
20		Plomo	0.01 mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
21	Arsénico	0.01 mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
22	Microbiológicos	Bacterias Coliformes totales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
23		Bacterias Coliformes fecales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
24		<i>Escherichia coli</i>	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
25		Recuento de bacterias aerobias, heterótrofas mesófilas	100 UFC/mL	>3,000	>3,000	490	>3,000	87	86
26		Organismos patógenos	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Fuente: Informes de resultados de análisis de agua del Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos y Toxicología del MINSAL (2017).

En la figura 18 se observa que en el mes 3 hay una reducción significativa del conteo bacteriano, que cumple con el límite máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01:08, dicha reducción fue causa de la limpieza realizada en la cisterna donde se almacena el agua de ANDA.

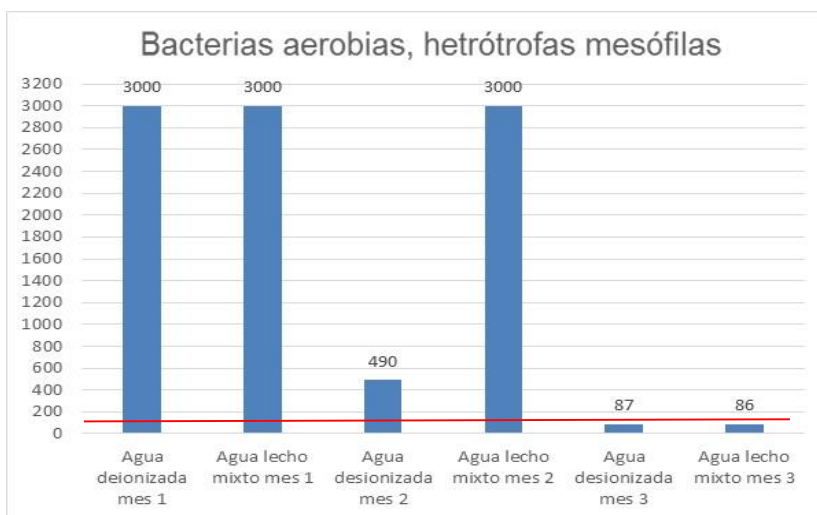


Figura 18. Contenido de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas en las aguas producidas por el sistema purificador reestructurado mensualmente.

Los muestreos mensuales se procuraron hacer cuando la resina del desionizador estaba recién regenerada para garantizar que con el agua destilada en óptimas condiciones se tuviera un trabajo ideal del contenedor de resina de lecho mixto; porque también se consideró el agotamiento de la resina de lecho mixto a lo largo de la investigación.

7.3 Objetivo Específico 3: Comparar la eficacia y la calidad del agua producida por el sistema purificador de agua actual con el sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto a través de una evaluación costo-beneficio.

7.3.1 Diagnóstico socio-económico del sistema purificador sin reestructurar

- **Diagnóstico social**

Se realizó una encuesta dirigida a 24 personas de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad, la cual arrojó los siguientes datos en cada una de las preguntas formuladas:

¿El Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad cuenta con un sistema purificador de agua?

El 100% de las personas encuestadas dijo que sí.

¿Está familiarizado con las diferentes clases de agua que produce el sistema purificador de agua del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad?

El 83.33% de las personas encuestadas menciono que sí y el 16.67% menciono que no.

¿Considera usted qué el agua producida por el sistema de purificador de agua es de calidad?

El 70.83% de las personas encuestadas dijo que sí, el 16.67% dijo que tal vez y el 12.5% dijo que no.

¿Cómo cataloga usted el agua que utiliza en las diferentes pruebas de laboratorio?

El 16.67% del personal encuestado cataloga el agua producida como excelente, el 66.67% como muy buena y el 4% como buena.

¿Conoce los parámetros de calidad con los que debe de cumplir el agua que produce el sistema purificador de agua?

El 54.17% de las personas dice que no conoce los parámetros de calidad que debe cumplir el agua producida por el sistema purificador de agua y el 45.83% afirman que sí los conocen.

¿Existe conciencia del personal del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad en el uso adecuado del agua?

El 70.83% de los encuestados afirma que sí existe conciencia, el 20.83% dijo que no y el 8.33% se abstuvo de realizar algún comentario.

¿Conoce usted de políticas institucionales de ahorro de agua?

El 50% de los encuestados aseguraron que la institución sí posee políticas de ahorro de agua y el 50% dijo que no.

¿El sistema purificador de agua del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad es?

El 66.67% opinaron que es ineficiente, 16.67% opino que es eficiente y otro 16.67% dijo que el sistema purificador de agua no es eficiente, ni ineficiente.

¿El sistema purificador de agua necesita ser reestructurado?

El 95.83% del personal opino que el sistema necesita ser reestructurado y el 4.17% opino que el sistema no necesita ser reestructurado.

¿Considera que una reestructuración del sistema purificador de agua ayudaría a mejorar su eficiencia?

El 100% del personal consideran que sí.

- **Diagnóstico económico**

- 1. Caudal de agua desmineralizada producida por el sistema purificador sin reestructurar y usada en el área de lavado**

Como no existen micromedidores en los dos ramales de distribución del agua desmineralizada producida por el equipo purificador de agua sin reestructurar, se hizo un cálculo teórico para conocer la posible cantidad de agua utilizada y tener una referencia aproximada del gasto de agua. Un ramal conduce al área de análisis físico-químico de medicamentos de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad (UAC) y al Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos y Toxicología del Instituto Nacional de Salud (INS), el otro ramal conduce al área de microbiología de medicamentos de la UAC. A continuación se exhiben los caudales de agua desionizada que produce el sistema purificador de agua en tres diferentes tiempos:

Cuadro 13. Caudales de agua desmineralizada producida por el sistema purificador de agua no reestructurado.

Tiempo	Micromedidor (m ³)			Caudal (Q) L/t
	Lectura inicial	Lectura final	Diferencia	
3 minutos	995.5001	995.5415	0.0414	13.8 L/min
1 día laboral = 8 horas	1038.5366	1039.4617	0.9251	925.1 L/día

1 mes laboral = 22 días laborales en promedio	1052.64275	1085.89595	33.2532	33,253.2 L/mes
---	------------	------------	---------	-----------------------

Fuente: Elaboración propia (2017).

Se usó la siguiente ecuación para encontrar el caudal de agua desmineralizada destinada para el lavado de materiales y cristalería:

$$Q_{dsr} = Q_{dMicro} + Q_{dFQ} + Q_l + Q_{LCCAT}$$

Donde:

Q_{dsr} : caudal en L/h de agua desionizada producida por el desionizador, tomado del cuadro 13 en el tiempo de 3 minutos, 828 L/h.

Q_{dMicro} : caudal en L/h, tomado del caudal de entrada medido por el destilador del área de pruebas microbiológicas, 29 galones/h.

Q_{dFQ} : caudal en L/h, tomado del caudal de entrada medido por el destilador del área de pruebas físico-químicas, 80 galones/h.

Q_l : caudal en L/h del agua usada en el lavado de material y cristalería de las áreas de pruebas microbiológicas como físico-química, que se desconoce.

Q_{LCCAT} : caudal en L/h del agua estimada para el Laboratorio de Control de Calidad de Alimentos y Toxicología, 1.5 L/h.

$$828 \text{ L/h} = 109.77 \text{ L/h} + 302.8 \text{ L/h} + Q_l + 1.5 \text{ L/h}$$

$$Q_l = 413 \text{ L/h}$$

El caudal de agua destilada que aproximadamente se gasta en el lavado de material y cristalería en la Unidad de Aseguramiento de la Calidad es de 413 L en una hora.

2. Cálculo de valores a través de los años de vida útil de los equipos que conforman el sistema purificador de agua

- **Desionizador**

El desionizador se adquirió el 03 de mayo de 2010 por un valor de \$24,247.79 de los Estados Unidos de América y el MINSAL le asignó un valor residual de \$2,424.78 dólares; las

resinas del equipo se regeneran por lo general dos veces al mes, por una empresa especializada en esa materia, con un costo mensual de regeneración de \$560.00 dólares. Según el encargado de dar el servicio de regeneración al equipo desionizador, el tiempo de vida útil del equipo es de 10 años. A continuación se presenta el cálculo de depreciación del desionizador para conocer su valor a lo largo de los años, utilizando el método de depreciación de la línea recta:

$$\text{Depreciación anual} = \frac{\text{Valor de adquisición} - \text{Valor residual}}{\text{Vida útil}}$$

$$\text{Depreciación anual} = \frac{\$24,247.79 - \$2,424.78}{10 \text{ años}}$$

$$\text{Depreciación anual} = \$2,182.30$$

Cuadro 14. Depreciación del desionizador.

Año	Depreciación anual (US\$)	Depreciación acumulada (US\$)	Valor (US\$)
2010	0	0	24,247.79
2011	2,182.30	2,182.30	22,065.49
2012	2,182.30	4,364.60	19,883.19
2013	2,182.30	6,546.90	17,700.89
2014	2,182.30	8,729.20	15,518.59
2015	2,182.30	10,911.50	13,336.29
2016	2,182.30	13,093.80	11,153.99
2017	2,182.30	15,276.10	8,971.69
2018	2,182.30	17,458.40	6,789.39
2019	2,182.30	19,640.70	4,607.09
2020	2,182.30	21,823.00	2,424.79

Fuente: Elaboración propia (2017).

- **Destilador**

Se adquirió el 01 de octubre de 2009 por un valor de \$7,889.38 dólares y el MINSAL le asignó un valor residual de \$788.94 dólares. El tiempo de vida útil del equipo es de 10 años y una

depreciación anual de \$710.04 dólares.

- **Ultrapurificador**

Se adquirió el 01 de octubre de 2009 por un valor de \$3,170.80 dólares y el MINSAL le asignó un valor residual de \$317.08 dólares. El tiempo de vida útil del equipo es de 10 años y una depreciación anual de \$285.37 dólares.

3. Cálculo de precios de equilibrio

Se calculó el costo de producción de agua desionizada usando datos de un mes laboral y los valores del caudal del cuadro 13, el cual se presenta a continuación:

Cuadro 15. Costos de producción del agua desionizada.

Detalle	Valor en US\$
Costo de materia prima (Agua de ANDA)	172.23
Costo energético del desionizador (equipo de bombeo)	670.05
Costo de regeneración de resina del desionizador	560.00
Cargo por recuperación de inversión de desionizador	202.06
Costo neto = Precio de equilibrio	1,604.35

Fuente: Elaboración propia (2017).

Además, se presenta el precio de equilibrio del agua desionizada de diferentes volúmenes en el cuadro siguiente:

Cuadro 16. Precio de equilibrio por volumen de agua desionizada.

Nombre	Precio en US\$			
	33.2532 m ³	1 m ³	1 galón	1 L
Agua desionizada	1,604.35	48.25	0.19	0.05

Fuente: Elaboración propia (2017).

El punto de interés es el agua desionizada de alta calidad biológica que el equipo destilador desperdicia, llamada también agua desionizada semidestilada, a dicha agua se le calculó el costo de producción, asumiendo que todo el caudal del agua desionizada es purgada al pasar por el

destilador, para posteriormente calcular un precio teórico de referencia utilizando el método de la utilidad bruta, el cual se muestra a continuación:

Cuadro 17. Precio teórico de referencia para el agua desionizada semidestilada que desperdicia el destilador.

Detalle	Valor en US\$
Precio de equilibrio del agua desionizada	1,604.34
Costo energético del destilador	609.38
Cargo por recuperación de inversión de destilador	65.74
Costo neto = Precio de equilibrio	2,279.47
Cargo por ser biológicamente aceptable (100%)	2,279.47
Precio de agua desperdiciada	4,558.95

Fuente: Elaboración propia (2017).

A continuación se presenta el precio del agua desionizada semidestilada desperdiciada de alta calidad, para diferentes volúmenes:

Cuadro 18. Precio teórico por volumen del agua desionizada desperdiciada.

Nombre	Precio en US\$			
	33.2532 m³	1 m³	1 galón	1 L
Agua desionizada semidestilada	4,558.95	137.10	0.52	0.14

Fuente: Elaboración propia (2017).

Para fines de comparación del precio teórico del agua desionizada semidestilada desperdiciada con los precios comerciales, se cotizó el precio de algunas aguas equivalentes a las producidas por el sistema purificador de agua sin reestructurar, los cuales se detallan en el cuadro 19.

Los precios de mercado son superiores al precio teórico calculado para el agua desionizada que desperdicia el destilador del sistema purificador de agua de la UAC del MINSAL. Esto hace evidente que es de vital importancia regular el uso indiscriminado de las aguas generadas por el sistema purificador de aguas de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad.

Cuadro 19. Precios comerciales para las aguas producidas por el sistema purificador de agua del área de microbiología de la UAC.

Tipo de Agua	Equivalente a:	Presentación	Precio comercial (US\$)	Precio comercial por L (US\$)	Precio calculado por L (US\$)
Agua desmineralizada para baterías	Agua desionizada	12 onz	0.90	2.54	0.05
Agua estéril para inyectable o para irrigación.	Agua destilada	1 litro	39.90	39.90	0.07
Agua ultrapura libre de DNase y RNase	Agua ultrapura	500 mL	63.80	127.60	-----

Fuente: Elaboración propia (2017).

7.3.2 Caudal y porcentaje de agua desperdiciada

- **Agua desperdiciada por el sistema purificador de agua sin reestructurar**

El sistema purificador de agua sin reestructurar desperdicia grandes cantidades de agua de excelente calidad (para fines de la investigación la conoceremos como agua desionizada semidestilada), específicamente en la purga del destilador que forma parte de éste; para ello se tomaron los caudales de la purga (agua que desperdicia el destilador) y el caudal de agua destilada que produce el destilador; las mediciones se hicieron dos veces al día, dos lecturas en la mañana y dos lecturas en la tarde de cada día en el cual trabajo el destilador. Para la medición se utilizaron balones volumétricos de 1 L para el agua desionizada semidestilada y 200 mL para medir el caudal del agua destilada producida.

