



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE UN MÓDULO DE ULTRAFILTRACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE RECHAZO DE UN SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Oscar Jubert Ascue Alejos

Asesor:

Dr. Juan Taumaturgo Medina Collana

Lima - Perú

2019

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a mis padres, Edgar Ascue y Georgina Alejos, quienes con su amor, paciencia y apoyo incondicional me han permitido culminar satisfactoriamente con mi etapa universitaria.

También, a las personas que me acompañaron y aportaron a mi formación profesional y personal.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expreso mi gratitud a Dios por guiar mi camino y por permitirme culminar con
mi objetivo.

En segundo lugar, quiero agradecer a mis padres, quienes son mi motor y motivo para seguir
creciendo profesionalmente.

También, deseo manifestarle mi agradecimiento a mi señorita enamorada, por acompañarme y
brindarme su apoyo en mi formación académica.

Finalmente, quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Juan Medina, quien me brindó
su experiencia, conocimiento y motivación, para la culminación del presente trabajo.

Contenido

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Realidad problemática	2
1.2. Formulación del problema.....	18
1.3. Objetivos.....	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Hipótesis	19
1.4.1. Hipótesis general	19
1.4.2. Hipótesis específicas	19
1.5. Antecedentes.....	5
1.6. Bases Teóricas	8
1.6.1. Parámetros de Operación.....	8
1.6.2. Parámetros Organolépticos.....	9

1.6.3.	Parámetros microbiológicos	12
1.6.4.	Ecuaciones básicas	13
1.6.5.	Flux.....	15
1.7.	Definición de Términos	15
1.7.1.	Bacteria.....	15
1.7.2.	Efluente	15
1.7.3.	Presión Osmótica.....	16
1.7.4.	Membranas	16
1.7.5.	Peso Molecular	16
1.7.6.	Parámetros	17
1.7.7.	Ultrafiltración	17
CAPÍTULO 2.METODOLOGÍA		21
2.1.	Tipo de investigación.....	21
2.1.1.	Según el propósito: Aplicada	21
2.1.2.	Según el diseño de investigación: Cuasi-experimental	21
2.2.	Población y muestra	21
2.2.1.	Población	21
2.2.2.	Muestra	21
2.3.	Materiales e instrumentos	23
2.3.1.	Materiales	23

2.3.2.	Instrumentos	23
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	23
2.4.1.	Método de análisis de datos.....	24
2.4.2.	Procedimiento de análisis de datos.....	28
2.5.	Procedimiento.....	32
2.5.1.	Descripción del módulo de ultrafiltración.....	32
2.5.2.	Alimentación del módulo de ultrafiltración	34
2.5.3.	Fase experimental.....	35
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....		37
3.1.	Comportamiento de la membrana de ultrafiltración.....	37
3.2.	Producción de agua permeada	37
3.3.	Resultado de Parámetros evaluados	39
3.3.1.	Organolépticos.....	40
3.3.2.	Microbiológicos.....	47
3.4.	Resultado de la prueba de hipótesis.....	50
3.4.1.	Hipótesis General	50
3.4.2.	Hipótesis Especificas.....	51
3.5.	Ecuaciones Básicas.....	64
3.5.1.	Porcentaje de recuperación.....	65
3.5.2.	Porcentaje de separación de sólidos (Turbidez)	68

3.5.3. Balance de masas.....	70
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....	74
4.1. Discusión	74
4.2. Conclusiones.....	79
REFERENCIAS.....	81
ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro evaluado.	27
Tabla 2 Producción de agua permeada según la variación de presiones.	38
Tabla 3 Parámetros de operación evaluados.....	40
Tabla 4 Resumen de procesamiento de casos para la hipótesis general.	50
Tabla 5 Estadística de fiabilidad de la hipótesis general.	51
Tabla 6 Prueba de normalidad para el pH.....	52
Tabla 7 Igualdad de varianzas y P-Valor para el pH.	52
Tabla 8 Prueba de normalidad para cloruros.	53
Tabla 9 Igualdad de varianzas y P-Valor para los cloruros.	54
Tabla 10 Prueba de normalidad para la turbiedad.	54
Tabla 11 Igualdad de varianzas y P-Valor para la turbiedad.	55
Tabla 12 Prueba de normalidad para la conductividad.....	56
Tabla 13 Igualdad de varianzas y P-Valor para la conductividad.	56
Tabla 14 Prueba de normalidad para los sólidos totales disueltos.....	57
Tabla 15 Igualdad de varianzas y P-Valor para los sólidos totales disueltos.	58
Tabla 16 Prueba de normalidad para la dureza total.....	58
Tabla 17 Igualdad de varianzas y P-Valor para la dureza total.	59
Tabla 18 Prueba de normalidad para bacterias coliformes totales.....	60
Tabla 19 Igualdad de varianzas y P-Valor para las bacterias coliformes totales.....	61
Tabla 20 Prueba de normalidad para le Echerichia Coli.....	62
Tabla 21 Igualdad de varianzas y P-Valor para la Echerichia Coli.	62

Tabla 22	Prueba de normalidad para bacterias coliformes termotolerantes.	63
Tabla 23	Igualdad de varianzas y P-Valor para las bacterias coliformes termotolerantes.	64
Tabla 24	Resultados del pH.	94
Tabla 25	Resultado de Cloruros.....	95
Tabla 26	Resultados de la turbidez.	96
Tabla 27	Resultados de la conductividad.....	97
Tabla 28	Resultados de los sólidos totales disueltos.	98
Tabla 29	Resultado de dureza total.....	99
Tabla 30	Resultados de Bacterias coliformes totales.....	100
Tabla 31	Resultados de Echerichia Coli.	101
Tabla 32	Resultados de Bacterias coliformes termotolerantes	102
Tabla 33	Fluxes de permeado y rechazo a diferentes presiones.	103
Tabla 34	Resultados de parámetros de operación a diferentes presiones	104
Tabla 35	Características principales del módulo de ultrafiltración	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Módulo de ultrafiltración.....	32
Figura 2. Esquema del proceso de un módulo de ultrafiltración.	33
Figura 3 Relación de la presión y el flujo de permeado	38
Figura 4 Relación de la presión y el flujo de rechazo.....	39
Figura 5. Variación del pH en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.	41
Figura 6. Variación del cloruro en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.....	42
Figura 7. Variación de la turbiedad en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.	43
Figura 8. Variación de la conductividad en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.....	44
Figura 9. Variación de los sólidos totales disueltos en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.....	45
Figura 10. Variación de la dureza total en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.....	46
Figura 11. Variación de bacterias coliformes totales en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.....	47
Figura 12. Variación de Echerichia Coli en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración. ...	48
Figura 13. Variación de Bacterias coliformes termotolerantes en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.....	49
Figura 14 Porcentaje de recuperación de agua.	67
Figura 15 Porcentaje de separación de turbidez	70
Figura 16. Matriz de consistencia	88
Figura 17. Materiales utilizados para la construcción de un módulo de ultrafiltración.....	89

Figura 18. Instrumentos usados para la evaluación de parámetros organolépticos y microbiológicos.....	90
Figura 19. Elección de la prueba estadística.....	91
Figura 20. Planta de osmosis inversa.....	91
Figura 21. Tanque de carbón activado.....	92
Figura 22. Tanque de resina.....	92
Figura 23. Membrana de osmosis inversa.....	93
Figura 24. Lámpara ultravioleta.....	93
Figura 25 Fluxes de permeado y rechazo	103

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general evaluar de los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo que proviene de un sistema de osmosis inversa.

Se ha construido un módulo de ultrafiltración a nivel piloto utilizando un tanque de almacenamiento de 250 L, membrana de ultrafiltración en espiral SpiraSep BM-90 de 0,05 μm de porosidad, lámpara de rayos ultravioleta de 235,7 nm de 30 W para asegurar la desinfección microbiológica y evaluado los parámetros de operación como presión, flujo y concentración de agua de rechazo. Así mismo, se ha cuantificado la turbidez, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, cloruros, dureza total, bacterias coliformes totales, echerichia coli y bacterias coliformes termotolerantes en el agua producida.

Los parámetros de operación más adecuados son: la presión de 3 psi, flujo de 5 L/min. Obteniendo agua producto cuyas características físico químicas se encuentren por debajo de los LMP establecidos según D.S 031-2010 SA y la desinfección de los parámetros microbiológicos fueron excelentes, ya que se eliminó el 100% de los microorganismos presentes al inicio del trabajo de investigación.

Palabras clave: Ultrafiltración, osmosis inversa, agua potable

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El progresivo aumento demográfico a nivel mundial es un factor que aumenta constantemente con el pasar de los años, por este motivo el volumen de agua usado en los hogares, centros de estudio, centros de salud, etc. incrementa potencialmente, por otro lado, los procesos industriales que se desarrollan en distintos sectores son uno de los motivos por el cual el impacto ambiental aumenta con el pasar de los tiempos. (Alventosa de Lara, 2015, pág. 25) sostiene que “Cada individuo consume y desecha un elevado número de productos diariamente, por lo que el impacto ambiental aumenta además con el crecimiento de la población”. El impacto ambiental es negativo y significativo con el pasar del tiempo, cuyo problema se encuentra en constante crecimiento. Según informe de (Veneman, 2006; citado por (Pérez Fernández, 2017, pág. 4)): “Cada año mueren 1,5 millones de niños y niñas por consumo de agua no apta, más de 1000 millones de personas carecen de agua potable y 2600 millones tienen servicios básicos deficientes”. Para el año 2050, entre 2 y 7 mil millones de personas serán las que sufran por escasez de agua y suministro inadecuado de agua potabilizada, debido al rápido crecimiento poblacional e industrial, son algunas de las principales razones según (Singh, 2014, pág. 81).

El agua es fundamental y vital para todo ser vivo, el cual debe de contar con exigencias de calidad, continuidad en el suministro y control sanitario, ya que es un bien renovable, único e irremplazable entre nuestros recursos naturales (Pérez Fernández, 2017, pág. 5). “Los tres grandes sectores de consumo humano en el mundo son la agricultura (70%), industria (19%) y uso doméstico (11%)” (Hernandez Navarro, 2015, pág. 7). La calidad del recurso hídrico va a

depender básicamente de la calidad del agua de donde se capte el efluente a tratar, así mismo del método de tratamiento y de las alteraciones que pueda sufrir en el abastecimiento (Álvarez Arroyo, 2017, pág. 22).

Por otro lado, como indica (Lluís Berdonces, 2008, pág. 69) “Cada vez es más difícil encontrar un agua realmente natural”, muchas urbanizaciones y/o compañías utilizan el agua y lo vierten por la alcantarilla. Hoy en día en la sociedad es indispensable desarrollar técnicas de tratamiento para agua potable, ya que por lo contrario podrían producirse problemas epidémicos (Lluís Berdonces, 2008).

(Pérez Fernández, 2017, pág. 5) señala que, “en los últimos años se está promoviendo suplir el suministro de agua dulce con agua proveniente de diferentes tecnologías para satisfacer la demanda de agua creciente causada por el crecimiento de la población mundial, desarrollo de la agricultura e industrialización”. Muchas industrias tienen un inadecuado manejo de este recurso natural, sabiendo que “el agua es uno de los bienes más importantes y escasos que tienen las personas alrededor del mundo” (MINSA, 2011, pág. 8).

Una de las alternativas que se está utilizando y está adquiriendo mucho interés en procesos industriales es el uso de membranas. (Alventosa de Lara, 2015, pág. 34) señala que, “Actualmente las tecnologías de membrana están reconocidas como los métodos más prometedores para la reutilización y reciclaje”, este método, principalmente restringe el paso a determinadas sustancias y especies, es una barrera que selecciona el producto o agua permeada y el rechazo, este último es

el volumen de agua que no penetra a la membrana junto a sustancias de mayor tamaño que la membrana. La tecnología de membranas es método muy favorable, ya que rechaza agentes microbianos y químicos, puesto que la membrana se desempeña como un filtro de desinfección física (Álvarez Arroyo, 2017, pág. 29). (Solís, Vélez, & Ramírez Navas, 2017, pág. 26) sostiene que, “La tecnología de membranas (TM) es un método de filtración de solutos disueltos en un fluido, cuyo fundamento es la separación por la diferencia de los pesos moleculares y el tamaño de partícula”.

Muchas empresas no tienen un control respecto al vertimiento de efluentes a cuerpos de agua o alcantarilla, ni mucho menos tienen un tratamiento de aguas previo al vertimiento, algunas empresas y municipalidades distritales tratan el agua residual para agua de riego. Por lo general una planta de tratamiento convencional demuestra deficiencias en la remoción de sustancias microbiológicas, están establecidos en lugares alejados de la ciudad y necesita de un área lo suficientemente grande para su construcción. Es por esto que se realiza una evaluación y optimización de tratamientos más eficientes, de modo de optar por nuevas tecnologías.

En la empresa Tecnología de Membranas se está desperdiciando 400 litros de agua por semana, empresa que no está desarrollando un método de reutilización de agua residual, el efluente es vertido a la alcantarilla, motivo por el cual en la presente investigación se está desarrollando la tecnología de ultrafiltración con la finalidad de producir agua potable y evitar el impacto que pueda ocasionar el efluente vertido hacia la alcantarilla.

1.1.1 Antecedentes

La tesis titulada “Optimización de parámetros de operación en procesos de ultrafiltración para la eliminación de materia orgánica en la regeneración de aguas de proceso de una industria papelera” publicada por (Pérez Fernández, 2017), en la Universidad Politécnica de Valencia; sostiene que la capacidad que tiene la membrana para filtrar es de una alta capacidad de obtención de flux (L/m².h) y con rangos de rechazo de DQO (>50%) y turbidez (95-99,8%) dentro de los rangos que ofrecen las tecnologías de membranas en la actualidad. El rechazo de DQO en los rangos de 50% es coherente con las membranas hoy en día por la presencia de materia coloidal que no puede ser eliminada en su totalidad por la membrana del corte molecular utilizado en este trabajo.

El estudio titulado “Tratamiento de efluentes acuosos provenientes de la industria de biodiesel, utilizando tecnología de membranas” publicado por (Firman, Ochoa, Marchese, & Pagliero, 2017), en la revista *Revistamateria*, sostiene que la presente investigación se realizó la caracterización de alimentación y permeado, obteniendo que la membrana retiene entre el 89-100% de aceite y grasas, 20-40% de demanda química de oxígeno, pero sin embargo el pH y sólidos solubles totales se mantuvieron inalterables, dicha información nos brinda un panorama más amplio sobre la eficacia del uso de un sistema de membranas, por lo que actualmente se está usando como una gran alternativa para el tratamiento de efluentes.