El caudal de agua desionizada semidestilada desperdiciada por el destilador, el porcentaje de desperdicio del agua desionizada semidestilada, el posible costo monetario para la institución y los precios de referencia comercial se presentan en el cuadro 20 y 21.

Cuadro 20. Caudal y porcentaje de agua desionizada semidestilada de excelente calidad que desperdicia el sistema purificador de agua sin reestructurar.

N°	Fecha	Q agua desperdiciada							Q agua destilada							Q total destilador (L/s)	% de agua desperdiciada	% Eficiencia de uso de agua	
		Mañana			Tarde			Q promedio (L/s)	Mañana			Tarde			Q promedio (ml/min)				Q promedio (L/s)
		Balón (L)	Lectura (s)	(L/s)	Balón (L)	Lectura (s)	(L/s)		Balón (mL)	Lectura (min)	(mL/min)	Balón (mL)	Lectura (min)	(mL/min)					
1	03/10/2016	1	37.5	0.026667	1	35	0.0285714	0.027619	200	2.19	91.324201	200	2.2	90.909091	91.116646	0.0015186	0.0291377	94.78815097	5.211849
2	05/10/2016	—	—	—	1	38.5	0.025974	0.025974	—	—	—	200	2.18	91.743119	91.743119	0.0015291	0.0275031	94.44043321	5.5595668
3	17/10/2016	1	40	0.025	1	38.5	0.025974	0.025487	200	2.16	92.592593	200	2.21	90.497738	91.545165	0.0015258	0.0270128	94.35173441	5.6482656
4	18/10/2016	1	38.5	0.025974	1	43	0.0232558	0.0246149	200	2.195	91.116173	200	2.21	90.497738	90.806955	0.0015134	0.0261284	94.20763982	5.7923602
5	19/10/2016	1	39.5	0.0253165	1	38.5	0.025974	0.0256452	200	2.16	92.592593	200	2.215	90.293454	91.443023	0.0015241	0.0271693	94.39054051	5.6094595
6	20/10/2016	1	41	0.0243902	1	37.5	0.0266667	0.0255285	200	2.185	91.533181	200	2.225	89.88764	90.710411	0.0015118	0.0270403	94.40893618	5.5910638
7	21/10/2016	1	39.5	0.0253165	1	39	0.025641	0.0254787	200	2.19	91.324201	200	2.205	90.702948	91.013574	0.0015169	0.0269956	94.38096942	5.6190306
8	24/10/2016	1	35	0.0285714	—	—	—	0.0285714	200	2.215	90.293454	—	—	—	90.293454	0.0015049	0.0300763	94.99642602	5.003574
9	31/10/2016	1	41.5	0.0240964	1	39.5	0.0253165	0.0247064	200	2.22	90.909091	200	2.205	90.702948	90.396519	0.0015066	0.026213	94.25244357	5.7475564
10	01/11/2016	1	39.5	0.0253165	1	37.5	0.0266667	0.0259916	200	2.18	91.743119	200	2.225	89.88764	90.81538	0.0015136	0.0275052	94.4970683	5.5029317
11	03/11/2016	1	42.5	0.0235294	1	38.5	0.025974	0.0247517	200	2.225	89.88764	200	2.235	89.485459	89.68655	0.0014948	0.0262465	94.30485554	5.6951446
12	07/11/2016	1	38.5	0.025974	1	33	0.030303	0.0281385	200	2.205	90.702948	200	2.2	90.909091	90.80619	0.0015134	0.029652	94.89600834	5.1039917
13	21/11/2016	1	38.5	0.025974	1	34.5	0.0289855	0.0274798	200	2.195	91.116173	200	2.145	93.240093	92.178133	0.0015363	0.0290161	94.7053399	5.2946601
14	22/11/2016	1	38.5	0.025974	—	—	—	0.025974	200	2.15	93.023256	—	—	—	93.023256	0.0015504	0.0275244	94.36722751	5.6327725
15	28/11/2016	—	—	—	1	34	0.0294118	0.0294118	—	—	—	200	2.13	93.896714	93.896714	0.0015649	0.0309767	94.94799406	5.0520059
16	29/11/2016	1	36.5	0.0273973	1	37	0.027027	0.0272121	200	2.155	92.807425	200	2.15	93.023256	92.91534	0.0015486	0.0287607	94.61561351	5.3843865
17	30/11/2016	1	37	0.027027	1	40.5	0.0246914	0.0258592	200	2.205	90.702948	200	2.215	90.293454	90.498201	0.0015083	0.0273675	94.48870531	5.5112947
18	01/12/2016	1	41.5	0.0240964	1	33	0.030303	0.0271997	200	2.185	91.533181	200	2.15	93.023256	92.278218	0.001538	0.0287377	94.6482444	5.3517556
19	02/12/2016	1	34.5	0.0289855	1	34.5	0.0289855	0.0289855	200	2.19	91.324201	200	2.235	89.485459	90.40483	0.0015067	0.0304923	95.05859048	4.9414095
20	05/12/2016	1	37	0.027027	1	37	0.027027	0.027027	200	2.22	90.909091	200	2.215	90.293454	90.191772	0.0015032	0.0285302	94.73121473	5.2687853
21	06/12/2016	1	37.5	0.0266667	1	35.5	0.028169	0.0274178	200	2.235	89.485459	200	2.245	89.08686	89.286159	0.0014881	0.0289059	94.85191453	5.1480855
22	19/12/2016	1	35.5	0.028169	1	37	0.027027	0.027598	200	2.225	89.88764	200	2.24	89.285714	89.586677	0.0014931	0.0290911	94.86746924	5.1325308
23	20/12/2016	1	39.5	0.0253165	1	37.5	0.0266667	0.0259916	200	2.2	90.909091	200	2.205	90.702948	90.80619	0.0015134	0.027505	94.49760429	5.5023957
24	21/12/2016	1	35	0.0285714	1	39.5	0.0253165	0.0269439	200	2.17	92.165899	200	2.245	89.08686	90.626379	0.0015104	0.0284544	94.6917151	5.3082849
25	04/01/2017	1	36	0.0277778	1	35.5	0.028169	0.0279734	200	2.2	90.909091	200	2.205	90.702948	90.80619	0.0015134	0.0294868	94.86742496	5.132575
26	05/01/2017	1	36	0.0277778	1	40	0.025	0.0263889	200	2.175	91.954023	200	2.215	90.293454	91.123738	0.0015187	0.0279076	94.55801287	5.4419871
27	06/01/2017	1	36	0.0277778	1	34.5	0.0289855	0.0283816	200	2.215	90.293454	200	2.235	89.485459	89.889456	0.0014982	0.0298798	94.98605213	5.0139479
28	12/01/2017	1	34.5	0.0289855	1	34	0.0294118	0.0291986	200	2.21	90.497738	200	2.205	90.702948	90.600343	0.00151	0.0307086	95.08279875	4.9172012
29	13/01/2017	1	37	0.027027	1	37.5	0.0266667	0.0268468	200	2.22	90.909091	200	2.215	90.293454	90.191772	0.0015032	0.02835	94.69772869	5.3022713
30	16/01/2017	—	—	—	1	37	0.027027	0.027027	—	—	—	200	2.21	90.497738	90.497738	0.0015083	0.0285353	94.71428571	5.2857143
31	17/01/2017	1	32	0.03125	1	38.5	0.025974	0.028612	200	2.125	94.117647	200	2.225	89.88764	92.002644	0.0015334	0.0301454	94.91339347	5.0866065
32	19/01/2017	1	31	0.0322581	1	33.5	0.0298507	0.0310544	200	2.195	91.116173	200	2.2	90.909091	91.012632	0.0015169	0.0325713	95.3429	4.6571
33	02/02/2017	—	—	—	1	35.5	0.028169	0.028169	—	—	—	200	2.21	90.497738	90.497738	0.0015083	0.0296773	94.91768074	5.0823193
34	07/02/2017	1	34	0.0294118	1	35.5	0.028169	0.0287904	200	2.19	91.324201	200	2.195	91.116173	91.220187	0.0015203	0.0303107	94.9841635	5.0158365
35	08/02/2017	1	35	0.0285714	1	35	0.0285714	0.0285714	200	2.2	90.909091	200	2.205	90.702948	90.80619	0.0015134	0.0300849	94.96945126	5.0305487
36	16/02/2017	1	35	0.0285714	1	34	0.0294118	0.0289916	200	2.205	90.702948	200	2.21	90.497738	90.600343	0.00151	0.0305016	95.04942168	4.9505783
37	21/02/2017	1	35	0.0285714	1	37.5	0.0266667	0.027619	200	2.205	90.702948	200	2.2	90.909091	90.80619	0.0015134	0.0291325	94.8049957	5.1950043
38	22/02/2017	1	42	0.0238095	1	46	0.0217391	0.0227743	200	2.195	91.116173	200	2.19	91.324201	91.220187	0.0015203	0.0242947	93.74209712	6.2579029
39	23/02/2017	1	41	0.0243902	1	45	0.0222222	0.0233062	200	2.205	90.702948	200	2.2	90.909091	90.80619	0.0015134	0.0248197	93.9022805	6.0977195
40	24/02/2017	1	38	0.0263158	1	39	0.025641	0.0259784	200	2.21	90.497738	200	2.21	90.497738	90.497738	0.0015083	0.0274867	94.51263538	5.4873646
41	02/03/2017	1	46.5	0.0215054	1	46	0.0217391	0.0216223	200	2.2	90.909091	200	2.195	91.116173	91.012632	0.0015169	0.0231391	93.44453676	6.5546632
42	03/03/2017	1	45.5	0.021978	1	46.5	0.0215054	0.0217417	200	2.19	91.324201	200	2.2	90.909091	91.116646	0.0015186	0.0232603	93.47123589	6.5287641
Promedio								0.0267299								0.0282461	94.63	5.37	

Fuente: Elaboración propia (2017).

En el cuadro 20 se detalla el caudal promedio del agua desperdiciada durante el proceso de destilación, conocida técnicamente como purga, y el caudal promedio del agua destilada en litros por segundo; dichos caudales fueron utilizados para obtener el porcentaje de eficiencia de uso del agua por el sistema purificador sin reestructurar. La eficiencia de uso del agua del sistema purificador de agua sin reestructurar en la producción de agua destilada fue de 5.37% y que el 94.63% del agua usada para producir agua destilada está siendo desperdiciada.

En el cuadro 21 se presenta el precio estimado por litro de agua desionizada semidestilada desperdiciada; además, se muestra el posible costo monetario a lo largo del tiempo con el que carga el Ministerio de Salud. Con esto se puede definir que el MINSAL vota al alcantarillado US\$ 13.47 por hora, US\$ 107.77 en ocho horas, US\$ 2,371.05 en un mes y US\$ 28,452.59 en un año de trabajo efectivo; asumiendo el caso hipotético de que el sistema purificador de agua trabaja ocho horas al día, cinco días a la semana por un año sin descanso.

Cuadro 21. Precio estimado del agua desionizada de excelente calidad que se desperdicia.

Detalle	Precio US\$ por L	Q desperdiciado	Costo					Costo anual US\$
			US\$/s	US\$/min	US\$/h	US\$/día	US\$/mes	
Agua desionizada semidestilada desperdiciada	0,14	0,0267299	0,0037422	0,22	13,47	107,77	2.371,05	28.452,59

Fuente: Elaboración propia (2017).

- **Agua desperdiciada por el sistema purificador reestructurado**

El sistema purificador reestructurado no desperdicia agua, es decir, que se cumple: caudal de entrada es igual al caudal de salida. Únicamente pudiese haber un desperdicio de agua cuando existan pequeñas fugas, pero este caudal es infinitesimal (se aproxima a cero), por esta razón llegará a ser despreciable. A continuación se presenta el cálculo de eficiencia en el uso de agua:

$$Q \text{ entrada} = Q \text{ salida} + Q \text{ fugas pequeñas (infinitesimal)} \rightarrow \text{tiende a cero}$$

$$Q \text{ entrada} = 99.99\% + 0.01\%$$

$$Q \text{ entrada} = 100\%$$

7.3.3 Comprobación de hipótesis

Los datos de la eficiencia de uso del agua del sistema purificador de agua sin reestructurar y reestructurado sirvieron para comprobar la hipótesis utilizando chi-cuadrado; se utilizó el 99% de confianza, con un margen de error del 1%.

Cuadro 22. Datos para comprobación de hipótesis por chi-cuadrado.

Sistema purificador	Criterios		Total
	Eficiencia (%)	Ineficiencia (%)	
No reestructurado	5.37	94.63	100
Reestructurado	99.99	0.01	100
Total	105.36	94.64	200

Fuente: Elaboración propia (2017), ver cuadro 24 y fórmula para el cálculo de la eficiencia de uso del agua del sistema purificador reestructurado.

Para que la hipótesis sea aceptada debe de cumplirse la siguiente razón: λ^2 calculado $\geq \lambda^2$ de tabla. Para calcular λ^2 se utiliza la siguiente ecuación:

$$\lambda^2 = \frac{(V_o - V_e)^2}{V_e}$$

Donde:

λ^2 : es chi-cuadrado.

V_o : es el valor observado.

V_e : es el valor esperado que es calculado con los datos del cuadro 22.

Cuadro 23. Contingencia para chi-cuadrado.

Alternativas	V_o	V_e	λ^2
Sistema purificador no reestructurado eficiente	5.37	52.68	42.49
Sistema purificador reestructurado eficiente	99.99	52.68	42.49
Sistema purificador no reestructurado ineficiente	94.63	47.32	47.30
Sistema purificador reestructurado ineficiente	0.01	47.32	47.30
Total			179.58

Fuente: Elaboración propia (2017).

Para encontrar λ^2 de tabla (anexo 13) se toma en cuenta el 99% de confianza, el 1% de error y los grados de libertad que se calculan a partir del cuadro 22 usando la siguiente ecuación:

$$Gl = (f - 1)(c - 1)$$

Donde:

f: es el número de filas del cuadro 22.

c: es el número de columnas del cuadro 22.

$$\lambda^2 \text{ de tabla} = 6.635$$

Por lo tanto según la razón:

$$\lambda^2 \text{ calculado} \geq \lambda^2 \text{ de tabla}$$

Tenemos que:

$$179.58 \geq 6.635$$

El chi-cuadrado calculado es mayor que el chi-cuadrado de tabla; por lo tanto, la hipótesis planteada en esta investigación se ha cumplido.

7.3.4 Conductividad

La conductividad exigida por la Farmacopea de los Estados Unidos USP 39 para las aguas de uso del laboratorio son las siguientes:

Cuadro 24. Conductividad recomendada por la Farmacopea de los Estados Unidos.

Tipo de Agua	Rango de conductividad tomada en línea ($\mu\text{S/cm}$)
Agua desionizada	<5.0 - <25.0
Agua destilada para inyectable (purificada)	0.16 – 1.3
Agua ultrapura	0.055 – 0.15

Fuente: USP 39 (2016).

En el cuadro 24 se presentan los valores de conductividad que exige la USP, los cuales son tomados en línea, es decir, por sensores acoplados en los equipos. La USP recomienda hacerlo de forma directa o en línea para evitar que el agua pueda capturar CO₂ del ambiente y de esta manera reaccioné con las moléculas de agua y forme iones que incrementen las conductividades en las aguas.

La conductividad reflejada como eficiencia del sistema purificador de agua sin reestructurar y reestructurado se exhibe de la siguiente manera:

7.3.4.1 Sistema purificador sin reestructurar

Como el desperdicio de agua del sistema purificador sin reestructurar se encontró a nivel del destilador, dicha agua era desionizada; por lo tanto, se teorizaba que en materia de conductividad esta se encontrará en el rango de $<5.0 - <25.0 \mu\text{S/cm}$. El muestreo se hizo a lo largo de cuarenta y dos días, por la mañana y por la tarde, por un periodo de cinco meses.

El promedio de conductividad del agua desionizada semidestilada que desperdicia el destilador, que no es aprovechada por el laboratorio de la UAC y que por el contrario es eliminada directamente al alcantarillado de ANDA, se presenta en el cuadro 25.

La conductividad brinda una idea de la ausencia o presencia de metales pesados en las aguas generadas, pero no es suficiente para inferir la calidad de las aguas utilizadas en los laboratorios de referencia. En el cuadro 25 se muestra que la conductividad promedio del agua que se purgo a lo largo del estudio fue de 10.63 y su pH modal es de 8.01; no se tomó en cuenta el pH promedio por estar afectado por el extremo máximo y mínimo de los datos obtenidos.

Cuadro 25. Conductividad y pH del agua desionizada semidestilada desperdiciada por el sistema purificador de agua.

N°	Fecha	Lecturas de Conductividad y pH a 25° C				K (µS/cm) promedio	pH promedio
		Mañana		Tarde			
		K (µS/cm)	pH	K (µS/cm)	pH		
1	03/10/2016	8.27	9.3	7.72	9.25	7.995	9.275
2	05/10/2016	N/L	N/L	8.24	5.3	8.24	5.3
3	17/10/2016	11.33	8.27	11.3	8.28	11.315	8.275
4	18/10/2016	3.9	8.34	3.91	8.3	3.905	8.32
5	19/10/2016	3.73	8.03	3.74	8	3.735	8.015
6	20/10/2016	3.61	7.8	3.6	7.81	3.605	7.805
7	21/10/2016	3.6	7.78	3.58	7.75	3.59	7.765
8	24/10/2016	5.26	7.4	N/L	N/L	5.26	7.4
9	31/10/2016	5.81	7.6	5.77	7.58	5.79	7.59
10	01/11/2016	5.26	7.44	5.06	7.21	5.16	7.325
11	03/11/2016	8.24	8.71	4.25	7.9	6.245	8.305
12	07/11/2016	6.41	5.35	4.39	5.66	5.4	5.505
13	21/11/2016	8.58	8	8.13	7.9	8.355	7.95
14	22/11/2016	13.17	8.63	N/L	N/L	13.17	8.63
15	28/11/2016	N/L	N/L	13.17	8.63	13.17	8.63
16	29/11/2016	8.13	8.58	8.9	8.5	8.515	8.54
17	30/11/2016	6.1	7.4	6.41	7.42	6.255	7.41
18	01/12/2016	8.89	9.01	5.6	8.04	7.245	8.525
19	02/12/2016	6.07	6.3	9.9	4.98	7.985	5.64
20	05/12/2016	9.28	5.15	9.32	5.3	9.3	5.225
21	06/12/2016	14.34	4.54	16.05	4.6	15.195	4.57
22	19/12/2016	26.03	9.18	16.48	8.93	21.255	9.055
23	20/12/2016	11.27	8.05	28.3	9.67	19.785	8.86
24	21/12/2016	24.33	9.58	19.25	9.64	21.79	9.61
25	04/01/2017	11.81	5.22	11.92	5.15	11.865	5.185
26	05/01/2017	14.5	4.76	9.98	5.33	12.24	5.045
27	06/01/2017	18.79	4.6	10.07	5.31	14.43	4.955
28	12/01/2017	4.08	8.03	6.13	8	5.105	8.015
29	13/01/2017	3.58	7.59	6.39	7.29	4.985	7.44
30	16/01/2017	N/L	N/L	14.1	4.76	14.1	4.76
31	17/01/2017	13.1	4.82	5.42	7.63	9.26	6.225
32	19/01/2017	16.29	4.81	17.67	5.43	16.98	5.12
33	02/02/2017	N/L	N/L	8.67	5.68	8.67	5.68
34	07/02/2017	14.37	4.89	14.24	4.57	14.305	4.73
35	08/02/2017	15.78	4.6	15.74	4.59	15.76	4.595
36	16/02/2017	24.05	9.49	19.48	9.4	21.765	9.445
37	21/02/2017	16.62	9.1	16.53	9.44	16.575	9.27
38	22/02/2017	13.1	8.5	12.16	4.95	12.63	6.725
39	23/02/2017	11.87	5.03	13.72	4.8	12.795	4.915
40	24/02/2017	15.22	4.87	18.5	4.7	16.86	4.785
41	02/03/2017	7.64	8.72	7.9	8.72	7.77	8.72
42	03/03/2017	8	8.6	8.45	8.55	8.225	8.575
Promedio conductividad y pH						10.632857	7.0883333
Moda pH							8.015

Fuente: Elaboración propia (2017).

El resumen comparativo de la conductividad de las aguas del sistema purificador sin reestructurar se presenta en el cuadro 26 y muestra más detalladamente la reducción de la conductividad y los cambios de pH que ocurren por cada proceso.

Cuadro 26. Conductividad y pH de las aguas del sistema purificador de agua sin reestructurar.

Tipo de Agua	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH
Agua de ANDA	733.00	6.80
Agua desionizada	13.90	4.86
Agua desionizada semidestilada (purgada)	10.63	8.02
Agua destilada	3.26	6.90
Agua ultrapura	2.27	7.05

Fuente: Elaboración propia (2017).

La conductividad del agua purgada (10.63 $\mu\text{S}/\text{cm}$) por el sistema purificador de agua es más baja que la del agua desionizada (13.90 $\mu\text{S}/\text{cm}$); es decir, que el agua purgada puede ser reciclada y usada en pruebas de laboratorio que toleren el rango de conductividad descritos en el cuadro 24. Además, el agua purgada cambia su pH de un carácter ácido a un carácter ligeramente básico (cuadro 26).

7.3.4.2 Sistema purificador reestructurado

En el cuadro 27 se muestran las conductividades de algunas aguas de venta comercial con sus respectivas equivalencias de las aguas producidas por el sistema purificador de agua; si observamos el cuadro 24 se infiere que las aguas comerciales destilada y ultrapura no cumplen con los requerimientos, solamente el agua destilada producida por el sistema purificador de agua y esterilizada en el laboratorio cumple con los requerimientos.

Cuadro 27. Valores de conductividad de aguas de venta comercial y su equivalente con las aguas que produce el sistema purificador de agua de la UAC.

Tipo de Agua	Equivalente a:	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH
Agua desmineralizada para baterías	Agua desionizada	8.10	5.32

Agua estéril para inyectable o para irrigación.	Agua destilada	2.32	7.3
Agua destilada esterilizada en el laboratorio	Agua destila	1.29	7.39
Agua para TOC	Agua ultrapura	1.06	8.14
Agua ultrapura libre de DNase y RNase	Agua ultrapura	2.85	7.2

Fuente: Elaboración propia (2017).

En el cuadro 28 se observan las lecturas de conductividad promedio y la conductividad modal de las aguas producidas por el lecho mixto a lo largo de la investigación; en este caso, el dato de la moda de la conductividad es el más representativo. Como se había teorizado, el agua del sistema purificador reestructurado posee mejor conductividad que las aguas comerciales evaluadas en el cuadro 27; es decir, que si el ultrapurificador se alimenta con el agua producida por el lecho mixto, la conductividad del agua ultrapura se acerca mucho a la ideal.

Cuadro 28. Conductividad y pH de las aguas generadas por el sistema purificador reestructurado.

Tiempo	Agua del desionizador de resina de doble lecho			Agua de resina de Lecho Mixto	
	Estado de resina	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH
Inicio	Por agotarse	21.22	4.47	1.00	5.7
Semana 1	Recién regenerada	19.5	9.33	0.64	7.89
Semana 2	Vida media	16.55	9.42	0.63	7.66
Semana 3	Recién regenerada	43.0	9.81	0.62	7.50
Semana 4 = Mes 1	Vida media	9.63	8.95	0.62	7.60
Mes 2	Recién regenerada	17.95	8.94	0.62	7.8
Mes 3	Recién regenerada	10.0	10.07	0.92	6.4
Promedio				0.72	7.22
Moda				0.62	

Fuente: Elaboración propia (2017).

Con la información presentada en el cuadro 29 se confirma que la conductividad del agua ultrapura se acerca a la ideal cuando el ultrapurificador es alimentado con el agua producida por el lecho mixto acoplado en el desmineralizador del sistema purificador de agua. Además, se muestra que al esterilizar el agua del lecho mixto y el agua ultrapura la conductividad aumenta; pero siguen presentando mejores conductividades que algunas aguas comerciales presentadas en el cuadro 27.

Cuadro 29. Conductividad y pH de las aguas del sistema purificador de agua reestructurado de la UAC.

Tipo de Agua	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH
Agua ANDA	733.00	6.80
Agua desionizada	9.63	8.95
Agua de lecho mixto	0.62	7.60
Agua de lecho mixto esterilizada	1.32	5.88
Agua ultrapura	0.10	7.37
Agua ultrapura esterilizada	1.20	6.77

Fuente: Elaboración propia (2017).

Después de cinco minutos el sistema purificador reestructurado arroja valores excelentes de conductividad y a partir de ese tiempo se puede comenzar a producir agua, como se refleja en el siguiente cuadro:

Cuadro 30. Tiempo que se debe de purgar el contenedor de la resina de lecho mixto para lograr la conductividad deseada en el agua producida.

Tiempo (minutos)	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
0.0	4.70
0.5	3.60
1.0	3.60
2.0	1.93
3.0	1.72
4.0	1.42
5.0	1.00

7.0	0.74
10.0	0.62

Fuente: Elaboración propia (2017).

Durante la investigación se observó que la conductividad del agua del lecho mixto mejoraba a lo largo del tiempo de trabajo de la resina de lecho mixto. En el cuadro 30 se establecen los tiempos de purga del contenedor de resina de lecho mixto, cuando este posee agua residual de procesos anteriores, antes de que este comience a producir agua con la conductividad deseada para el uso en pruebas de laboratorio o alimentación del ultrapurificador.

7.3.5 Índices de calidad del agua

- **Sistema purificador no reestructurado**

Con los resultados de los análisis se calculó el Índice de Calidad de las Aguas (ICA) con 24 parámetros, excluyendo el olor y temperatura, usando el ICA del Comité Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (cuadro 31):

1. Agua de ANDA: el ICA calculado es de 77.75 de una escala de 0 a 100, categorizando esta agua como de calidad regular. Esto es debido a que 3 de los 24 parámetros seleccionados (cloro residual, recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas y organismos patógenos) para el cálculo del ICA estaban fuera de los límites estipulados por las Normas NSO 13.07.01:08 y NSO 13.07.02:08, indicando que esta agua no se encuentra en las condiciones adecuadas para ser usada como agua potable y mucho menos como materia prima en la producción de aguas de laboratorio.
2. Agua desionizada: el ICA calculado es de 92.01, categorizando esta agua como de buena calidad. Esto es debido a que 2 de los 24 parámetros seleccionados (pH y recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas) para el cálculo del ICA estaban fuera de los límites estipulados por la Norma NSO 13.07.01:08, indicando que la contaminación microbiológica de la fuente de alimentación ha afectado al equipo desionizador del sistema purificador de agua.
3. Agua desionizada semidestilada desperdiciada: el ICA calculado es de 96.59, categorizando esta agua como de excelente calidad. Esto es debido a que solo 1 de los 24 parámetros

seleccionados (pH) para el cálculo del ICA esta fuera de los límites estipulados por la Norma NSO 13.07.01:08. El proceso térmico que sufre el agua desionizada en el vaso evaporador del destilador antes de ser descartada a la alcantarilla vuelve estéril esta agua y mejora su calidad.