La tesis titulada “Propuesta de dimensionamiento de un sistema de ultrafiltración, para tratar agua permeada almacenada” publicado por (Suarez Ramirez, 2016), en la Fundación universidad de américa – Colombia; afirma que la membrana más adecuada para la implementación del sistema de ultrafiltración son las membranas fabricadas con polietersulfona PES, las cuales proporcionan gran estabilidad y resistencia química. Brinda buenas propiedades anti-incrustantes por lo que brinda, no solo un buen funcionamiento del sistema, sino también un ahorro en la implementación de un anti-incrustante. Adicionalmente al usar una configuración hollow fiber, permite tener un flujo más uniforme y con mayor retención de sólidos.

La tesis titulada “Ultrafiltración de efluentes de la industria textil. Estudio de los parámetros de operación y mecanismos de ensuciamiento” publicado por (Alventosa de Lara, 2015), en la Universidad Politécnica de Valencia; afirma que obtuvieron un permeado libre de color y materia orgánica y rico en sal, apto para su reutilización en los procesos textiles, dando a conocer también que; la presencia de NaCl en el alimento empeora la eficiencia del proceso de UF, ocasionando un mayor grado de ensuciamiento y descenso de flux y una disminución del rechazo de colorante y la presencia de materia orgánica en el efluente (como almidón y CMC) acentúa el ensuciamiento de la membrana, de carácter principalmente irreversible, y disminuye la productividad del proceso de UF. Lo mencionado nos permite conocer las principales causas del ensuciamiento de la membrana, lo cual tendremos que hacer un pretratamiento para evitar la acumulación de material particulado, de tal manera que el ensuciamiento sea de menor concentración y no tengamos que realizar el lavado de la membrana frecuentemente.

La investigación titulada “Optimización del proceso de ultrafiltración de efluentes de una industria de cereales” publicado por (Escobar Jiménez, Muro Urista, & Castellanos Estupiñan, 2011), en la Universidad Autónoma del Estado de México, menciona que, con respecto a la calidad del agua filtrada, la DQO disminuyó considerablemente en un 96%, se eliminaron los colorantes en un 99% y se eliminaron las sales. Asegurando con estos resultados, el buen funcionamiento de la membrana en un periodo de tiempo mayor para recuperar agua de la reutilización.

La tesis titulada “Remoción de micro organismos patógenos utilizando polímeros como mecanismo de ultrafiltración en aguas de origen doméstico” publicado por (Alegre Lizardi, 2009), en el Instituto Politécnico Nacional – México; manifiesta que la membrana de poliacrilonitrilo en un sistema de ultrafiltración cumple con los límites máximos permisibles de contaminantes que señala la normativa vigente para agua de reúso en servicio público (NOM-003-SEMARNAT – 1997).

La tesis titulada “Potabilización de aguas superficiales mediante el proceso de ultrafiltración con membranas arrolladas en espiral” publicado por (Rojas Vargas, 2008), en la Universidad de Granada – España; afirma que la capacidad de desinfección de la membrana fue excepcional, con una eliminación del 100% para los indicadores de la contaminación fecal: Coliformes fecales, E. Coli, Enterococos fecales, *Clostridium perfringens* y colifagos somáticos. Esta calidad ha permanecido inalterable a lo largo de toda la experimentación.

1.1.2 Bases Teóricas

1.1.2.1 Parámetros de Operación

Los parámetros de operación son establecidos según el comportamiento y uso de un equipo de sistema de membranas, en la presente investigación se establece como parámetros de operación a la presión, flujo y concentración.

- *Flujo*

El flujo es un indicador que permite conocer el volumen de agua producida por un sistema de membrana, se mide mediante un flujómetro, el cual indica en unidades litros por minutos o galones por minuto el volumen de producción, en el caso de este trabajo de investigación los flujómetros nos ha permitido conocer el volumen de agua producida y volumen de agua rechazada.

- *Presión*

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (libras por pulgada cuadrada) (Tonato Tualumbo, 2010, pág. 22).

La presión indica la fuerza con la que un fluido pasa por una tubería, generalmente, se trabaja con la unidad de PSI, el instrumento con el cual se emplea es el manómetro, el rango del manómetro que se utilizó en esta investigación es de 0 a 50PSI, permitiendo conocer la presión en distintas fases del módulo de ultrafiltración.

1.1.3 Parámetros Organolépticos

- *pH*

Es un parámetro de puede ser medido insitu o en un laboratorio, es básico y sirve para determinar la acidez o basicidad de un afluente. Se considera que un agua que tiene menos de 6 en pH es agresiva y corrosiva para los metales (Vargas, 2004, págs. 42-43).

El pH durante el proceso puede incrementarse para aguas residuales acidas, efecto atribuido a la generación de hidrógeno molecular que se origina en el cátodo (Gómez Polanco & Martínez Valeriano, 2013, pág. 15).

El pH es un parámetro muy importante que se debe ser analizados en el agua potable, “debido a que este parámetro puede influir en varias operaciones o proceso unitarios de tipo químico en una línea de agua potable” (Rojas Vargas, 2008, pág. 138).

“Como el potencial de un electrodo sencillo no puede medirse directamente, el par de electrodos de la célula consiste en un electrodo de referencia que mantiene un potencial constante y un electrodo indicador, cuyo potencial depende de la composición de la solución electrolítica” (Londoño Carvajal, Giraldo Gomez, & Gutierrez Gallego, 2010, pág. 58).

- ***Cloruros***

“Indican la presencia de sales en los cuerpos de agua y con esto se puede explicar exposición a aguas residuales o intrusión salina” ((Bartram y Ballance, 2011, citado por (Díaz Bautista & Sarmiento Andújar, 2018, pág. 6)).

- ***Turbiedad***

“La turbiedad en un efluente que se forma por partículas que forman los sistemas coloidales, se puede visualizar la transparencia u opacidad del agua y tener un idea de cuan turbia es el efluente” (Vargas, 2004, pág. 5).

Por otro lado el autor (OMS, 2006, citado por (Díaz Bautista & Sarmiento Andújar, 2018, pág. 8)), manifiesta que la turbidez “refleja la presencia de partículas de materia o suspensión de sedimentos. Estas partículas pueden proteger a los microorganismos de acciones como la desinfección provocando que proliferen las bacterias”

- ***Conductividad***

“La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para conducir corriente eléctrica, la cual depende de la concentración de iones y naturaleza de estos” (Martin Pascual, 2014, pág. 63).

“La conductividad representa la concentración de sales en aguas naturales, permite describir las variaciones de los sólidos disueltos en las descargas, facilita el trabajo de laboratorio, pues se emplea para calcular diluciones y controlar la calidad de otras pruebas; en la industria se emplea para conocer el grado de corrosión del agua de calderas y la eficiencia de los suavizadores” (Londoño Carvajal, Giraldo Gomez, & Gutierrez Gallego, 2010, pág. 54).

- ***Sólidos Totales Disueltos***

Son la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua, está incluido los sólidos en suspensión y cualquier elemento presente en el agua. Los sólidos en suspensión son partículas o sustancias que ni se disuelven ni se asientan en el agua, como la como pulpa de madera (Panachlor).

Los sólidos son todas las sustancias que están presente en el agua, pueden presentarse de forma suspendida o disuelta. El sólido afecta al agua de diferentes formas, tales como, agua con alta concentración de solidos disueltos, estos son considerados de baja potabilidad y conllevan a inducir reacciones fisiológicas negativas al ser humano (Londoño Carvajal, Giraldo Gomez, & Gutierrez Gallego, 2010, pág. 47).

- ***Dureza Total***

El agua dura es la que contiene un alto nivel de minerales y posee cantidades variables de compuestos, en particular sales de magnesio y calcio. El alto contenido de estos minerales en los

efluentes causan la dureza del agua, a mayor concentración de sales mayor es el grado de dureza en un efluente (Rodríguez Zamora, 2009, pág. 129).

Se origina por contacto de agua con el suelo de formación rocosa y en áreas donde la capa del suelo es gruesa y hay calizas presentes, por esto refleja la naturaleza de las formaciones geológicas con las que ha tenido contacto (Londoño Carvajal, Giraldo Gomez, & Gutierrez Gallego, 2010, pág. 69).

1.1.4 Parámetros microbiológicos

- ***Bacterias Coliformes Totales***

“Las bacterias coliformes totales incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gram negativos y no esporulados capaces de crecer en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares que fermentan la lactosa y producen ácido o aldehído en 24 h a 35-37 °C” (Organismo Mundial de la Salud, 2011, pág. 342).

Son aquellas bacterias de morfología bacilar, los cuales pueden ser gram negativas, aerobias o anaerobias facultativas, son capaces de producir ácido y gas de 37°C en un tiempo de cuarenta y ocho horas (Lluch, 1983, pág. 7).

- ***Echerichia Coli***

E. coli son tan pequeños que no se pueden ver sin un microscopio, sin embargo, su crecimiento puede verse como colonias en medios de agar (como gelatina) en condiciones especiales (Ingerson y Reid, 2011 citado por (Rock & Rivera, 2014, pág. 1)).

- ***Bacterias Coliformes Termotolerantes***

El crecimiento de los coliformes termotolerantes se dan a partir de los 44,5 °C, temperatura que impide que los coliformes no tolerantes crezcan. Las bacterias coliformes termotolerantes son medidas mediante pruebas sencillas, de bajo costo y usadas ampliamente para la determinación de la calidad de agua (Vargas, 2004, págs. 91-92).

1.1.5 Ecuaciones básicas

- ***Porcentaje de recuperación (%R)***

Es la razón entre el flujo del permeado por el sistema de membrana (Q_P) y el flujo de agua de alimentación (Q_F). Mide la cantidad del flujo de alimentación que es recuperada como agua permeada y se expresa como un porcentaje del flujo de agua producida. Es calculada por la siguiente ecuación.

$$\% R = \frac{Q_P}{Q_F} \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

%R= Porcentaje de Recuperación

Q_P = Flujo del permeado

Q_F = Flujo de la alimentación

- ***Porcentaje de separación de sólidos (%S)***

Es la diferencia de la concentración de alimentación (C_F) y la concentración del permeado (C_P) dividido por la concentración de la alimentación. Indica el porcentaje de la concentración de

sólidos de la alimentación (C_F) que es rechazada por un sistema de membrana. El porcentaje de separación puede ser medido en la turbidez y es calculado mediante la siguiente fórmula.

$$\% S = \frac{C_F - C_P}{C_F} \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

%S= Porcentaje de separación de sólidos

C_P = Concentración del permeado

C_F = Concentración de la alimentación

- ***Balance de masas***

Según lo mencionado por (Deiana, Granados, & Sardella, 2018) el balance de masas es la contabilidad de masas que entran y salen en un proceso o en una parte de éste, es la aplicación de la ley de la conservación de la masa “La masa no se crea ni se destruye”.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C_F \times Q_F = (C_P \times Q_P) + (C_R \times Q_R) \quad (3)$$

Donde:

C_P = Concentración del permeado

C_R = Concentración del rechazo

C_F = Concentración de la alimentación

Q_P = Flujo del permeado

Q_R = Flujo del rechazo

Q_F = Flujo de la alimentación

- **Flux**

Es la cantidad de agua de permeado y rechazo que genera el sistema de ultrafiltración en unidades de litro por metro cuadrado en una hora (L/m²h), se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$J \left(\frac{L}{m^2h} \right) = \frac{Q_F}{A_m} \quad (4)$$

Donde:

J = Flux

Q_F = Flujo de la alimentación

A_m = Área de la membrana

1.1.6 Definición de Términos

- **Bacteria**

Organismo procariota, microscópico en tamaño, unicelulares, algunas veces forman colonias, principales descomponedores de materia orgánica junto a los hongos.

- **Efluente**

Agua que fluye en un reservorio, tanque o de una planta de tratamiento, quedando en este caso total o parcialmente tratada.

- **Presión Osmótica**

Presión generada por un líquido en base a su fuerza iónica, la cual es dependiente entre otros de la concentración de iones presentes en dicho líquido y de la temperatura.

- **Membranas**

Las membranas filtros físicas que cumplen el papel de barreras semipermeables que separan dos fases a un efluente, la primera llamada permeado y el siguiente rechazo. Las membranas permiten la separación de sustancias contaminantes presentes en el agua, obteniendo un efluente de calidad (Fernández et al., 2006, citado por (Espinoza Rodriguez, 2015)).

- **Peso Molecular**

Representa la masa relativa promedio de una molécula de una sustancia covalente. Se determina sumando los pesos atómicos de los elementos teniendo en cuenta el número de átomos de cada uno en la molécula.

- **Parámetros**

Se conoce como parámetro al dato que se considera como imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación. A partir de un parámetro, una cierta circunstancia puede comprenderse o ubicarse en perspectiva.

- **Ultrafiltración**

“Las membranas utilizadas en ultrafiltración son microporosas y se definen por su umbral de corte, es decir, la masa molecular máxima de las moléculas que pueden atravesarla” (Otero Fernández, 2017, pág. 335).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Formulación del problema general

- ¿Es posible evaluar de los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa?

1.2.2 Formulación de los problemas específicos

- ¿Es posible caracterizar los parámetros físico químicos y microbiológicos del agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa?
- ¿Es posible la evaluar la presión y el flujo de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa?
- ¿Es posible caracterizar los parámetros físico químicos y microbiológicos del agua producto obtenido de un sistema de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar parámetros físico químicos y microbiológicos del agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.
- Evaluar la presión y el flujo de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.
- Caracterizar parámetros físico químicos y microbiológicos del agua producto obtenido de un sistema de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

- Los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración influyen significativamente en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.

1.4.2 Hipótesis específicas

- La caracterización físico química y microbiológica del agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa influyen significativamente la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.

- La evaluación de la presión y el flujo de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de concentrado de osmosis inversa influyen significativamente la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.
- La caracterización físico química y microbiológica del agua producto obtenido de un sistema de ultrafiltración influyen significativamente la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.

2 METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

2.1.1 Según el propósito: Aplicada

Según (Carrasco Díaz, 2008) esta investigación tiene como propósito “desarrollar modificaciones en un determinado sector, con la finalidad de transformar y producir cambios en la realidad”.