4. Agua destilada: el ICA calculado es de 68.23, categorizando esta agua como de calidad regular. Esto es debido a que 1 de los 24 parámetros seleccionados (recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas) para el cálculo del ICA esta fuera de lo límites estipulados por la Norma NSO 13.07.01:08. Esto hace que esta agua sea de menor calidad que el agua de ANDA por su alta contaminación bacteriana, ocasionada en los contenedores en los cuales se almacena el agua destilada, ya que el agua recién destilada posee una temperatura elevada que la hace estéril en su momento.
5. Agua ultrapura: el ICA calculado es de 70.93, categorizando esta agua como de calidad regular, pero de mejor calidad que el agua destilada. Esto es debido a que 1 de los 24 parámetros seleccionados (recuento de bacterias aerobias heterótrofas mesófilas) para el cálculo del ICA esta fuera de los límites estipulados por la Norma NSO 13.07.01:08. El ultrapurificador es alimentado con agua destilada que se almacena en los contenedores para agua que dispone el laboratorio, éste logra reducir la carga microbiana en el proceso de osmosis inversa y en el paso del agua por luz ultravioleta, pero vuelve a recuperar la carga microbiana al almacenarse en los contenedores que no reciben ningún tratamiento.

El agua desperdiciada posee un ICA excelente, por lo tanto, es la única agua que cumple las exigencias de uso en el laboratorio, ya que dicha agua está cumpliendo con la mayoría de parámetros físico-químicos, con la totalidad de parámetros de trazas de metales pesados y microbiológicos. En el cuadro 31 se indican los Índices de Calidad del Agua para el agua de ANDA, el agua desionizada, el agua desionizada semidestilada desperdiciada, agua destilada y el agua ultrapura, con sus respectivas categorías y colores para una mejor comprensión: el color anaranjado corresponde a un ICA regular, el color amarillo a un ICA bueno y el color verde a un ICA excelente el cual es el ideal para pruebas de laboratorio.

Cuadro 31. Resultados del ICA del Comité Canadiense de Ministros del Medio Ambiente de las aguas del sistema purificador no reestructurado.

N°	Tipo de parametro	Determinaciones	Límite máximo permisible por NSO 13.07.01:08	Resultados				
				Agua ANDA	Agua desionizada	Agua desionizada semidestilada desperdiciada	Agua destilada	Agua Ultrapura
1	Físico-químico	pH	6.0-8.5	6.91	9.17	9.02	8.17	7.68
2		Olor	NR	NR	NR	NR	NR	NR
3		Color verdadero	15 mg/L	0	0	0	0	0
4		Turbidez	5 UNT	0.34	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
5		Temperatura	NR °C	27	27	27	27	27
6		Sólidos totales disueltos	1000 mg/L	505.5	12	<12	<12	<12
7		Hierro total	0.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
8		Manganeso	0.1 mg/L	0.05	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
9		Dureza total (CaCO ₃)	500 mg/L	259.05	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66
10		Sulfatos	400 mg/L	89.32	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
11		Nitratos	45 mg/L	18.54	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28
12		Fluoruros	1 mg/L	0.2	0.05	0.05	0.05	0.05
13		Cloro residual	0.3-1.1 mg/L	0.25	0	0	0	0
14	Traza de metales	Cobre	1.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
15		Cadmio	0.003 mg/L	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007
16		Zinc	5 mg/L	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16
17		Cromo	0.05 mg/L	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017
18		Níquel	0.02 mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
19		Sodio	200 mg/L	53.86	2.61	2.77	2.56	3.37
20		Plomo	0.01 mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
21	Arsénico	0.01 mg/L	0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
22	Microbiológicos	Bacterias Coliformes totales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
23		Bacterias Coliformes fecales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
24		<i>Escherichia coli</i>	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
25		Recuento de bacterias aerobias, heterótrofas mesófilas	100 UFC/mL	330	280	6	>3,000	2500
26		Organismos patógenos	Ausencia	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
ICA_CCME				77.75	92.01	96.59	68.23	70.93
Categoría				Regular	Buena	Excelente	Regular	Regular

Fuente: Elaboración propia (2017).

La figura 19 muestra que solamente el agua desperdiciada posee un ICA excelente del sistema purificador sin reestructurar.

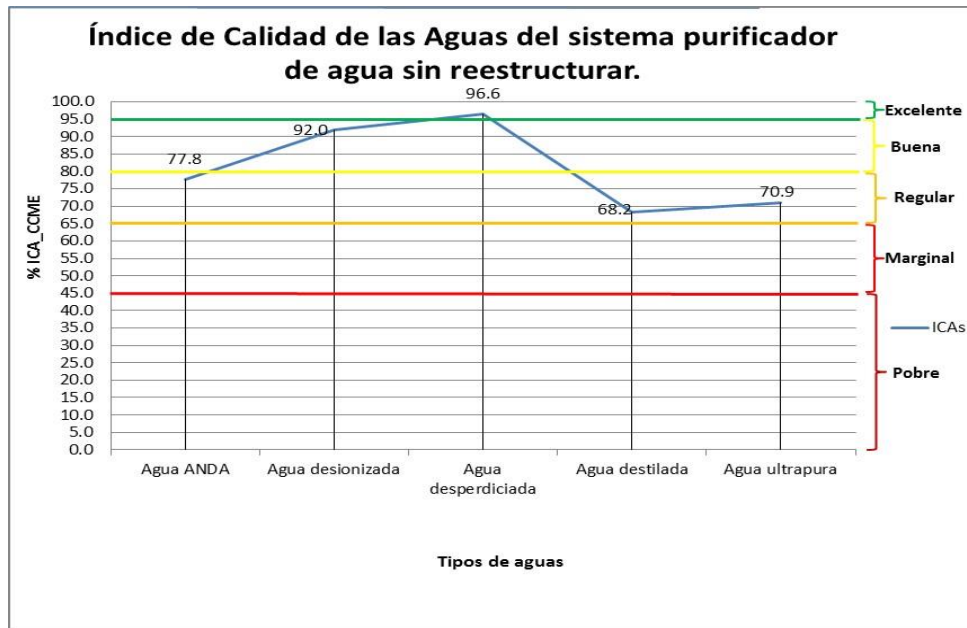


Figura 19. Índices de Calidad de las Aguas analizadas del sistema purificador sin reestructurar.

- **Sistema purificador reestructurado**

A los resultados de los análisis de agua se les calculo el ICA del sistema purificador reestructurado con 24 parámetros, excluyendo el olor y temperatura, usando el ICA del Comité Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (cuadro 32 y 33).

1. Inicio de prueba

El ICA calculado para el agua desionizada es 67.53 y para el agua de lecho mixto es 62.79, categorizando dichas aguas como de calidad regular y marginal, respectivamente. El agua desionizada es de mejor calidad que la de lecho mixto, pues la presencia de *Pseudomona aeruginosa* empobrece aún más ésta última.

2. Semana 1

El ICA para el agua desionizada es de 92.97 y para el agua de lecho mixto es 64.97, categorizando dichas aguas de calidad buena y marginal, respectivamente. El agua desionizada es de mejor calidad que la de lecho mixto, pues la presencia de Coliformes totales empobrece aún más ésta última.

3. Semana 2

El ICA para el agua desionizada es 67.59 y para el agua de lecho mixto es 67.65, categorizando dichas aguas de calidad regular. El agua de lecho mixto es de mejor calidad que la desionizada.

4. Semana 3

El ICA para el agua desionizada es 67.59 y para el agua de lecho mixto es 67.68, categorizando dichas aguas de calidad regular. El agua de lecho mixto es de mejor calidad que la desionizada.

5. Semana 4

El ICA para el agua desionizada es 67.62 y para el agua de lecho mixto es 68.23, categorizando dichas aguas de calidad regular. El agua de lecho mixto es de mejor calidad que la desionizada.

Los ICAs calculados mensualmente se presentan a continuación:

1. Mes 1

El ICA calculado para el agua desionizada es 67.62 y para el agua de lecho mixto es 68.23, categorizando dichas aguas de calidad regular. El agua de lecho mixto es de mejor calidad que la desionizada.

2. Mes 2

El ICA del agua desionizada es 89.23 y para el del agua de lecho mixto es 67.58, categorizando dichas aguas de calidad buena y regular, respectivamente. El agua de lecho mixto es de menor calidad que la desionizada.

3. Mes 3

El ICA para el agua desionizada es 96.57 y para el agua de lecho mixto es 96.60, categorizando dichas aguas como de excelente calidad. El agua de lecho mixto es de mejor calidad que la desionizada.

4. ICA global

El ICA para el agua desionizada es 73.75 y para el agua de lecho mixto es 67.41, categorizando dichas aguas de calidad regular. El agua de lecho mixto es de menor calidad que la desionizada.

Cuadro 32. Resultados del ICA del Comité Canadiense de Ministros del Medio Ambiente de las aguas del sistema purificador de agua reestructurado por semana.

N°	Tipo de parametro	Determinaciones	Límite máximo permisible por NSO 13.07.01:08	Resultados									
				Inicio de prueba		Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
				Agua desionizada	Agua de Lecho mixto	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto
1	Físico-químico	pH	6.0-8.5	4.55	5.3	9.86	6.57	9.55	5.66	9.48	5.96	9.62	6.46
2		Olor	NR	Rechazable	NR	Rechazable	NR	NR	NR	Rechazable	NR	Rechazable	NR
3		Cobr verdadero	15 mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4		Turbidez	5 UNT	<0.07	1.24	<0.07	0.8	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
5		Temperatura	NR °C	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
6		Sólidos totales disueltos	1000 mg/L	174.5	<12	19	16	<12	<12	<12	<12	<12	<12
7		Hierro total	0.3 mg/L	0.16	<0.02	0.04	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.08	0.02
8		Manganeso	0.1 mg/L	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02
9		Dureza total (CaCO ₃)	500 mg/L	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66
10		Sulfatos	400 mg/L	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
11		Nitratos	45 mg/L	<0.28	0.78	<0.28	<0.28	<0.28	0.36	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28
12		Fluoruros	1 mg/L	0	0	0	0	0	0	0.05	0.05	0.05	0.05
13		Cloro residual	0.3-1.1 mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Trazas de metales	Cobre	1.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
15		Cadmio	0.003 mg/L	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007
16		Zinc	5 mg/L	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16
17		Cromo	0.05 mg/L	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017
18		Níquel	0.02 mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
19		Sodio	200 mg/L	5.08	3.3	4.14	2.58	1.17	0.53	13.57	11.36	12.43	12.23
20		Plomo	0.01 mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
21		Arsénico	0.01 mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
22	Microbiológicos	Bacterias Coliformes totales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	8.0	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
23		Bacterias Coliformes fecales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
24		<i>Escherichia coli</i>	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
25		Recuento de bacterias aerobias, heterótrofas mesófilas	100 UFC/mL	>3,000	>3,000	160	>3,000	>3,000	>3,000	>3,000	>3,000	>3,000	>3,000
26	Organismos patógenos	Ausencia	Ausencia	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	
ICA CCME				67.53	62.79	92.97	64.97	67.59	67.65	67.59	67.68	67.62	68.23
Categoría				Regular	Marginal	Buena	Marginal	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular

Fuente: Elaboración propia (2017).

Los resultados de la investigación demuestran que los ICAs de las aguas producidas por el sistema purificador de agua reestructurado son de categoría regular, debido a que la calidad microbiológica del agua de alimentación afecta la calidad de las aguas producidas para uso en pruebas analíticas, pero si se controla la contaminación microbiológica al hacer una limpieza de

la cisterna (ICA del mes tres), se mejora el índice de calidad del agua producida por el sistema purificador reestructurado.

Cuadro 33. Resultados del ICA del Comité Canadiense de Ministros del Medio Ambiente de las aguas del sistema purificador de agua reestructurado por mes.

N°	Tipo de parametro	Determinaciones	Límite máximo permisible por NSO 13.07.01:08	Resultados					
				Mes 1		Mes 2		Mes 3	
				Agua desionizada	Agua de Lecho mixto	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto
1	Físico-químico	pH	6.0-8.5	9.62	6.46	9.81	4.91	10.09	5.93
2		Olor	NR	Rechazable	NR	Rechazable	NR	Rechazable	NR
3		Color verdadero	15 mg/L	0	0	0	0	0	0
4		Turbidez	5 UNT	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
5		Temperatura	NR °C	27	27	27	27	27	27
6		Solidos totales disueltos	1000 mg/L	<12	<12	17.5	<12	<12	<12
7		Hierro total	0.3 mg/L	0.08	0.02	0.1	0.03	0.19	0.19
8		Manganeso	0.1 mg/L	0.03	<0.02	0.21	0.22	0.08	0.08
9		Dureza total (CaCO ₃)	500 mg/L	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66
10		Sulfatos	400 mg/L	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
11		Nitratos	45 mg/L	<0.28	<0.28	<0.28	2.38	<0.28	<0.28
12		Fluoruros	1 mg/L	0.05	0.05	0	0.05	0	0
13		Cloro residual	0.3-1.1 mg/L	0	0	0	0	0	0
14	Traza de metales	Cobre	1.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02	<0.02
15		Cadmio	0.003 mg/L	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007
16		Zinc	5 mg/L	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16
17		Cromo	0.05 mg/L	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017
18		Níquel	0.02 mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
19		Sodio	200 mg/L	12.43	12.23	5.68	5.19	0.67	<1.12
20		Plomo	0.01 mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
21	Arsénico	0.01 mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
22	Microbiológicos	Bacterias Coliformes totales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
23		Bacterias Coliformes fecales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
24		<i>Escherichia coli</i>	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
25		Recuento de bacterias aerobias, heterótrofas mesófilas	100 UFC/mL	>3,000	>3,000	490	>3,000	87	86
26		Organismos patógenos	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
ICA_CCME				67.62	68.23	89.23	67.58	96.57	96.60
Categoría				Regular	Regular	Buena	Regular	Excelente	Excelente
Índice de Calidad de Aguas global									
ICA_CCME								73.75	67.41
Categoría								Regular	Regular

Fuente: Elaboración propia (2017). En el mes 3 se hizo una limpieza en la cisterna.

Debido a que los ICAs producidos por el sistema purificador de agua reestructurado no fueron los ideales para el trabajo del laboratorio, por los resultados de los parámetros microbiológicos, se decidió esterilizar las aguas obtenidas por el desionizador original más el lecho mixto y la obtenida por el ultrapurificador del sistema purificador de agua, para este caso, el ultrapurificador fue alimentado con agua del lecho mixto, con el propósito de mejorar el índice de calidad de las aguas obtenidas para uso del laboratorio (cuadro 34).

Los ICAs del agua de lecho mixto esterilizada como el agua ultrapura obtenida de la alimentación del ultrapurificador con agua de lecho mixto, presentan índices de calidad del agua excelente; es decir, que dichas aguas son comparables al agua ultrapura comercial utilizada en biología molecular.

Cuadro 34. ICA del Comité Canadiense de Ministros del Medio Ambiente de las aguas esterilizadas por autoclaveado.

N°	Tipo de parámetro	Determinaciones	Límite máximo permisible por NSO 13.07.01:08	Resultados					
				Mes 1					
				Agua desionizada	Agua de Lecho mixto	Agua de Lecho mixto esterilizada	Agua ultrapura	Agua ultrapura esterilizada	Agua ultrapura comercial
1	Físico-químico	pH	6.0-8.5	9.62	6.46	6.5	7.37	6.77	7.2
2		Olor	NR	Rechazable	NR	NR	NR	NR	NR
3		Color verdadero	15 mg/L	0	0	0	0	0	0
4		Turbidez	5 UNT	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
5		Temperatura	NR °C	27	27	27	27	27	27
6		Sólidos totales disueltos	1000 mg/L	<12	<12	<12	<12	<12	<12
7		Hierro total	0.3 mg/L	0.08	0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
8		Manganeso	0.1 mg/L	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
9		Dureza total (CaCO ₃)	500 mg/L	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66
10		Sulfatos	400 mg/L	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
11		Nitratos	45 mg/L	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28
12		Fluoruros	1 mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
13		Cloro residual	0.3-1.1 mg/L	0	0	0	0	0	0
14	Traza de metales	Cobre	1.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
15		Cadmio	0.003 mg/L	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007
16		Zinc	5 mg/L	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16
17		Cromo	0.05 mg/L	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017
18		Níquel	0.02 mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
19		Sodio	200 mg/L	12.43	12.23	12.23	3.37	3.37	3.37
20		Plomo	0.01 mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
21	Arsénico	0.01 mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
22	Microbiológicos	Bacterias Coliformes totales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
23		Bacterias Coliformes fecales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
24		<i>Escherichia coli</i>	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
25		Recuento de bacterias aerobias, heterótrofas mesófilas	100 UFC/mL	>3,000	>3,000	<1	<1	<1	<1
26		Organismos patógenos	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
ICA_CCME				67.62	68.23	100.00	100.00	100.00	100.00
Categoría				Regular	Regular	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente

Fuente: Elaboración propia (2017).

Para esterilizar las aguas del lecho mixto y el agua ultrapurificada, se utilizó el método de esterilización húmeda, el cual consiste en utilizar las propiedades del vapor de agua de un autoclave, exponiendo lo que se quiere esterilizar a temperaturas de 121° C, a una presión de 15 libras y por un periodo de tiempo de 15 minutos.

En el área de microbiología del laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de Calidad, el agua esterilizada es usada en pruebas delicadas y sensibles; por lo tanto, las aguas se someten a una temperatura de 121° C, una presión de 15 libras y por un periodo de tiempo de 30 minutos para esterilizarlas y de esta manera asegurar que el agua esté completamente estéril.

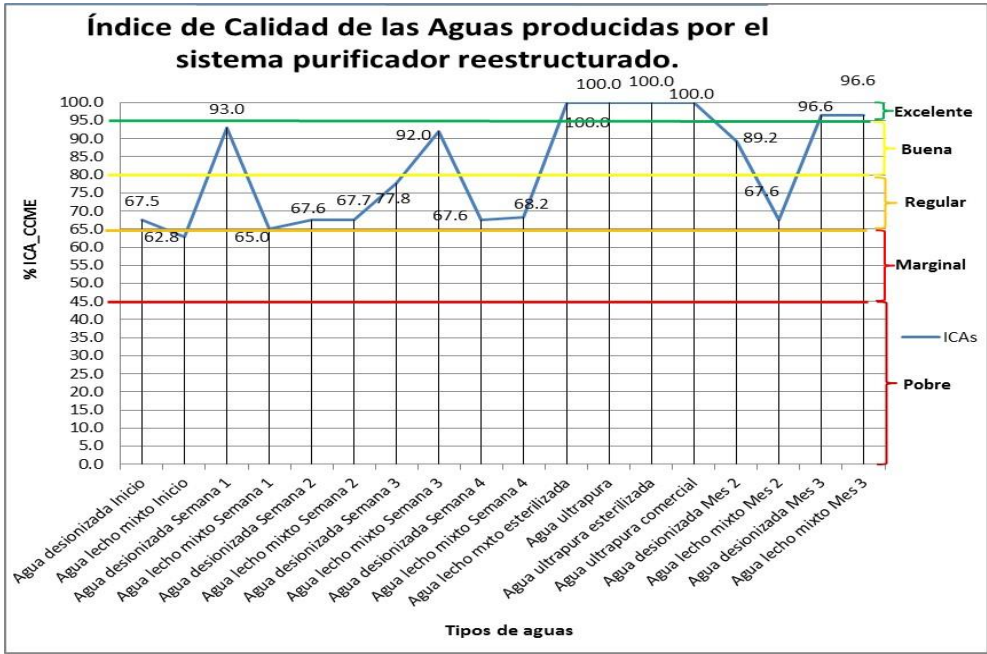


Figura 20. Índices de Calidad de las Aguas analizadas del sistema purificador reestructurado.

Al comparar las figuras 19 y 20 se muestra que solamente el agua desperdiciada y las aguas que se esterilizan poseen un ICA excelente. Existen cinco categorías de clasificación de la calidad de las aguas dependiendo del valor del ICA obtenido, estas se definen a continuación:

Excelente (95-100): la condición del recurso agua está en el estado deseado, es decir, sin apenas deterioro de su calidad.

Buena (80-94): la condición del recurso agua es cercana al estado deseado, es decir, que el

deterioro de la calidad del agua es menor.

Regular (65-79): las condiciones del recurso agua a veces difiere del estado deseado, es decir, que la calidad del agua está ocasionalmente perjudicada.

Marginal (45-64): las condiciones del recurso agua en numerosas ocasiones difiere del estado deseado, es decir, que la calidad del agua se deteriora frecuentemente.

Pobre (0-44): las condiciones del recurso agua por lo general difieren del estado deseado, es decir, que su calidad casi siempre está deteriorada.

Las categorías anteriores indican que el agua desperdiciada es ideal para el uso del laboratorio porque presenta un ICA excelente; es decir, que se encuentra en un estado deseado para su uso y solamente presente apenas un mínimo deterioro en el pH 9.8 que puede ser corregido fácilmente con adición de Ácido clorhídrico. Este índice tiene como ventaja que no requiere de realizar transformaciones a los parámetros que participan de la evaluación y evita la subjetividad de asignar diferente importancia o peso de los mismos dentro del cálculo del ICA.

7.4 Objetivo Específico 4: Elaborar un procedimiento operativo estándar (POE) del sistema purificador de agua a base de una resina de lecho mixto.

7.4.1 Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) del sistema purificador reestructurado

El sistema purificador de agua reestructurado es de fácil manipulación para cualquier operador, a continuación se describe el procedimiento operativo estándar que se generó para el sistema, con el fin de que posteriormente el laboratorio de la UAC lo incorporé a su formato oficial si decide adoptar la tecnología:

Nombre del Laboratorio y Sello	EQ-MC-SPA-01	Revisión N° 1.
	Procedimiento de uso del sistema purificador de agua	
1. Objetivo: Demostrar los pasos a seguir para el buen uso del sistema purificador de agua para obtener agua de la calidad requerida por el laboratorio.		
2. Alcance: El procedimiento aplica para la producción de agua para los diferentes usos que sean requeridos por el laboratorio.		
3. Responsable: Técnico encargado del sistema purificador de agua.		

4. Procedimiento:

- 4.1. Verifique que el equipo de bombeo este encendido, la resina del desionizador haya sido regenerada, la válvula de alimentación hacia el sistema purificador de agua este abierta y las orejas de la perilla estén alineadas con la tubería de conducción.



Válvula cerrada



Válvula abierta.

- 4.2. Abra la válvula de entrada del desionizador del sistema purificador de agua, que alimenta con agua potable al desionizador, hasta que las orejas de la perilla de la válvula estén alineadas con la tubería de alimentación del desionizador.
- 4.3. Abra la válvula auxiliar de paso de la misma forma que las válvulas anteriores, que se encuentra entre la salida del contenedor de resina de intercambio aniónico y próxima al micromedidor de caudal del desionizador.
- 4.4. Asegúrese que el contenedor de la resina de lecho mixto no tenga agua residual de operaciones anteriores.
- 4.5. Si el contenedor de la resina de lecho mixto tiene agua residual de procesos anteriores, púrguelo antes de abrir la válvula de alimentación de agua desionizada.
- 4.6. Por último, abra la válvula de alimentación del contenedor de resina de lecho mixto, de la misma forma que las válvulas anteriores, escuchara un ligero sonido de caída mientras el contenedor se llena, dicho sonido es producido por la presión que el agua trae del paso por el desionizador.
- 4.7. Luego de que el contenedor de resina de lecho mixto se haya llenado, abra la válvula de salida y purgue el agua por 5 minutos, recogiendo dicha agua en recipientes para posterior uso en autoclaves.
- 4.8. Luego de 5 minutos tome una muestra de agua en línea para medir la conductividad del agua y verificar si cuenta con la conductividad óptima para los usos requerido.
- 4.9. Alimente con esta agua el ultrapurificador y esterilice dicha agua por autoclaveado cuando se requiera agua de alta pureza para uso en pruebas delicadas, por ejemplo: detección de endotoxinas y pruebas para biología molecular.

7.5 Objetivo Específico 5: Sensibilizar y capacitar al personal del laboratorio de Control de Calidad en el uso racional del agua y del sistema reestructurado.

7.5.1 Talleres de sensibilización del personal

El primer taller de sensibilización se impartió el 26 de mayo de 2017 a la Jefa de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad, a las coordinaciones de las áreas de inspección, gestión de la calidad, pruebas físico-químicas y microbiología del Laboratorio de Control de Calidad de Medicamentos de la UAC, en total asistieron cinco personas (anexo 14).

El segundo taller de sensibilización se impartió el 26 de mayo de 2017 al personal técnico del Laboratorio de Control de Calidad de Medicamentos de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad (UAC), en total asistieron 12 personas (anexo 15).

VIII. Conclusiones

- El sistema purificador de agua no reestructurado consta de un equipo de bombeo, un desionizador, un destilador y un ultrapurificador, los cuales poseen deficiencias como: pérdida de configuración hidráulica de fábrica, desbalance de resinas del desionizador de doble lecho, desperdicio de agua desionizada de alta calidad, alto consumo de energía eléctrica, membrana de osmosis inversa con vida útil finalizada y contaminación microbiológica por áreas inadecuadamente protegidas.
- Las resinas son más amigables con la economía y la naturaleza ya que son fácilmente regenerables (reutilizables) respecto a las membranas de osmosis inversa, como las que utiliza el ultrapurificador, pues su porosidad efectiva se obstruye fácilmente haciendo costosa y a veces imposible su regeneración.
- La caracterización del agua producida por el sistema purificador de agua no reestructurado al inicio de la investigación demuestra que el pH, cloro residual, bacterias aerobias heterótrofas mesófilas y *Pseudomona aeruginosa* no cumplen los límites máximos permitidos por la Norma NSO 13.07.01:08, debido al desbalance de resina de intercambio catiónico respecto a la de intercambio aniónico, a la contaminación bacteriana del agua potable en la cisterna y a la falta de limpieza de los contenedores del agua destilada y ultrapura.
- Los análisis del agua producida por el sistema purificador de agua reestructurado a los tres meses de iniciada la investigación demuestra que el pH, bacterias aerobias heterótrofas mesófilas y *Pseudomona aeruginosa*, son parámetros que no cumplen con los límites máximos permitidos por las Normas NSO 13.07.01:08 y NSO 13.07.02:08, debido al desbalance de la resina de intercambio catiónico respecto a la de intercambio aniónico, y a la contaminación bacteriana del agua potable almacenada en la cisterna.
- El contenedor de resina de lecho mixto por sí sólo no es capaz de mejorar la calidad microbiológica del agua que produce el sistema purificador de agua reestructurado, ya que las resinas únicamente sirven para remover contaminantes no biológicos.