2.1.2 Según el diseño de investigación: Pre-experimental

“Se denomina diseños pre-experimentales a aquellas investigaciones en la que su grado de control es mínimo” (Carrasco Díaz, 2008, pág. 63).

Como señala (Carrasco Díaz, 2008, pág. 64) “este diseño consiste en aplicar una prueba previa al estímulo o tratamiento experimental, para luego administrar el tratamiento, y después de ello, aplicar la prueba o medición posterior”

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población

Agua del rechazo o concentrado (250 L) de un módulo de Osmosis Inversa, el cual produce agua desionizada, en la empresa “Ingeniería de membranas” ubicada en el Distrito de Carabaylo.

2.2.2 Muestra

- Hipótesis General: $n = 10$ encuestados.
- Hipótesis Específica: $n = 10$ muestras por grupo.

2.2.2.1 Tipo de muestra: Simple o puntual

Según (Londoño Carvajal, Giraldo Gomez, & Gutierrez Gallego, 2010, pág. 26) una muestra puntual o simple “Es una muestra recogida en un lugar y un momento determinado. Este tipo de muestra se recolecta cuando se sabe que la fuente de la que proviene es bastante constante en su composición durante un período considerable”, con lo manifestado por el autor una muestra simple es representada por la composición de agua tomada en un mismo lugar con intervalos de tiempo.

2.2.2.2 Número de muestras

En la hipótesis general, el número de muestras es de 10 personas encuestadas.

En la hipótesis específica, el número de muestras que se analizaron es de 10 muestras para el pretest (grupo control) y 10 muestras para el posttest (grupo experimental), teniendo un total de 20 muestras por cada parámetro analizado.

2.2.2.3 Muestra de Grupo Control

Las muestras de grupo control son consideradas a aquellas muestras que son analizadas antes de pasar por un sistema de membranas; es decir, en el pretest.

2.2.2.4 Muestra de Grupo experimental

Las muestras de grupo experimental son consideradas a aquellas muestras que son analizadas después de pasar de un sistema de membranas; es decir, en el posttest.

2.2.2.5 Procedimientos de toma de muestras: Directamente

La toma de muestra se realiza en una botella o recipiente previamente desinfectada el cual se almacena en un cooler con gel refrigerante, para posteriormente ser transportado al laboratorio o que se utilice para las determinaciones “in situ” (Londoño Carvajal, Giraldo Gomez, & Gutierrez Gallego, 2010).

2.3 Materiales e instrumentos

2.3.1 Materiales

Para la elaboración de un módulo de ultrafiltración se necesitó la compra de los materiales mencionados en la figura 17 (ver anexo2).

2.3.2 Instrumentos

Para la evaluación de los parámetros organolépticos y microbiológicos se utilizaron los instrumentos mencionados en la figura 18 (ver anexo 3).

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Existen muchas formas de realizar pruebas analíticas, clasificadas en dos grupos, tales como: pruebas químicas y espectroscopias, la técnica a usar dependerá de la naturaleza de la muestra, como también, el tipo de caracterización, la exactitud de la medición, numero de muestras (Ruvalcaba Sil, 2013, pág. 281).

Para la hipótesis general se recolectaron datos mediante encuestas que permitiendo hallar la confiabilidad mediante el alfa de cronbach y la correlación que presentan los indicadores (flujo y presión).

2.4.1 Método de análisis de datos

Para la conservación y preservación de muestras de agua en función de los parámetros evaluados, se ha tenido en cuenta la Resolución Jefatural N° 010 – 2016 ANA.

La toma de muestra será desde un tubo de PVC, por el cual sale agua permeada y es llenado hacia un tanque de almacenamiento. Cabe mencionar que los procedimientos descritos líneas abajo están elaboradas según (Ortiz Varón, 2011) y (Lluch, 1983).

Para la realización de toma de muestra para todos los parámetros organolépticos evaluados se realizó lo siguiente: Se realizó el uso respectivo de guantes descartables. Seguidamente, se cogió un recipiente de vidrio, se retiró la tapa y contratapa sin tocar la superficie interna del frasco. Finalmente, se cogió el frasco por debajo del cuello y se puso en dirección opuesta al flujo de agua.

Respecto a los parámetros microbiológicos, en primer lugar, se realizó el uso respectivo de guantes descartables, se flameó la parte externa del tubo mediante la llama obtenida con un poco de algodón empapado de alcohol y sostenido con unas pinzas, seguidamente se dejó fluir el agua permeada por unos minutos, después, se cogió un recipiente de vidrio oscuro estéril de 250 ml y se destapó el frasco esterilizado sin tocar la boca del mismo ni el interior del tapón, posteriormente,

se llenó el frasco dejando una cámara de aire, durante el llenado se mantuvo el frasco inclinado a 45° para evitar la introducción de partículas externas y se tapó inmediatamente asegurando un cierre perfecto. Finalmente, la muestra se guardó en un cooler con hielo, evitando que el cooler contenga otros elementos propios del muestreo. Finalmente se trasladó lo más pronto posible al laboratorio.

2.4.1.1 Turbidez:

- Se cogió un frasco del turbidímetro y se llenó hasta la línea de punto límite. Seguidamente se cogió la muestra y se limpió la parte externa del vidrio con un papel muy suave, evitando dejar huellas o manchas en el frasco.
- Se homogenizó completamente la muestra y se colocó el frasco dentro del turbidímetro, finalmente se esperó que se estabilice y se tomó nota del valor evaluado.

2.4.1.2 Sólidos Totales disueltos:

- Se encendió el aparato y se esperó que se estabilice la lectura.
- Se lavó el electrodo con suficiente agua destilada y se secó cuidadosamente con papel muy suave.
- Se tomó un vaso precipitado de 50 ml y se sumergió el electrodo en la muestra.
- Se lavó el electrodo con suficiente agua destilada y se secó cuidadosamente con papel muy suave, evitando tocarla directamente con los dedos. Finalmente, se apagó el equipo.

2.4.1.3 Conductividad Eléctrica:

- Se encendió el aparato y se esperó que se establezca la lectura.
- Se lavó la celda conductimétrica con suficiente agua destilada y se secó cuidadosamente con papel muy suave.
- Se tomó un vaso precipitado de 50 ml y se sumergió la celda conductimétrica en la muestra cuidando que no entren burbujas dentro de esta.
- Se lavó la celda conductimétrica con suficiente agua destilada y se secó cuidadosamente con papel muy suave, evitando tocarla directamente con los dedos. Finalmente se apagó el equipo y se mantuvo la celda de conductividad seca y limpia.

2.4.1.4 Determinación del pH:

- El recipiente se mantuvo totalmente lleno (sin aire ni burbujas de aire en el interior).
- Se procedió a encender el pH-metro y se esperó a que se establezca la lectura.
- Se lavó el electrodo con suficiente agua destilada y se secó cuidadosamente con papel muy suave.
- Se llenó un vaso precipitado de 50 ml y se introdujo el electrodo y se esperó que la lectura se establezca.
- Se sacó el electrodo y se lavó cuidadosamente al terminar las mediciones de las muestras. Finalmente se tomó nota del resultado obtenido.

2.4.1.5 Dureza:

- Se encendió el equipo y se esperó que se establezca la lectura.
- Se cogió la muestra permitiendo ser llenada hasta el punto límite, seguidamente se limpió la parte externa con un papel muy suave, evitando dejar manchas o huellas en el sitio de paso de luz.
- Se colocó el frasco dentro del equipo y se evaluó la dureza. Finalmente, se apagó el equipo y se mantuvo seca y limpia.

Tabla 1.

Conservación y preservación de muestra de agua en función del parámetro evaluado.

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACION Y ALMACENAMIENTO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
Turbiedad	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> . Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	24 h
Sólidos Totales Disueltos	Plástico o vidrio		7 días
Conductividad Eléctrica	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	24 h
pH	Plástico o vidrio	Analizar preferentemente <i>in situ</i> .	24 h
Dureza	PE-HD o PTFE / PFA o FEP	Acidificar a pH 1-2 con HCl O HNO ₃ .	1 mes
Bacterias Coliformes Totales			
Echerichia Coli	Vidrio estéril	Dejar un espacio para aireación y mezcla de 1/3 del frasco de muestreo. Almacenar a $\leq 6^{\circ}\text{C}$ y en oscuridad.	24 h
Bacterias Coliformes Termotolerantes			

Fuente: (Autoridad Nacional del Agua, 2016)

En la tabla 1, se puede observar los parámetros que se han evaluado durante el trabajo de investigación, seguidamente del tipo de recipiente, condición de preservación y almacenamiento y por último el tiempo máximo de almacenamiento. Cabe mencionar que se ha seguido el proceso según la R.J N° 010 – 2016 ANA.

2.4.2 Procedimiento de análisis de datos

Se realizó mediante el programa estadístico IBM SPSS Statistics 24 para la determinación de prueba de hipótesis general y específica.

2.4.2.1 Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis general se realizará mediante encuestas, y se demostrará la correlación que tienen ambos indicadores de operación, flujo y presión, ya que estos son valores variables.

Las encuestas están dirigidas a técnicos e ingenieros conocedores de temas tales como: nanofiltración, microfiltración, ultrafiltración, osmosis inversa, electrocoagulación y electrodiálisis, personas que realizan trabajos de investigación en la empresa Ingeniería de Membranas. Las encuestas no fueron grupales, es decir las encuestas fueron realizado por separado, de manera que se las respuestas sean personales, evitando que no influya en el pensamiento de otra persona.

Por otro lado, las personas encuestadas fueron 10, a los cuales se les explicó de manera general el proceso del módulo de ultrafiltración, demostrándoles que los parámetros de operación, que

viene a ser el flujo y la presión, influyen significativamente en la calidad del agua. Además, se recalcó que cuanto menos agua produzca el equipo mayor calidad de agua se obtendrá, teniendo esto en cuenta, se realizó una prueba con el módulo de ultrafiltración, evaluando la turbidez, conductividad eléctrica y pH, como modo de prueba se realizó la medición de un pretest (antes de pasar por la membrana, agua de la alimentación) de los parámetros mencionados, posteriormente se realizó el análisis de una muestra del postest (después de pasar por la membrana, agua permeada), donde se demostró la eficacia del módulo de ultrafiltración y la influencia significativa de los parámetros de operación en la obtención de agua de calidad. Finalmente, después de lo demostrado, se procedió a repartir las encuestas y con los resultados obtenidos se determinó si los parámetros de operación guardan una relación en sí, realizando un análisis de confiabilidad hallando el valor de alfa de Cronbach, si es mayor a 0.7 quiere decir que es confiable.

La prueba de hipótesis específicas se desarrollará para determinar la validez de una aseveración realizada sobre la población basándose mediante evidencia muestral, para esto se debe considerar lo siguiente:

2.4.2.1.1 Redacción de la hipótesis

2.4.2.1.1.1 Hipótesis Nula (H_0)

Es el estado actual (lo que se cree hasta el momento), la que asegura que no hay diferencias significativas en la población. Es la hipótesis que no tiene efecto.

2.4.2.1.1.2 Hipótesis Alternativa (H_1)

Esta hipótesis es la opuesta a la hipótesis nula, representa una diferencia significativa en la población. Es la hipótesis que si tiene efecto.

2.4.2.1.2 Determinar α (nivel alfa)

Es el porcentaje de error que estamos dispuestos a correr en la realización de nuestra prueba estadística generalmente se utiliza un nivel alfa de 5% es decir 0,05.

2.4.2.1.3 Elección de la prueba estadística

Mediante la figura 19 (ver anexo 4) podremos determinar el tipo de variable fija y aleatoria, teniendo en cuenta que el diseño de investigación es pre experimental.

En este apartado, respecto a la variable fija es un estudio transversal con muestras independientes, ya que el análisis de resultados en el pretest y posttest se realizará en el mismo momento.

Por otro lado, la variable aleatoria es numérica, ya que los resultados son números enteros.

Finalmente, podemos concluir que la prueba estadística para esta investigación es determinar la T de Student para muestras independientes.

2.4.2.1.4 Lectura del P-Valor

Antes de determinar el P-Valor, debe corroborarse dos supuestos casos, si los datos son normales y si las varianzas son iguales estadísticamente, si esto cumple podremos determinar el P-Valor.

2.4.2.1.4.1 Normalidad

Es necesario ratificar que la variable aleatoria en ambos grupos se distribuye normalmente. Para ello se utiliza la prueba de kolmogorov-Smirnov K-S para muestras grandes (>30 muestras) o la prueba de Chapiro Wilk para muestras <30.

2.4.2.1.4.2 Igualdad de varianza

Para determinar la igualdad de varianza, en primer lugar, se tiene que determinar la prueba de Levene, el cual nos servirá como indicador para la toma de decisión del P-Valor.

2.4.2.1.4.3 Calcular P-Valor de la prueba

El P-Valor es la T de Student, el valor que indica si la diferencia de resultados es significativa o no.

2.4.2.1.5 Decisión estadística

El criterio para la toma de decisión es:

Si la probabilidad obtenida P-valor $\leq \alpha$, rechace H_0 (se acepta la H_1).

Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, NO rechace H_0 (se acepta la H_0).

2.5 Procedimiento

2.5.1 Descripción del módulo de ultrafiltración

El módulo de ultrafiltración está compuesto principalmente de una membrana de ultrafiltración en espiral SpiraSep M-90 con un tamaño de porosidad de 0,05 μm . El sistema está compuesto de material de acero inoxidable. La unidad requiere un espacio de aproximadamente de 1,5 m de alto, 0,45 m de ancho y 0,65 m de profundidad, sin considerar el tanque de almacenamiento. Los elementos del sistema son: un tanque de almacenamiento (0,8 m de altura x 0,6 m de diámetro, con un volumen total de 250 L), una bomba de agua de 0,5 hp de fuerza, un cartucho como pre-filtro de 10 micras, un pequeño tablero donde se puede observar tres manómetros y dos flujómetros y por último una lámpara ultravioleta. “La luz ultravioleta (UV) representa una banda de luz electromagnética en el rango de 100 a 400 nm. Es un proceso desinfectante no químico que utiliza un tiempo de contacto muy corto (<5 s)” (Singh, 2014). A continuación, se muestra el esquema del proceso de un módulo de ultrafiltración y foto del módulo de ultrafiltración en la figura 1 y figura 2.



Figura 1. Módulo de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

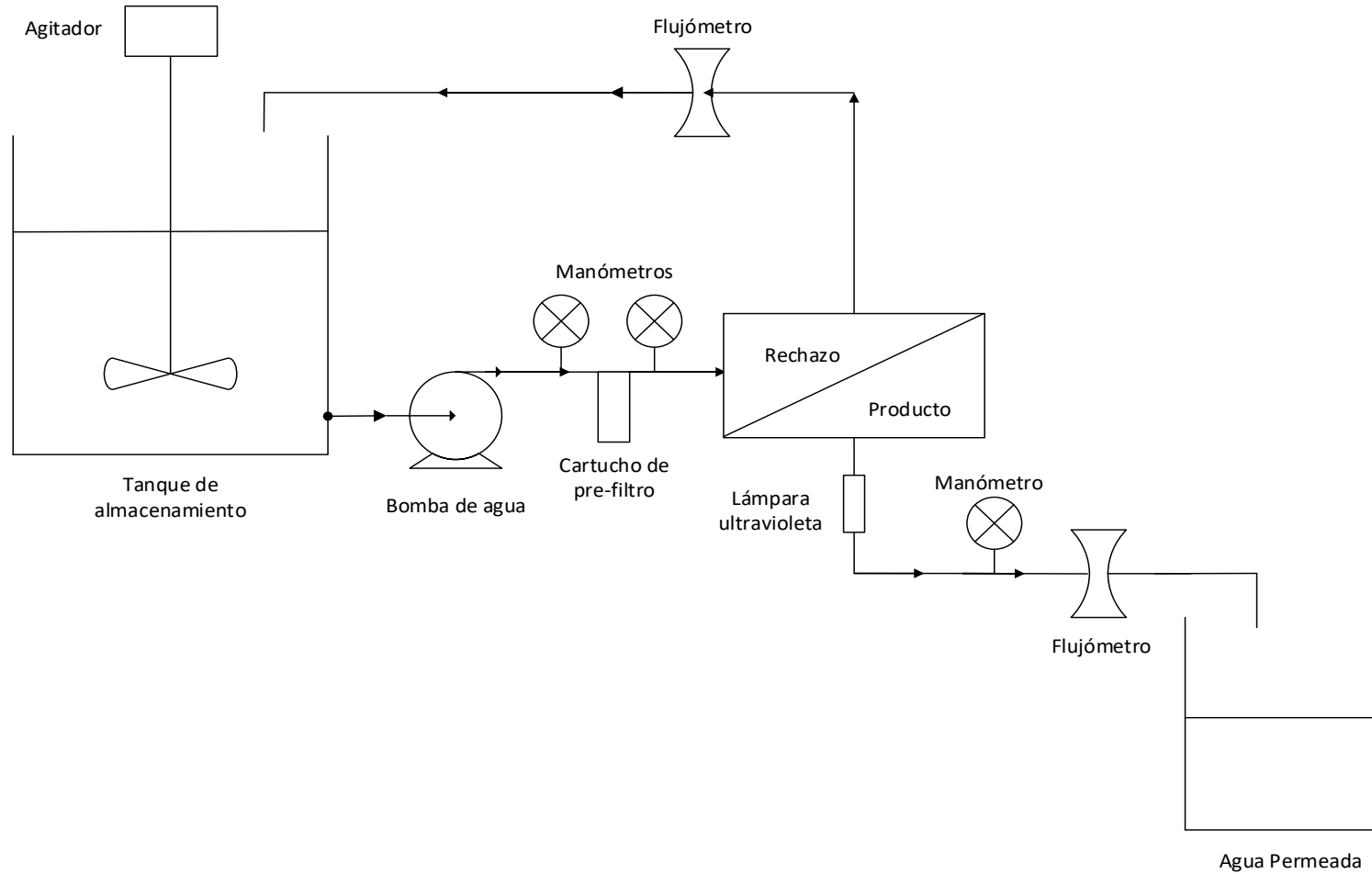


Figura 2. Esquema del proceso de un módulo de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

2.5.2 Alimentación del módulo de ultrafiltración

El módulo de ultrafiltración se alimentó de agua procedente de una planta de osmosis inversa (OI), figura 20 (ver anexo 5) el cual está siendo alimentado por la red de agua potable (cañería). La planta de OI está compuesto por un tanque de carbón activado, figura 21 (ver anexo 5). El carbón activado es un material granulado preparado especialmente con altas propiedades de absorción. El agua al pasar por este material, se absorbe el cloro libre, color y material orgánico y los sólidos suspendidos son filtrados al lecho del carbón (Tonato Tualumbo, 2010, pág. 12).

Por otro lado, está compuesto por un tanque de resina, figura 22 (ver anexo 5) que permite ablandar el agua. Según (Cervantes Anangonó, 2015, pág. 4) “El ablandamiento del agua es una técnica o proceso químico que sirve para eliminar los iones principalmente de Calcio y Magnesio; en algunos casos también iones de hierro mediante sustitución”.

Por consiguiente, el agua pasa por la membrana de osmosis inversa (OI), figura 23 (ver anexo 5), esta membrana retiene la mayoría de compuestos presentes en el agua, pero se recomienda realizar un pretratamiento para disminuir la cantidad de presencia orgánica, manera que la membrana se mantenga con mayor vida útil. Las tecnologías de osmosis inversa eliminan contaminantes de hasta 0,0001 μm . “Esto incluye quistes, bacterias, virus y todos los compuestos orgánicos y de desinfección” (Déniz Quintana, 2010, pág. 30). “El principio de funcionamiento de la ósmosis inversa consiste en la aplicación de una alta presión en la entrada de los tubos de presión que contienen las membranas” (Amezcuca Fernández, 2015, pág. 17).

Finalmente, el agua del producto o permeado es transportada por una lámpara de UV, figura 24 (ver anexo 5) quien “posee una importante acción bactericida” (Andrade Cuvi, Moreno Guerrero, Henríquez Bucheli, Gómez Gordillo, & Concellón , 2010, pág. 20), que permite eliminar restos de microorganismos en el agua.

Respecto al agua que alimenta el módulo de ultrafiltración, es proveniente del rechazo o concentrado de la planta de OI, esta agua contiene una alta presencia de sólidos, ya que al no pasar por la membrana de OI esta concentración de sólidos va incrementando.

2.5.3 Fase experimental

El sistema de membrana de ultrafiltración es alimentado por 200 L de agua de rechazo de un módulo de OI. El módulo de ultrafiltración está compuesto por un pre-filtro de 10 micras, cumpliendo la función de disminuir la carga solida del agua y permitiendo llegar a la membrana de ultrafiltración con menor concentración de carga sólida. Seguidamente, el flujo de agua ingresa a un sistema de membrana permitiendo separar en flujo en dos partes, flujo de permeado y flujo de rechazo. El flujo de rechazo es el volumen de agua que no ingresa por la membrana de ultrafiltración, por otro lado, el flujo de permeado penetra la membrana obteniendo un producto de calidad. Es importante mencionar que el flujo de rechazo es recirculado hacia el tanque de almacenamiento, permitiendo dar inicio a un nuevo tratamiento.

Por otro lado, el producto es el agua permeada, aquel volumen de agua que logra sobre pasar por la membrana, ya que la porosidad de sus componentes es menor al de la membrana de

ultrafiltración. El agua permeada en comparación del agua del rechazo, es transportada hacia una lámpara ultravioleta, este último es un proceso de desinfección bacteriano, eliminando todas las bacterias y/o microorganismos presentes en el agua, permitiendo la desinfección total del agua que ha sido producida y a su vez permitiendo llegar al objetivo de obtener agua de calidad para consumo humano.

Para la evaluación de los parámetros de operación en un módulo de ultrafiltración se realizaron cinco pruebas a distintas presiones, de 1 a 5 psi. Se entiende que los parámetros de operación son: la presión, el flujo y la concentración, estos parámetros varían según la presión que será ejercida por la bomba de agua y a su vez manipulada por una válvula de aguja.

Se tiene que tener en cuenta que, al producir menor cantidad de agua permeada, se obtiene un producto de mejor calidad y la membrana tiene una mayor vida de utilidad. Por otro lado, si se produce mayor cantidad de agua, la calidad del producto sería más baja, haciendo que la membrana se sature más rápido y como consecuencia disminuir la vida útil de la membrana.

3 RESULTADOS

3.1 Comportamiento de la membrana de ultrafiltración

Durante la investigación realizada en el módulo de ultrafiltración no produjo ningún problema de desgaste o ruptura en la membrana, es decir; tuvo un funcionamiento óptimo, así como el comportamiento de los demás recursos externos que se hicieron usados, no hubo inconvenientes en cuanto su integridad física. Además, no presentaron indicios de deterioro de los materiales empleados en todo el módulo de ultrafiltración.

3.2 Producción de agua permeada

Se sabe que al producir menor cantidad de agua permeada se obtiene un producto de mejor calidad y que se realizaron pruebas a distintas presiones (ver tabla 2) la presión evaluada para un sistema de ultrafiltración es de 3 psi, debido a que la membrana no puede trabajar a una mayor presión por mucho tiempo.

El volumen de producción en el módulo de ultrafiltración varía según la presión ejercida por la bomba de agua, se evaluaron cinco casos en los cuales varía la presión, manera por la cual se pudo evaluar el flujo siendo este un parámetro de operación. Se consideró que la presión a evaluar para la producción de agua permeada es de 3 psi produciendo 5 LPM (litros por minuto) (ver figura 3), el volumen de agua rechazada es de 5 LPM (ver figura 4), teniendo en cuenta que este volumen es recirculado al tanque de almacenamiento para ser tratada nuevamente.

Tabla 2

Producción de agua permeada según la variación de presiones.

Presión	Flujo de alimentación (LPM)	Flujo de permeado (LPM)	Flujo de rechazo (LPM)
1 psi	10	3	7
2 psi	10	4	6
3 psi	10	5	5
4 psi	10	6	4
5 psi	10	7	3

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la tabla 2 se visualiza que la presión varía de 1 a 5 psi, obteniendo el flujo de producción de agua permeada por el sistema de membrana según la presión ejercida, así mismo el flujo de agua rechazada, ambos expresados en litros por minuto.

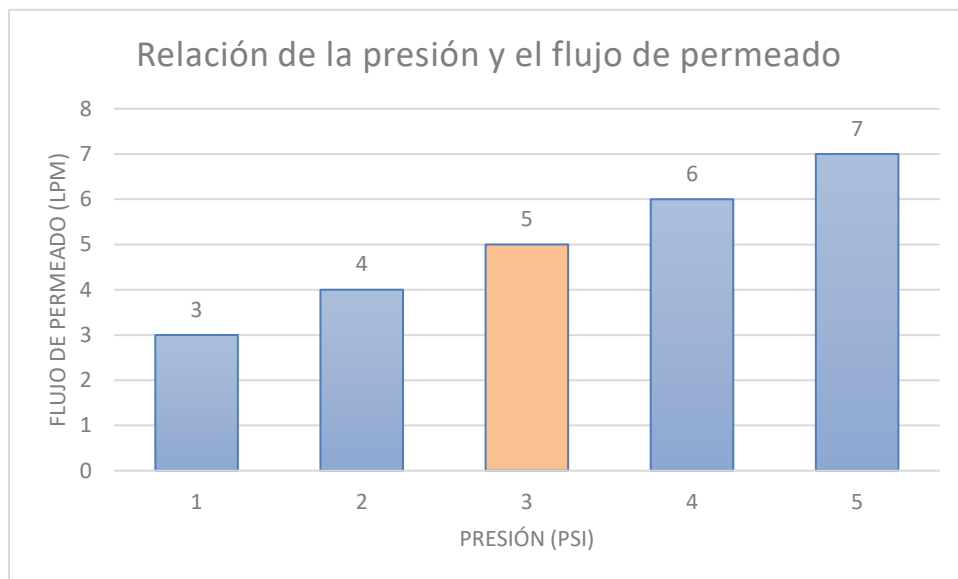


Figura 3 Relación de la presión y el flujo de permeado

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3 se observa que la presión y el flujo de permeado es directamente proporcional, es decir a mayor presión, mayor es el volumen de agua producida por un sistema de membrana, en

la presente figura se observa que el volumen de agua permeada es de 5 LPM con una presión de 3 psi.

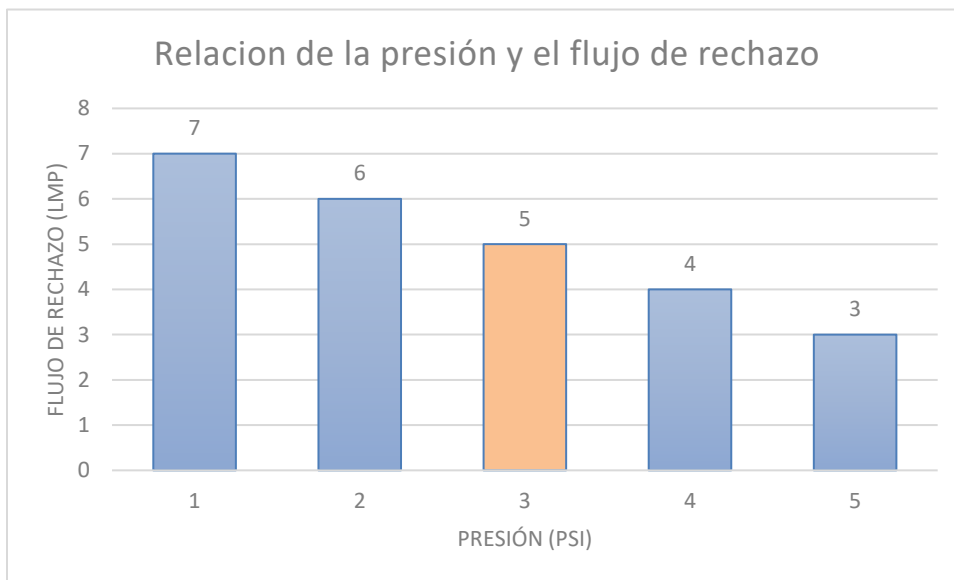


Figura 4 Relación de la presión y el flujo de rechazo
 Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4 se observa que la presión y el flujo de rechazo es inversamente proporcional, es decir a mayor presión, menor es el volumen de agua rechazada por un sistema de membrana, en la presente figura se observa que el volumen de agua rechazada es de 5 LPM con una presión de 3 psi.