- El sistema purificador de agua reestructurado con el contenedor de resina de lecho mixto es más eficaz y eficiente que el sistema purificador de agua del laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del MINSAL, ya que éste no desperdicia agua y mejoró la conductividad eléctrica de sus aguas.
- La eficiencia del sistema purificador de agua no reestructurado es del 5.37%, debido a que tiene un desperdicio de agua del 94.63%, y la eficiencia del sistema purificador de agua reestructurado es del 99.99%, ya que el desperdicio de agua es cero en la producción de agua para uso del laboratorio.
- El agua de ANDA almacenada en cisterna del MINSAL tiene un ICA de 77.75, la cual es un agua de calidad regular por la presencia de *Pseudoma aeruginosa*, que empobrece la calidad del agua producida por el sistema purificador de agua reestructurado y no reestructurado.
- El Índice de Calidad de Agua (ICA) del agua desperdiciada o agua desionizada semidestilada es 96.59, y se categoriza de excelente calidad, por tanto, al descartarla al alcantarillado a razón de 13.8 litros por minuto se desaprovecha su uso en pruebas de laboratorio como: valoración microbiológica de antibióticos, límites microbianos y pruebas de esterilidad de medicamentos.
- Según el ICA, el agua destilada y el agua ultrapura que produce el sistema purificador no reestructurado son de calidad regular en comparación con el agua desperdiciada.
- Para el funcionamiento de la resina de lecho mixto no se necesita energía eléctrica, ya que por gravedad o por el empuje generado por el bombeo de la masa de agua es suficiente para hacerla funcionar, además, dicha tecnología hace que el sistema purificador de agua sea de fácil manipulación.

IX. Recomendaciones

- Corregir las siguientes deficiencias del sistema purificador de agua no reestructurado para hacer más eficiente el funcionamiento del sistema: desbalance de resinas del desionizador de doble lecho, desperdicio de agua desionizada de alta calidad, alto consumo de energía eléctrica, membrana de osmosis inversa con vida útil finalizada y contaminación microbiológica por áreas inadecuadamente protegidas.
- Instalar filtros sedimentadores de porosidad de 1 ó 2 μm antes del filtro de carbono activado y filtros descarbonatadores después del filtro de carbono activado, para mejorar el rendimiento de las resinas de intercambio catiónico y aniónico del desionizador.
- Equilibrar la resina de intercambio catiónico con la resina de intercambio aniónico del desionizador y adquirir el contenedor de resina de lecho mixto para reducir el desperdicio de agua y mejorar la calidad del agua en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del Ministerio de Salud.
- Mantener limpio y no utilizar como bodega el cuarto donde se encuentra el desionizador y el contenedor de resina de lecho mixto para asegurar el óptimo funcionamiento del sistema purificador.
- Instalar micromedidores en los ramales de distribución del agua desionizada para conocer la utilización de los caudales en cada área del laboratorio.
- Solicitar a la empresa que proporciona el servicio de mantenimiento del desionizador que sanitice el equipo para reducir la contaminación microbiana.
- Lavar una vez por semana y proteger la cisterna para evitar que esta sea nicho de vectores que empobrecen la calidad de las aguas que genera el sistema purificador de agua.
- Regular el caudal de entrada de agua a la cisterna en forma manual o digital para que no desperdicie agua potable y no se contamine con microorganismos de vida libre del suelo.

- Lavar una vez por semana y con rotación de sanitizantes los contenedores donde se almacenan las aguas para los diferentes usos del laboratorio, para evitar proliferación microbiana.
- Instalar una lámpara de luz ultravioleta de longitud de onda de 253.7 nm, un ozonificador o ambos dispositivos, para mejorar la calidad microbiológica del agua a la salida del contenedor de resina de lecho mixto.
- Recircular el agua que desperdicia el desionizador para utilizarla en el lavado de cristalería, pruebas de valoración microbiológica de antibióticos, límites microbianos y pruebas de esterilidad de medicamentos y en el funcionamiento de los autoclaves, o venderla.
- Esterilizar las aguas para uso del laboratorio inclusive las aguas que han estado almacenadas en los contenedores cuando estos no hayan sido sanitizados o se sospeche de haberse hecho mal el proceso, para que el ICA alcance una categoría de excelente.
- Realizar análisis físico-químicos y de trazas de metales pesados a las aguas del sistema purificador de aguas por lo menos tres veces al año y análisis microbiológicos por lo menos dos veces al mes, para garantizar la calidad de las aguas que se producen.
- La jefatura de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad debe tomar en cuenta el procedimiento operativo estándar (POE) elaborado en la presente investigación para posibilitar la adopción de la resina de lecho mixto y reducir el desperdicio de agua y energía eléctrica en el laboratorio.

X. Bibliografía

- APHA (American Public Health Association, Estados Unidos de América). 2012. Standard Methods For The Examination Of Water and Wastewater. 22 ed. Washington, DC. 1360 p.
- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, El Salvador). 2009. Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua envasada, NSO 13.07.02:08. El Salvador. 20 p.
- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, El Salvador). 2009. Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable, NSO 13.07.01:08. El Salvador. 29 p.
- de Dardel, F. 2016. Capacidad de intercambio (en línea). Consultado 13 mar. 2016. Disponible en http://www.dardel.info/IX/index_ES.html.
- Espina, CF; Mazziota, D. 2005. Gestion de calidad en el laboratorio clinico. Confederación Latinoamericana de Bioquímica Clínica. Buenos aires, Argentina. Panamericana. 553 p.
- Gamboa Coronado, MDM; García Idalgo, JD; Hernández Chavarría, F; Rodríguez Cavallini, E. 2005. Bacteriología general: principios y prácticas de laboratorios. 1 ed.. Costa Rica. UCR. 477 p.
- ISO/IEC (International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission, Suiza). 2005. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, ISO/IEC 17025:2005. Ginebra, Suiza. 29 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2004. Guías para la calidad del agua potable. 3 ed. Ginebra. s.n.t. v. 1, 398 p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2009. Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua. Ginebra, s.n.t. 116 p.

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Internacional). 2015. Agenda 2030 para el desarrollo sostenible (en línea, sitio web). Consultado 17 jun. 2016. Disponible en <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sdgooverview/>.

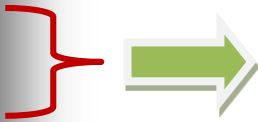
USP (U.S. Pharmacopoeia, Estados Unidos de América). 2016. Farmacopea de los Estados Unidos de América - Formulario Nacional. 39 ed. USA. v. 1. 2,176 p.

XI. Anexos

Anexo 1. Equipo de bombeo utilizado en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.



Anexo 2. Equipo desionizador de doble lecho utilizado en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.



Anexo 3. Destilador utilizado en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.



Anexo 4. Lugar donde ocurre el desperdicio de agua en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.



Anexo 5. Ultrapurificador (osmosis inversa) utilizado en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.





Anexo 6. Tanques reservorio para agua destilada y ultrapura del Laboratorio de Control de Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.



Anexo 7. Tanque de neutralización de lavados utilizado en el Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del laboratorio Dr. Max Bloch.



Anexo 8. Encuesta dirigida al personal del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del MINSAL.

	<p>Universidad de El Salvador Facultad de Ciencias Agronómicas Escuela de Posgrado y Educación Continua</p>	
<p>Encuesta para la caracterización social del Sistema Purificador de Agua del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad del Ministerio de Salud de El Salvador.</p>		
<p>Indicaciones: Marque la respuesta que usted consideré correcta con una “X” o un “√”. De preferencia marque solamente una respuesta.</p>		
<p>1. ¿El Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad cuenta con un Sistema Purificador de Agua? SÍ <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>		
<p>2. ¿Está familiarizado con las diferentes clases de agua que produce el sistema purificador de agua del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad? SÍ <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>		
<p>3. ¿Considera usted que el agua producida por el sistema de purificador de agua es de calidad? SÍ <input type="checkbox"/> Talvez <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>		
<p>4. ¿Cómo cataloga usted el agua que utiliza en las diferentes pruebas de laboratorio? Excelente <input type="checkbox"/> Muy buena <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala <input type="checkbox"/></p>		
<p>5. ¿Conoce los parámetros de calidad con los que debe de cumplir el agua que produce el sistema de purificador de agua? SÍ <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>		
<p>6. ¿Existe conciencia del personal del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad en el uso adecuado del agua? SÍ <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sin comentarios <input type="checkbox"/></p>		
<p>7. ¿Conoce usted de políticas institucionales de ahorro de agua? SÍ <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>		
<p>8. ¿El sistema purificador de agua del Laboratorio de Control de Calidad de la Unidad de Aseguramiento de la Calidad es? Eficiente <input type="checkbox"/> Ineficiente <input type="checkbox"/> Ninguna de las anteriores <input type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/></p>		
<p>9. ¿El sistema purificador de agua necesita ser reestructurado? SÍ <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/></p>		
<p>10. ¿Considera que una reestructuración del Sistema de Purificador de Agua ayudaría a mejorar su eficiencia? SÍ <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>		
<p>;;;Dios bendiga nuestros proyectos!!!</p>		

Anexo 9. Sistema purificador de agua reestructurado.



Anexo 10. Ficha técnica de la resina de lecho mixto.



FICHA
TÉCNICA

Purolite® MB400 Resina Mista

Purolite MB400 es una resina mixta de purificación de agua de alta calidad. Adecuada para equipos regenerables y en cartuchos no regenerables. El flujo de agua recomendada que pasa a través de las resinas es normalmente baja, eso para la mejor reducción de sólidos disueltos. El agua producida tendrá conductividad media alrededor 0,1microS/cm para la mayor parte del ciclo de trabajo, que puede producir por más tiempo dependiendo de la calidad final requerida del agua. El volumen equivalente de agua ultra-pura se puede obtener después de la regeneración, pero sólo si la cantidad de regenerante usado ser suficiente para realizar la misma conversión de la resina inicial. Por lo general, la capacidad y la calidad económicamente aceptable se obtienen con los bajos niveles de regeneración.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS:

Aplicación	Desmineralización
Estructura Polimérica	Base de Poliestireno y Divinilbenzeno, Tipo Gel
Apariencia	Partículas Esféricas
Grupo Funcional	Ácido Sulfónico y Cuaternario de Amonio
Forma Iónica Original	H ⁺ / OH ⁻

INFORMAÇÕES DO PRODUTO:

Componentes	Resina Catiónica Fuertemente Ácida	Resina Aniónica Fuertemente Básica
Porcentaje en Volumen	40%	60%
Humidad Retida	65% (máx.)	
Variación del Tamaño de las Esferas	300 - 1200 µm	
<300 µm (max.)	1%	
Coefficiente de Uniformidad (max.)	1,7	
Peso Específico (aproximado)	705 - 740 g/l (44,1 - 46,3 lb/ft3)	
Temperatura Limite, lecho no regenerable	100°C (212°F)	
Temperatura Limite, lecho regenerable	60°C (140°F)	

Americas
T +01 610.668.9090
F +01 484.384.2751
americas@purolite.com

Europe
T +44 1443 229334
F +44 1443 227073
europe@purolite.com

Asia Pacific
T +86 571 876 31382
F +86 571 876 31385
asiapacific@purolite.com

Anexo 11. Informe de análisis de las aguas del sistema purificador de agua sin reestructurar.



MINISTERIO DE SALUD
 LABORATORIO NACIONAL DE REFERENCIA
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS Y TOXICOLOGIA
**INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS DE
 FISICO-QUIMICO DE AGUAS PAGADAS (F-REP-47)**

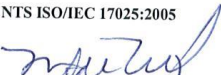
ESTABLECIMIENTO: Unidad de Aseguramiento de La Calidad, MINSAL NUMERO: 3
 FECHA DE RECOLECCION: 12/01/17
 FECHA DE INGRESO: 12/01/17
 HORA DE TOMA DE MUESTRA: 10:20
 FECHA DE ANALISIS: 12/01/17 A 19/01/17
 MUESTRA ENVIADA POR: Lic. Guillermo Emilio Alvarenga Marroquín
 ORIGEN DEL AGUA: RED DE DISTRIBUCIÓN
 DIRECCION DE TOMA DE MUESTRA: San Salvador, Edificio Central Dr. Max Bloch, "ANDA"
 DEPARTAMENTO: San Salvador

DETERMINACIONES	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	RESULTADO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*
pH**	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 4500-H+ B. 19th. Edition. 1995.	6.91	6.0-8.5
Olor:	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2150 B. 19th. Edition. 1995.	NR	NR
Color verdadero:	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2120 B. 19th Edition. 1995.	0 mg/L	15
Turbidez**	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2130 B. 19th Edition. 1995.	0.34 UNT	5
Temperatura	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2550 B. 19th Edition. 1995.	27 °C	NR
Solidos Totales Disueltos**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2540 C. 19th Edition. 1995.	505.50 mg/L	1000
Hierro Total**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Fe B. 19th Edition. 1995.	<0.02 mg/L	0.30
Manganeso**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Mn B. 19th Edition. 1995.	0.05 mg/L	0.1
Dureza Total (CaCO3)**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2340 C. 19th Edition. 1995	259.05 mg/L	500
Sulfatos	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 4500-SO4 2—E. 19th Edition. 1995.	89.32 mg/L	400.00
Nitratos**	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 4500-NO3 B. 19th Edition. 1995.	18.54 mg/L	45.00
Fluoruros	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 413 D. 16th Edition. 1985	0.20 mg/L	1.00
Cloro residual	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 114 E. 13th Edition. 1971.	0.25 mg/L	0.3-1.1

*Valor de acuerdo a la Norma Salvadoreña Agua. Agua Potable NSO 13.07.01:08 (Segunda Actualización)

**Determinaciones Acreditadas bajo Norma NTS ISO/IEC 17025:2005

Observaciones


 Licda. Mayra García de Vela
 Jefe de Laboratorio



Prohibida la reproducción total o parcial sin la aprobación de la jefatura del laboratorio, los resultados corresponden a la muestra analizada, cualquier queja deberá presentarse en los siguientes 30 días

Alameda Roosevelt, Edificio Dr. Max Bloch, frente a Parque Cuscatlan Telefax: 2271-1316 - 2205-1611
 24/01/2017