3.3 Resultado de Parámetros evaluados

Sabiendo que se realizaron cinco pruebas a distintas presiones y la presión a evaluar es de 3 psi, se detalla en la tabla 3 los distintos parámetros de operación evaluados.

Tabla 3
Parámetros de operación evaluados

Presión	Flujo de alimentación (LPM)	Flujo de permeado (LPM)	Flujo de rechazo (LPM)	Parámetros/unidad	Concentración de alimentación	Concentración de permeado	Concentración de rechazo
3 psi	10	5	5	pH (Valor de pH)	8,01	7,9	8,11
				Cloruros (mg/L)	245,61	239,61	246,41
				Turbiedad (UNT)	15,03	2,62	16,01
				Conductividad (µS/cm)	2 114,6	1 298,6	2 116,02
				Sólidos Totales Disueltos (ppm)	1 359,95	945,69	1 773,97
				Dureza Total (mg/L)	481,34	472,69	483,51
				Bacterias Coliformes Totales (UFC)	0,985	0	0,987
				Echerichia Coli (UFC)	1,233	0	1,234
				Bacterias Coliformes Termotolerantes (UFC)	1,231	0	1,233

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se observa los tres parámetros de operación evaluados, siendo la presión, flujo y concentración, los cuales son parámetros de operación muy importantes para la producción de agua para consumo humano. En el anexo 9 (tabla 34) se observa los parámetros de operación, organolépticos y microbiológicos a distintas presiones.

3.3.1 Organolépticos

3.3.1.1 pH

La tabla 24 (ver anexo 6) muestra los resultados obtenidos en un módulo de ultrafiltración, evaluando el pretest (muestra que se analizó antes de ingresar por un sistema de membranas) y posttest (muestra analizada después de pasar por la membrana de ultrafiltración).

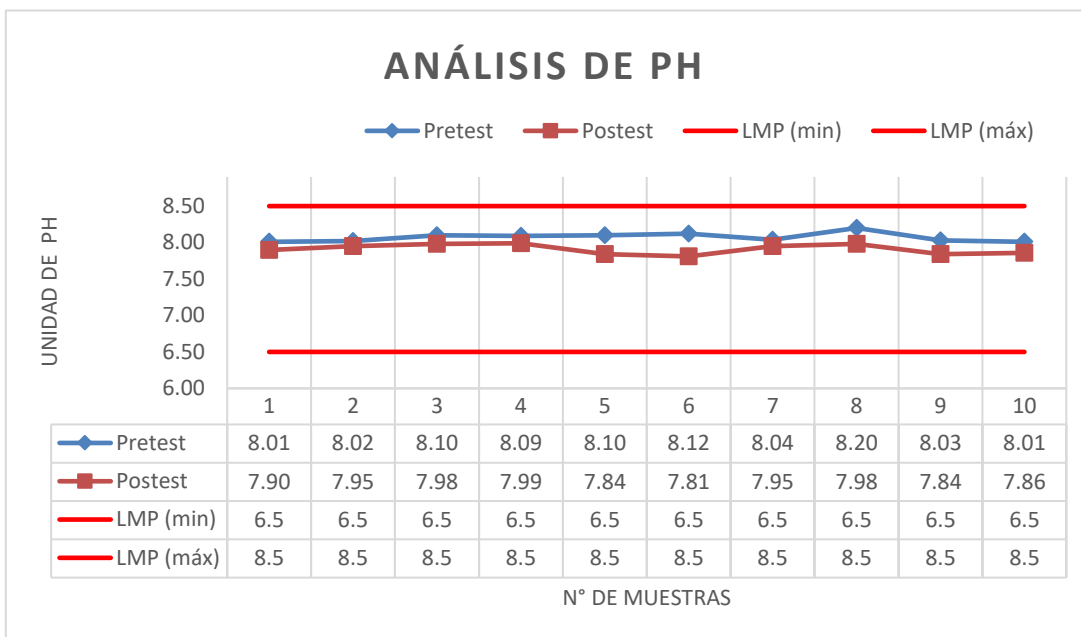


Figura 5. Variación del pH en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 se muestra los resultados del pH para el pretest teniendo un valor promedio de 8,072 y para el postest 7,91. Podemos observar que la variación fue mínima, pero teniendo en cuenta que los valores obtenidos en el pretest y postest están dentro del rango de los Límites Máximos Permisibles (LMP).

3.3.1.2 Cloruros

La tabla 25 (ver anexo 6) muestra los resultados obtenidos en un módulo de ultrafiltración, evaluando el pretest (muestra que se analizó antes de ingresar por un sistema de membranas) y postest (muestra analizada después pasar por la membrana de ultrafiltración).

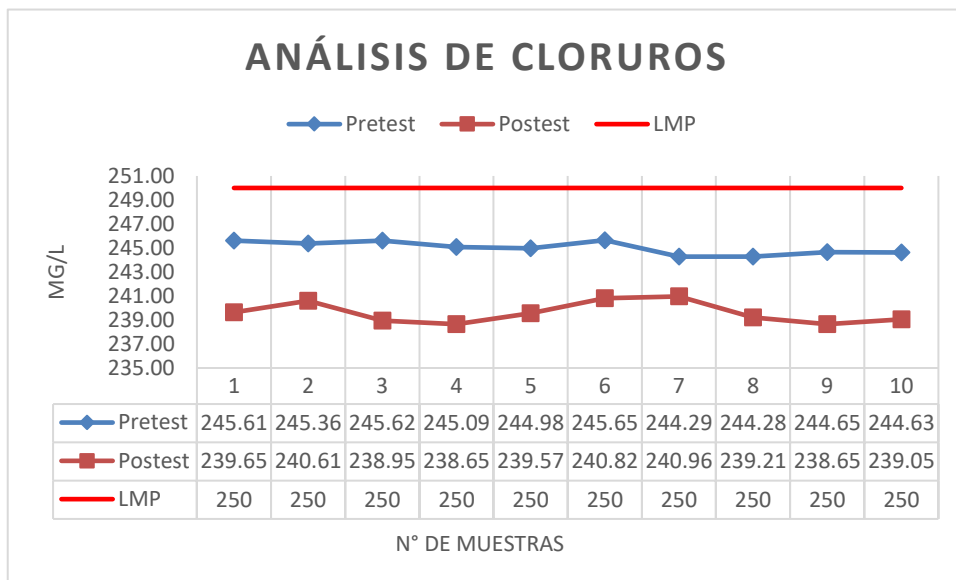


Figura 6. Variación del cloruro en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se observa los resultados de cloruros para el pretest cuyo valor promedio es de 245,0160 y para el postest de 239,6120. Además, se visualiza una variación en ambos grupos que se mantienen por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP).

3.3.1.3 Turbiedad

La tabla 26 (ver anexo 6) muestra los resultados obtenidos en un módulo de ultrafiltración, evaluando el pretest (muestra que se analizó antes de ingresar por un sistema de membranas) y postest (muestra analizada después de pasar por la membrana de ultrafiltración).

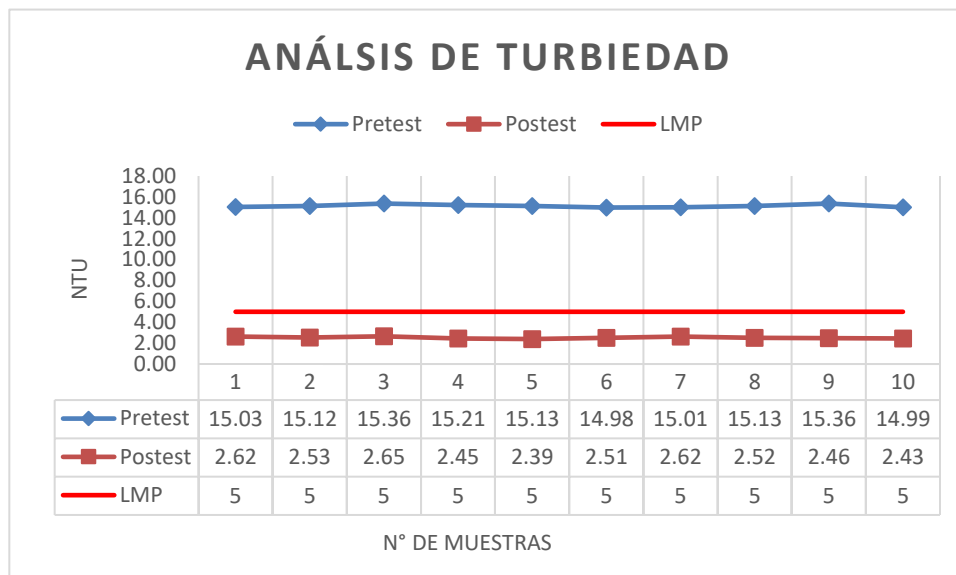


Figura 7. Variación de la turbiedad en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

La figura 7 muestra los resultados de la turbiedad para el pretest teniendo un valor promedio de 15,1320 y para el postest de 2,5180. Podemos observar que existe una gran variación entre ambos grupos, teniendo en cuenta que los valores obtenidos en el pretest están sobre pasando los LMP y postest se mantiene por debajo.

3.3.1.4 Conductividad

La tabla 27 (ver anexo 6) muestra los resultados obtenidos en un módulo de ultrafiltración, evaluando el pretest (muestra que se analizó antes de ingresar por un sistema de membranas) y postest (muestra analizada después de pasar por la membrana de ultrafiltración).

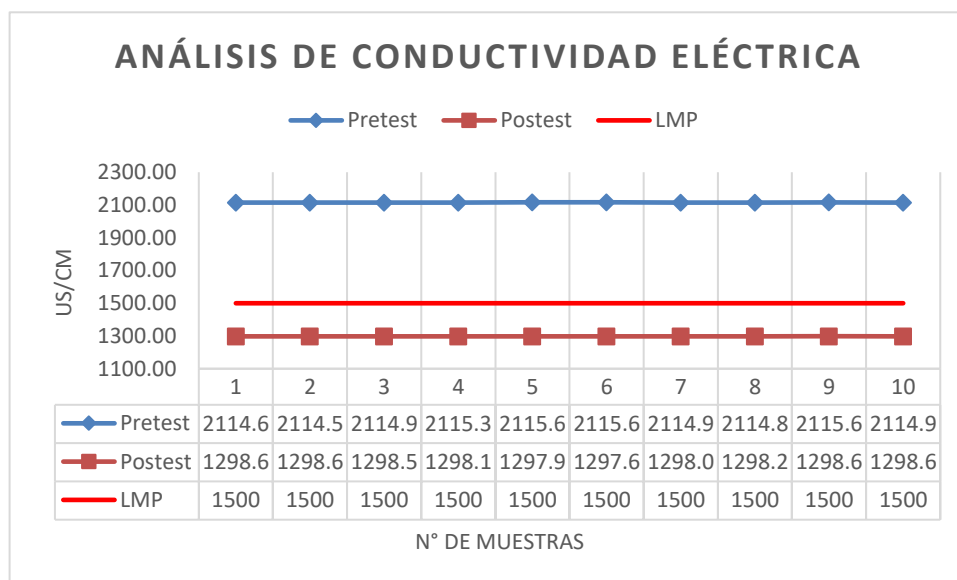


Figura 8. Variación de la conductividad en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

La figura 8 muestra los resultados de la conductividad para el pretest teniendo un valor promedio de 2 115,1230 y para el postest de 1 298,3340. Podemos observar que existe una gran variación entre ambos grupos, teniendo en cuenta que los valores obtenidos en el pretest están sobre pasando los LMP y postest se mantiene por debajo.

3.3.1.5 Sólidos totales disueltos

La tabla 28 (ver anexo 6) muestra los resultados obtenidos en un módulo de ultrafiltración, evaluando el pretest (muestra que se analizó antes de ingresar por un sistema de membranas) y posttest (muestra analizada después de pasar por la membrana de ultrafiltración).

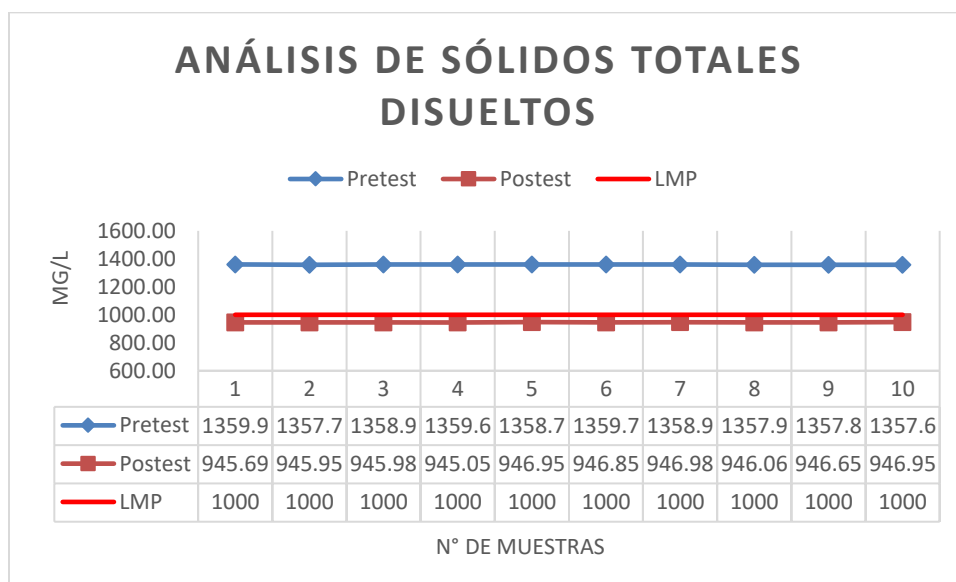


Figura 9. Variación de los sólidos totales disueltos en el pretest y posttest del módulo de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

La figura 9 muestra los resultados de los sólidos totales disueltos para el pretest cuyos valores oscilaron entre 1 357,65 y 1 359,95 teniendo un valor medio de 1 358,7150 y para el posttest cuyos valores oscilaron entre 945,05 y 946,98 con un valor promedio de 946,3110. Podemos observar que existe una gran variación entre ambos grupos, teniendo en cuenta que los valores obtenidos en el pretest están sobre pasando los LMP y posttest se mantiene por debajo.

3.3.1.6 Dureza total

La tabla 29 (ver anexo 6) muestra los resultados obtenidos en un módulo de ultrafiltración, evaluando el pretest (muestra que se analizó antes de ingresar por un sistema de membranas) y postest (muestra analizada después de pasar por la membrana de ultrafiltración).