MINISTERIO DE SALUD
LABORATORIO NACIONAL DE REFERENCIA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS Y TOXICOLOGIA
INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS DE
TRAZAS DE METALES EN AGUA PAGADA (F-REP-51)

NUMERO: 1

ESTABLECIMIENTO: Unidad de Aseguramiento de La Calidad, MINSAL
 FECHA DE RECOLECCION: 12/01/17
 HORA DE TOMA DE MUESTRA: 10:25
 FECHA DE INGRESO: 12/01/17
 FECHA DE ANALISIS: 18-19/01/17
 MUESTRA ENVIADA POR: Lic. Guillermo Emilio Alvarenga Marroquín
 ORIGEN DEL AGUA: RED DE DISTRIBUCIÓN
 DIRECCION DE TOMA DE MUESTRA: San Salvador, Edificio Central Dr. Max Bloch, "ANDA"

DEPARTAMENTO: San Salvador

DETERMINACIONES	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	RESULTADO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*
Cobre**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Cu B. 19th Edition. 1995.	<0.02 mg/L	1.30
Hierro**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Fe B. 19th Edition. 1995.	<0.02 mg/L	0.30
Cadmio**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Cd B 3113. 19th Edition. 1995	<0.00007 mg/L	0.003
Zinc**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Zn B. 19th Edition. 1995.	<0.16 mg/L	5.00
Cromo**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Cr B 3113. 19th Edition. 1995.	<0.0017 mg/L	0.05
Níquel**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Ni B 3113. 19th Edition. 1995.	<0.004 mg/L	0.02
Manganeso**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Mn B. 19th Edition. 1995.	<0.02 mg/L	0.10
Sodio**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Na B. 19th Edition. 1995.	53.86 mg/L	200.00
Plomo**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Pb B 3113. 19th Edition. 1995.	<0.003 mg/L	0.01
Arsénico	Método Modificado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500 -As 3114 B. 19th Edition. 1995.	0,005 mg/L	0.01

*Valor de acuerdo a la Norma Salvadoreña NSO 13.07.01.08

**Determinaciones Acreditadas bajo Norma NTS ISO/IEC 17025:2005

Observaciones:

Licda. Mayra García de Vela
 Jefe de Laboratorio



Prohibida la reproducción total o parcial sin la aprobación de la jefatura del laboratorio, los resultados corresponden a la muestra analizada, cualquier queja deberá presentarse en los siguientes 30 días

Alameda Roosevelt, Edificio Dr. Max Bloch, frente a Parque Cuscatlan Telefax: 2271-1316 - 2205-1611

20/01/2017



MINISTERIO DE SALUD
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS Y TOXICOLOGIA
INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS
MICROBIOLOGICOS DE AGUA PARTICULAR PAGADA (F-REP-52)

NUMERO: 3

ESTABLECIMIENTO: Unidad de Aseguramiento de La Calidad, MINSAL
FECHA DE RECOLECCION: 12/01/17
HORA DE TOMA DE MUESTRA: 10:30
FECHA DE INGRESO: 12/01/17
FECHA DE ANALISIS: 12-19/01/17
FECHA DE REPORTE: 19/01/17
MUESTRA ENVIADA POR: Lic. Guillermo Emilio Alvarenga Marroquín
PRESENTACION DE MUESTRA: -----
DIRECCION DE TOMA DE MUESTRA: San Salvador, Laboratorio Central Dr. Max Bloch, "Red de ANDA"
DEPARTAMENTO: San Salvador

DETERMINACIONES	RESULTADO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*
Bacterias Coliformes Totales** APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 9221-B. 22nd Edition. 2012.	<1.1 NMP/100mL	<1.1 NMP/100 mL
Bacterias Coliformes Fecales** APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 9221-E. 22nd Edition. 2012.	<1.1 NMP/100mL	<1.1 NMP/100 mL
Escherichia coli** APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 9221-F. 22nd Edition. 2012.	Ausencia	Ausencia
Recuento de bacterias aerobias, heterótrofas mesófilas** APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 9215-A y 9215-B. 22nd Edition. 2012.	330 UFC/mL	100 UFC/mL
Organismos patógenos Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 9213-F. 22nd Edition. 2012.	Pseudomonas aeruginosa	Ausencia

*Valor de acuerdo a la Norma Salvadoreña Agua, Agua Potable NSO 13.07.01:08 (Segunda Actualización)

**Determinaciones Acreditadas bajo Norma NTS ISO/IEC 17025:2005

Observaciones:

Licda. Mayra García de Vela
 Jefe de Laboratorio



Prohibida la reproducción total o parcial sin la aprobación de la jefatura del laboratorio, los resultados corresponden a la muestra analizada, cualquier queja deberá presentarse en los siguientes 30 días.

Alameda Roosevelt, Edificio Dr. Max Bloch, frente a Parque Cuscatlan Telefax: 2271-1316 - 2205-1611

jueves, 19 de enero de 2017

N°	Tipo de parametro	Determinaciones	Límite máximo permisible por NSO 13.07.01:08	Resultados				
				Agua ANDA	Agua desionizada	Agua desionizada semidestilada desperdiciada	Agua destilada	Agua Ultrapura
1	Físico-químico	pH	6.0-8.5	6.91	9.17	9.02	8.17	7.68
2		Olor	NR	NR	NR	NR	NR	NR
3		Color verdadero	15 mg/L	0	0	0	0	0
4		Turbidez	5 UNT	0.34	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
5		Temperatura	NR °C	27	27	27	27	27
6		Sólidos totales disueltos	1000 mg/L	505.5	12	<12	<12	<12
7		Hierro total	0.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
8		Manganeso	0.1 mg/L	0.05	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
9		Dureza total (CaCO ₃)	500 mg/L	259.05	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66
10		Sulfatos	400 mg/L	89.32	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
11		Nitratos	45 mg/L	18.54	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28
12		Fluoruros	1 mg/L	0.2	0.05	0.05	0.05	0.05
13		Cloro residual	0.3-1.1 mg/L	0.25	0	0	0	0
14	Traza de metales	Cobre	1.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
15		Cadmio	0.003 mg/L	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007
16		Zinc	5 mg/L	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16
17		Cromo	0.05 mg/L	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017
18		Níquel	0.02 mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
19		Sodio	200 mg/L	53.86	2.61	2.77	2.56	3.37
20		Plomo	0.01 mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
21	Arsénico	0.01 mg/L	0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
22	Microbiológicos	Bacterias Coliformes totales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
23		Bacterias Coliformes fecales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
24		<i>Escherichia coli</i>	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
25		Recuento de bacterias aerobias, heterótrofas mesófilas	100 UFC/mL	330	280	6	>3,000	2500
26		Organismos patógenos	Ausencia	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Anexo 12. Informes de análisis de las aguas del sistema purificador de agua reestructurado.



MINISTERIO DE SALUD
LABORATORIO NACIONAL DE REFERENCIA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS Y TOXICOLOGIA
INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS DE
FISICO-QUIMICO DE AGUAS PAGADAS (F-REP-47)

ESTABLECIMIENTO: Unidad de Aseguramiento de La Calidad NUMERO: 8
 FECHA DE RECOLECCION: 09/02/17
 FECHA DE INGRESO: 09/02/17
 HORA DE TOMA DE MUESTRA: 08:35
 FECHA DE ANALISIS: 09/02/17 A 15/02/17
 MUESTRA ENVIADA POR: Lic. Guillermo Emilio Alvarenga Marroquín
 ORIGEN DEL AGUA: RED DE DISTRIBUCIÓN
 DIRECCION DE TOMA DE MUESTRA: San Salvador, Edificio Central Dr. Max Bloch, Desionizador
 DEPARTAMENTO: San Salvador

DETERMINACIONES	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	RESULTADO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*
pH**	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 4500-H+ B. 19th. Edition. 1995.	4.55	6.0-8.5
Olor:	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2150 B. 19th. Edition. 1995.	RECHAZABLE	NR
Color verdadero:	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2120 B. 19th Edition. 1995.	0 mg/L	15
Turbidez**	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2130 B. 19th Edition. 1995.	<0.07 UNT	5
Temperatura	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2550 B. 19th Edition. 1995.	27 °C	NR
Solidos Totales Disueltos**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2540 C. 19th Edition. 1995.	174.50 mg/L	1000
Hierro Total**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Fe B. 19th Edition. 1995.	0.04 mg/L	0.30
Manganeso**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Mn B. 19th Edition. 1995.	0.03 mg/L	0.1
Dureza Total (CaCO3)**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2340 C. 19th Edition. 1995	<9.66 mg/L	500
Sulfatos	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 4500-SO4 2—E. 19th Edition. 1995.	<5.00 mg/L	400.00
Nitratos**	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 4500-NO3 B. 19th Edition. 1995.	<0.28 mg/L	45.00
Fluoruros	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 413 D. 16th Edition. 1985	0.00 mg/L	1.00
Cloro residual	APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 114 E. 13th Edition. 1971.	0.00 mg/L	0.3-1.1

*Valor de acuerdo a la Norma Salvadoreña Agua. Agua Potable NSO 13.07.01:08 (Segunda Actualización)

**Determinaciones Acreditadas bajo Norma NTS ISO/IEC 17025:2005

Observaciones Olor: Materia Orgánica en descomposición

Lidia Mayra García de Vela
Jefe de Laboratorio



Prohibida la reproducción total o parcial sin la aprobación de la jefatura del laboratorio, los resultados corresponden a la muestra analizada, cualquier queja deberá presentarse en los siguientes 30 días

Alameda Roosevelt, Edificio Dr. Max Bloch, frente a Parque Cuscatlan Telefax: 2271-1316 - 2205-1611
16/02/2017



MINISTERIO DE SALUD
LABORATORIO NACIONAL DE REFERENCIA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS Y TOXICOLOGIA
INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS DE
TRAZAS DE METALES EN AGUA PAGADA (F-REP-51)

NUMERO: 6

ESTABLECIMIENTO: Unidad de Aseguramiento de La Calidad
FECHA DE RECOLECCION: 09/02/17
HORA DE TOMA DE MUESTRA: 08:40
FECHA DE INGRESO: 09/02/17
FECHA DE ANALISIS: 13-17/02/17
MUESTRA ENVIADA POR: Lic. Guillermo Emilio Alvarenga Marroquín
ORIGEN DEL AGUA: RED DE DISTRIBUCIÓN
DIRECCION DE TOMA DE MUESTRA: San Salvador, Edificio Central Dr. Max Bloch, Desionizador

DEPARTAMENTO: San Salvador

DETERMINACIONES	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	RESULTADO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*
Cobre**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Cu B. 19th Edition. 1995.	<0.02 mg/L	1.30
Hierro**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Fe B. 19th Edition. 1995.	0.16 mg/L	0.30
Cadmio**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Cd B 3113. 19th Edition. 1995	<0.00007 mg/L	0.003
Zinc**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Zn B. 19th Edition. 1995.	<0.16 mg/L	5.00
Cromo**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Cr B 3113. 19th Edition. 1995.	<0.0017 mg/L	0.05
Níquel**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Ni B 3113. 19th Edition. 1995.	<0.004 mg/L	0.02
Manganeso**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Mn B. 19th Edition. 1995.	<0.02 mg/L	0.10
Sodio**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Na B. 19th Edition. 1995.	5.08 mg/L	200.00
Plomo**	Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-Pb B 3113. 19th Edition. 1995.	<0.003 mg/L	0.01
Arsénico	Método Modificado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 3500-As 3114 B. 19th Edition. 1995.	< 0,002 mg/L	0.01

*Valor de acuerdo a la Norma Salvadoreña NSO 13.07.01.08

**Determinaciones Acreditadas bajo Norma NTS ISO/IEC 17025:2005

Observaciones:

Licda. Mayra García de Vela
 Jefe de Laboratorio



Prohibida la reproducción total o parcial sin la aprobación de la jefatura del laboratorio, los resultados corresponden a la muestra analizada, cualquier queja deberá presentarse en los siguientes 30 días

Alameda Roosevelt, Edificio Dr. Max Bloch, frente a Parque Cuscatlan Telefax: 2271-1316 - 2205-1611



MINISTERIO DE SALUD

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS Y TOXICOLOGIA
INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS
MICROBIOLOGICOS DE AGUA PARTICULAR PAGADA (F-REP-52)

NUMERO: 10

ESTABLECIMIENTO: Unidad de Aseguramiento de La Calidad
FECHA DE RECOLECCION: 09/02/17
HORA DE TOMA DE MUESTRA: 08:45
FECHA DE INGRESO: 09/02/17
FECHA DE ANALISIS: 09-13/02/17
FECHA DE REPORTE: 13/02/17
MUESTRA ENVIADA POR: Lic. Guillermo Emilio Alvarenga Marroquín
PRESENTACION DE MUESTRA: -----
DIRECCION DE TOMA DE MUESTRA: San Salvador, Laboratorio Central Dr. Max Bloch, "Desionizador"
DEPARTAMENTO: San Salvador

DETERMINACIONES	RESULTADO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE*
Bacterias Coliformes Totales** APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 9221-B. 22nd Edition. 2012.	<1.1 NMP/100mL	<1.1 NMP/100 mL
Bacterias Coliformes Fecales** APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 9221-E. 22nd Edition. 2012.	<1.1 NMP/100mL	<1.1 NMP/100 mL
Escherichia coli** APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 9221-F. 22nd Edition. 2012.	Ausencia	Ausencia
Recuento de bacterias aerobias, heterótrofas mesófilas** APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 9215-A y 9215-B. 22nd Edition. 2012.	>3000 UFC/mL	100 UFC/mL
Organismos patógenos Método Modificado y Validado en el Laboratorio basado en APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 9213-F. 22nd Edition. 2012.	Ausencia	Ausencia

*Valor de acuerdo a la Norma Salvadoreña Agua, Agua Potable NSO 13.07.01:08 (Segunda Actualización)

**Determinaciones Acreditadas bajo Norma NTS ISO/IEC 17025:2005

Observaciones:

Licda. Maira García de Vela
Jefe de Laboratorio



Prohibida la reproducción total o parcial sin la aprobación de la jefatura del laboratorio, los resultados corresponden a la muestra analizada, cualquier queja deberá presentarse en los siguientes 30 días.