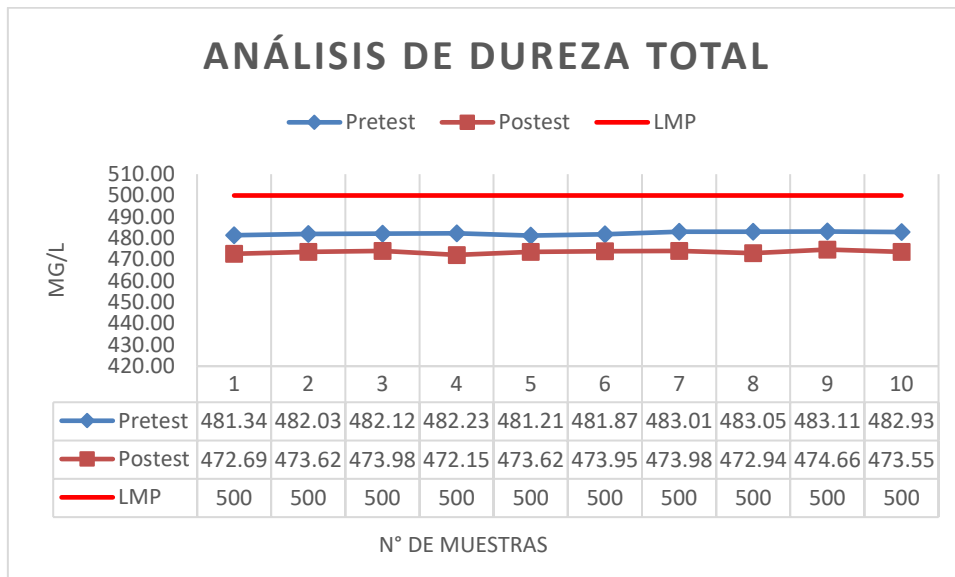


Figura 10. Variación de la dureza total en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

La figura 10 muestra los resultados de la dureza total para el pretest cuyos valores oscilaron entre 481,21 y 483,11 teniendo un valor medio de 482,2900 y para el postest cuyos valores oscilaron entre 472,15 y 474,66 con un valor promedio de 473,5140. Podemos observar que existe una gran variación entre ambos grupos, teniendo en cuenta que los valores obtenidos en el pretest y postest están por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP).

3.3.2 Microbiológicos

3.3.2.1 *Bacterias Coliformes Totales*

La tabla 30 (ver anexo 7) muestra los resultados obtenidos en un módulo de ultrafiltración, evaluando el pretest (muestra que se analizó antes de ingresar por un sistema de membranas) y posttest (muestra analizada después de pasar por la membrana de ultrafiltración).

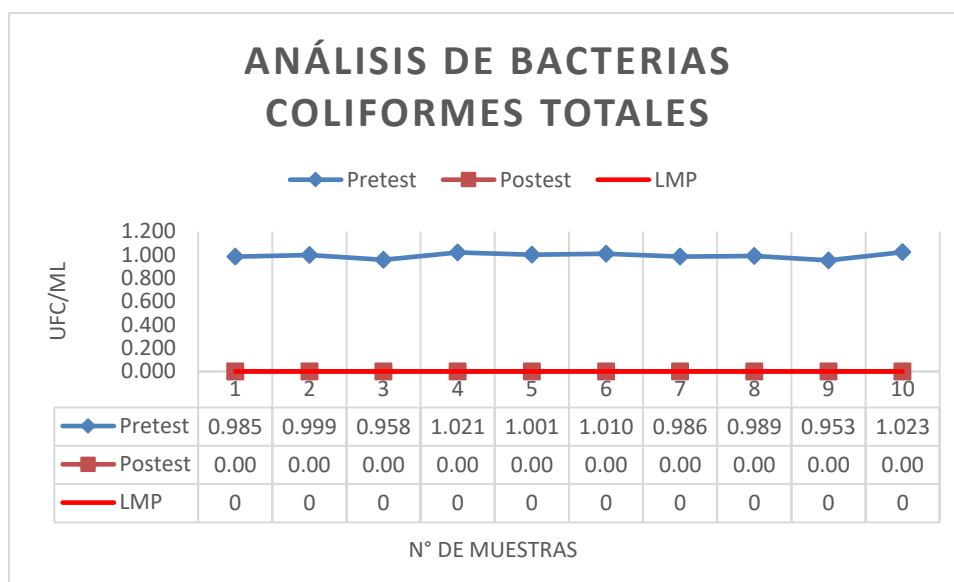


Figura 11. Variación de bacterias coliformes totales en el pretest y posttest del módulo de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

La figura 11 muestra los resultados de las bacterias coliformes totales para el pretest cuyo valor promedio es de 0,9925 y para el posttest cuyos valores son 0 en todos los análisis. Por lo tanto, podemos decir que los resultados obtenidos han sido los esperados, ya que no están sobre pasando los LMP.

3.3.2.2 *Echerichia Coli*

La tabla 31 (ver anexo 7) muestra los resultados obtenidos en un módulo de ultrafiltración, evaluando el pretest (muestra que se analizó antes de ingresar por un sistema de membranas) y postest (muestra analizada después de pasar por la membrana de ultrafiltración).

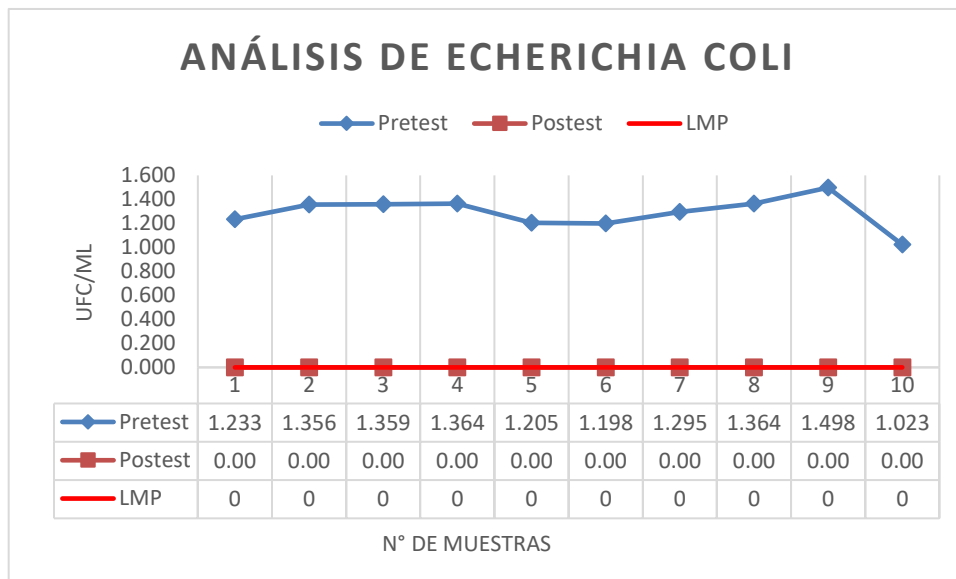


Figura 12. Variación de Echerichia Coli en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

La figura 12 muestra los resultados de la evaluación de Echerichia Coli para el pretest cuyos valores oscilaron entre 1,023 y 1,498 teniendo un valor medio de 1,289 y para el postest cuyos valores son 0 en todos los análisis. Por lo tanto, podemos decir que los resultados obtenidos han sido los esperados, ya que no están sobre pasando los LMP. Además, se puede observar que existe una gran variación entre ambos grupos, teniendo en cuenta que los valores obtenidos en el pretest están sobre pasando los LMP y postest se mantiene por debajo.

3.3.2.3 Bacterias Coliformes Termotolerantes

La tabla 32 (ver anexo 7) muestra los resultados obtenidos en un módulo de ultrafiltración, evaluando el pretest (muestra que se analizó antes de ingresar por un sistema de membranas) y postest (muestra analizada después de pasar por la membrana de ultrafiltración).

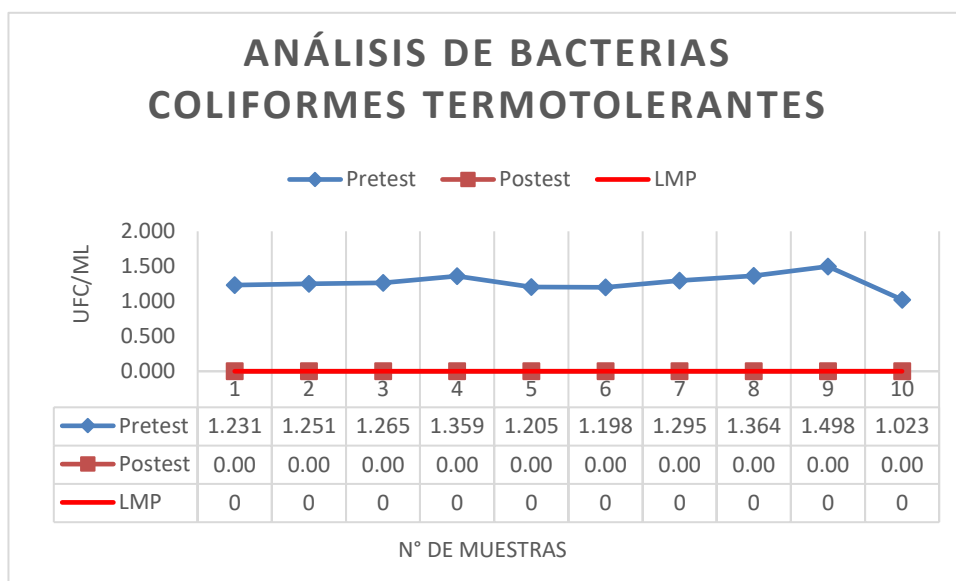


Figura 13. Variación de Bacterias coliformes termotolerantes en el pretest y postest del módulo de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

La figura 13 muestra los resultados de las bacterias coliformes termotolerantes para el pretest cuyo valor promedio es de 1,268 y para el postest cuyos valores son 0 en todos los análisis. Por lo tanto, podemos decir que los resultados obtenidos han sido los esperados, ya que no están sobre pasando los LMP. Además, se puede observar que existe una gran variación entre ambos grupos, teniendo en cuenta que los valores obtenidos en el pretest están sobre pasando los LMP y postest se mantiene por debajo.

3.4 Resultado de la prueba de hipótesis

3.4.1 Hipótesis General

Se realizó un análisis de correlación entre los indicadores flujo y presión, realizando un análisis de confiabilidad de los datos obtenidos mediante encuestas, es decir se hallará el valor de alfa de Cronbach.

Ho: Los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración NO influyen significativamente en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.

H1: Los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración influyen significativamente en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.

Tabla 4

Resumen de procesamiento de casos para la hipótesis general.

Resumen de procesamiento de casos			
		N	%
	Válido	10	100,0
Casos	Excluido	0	,0
	Total	10	100,0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 podemos observar que el número de muestras (N) fueron 10, es decir fueron 10 las personas que participaron contestando una encuesta y el 100% de los datos han sido validados correctamente.

Tabla 5

Estadística de fiabilidad de la hipótesis general.

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,825	15

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5 se logra observar que el número total de preguntas fueron 15 y el valor hallado mediante el alfa de cronbach es de 0,825. Este valor indica que los resultados obtenidos son confiables y, además, mantienen una correlación entre ambos indicadores.

Se puede deducir que el H_0 se rechaza, ya que el alfa de cronbach es altamente confiable y se acepta el H_1 .

3.4.2 Hipótesis Específicas

Las hipótesis específicas se analizaron mediante análisis estadísticos, los cuales tienen que cumplir con los requisitos indicados en el punto 2.4.2.1.1 de la presente investigación.

3.4.2.1 Parámetros Organoléptico

H_0 : Los parámetros organolépticos de un módulo de ultrafiltración NO influyen significativamente la obtención de agua potable a partir de agua residual industrial.

H_1 : Los parámetros organolépticos de un módulo de ultrafiltración influyen significativamente la obtención de agua potable a partir de agua residual industrial.

3.4.2.1.1 pH

Normalidad ($\alpha > 0,05$)

Tabla 6

Prueba de normalidad para el pH.

Pruebas de normalidad							
Resultado	Grupo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resultado	Grupo Control	,199	10	,200*	,886	10	,152
	Grupo Experimental	,221	10	,180	,885	10	,151

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6 se puede observar que el valor de α en el grupo control y experimental sobrepasan el valor de 0,05, es decir los datos obtenidos cumplen una distribución normal.

Igualdad de varianzas ($\alpha > 0,05$) y P-Valor ($\alpha < 0,05$)

Tabla 7

Igualdad de varianzas y P-Valor para el pH.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Resultado	Se asumen varianzas iguales	,618	,442	5,591	18	,000	.16200	.02898	.10113	.22287
	No se asumen varianzas iguales			5,591	17,79	,000	.16200	.02898	.10108	.22292

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7 podemos observar que en la igualdad de varianzas (prueba de Levene) sobrepasa el valor de $\alpha > 0,05$, eso quiere decir que las varianzas en el grupo control y experimental son iguales. Además, el P-valor (T de student) es menor a 0,05 dando como resultado que la variación entre el grupo control y experimental es altamente significativo.

3.4.2.1.2 Cloruros

Normalidad ($\alpha > 0,05$)

Tabla 8

Prueba de normalidad para cloruros.

Pruebas de normalidad							
	Grupo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resultado	Grupo Control	,166	10	,200*	,896	10	,197
	Grupo Experimental	,183	10	,200*	,876	10	,116

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8 se puede observar que el valor de α en el grupo control y experimental sobrepasan el valor de 0,05, es decir los datos obtenidos cumplen una distribución normal.

Igualdad de varianzas ($\alpha > 0,05$) y P-Valor ($\alpha < 0,05$)

Tabla 9

Igualdad de varianzas y P-Valor para los cloruros.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Resultado	Se asumen varianzas iguales	2,643	,121	16,51	18	,000	5.40400	.32725	4.71646	6.09154
	No se asumen varianzas iguales			16,51	14,84	,000	5.40400	.32725	4.70583	6.10217

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9 podemos observar que en la igualdad de varianzas (prueba de Levene) sobrepasa el valor de $\alpha > 0,05$, eso quiere decir que las varianzas en el grupo control y experimental son iguales. Además, el P-valor (T de student) es menor a 0,05 dando como resultado que la variación entre el grupo control y experimental es altamente significativo.

3.4.2.1.3 Turbiedad

Normalidad ($\alpha > 0,05$)

Tabla 10

Prueba de normalidad para la turbiedad.

Pruebas de normalidad							
Grupo		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resultado	Grupo Control	,206	10	,200*	,874	10	,111
	Grupo Experimental	,175	10	,200*	,937	10	,518

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 10 se puede observar que el valor de α en el grupo control y experimental sobrepasan el valor de 0,05, es decir los datos obtenidos cumplen una distribución normal.

Igualdad de varianzas ($\alpha > 0,05$) y P-Valor ($\alpha < 0,05$)

Tabla 11

Igualdad de varianzas y P-Valor para la turbiedad.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferenci a de medias	Diferenci a de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Resultado	Se asumen varianzas iguales	1,413	,250	239,6 60	18	,000	12.61400	.05263	12.50342	12.72458
	No se asumen varianzas iguales			239,6 60	15,14 7	,000	12.61400	.05263	12.50191	12.72609

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11 podemos observar que en la igualdad de varianzas (prueba de Levene) sobrepasa el valor de $\alpha > 0,05$, eso quiere decir que las varianzas en el grupo control y experimental son iguales. Además, el P-valor (T de student) es menor a 0,05 dando como resultado que la variación entre el grupo control y experimental es altamente significativo.

3.4.2.1.4 Conductividad

Normalidad ($\alpha > 0,05$)

Tabla 12

Prueba de normalidad para la conductividad.

Pruebas de normalidad							
	Grupo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resultado	Grupo Control	,236	10	,121	,876	10	,118
	Grupo Experimental	,261	10	,051	,873	10	,110

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12 se puede observar que el valor de α en el grupo control y experimental sobrepasan el valor de 0,05, es decir los datos obtenidos cumplen una distribución normal.

Igualdad de varianzas ($\alpha > 0,05$) y P-Valor ($\alpha < 0,05$)

Tabla 13

Igualdad de varianzas y P-Valor para la conductividad.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Resultado	Se asumen varianzas iguales	,335	,570	4725,677	18	,000	816.7890	.17284	816.4258	817.1521
	No se asumen varianzas iguales			4725,677	17,696	,000	816.7890	.17284	816.4254	817.1525

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13 podemos observar que en la igualdad de varianzas (prueba de Levene) sobrepasa el valor de $\alpha > 0,05$, eso quiere decir que las varianzas en el grupo control y experimental son iguales. Además, el P-valor (T de student) es menor a 0,05 dando como resultado que la variación entre el grupo control y experimental es altamente significativo.

3.4.2.1.5 Sólidos Totales Disueltos

Normalidad ($\alpha > 0,05$)

Tabla 14

Prueba de normalidad para los sólidos totales disueltos.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pretest	,206	10	,200*	,891	10	,176
Postest	,196	10	,200*	,882	10	,139

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 14 se puede observar que el valor de α en el grupo control y experimental sobrepasan el valor de 0,05, es decir los datos obtenidos cumplen una distribución normal.

Igualdad de varianzas ($\alpha > 0,05$) y P-Valor ($\alpha < 0,05$)

Tabla 15

Igualdad de varianzas y P-Valor para los sólidos totales disueltos.

Prueba de muestras independientes		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
								Inferior	Superior	
Resultado	Se asumen varianzas iguales	1,065	,316	1177,713	18	,000	412.4040	.35017	411.6683	413.1396
	No se asumen varianzas iguales			1177,713	16,652	,000	412.4040	.35017	411.6640	413.1439

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 15 podemos observar que en la igualdad de varianzas (prueba de Levene) sobrepasa el valor de $\alpha > 0,05$, eso quiere decir que las varianzas en el grupo control y experimental son iguales. Además, el P-valor (T de student) es menor a 0,05 dando como resultado que la variación entre el grupo control y experimental es altamente significativo.

3.4.2.1.6 Dureza Total

Normalidad ($\alpha > 0,05$)

Tabla 16

Prueba de normalidad para la dureza total.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pretest	,217	10	,200*	,895	10	,192
Posttest	,220	10	,188	,945	10	,609

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 16 se puede observar que el valor de α en el grupo control y experimental sobrepasan el valor de 0,05, es decir los datos obtenidos cumplen una distribución normal.

Igualdad de varianzas ($\alpha > 0,05$) y P-Valor ($\alpha < 0,05$)

Tabla 17
Igualdad de varianzas y P-Valor para la dureza total.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Resultado	Se asumen varianzas iguales	,040	,844	27,2	18	,000	8.77600	.32238	8.09870	9.45330
	No se asumen varianzas iguales			27,2	17,9	,000	8.77600	.32238	8.09864	9.45336

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 17 podemos observar que en la igualdad de varianzas (prueba de Levene) sobrepasa el valor de $\alpha > 0,05$, eso quiere decir que las varianzas en el grupo control y experimental son iguales. Además, el P-valor (T de student) es menor a 0,05 dando como resultado que la variación entre el grupo control y experimental es altamente significativo.

3.4.2.2 *Parámetros Microbiológicos*

Ho: Los parámetros microbiológicos de un módulo de ultrafiltración NO influyen significativamente la obtención de agua potable a partir de agua residual industrial.

H1: Los parámetros microbiológicos de un módulo de ultrafiltración influyen significativamente la obtención de agua potable a partir de agua residual industrial.

3.4.2.2.1 *Bacterias coliformes totales*

Normalidad ($\alpha > 0,05$)

Tabla 18
Prueba de normalidad para bacterias coliformes totales.

Pruebas de normalidad							
Resultado	Grupo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	Grupo Control	,175	10	,200*	,934	10	,483

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 18 se puede observar que el valor de α en el grupo control sobrepasa el valor de 0,05, es decir los datos obtenidos cumplen una distribución normal. El grupo experimental no se considera, ya que sus valores son 0.

Igualdad de varianzas ($\alpha > 0,05$) y P-Valor ($\alpha < 0,05$)

Tabla 19

Igualdad de varianzas y P-Valor para las bacterias coliformes totales.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Resultado	Se asumen varianzas iguales	17,988	,000	132,833	18	,000	.99250	.00747	.97680	1.00820
	No se asumen varianzas iguales			132,833	9,000	,000	.99250	.00747	.97560	1.00940

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 19 podemos observar que en la igualdad de varianzas (prueba de Levene) no sobrepasa el valor de $\alpha > 0,05$, eso quiere decir que las varianzas en el grupo control y experimental son diferentes. Pero, sin embargo, el P-valor (T de student) es menor a 0,05 dando como resultado que la variación entre el grupo control y experimental es altamente significativo.

3.4.2.2.2 *Echerichia Coli*

Normalidad ($\alpha > 0,05$)

Tabla 20

Prueba de normalidad para le Echerichia Coli.

Pruebas de normalidad							
Resultado	Grupo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	Grupo Control	,195	10	,200*	,936	10	,508

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 20 se puede observar que el valor de α en el grupo control sobrepasa el valor de 0,05, es decir los datos obtenidos cumplen una distribución normal. El grupo experimental no se considera, ya que sus valores son 0.

Igualdad de varianzas ($\alpha > 0,05$) y P-Valor ($\alpha < 0,05$)

Tabla 21

Igualdad de varianzas y P-Valor para la Echerichia Coli.

Prueba de muestras independientes										
Resultado		Prueba de Levene de igualdad de varianzas				prueba t para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Resultado	Se asumen varianzas iguales	16,606	,001	31,216	18	,000	1.28950	.041309	1.20271	1.37628
	No se asumen varianzas iguales			31,216	9,00	,000	1.28950	.041309	1.19605	1.38294

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 21 podemos observar que en la igualdad de varianzas (prueba de Levene) no sobrepasa el valor de $\alpha > 0,05$, eso quiere decir que las varianzas en el grupo control y experimental son diferentes. Pero, sin embargo, el P-valor (T de student) es menor a 0,05 dando como resultado que la variación entre el grupo control y experimental es altamente significativo.

3.4.2.2.3 *Bacterias coliformes termotolerantes*

Normalidad ($\alpha > 0,05$)

Tabla 22

Prueba de normalidad para bacterias coliformes termotolerantes.

Pruebas de normalidad							
Grupo		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resultado	Grupo Control	,186	10	,200*	,959	10	,771

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 22 se puede observar que el valor de α en el grupo control sobrepasa el valor de 0,05, es decir los datos obtenidos cumplen una distribución normal. El grupo experimental no se considera, ya que sus valores son 0.

Igualdad de varianzas ($\alpha > 0,05$) y P-Valor ($\alpha < 0,05$)

Tabla 23

Igualdad de varianzas y P-Valor para las bacterias coliformes termotolerantes.

Prueba de muestras independientes										
	Prueba de Levene de igualdad de varianzas				prueba t para la igualdad de medias					
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferenci a de medias	Diferenci a de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
								Inferior	Superior	
Resultado	Se asumen varianzas iguales	10,893	,004	31,98	18	,000	1,268.900	39.676	1,185.543	1,352.257
	No se asumen varianzas iguales			31,98	9,000	,000	1,268.900	39.676	1,179.146	1,358.654

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 23 podemos observar que en la igualdad de varianzas (prueba de Levene) no sobrepasa el valor de $\alpha > 0,05$, eso quiere decir que las varianzas en el grupo control y experimental son diferentes. Pero, sin embargo, el P-valor (T de student) es menor a 0,05 dando como resultado que la variación entre el grupo control y experimental es altamente significativo.

3.5 Ecuaciones Básicas

Teniendo en cuenta que se realizó pruebas a distintas presiones de 1 a 5 psi se detalla los resultados obtenidos.

3.5.1 Porcentaje de recuperación

Caso (1):

Presión = 1 psi.

$Q_{\text{Alimentación}} = 10 \text{ LPM}$

$Q_{\text{Permeado}} = 3 \text{ LPM}$

$$\% R = (Q_{\text{Permeado}}/Q_{\text{Alimentación}}) \times 100\%$$

$$\% R = (3/10) \times 100\%$$

$$\% R = 30 \%$$

Esto significa que con 1 psi de presión se recupera el 30% de agua del flujo de alimentación.

Caso (2):

Presión = 2 psi.

$Q_{\text{Alimentación}} = 10 \text{ LPM}$

$Q_{\text{Permeado}} = 4 \text{ LPM}$

$$\% R = (Q_{\text{Permeado}}/Q_{\text{Alimentación}}) \times 100\%$$

$$\% R = (4/10) \times 100\%$$

$$\% R = 40 \%$$

Esto significa que con 2 psi de presión se recupera el 40% de agua del flujo de alimentación.

Caso (3):

Presión = 3 psi.

$Q_{\text{Alimentación}} = 10 \text{ LPM}$

$Q_{\text{Permeado}} = 5 \text{ LPM}$

$$\% R = (Q_{\text{Permeado}}/Q_{\text{Alimentación}}) \times 100\%$$

$$\% R = (5/10) \times 100\%$$

$$\% R = 50 \%$$

Esto significa que con 3 psi de presión se recupera el 50% de agua del flujo de alimentación.

Caso (4):

Presión = 4 psi.

$Q_{\text{Alimentación}} = 10 \text{ LPM}$

$Q_{\text{Permeado}} = 6 \text{ LPM}$

$$\% R = (Q_{\text{Permeado}}/Q_{\text{Alimentación}}) \times 100\%$$

$$\% R = (6/10) \times 100\%$$

$$\% R = 60 \%$$

Esto significa que con 4 psi de presión se recupera el 60% de agua del flujo de alimentación.

Caso (5):

Presión = 5 psi.

$Q_{\text{Alimentación}} = 10 \text{ LPM}$

$Q_{\text{Permeado}} = 7 \text{ LPM}$

$$\% R = (Q_{\text{Permeado}}/Q_{\text{Alimentación}}) \times 100\%$$

$$\% R = (7/10) \times 100\%$$

$$\% R = 70 \%$$

Esto significa que con 5 psi de presión se recupera el 70% de agua del flujo de alimentación.

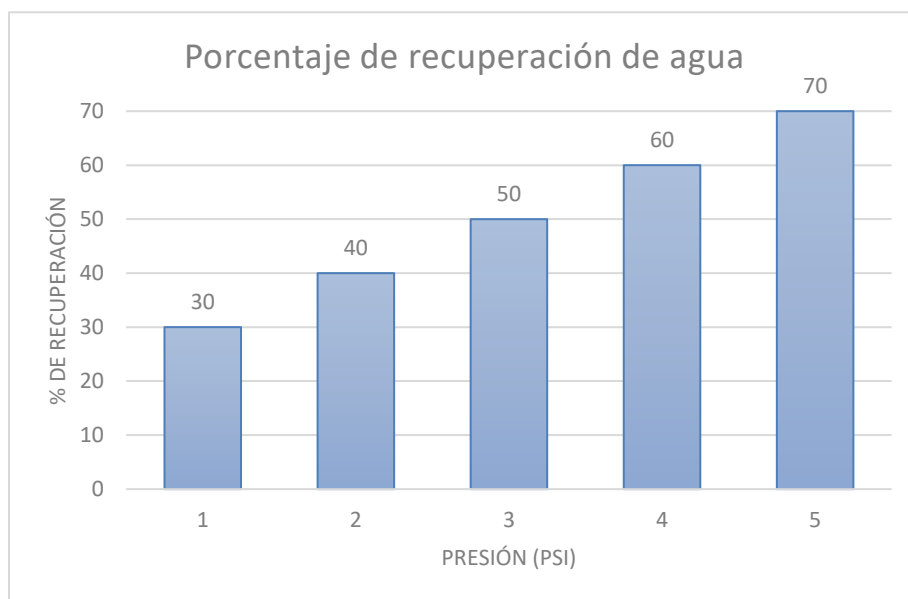


Figura 14 Porcentaje de recuperación de agua.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se observa la variación del porcentaje de recuperación de agua según las presiones que se han establecido, se logra apreciar que la presión es directamente proporcional al porcentaje de recuperación, es decir; a mayor presión, mayor es el porcentaje de recuperación de agua.

3.5.2 Porcentaje de separación de sólidos (Turbidez)

Caso (1):

Presión = 1 psi.