Alameda Roosevelt, Edificio Dr. Max Bloch, frente a Parque Cuscatlan Telefax: 2271-1316 - 2205-1611

lunes, 13 de febrero de 2017

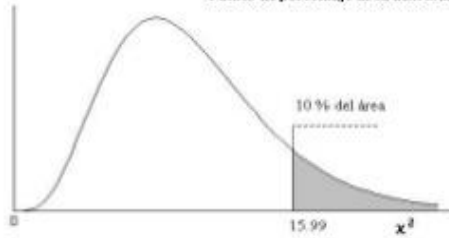
N°	Tipo de parámetro	Determinaciones	Límite máximo permisible por NSO 13.07.01:08	Resultados									
				Inicio de prueba		Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
				Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)
1	Físico-químico	pH	6.0-8.5	4.55	5.3	9.86	6.57	9.55	5.66	9.48	5.96	9.62	6.46
2		Olor	NR	Rechazable	NR	Rechazable	NR	NR	NR	Rechazable	NR	Rechazable	NR
3		Color verdadero	15 mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4		Turbidez	5 UNT	<0.07	1.24	<0.07	0.8	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
5		Temperatura	NR °C	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
6		Sólidos totales disueltos	1000 mg/L	174.5	<12	19	16	<12	<12	<12	<12	<12	<12
7		Hierro total	0.3 mg/L	0.16	<0.02	0.04	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.08	0.02
8		Manganeso	0.1 mg/L	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02
9		Dureza total (CaCO ₃)	500 mg/L	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66
10		Sulfatos	400 mg/L	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
11		Nitratos	45 mg/L	<0.28	0.78	<0.28	<0.28	<0.28	0.36	<0.28	<0.28	<0.28	<0.28
12		Fluoruros	1 mg/L	0	0	0	0	0	0	0.05	0.05	0.05	0.05
13		Cloro residual	0.3-1.1 mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Traza de metales	Cobre	1.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	
15		Cadmio	0.003 mg/L	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	
16		Zinc	5 mg/L	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	
17		Cromo	0.05 mg/L	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	
18		Níquel	0.02 mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	
19		Sodio	200 mg/L	5.08	3.3	4.14	2.58	1.17	0.53	13.57	11.36	12.43	12.23
20		Plomo	0.01 mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	
21	Arsénico	0.01 mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.005	<0.002	<0.002	<0.002		
22	Microbiológicos	Bacterias Coliformes totales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	8.0	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	
23		Bacterias Coliformes fecales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	
24		<i>Escherichia coli</i>	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	
25		Recuento de bacterias aerobias, heterótrofas mesófilas	100 UFC/mL	>3,000	>3,000	160	>3,000	>3,000	>3,000	>3,000	>3,000	>3,000	
26		Organismos patógenos	Ausencia	Ausencia	<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	

Nº	Tipo de parametro	Determinaciones	Límite máximo permisible por NSO 13.07.01:08	Resultados					
				Mes 1		Mes 2		Mes 3	
				Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)	Agua desionizada	Agua de Lecho mixto (Equivalente a ultrapura)
1	Físico-químico	pH	6.0-8.5	9.62	6.46	9.81	4.91	10.09	5.93
2		Olor	NR	Rechazable	NR	Rechazable	NR	Rechazable	NR
3		Color verdadero	15 mg/L	0	0	0	0	0	0
4		Turbidez	5 UNT	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
5		Temperatura	NR °C	27	27	27	27	27	27
6		Sólidos totales disueltos	1000 mg/L	<12	<12	17.5	<12	<12	<12
7		Hierro total	0.3 mg/L	0.08	0.02	0.1	0.03	0.19	0.19
8		Manganeso	0.1 mg/L	0.03	<0.02	0.21	0.22	0.08	0.08
9		Dureza total (CaCO ₃)	500 mg/L	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66	<9.66
10		Sulfatos	400 mg/L	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00	<5.00
11		Nitratos	45 mg/L	<0.28	<0.28	<0.28	2.38	<0.28	<0.28
12		Fluoruros	1 mg/L	0.05	0.05	0	0.05	0	0
13		Cloro residual	0.3-1.1 mg/L	0	0	0	0	0	0
14	Traza de metales	Cobre	1.3 mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02	<0.02
15		Cadmio	0.003 mg/L	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007	<0.00007
16		Zinc	5 mg/L	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16	<0.16
17		Cromo	0.05 mg/L	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017	<0.0017
18		Níquel	0.02 mg/L	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
19		Sodio	200 mg/L	12.43	12.23	5.68	5.19	0.67	<1.12
20		Plomo	0.01 mg/L	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
21	Arsénico	0.01 mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
22	Microbiológicos	Bacterias Coliformes totales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
23		Bacterias Coliformes fecales	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
24		<i>Escherichia coli</i>	<1.1 NMP/100 mL	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
25		Recuento de bacterias aerobias, heterótrofas mesófilas	100 UFC/mL	>3,000	>3,000	490	>3,000	87	86
26		Organismos patógenos	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Anexo 13. Tabla para el cálculo de la distribución Chi-cuadrado χ^2 .

TABLA 3: DISTRIBUCIÓN χ^2

Puntos de porcentaje de la distribución χ^2




Ejemplo:
 Para $\phi = 10$ grados de libertad
 $P[\chi^2 > 15.99] = 0.10$

$\phi \backslash \pi$	0.995	0.99	0.975	0.95	0.9	0.75	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	$\pi \backslash \phi$
1	3.93E-05	1.57E-04	9.82E-04	3.93E-03	1.58E-02	0.102	0.455	1.323	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88	1
2	1.00E-02	2.01E-02	5.06E-02	0.103	0.211	0.575	1.386	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60	2
3	7.17E-02	0.115	0.216	0.352	0.584	1.213	2.37	4.11	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84	3
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	1.923	3.36	5.39	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86	4
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	2.67	4.35	6.63	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75	5
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.20	3.45	5.35	7.84	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55	6
7	0.989	1.239	1.690	2.17	2.83	4.25	6.35	9.04	12.02	14.07	16.01	18.48	20.3	7
8	1.344	1.647	2.18	2.73	3.49	5.07	7.34	10.22	13.36	15.51	17.53	20.1	22.0	8
9	1.735	2.09	2.70	3.33	4.17	5.90	8.34	11.39	14.68	16.92	19.02	21.7	23.6	9
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	6.74	9.34	12.55	15.99	18.31	20.5	23.2	25.2	10
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	7.58	10.34	13.70	17.28	19.68	21.9	24.7	26.8	11
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	8.44	11.34	14.85	18.55	21.0	23.3	26.2	28.3	12
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	9.30	12.34	15.98	19.81	22.4	24.7	27.7	29.8	13
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	10.17	13.34	17.12	21.1	23.7	26.1	29.1	31.3	14
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	11.04	14.34	18.25	22.3	25.0	27.5	30.6	32.8	15
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	11.91	15.34	19.37	23.5	26.3	28.8	32.0	34.3	16
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	12.79	16.34	20.5	24.8	27.6	30.2	33.4	35.7	17
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	13.68	17.34	21.6	26.0	28.9	31.5	34.8	37.2	18
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	14.56	18.34	22.7	27.2	30.1	32.9	36.2	38.6	19
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	15.45	19.34	23.8	28.4	31.4	34.2	37.6	40.0	20
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	16.34	20.3	24.9	29.6	32.7	35.5	38.9	41.4	21
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	17.24	21.3	26.0	30.8	33.9	36.8	40.3	42.8	22
23	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	18.14	22.3	27.1	32.0	35.2	38.1	41.6	44.2	23
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	19.04	23.3	28.2	33.2	36.4	39.4	43.0	45.6	24
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	19.94	24.3	29.3	34.4	37.7	40.6	44.3	46.9	25
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	20.8	25.3	30.4	35.6	38.9	41.9	45.6	48.3	26
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	21.7	26.3	31.5	36.7	40.1	43.2	47.0	49.6	27
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	22.7	27.3	32.6	37.9	41.3	44.5	48.3	51.0	28
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	23.6	28.3	33.7	39.1	42.6	45.7	49.6	52.3	29
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.6	24.5	29.3	34.8	40.3	43.8	47.0	50.9	53.7	30
40	20.7	22.2	24.4	26.5	29.1	33.7	39.3	45.6	51.8	55.8	59.3	63.7	66.8	40
50	28.0	29.7	32.4	34.8	37.7	42.9	49.3	56.3	63.2	67.5	71.4	76.2	79.5	50
60	35.5	37.5	40.5	43.2	46.5	52.3	59.3	67.0	74.4	79.1	83.3	88.4	92.0	60
70	43.3	45.4	48.8	51.7	55.3	61.7	69.3	77.6	85.5	90.5	95.0	100.4	104.2	70
80	51.2	53.5	57.2	60.4	64.3	71.1	79.3	88.1	96.6	101.9	106.6	112.3	116.3	80
90	59.2	61.8	65.6	69.1	73.3	80.6	89.3	98.6	107.6	113.1	118.1	124.1	128.3	90
100	67.3	70.1	74.2	77.9	82.4	90.1	99.3	109.1	118.5	124.3	129.6	135.8	140.2	100
Z_{α}	-2.58	-2.33	-1.96	-1.64	-1.28	-0.674	0.000	0.674	1.282	1.645	1.96	2.33	2.58	Z_{α}

Para $\phi > 100$ tómese $\chi^2 = \chi^2_1(Z_{\alpha} + \sqrt{2\phi - 1})^2$. Z_{α} es la desviación normal estandarizada correspondiente al nivel de significancia y se muestra en la parte superior de la tabla.

Anexo 14. Listado del personal de laboratorio que asistió al primer taller de sensibilización y capacitación en el uso racional del agua y del sistema reestructurado.

Laboratorio de Control de Calidad	No. PRCE - F03-Nº14	Página 1 de 1
	Registro de capacitación	

REGISTRO DE CAPACITACIÓN

Nombre de La Capacitación: Sistema Purificador de agua a base de una resina de lecho mixto para mejorar la eficiencia en el uso del agua en el Laboratorio Control de Calidad del MINSAL.

Fecha: 26/05/2017 Expositor: Lic. Guillermo Emilio Alvarenga Marroquín

Objetivos: Sensibilizar y capacitar al personal del Laboratorio Control de Calidad en el Uso Racional del Agua y del Sistema Reestructurado.

Lugar: Laboratorio Control de Calidad

Asistentes

NOMBRE	CARGO
<i>Joranda Elena Martínez H.</i>	<i>Coordinadora Feo - Uco.</i>
<i>Don Francisco Umaña de Aguila</i>	<i>Coordinadora de Microbiología</i>
<i>Milva Alicia Miranda Plamenco</i>	<i>Coordinadora Área de calidad</i>
<i>Dinorah A de Molina</i>	<i>Jefe del Control de Calidad</i>
<i>Fredy Yanez Contreras</i>	<i>Coordinadora Inspección.</i>


Observaciones:

Responsable del Programa de Capacitación:



Dinorah Arteaga de Molina
 Licda. Dinorah Arteaga de Molina
 Jefe de Laboratorio de Control de Calidad

Anexo 15. Listado del personal de laboratorio que asistió al segundo taller de sensibilización y capacitación en el uso racional del agua y del sistema reestructurado.

Laboratorio de Control de Calidad	No. PRCE - F03-N°15	Página 1 de 1
	Registro de capacitación	

REGISTRO DE CAPACITACIÓN

Nombre de La Capacitación: Sistema Purificador de agua a base de una resina de lecho mixto para mejorar la eficiencia en el uso del agua en el Laboratorio Control de Calidad del MINSAL.

Fecha: 26/05/2017 Expositor: Lic. Guillermo Emilio Alvarenga Marroquín

Objetivos: Sensibilizar y capacitar al personal del Laboratorio Control de Calidad en el Uso Racional del Agua y del Sistema Reestructurado.

Lugar: Laboratorio Control de Calidad

Asistentes

NOMBRE	CARGO
<u>GLORIA ESTELA RAMÍREZ DE GANUZA</u>	<u>ANALISTA DE PBA F. Q.</u>
<u>Cecilia Hernández de Jarque</u>	<u>Analista PBA FQ (Q)</u>
<u>Ana Mercedes Tenas de Penabaz</u>	<u>Asesista PBA Q.</u>
<u>Claudia L. Manda</u>	<u>analista microbiología</u>
<u>JUAN CARLOS UMAÑA</u>	<u>ANALISTA FQ-QC</u>
<u>Ricardo Gilberto Campos</u>	<u>Químico a sueldo PBA</u>
<u>Alicia de Bolaños</u>	<u>Analista PBA-QC</u>
<u>Mirna Hays Wendy Flaminio</u>	<u>Coordinadora área de calidad</u>
<u>Maria Elena Martínez</u>	<u>Coord. PBA-QC</u>
<u>Madeira Elizabeth Dula</u>	<u>Tec. laboratorio</u>
<u>Reynaldo Alvarenga</u>	<u>Analista PBA-QC</u>
<u>Gen Francisca Umaña de Aguilera</u>	<u>coordinadora de Microbiología</u>

Observaciones:

Responsable del Programa de Capacitación:



Dinorah Arteaga de Molina
Licda. Dinorah Arteaga de Molina
Jefe de Laboratorio de Control de Calidad