$C_{\text{Alimentación}} = 15,03 \text{ NTU}$

$C_{\text{Permeado}} = 2,18 \text{ NTU}$

$$\% S = (C_{\text{Alimentación}} - C_{\text{Permeado}}/C_{\text{Alimentación}}) \times 100\%$$

$$\% S = (15,03 - 2,18/15,03) \times 100 \%$$

$$\% S = 85,5 \%$$

Caso (2):

Presión = 2 psi.

$C_{\text{Alimentación}} = 15,03 \text{ NTU}$

$C_{\text{Permeado}} = 2,41 \text{ NTU}$

$$\% S = (C_{\text{Alimentación}} - C_{\text{Permeado}}/C_{\text{Alimentación}}) \times 100\%$$

$$\% S = (15,03 - 2,41/15,03) \times 100 \%$$

$$\% S = 83,97 \%$$

Caso (3):

Presión = 3 psi.

$C_{\text{Alimentación}} = 15,03 \text{ NTU}$

$C_{\text{Permeado}} = 2,62 \text{ NTU}$

$$\% S = (C_{\text{Alimentación}} - C_{\text{Permeado}}/C_{\text{Alimentación}}) \times 100\%$$

$$\% S = (15,03 - 2,62/15,03) \times 100 \%$$

$$\% S = 82,57 \%$$

Caso (4):

Presión = 4 psi.

$C_{\text{Alimentación}} = 15,03 \text{ NTU}$

$C_{\text{Permeado}} = 2,98 \text{ NTU}$

$$\% S = (C_{\text{Alimentación}} - C_{\text{Permeado}}/C_{\text{Alimentación}}) \times 100\%$$

$$\% S = (15,03 - 2,98/15,03) \times 100 \%$$

$$\% S = 80,17 \%$$

Caso (5):

Presión = 5 psi.

$C_{\text{Alimentación}} = 15,03 \text{ NTU}$

$C_{\text{Permeado}} = 3,19 \text{ NTU}$

$$\% S = (C_{\text{Alimentación}} - C_{\text{Permeado}}/C_{\text{Alimentación}}) \times 100\%$$

$$\% S = (15,03 - 3,19/15,03) \times 100 \%$$

$$\% S = 78,78 \%$$

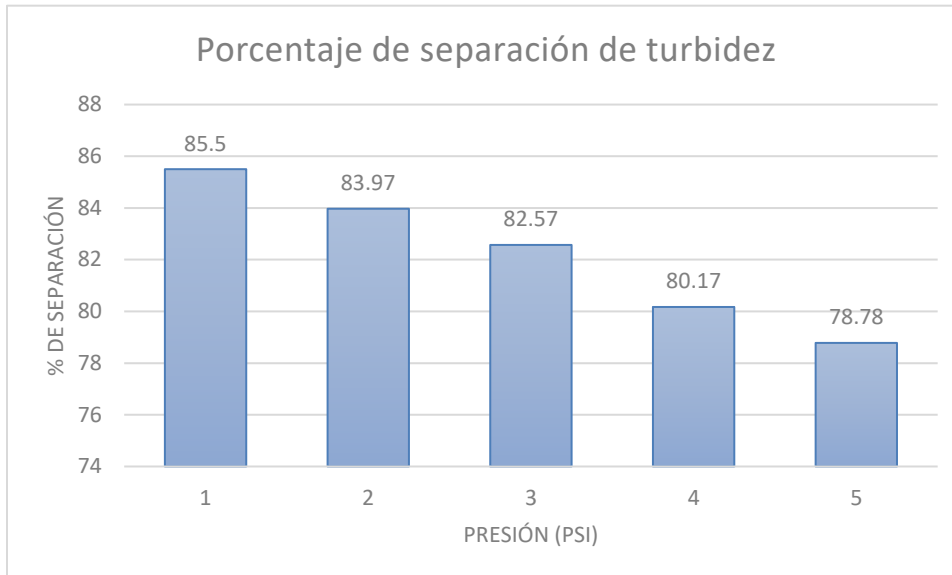


Figura 15 Porcentaje de separación de turbidez
 Fuente: Elaboración propia

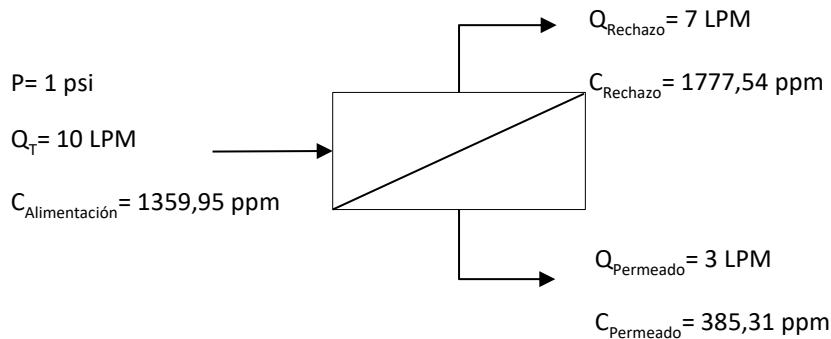
En la figura 15 se observa la variación del porcentaje de separación de turbidez en el agua según las presiones que se han establecido, se logra apreciar que la presión es inversamente proporcional al porcentaje de separación, es decir; a mayor presión, menor es el porcentaje de separación de turbidez.

3.5.3 Balance de masas

Se determinó el balance de masas para los sólidos totales disueltos (STD), de acuerdo a las presiones evaluadas de 1 a 5 psi. En los 5 casos propuestos se demostraron que la ley de la conservación de la masa se cumple.

A continuación, se demuestra lo mencionado anteriormente:

Caso (1):



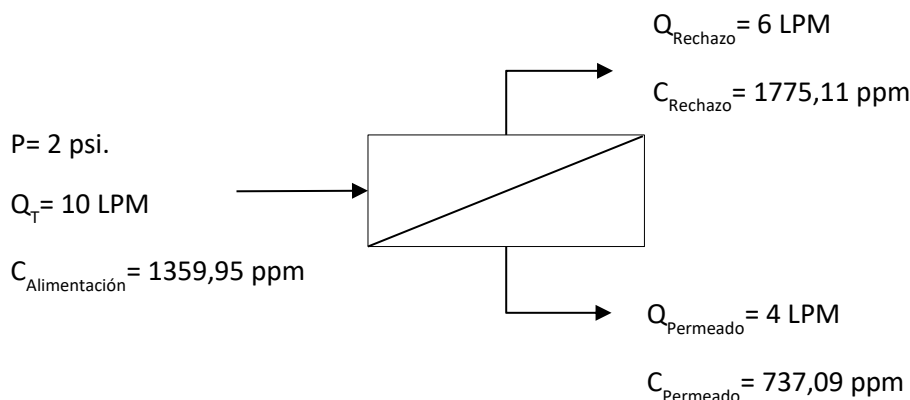
$$Q_T \times C_{\text{Alimentación}} = (Q_{\text{Rechazo}} \times C_{\text{Rechazo}}) + (Q_{\text{Permeado}} \times C_{\text{Permeado}})$$

$$10 \times 1359,95 = (7 \times 1777,54) + (3 \times 385,31)$$

$$13599,5 = 12442,78 + 1155,93$$

$$13599,5 = 13598,71$$

Caso (2):



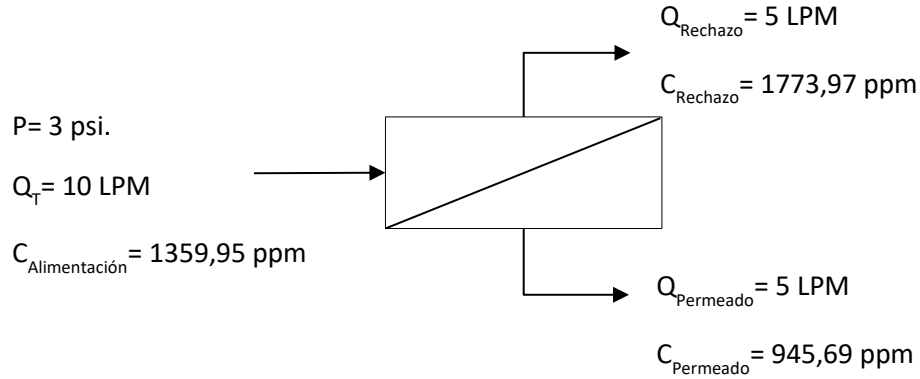
$$Q_T \times C_{\text{Alimentación}} = (Q_{\text{Rechazo}} \times C_{\text{Rechazo}}) + (Q_{\text{Permeado}} \times C_{\text{Permeado}})$$

$$10 \times 1359,95 = (6 \times 1775,11) + (4 \times 737,09)$$

$$13599,5 = 10650,66 + 2948,36$$

$$13599,5 = 13599,02$$

Caso (3):



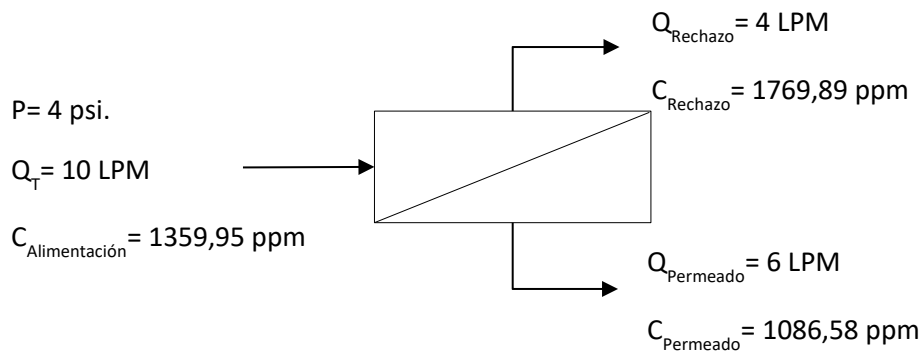
$$Q_T \times C_{\text{Alimentación}} = (Q_{\text{Rechazo}} \times C_{\text{Rechazo}}) + (Q_{\text{Permeado}} \times C_{\text{Permeado}})$$

$$10 \times 1359,95 = (5 \times 1773,97) + (5 \times 945,69)$$

$$13599,5 = 8869,85 + 4728,45$$

$$13599,5 = 13598,3$$

Caso (4):



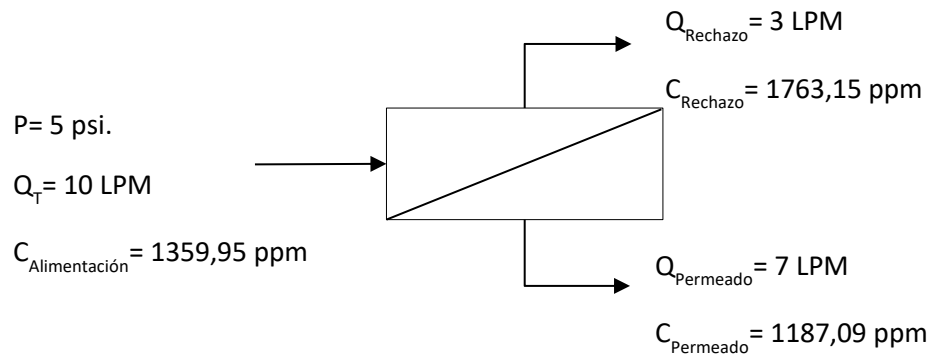
$$Q_T \times C_{\text{Alimentación}} = (Q_{\text{Rechazo}} \times C_{\text{Rechazo}}) + (Q_{\text{Permeado}} \times C_{\text{Permeado}})$$

$$10 \times 1359,95 = (4 \times 1769,89) + (6 \times 1086,58)$$

$$13599,5 = 7079,56 + 6519,48$$

$$13599,5 = 13599,04$$

Caso (5):



$$Q_T \times C_{\text{Alimentación}} = (Q_{\text{Rechazo}} \times C_{\text{Rechazo}}) + (Q_{\text{Permeado}} \times C_{\text{Permeado}})$$

$$10 \times 1359,95 = (3 \times 1763,15) + (7 \times 1187,09)$$

$$13599,5 = 5289,45 + 8309,63$$

$$13599,5 = 13599,08$$

4 DISCUSIÓN Y RESULTADOS

4.1 Discusión

El trabajo de investigación presenta aspectos fundamentales acorde a los objetivos planteados. Además de evaluar los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa, se realizó un seguimiento del comportamiento de la membrana, en el que se realizó operaciones de limpieza cada cierto tiempo de manera que no se obstruya y cumpla un óptimo proceso de potabilización.

Por otro lado, se planteó que el uso de un sistema de membranas específicamente para el tratamiento de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa mediante una membrana de ultrafiltración es una técnica adecuada y eficaz para su potabilización. Se evaluó su desempeño con diversos parámetros organolépticos y microbiológicos, de manera paralela se usó un pre filtro como pre tratamiento debido a la alta presencia de sólidos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, aceptamos la hipótesis alternativa general que establece que los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración influyen significativamente en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa. Lo mencionado guarda un vínculo con lo dicho por (Conejos Buj, 2013), quien señala que se obtienen datos significativos (presión de trabajo, flujo de permeado) que son indispensables para el posterior diseño a escala industrial.

Los resultados obtenidos tienen relación con lo mencionado por (Rojas Vargas, 2008), (Alegre Lizardi, 2009), (Suarez Ramirez, 2016) y (Macías Sanchez, 2012), estos autores manifiestan que el uso de un sistema de membranas para el tratamiento de agua es eficaz para la eliminación y retención de parámetros organolépticos y microbiológicos, los resultados que obtuvieron los autores en mención guardan relación con los resultados obtenidos en la presente investigación.

En la tesis realizada por (Alventosa de Lara, 2015), indica que el cloruro de sodio en el alimento disminuye la efectividad de un sistema de ultrafiltración, ocasionando una mayor obstrucción de sales, caso que no debería ocurrir, ya que disminuye la productividad del proceso de UF. Por otro lado, (Li, y otros, 2018) sostiene que, el estudio de filtración mostró que la membrana usada resultó efectiva respecto a aguas residuales de alta salinidad. De lo mencionado, podemos darnos cuenta que existen membranas de ultrafiltración que pueden ser usadas para la retención de sales en flujos de agua.

En lo que respecta a los parámetros de operación en un módulo de ultrafiltración, en este estudio se estableció el flujo, la presión y concentración, en cambio (Pérez Fernández, 2017) considera que la temperatura, presión y velocidad son aptas para el tratamiento de aguas mediante las tecnologías de ultrafiltración, ya que demostraron ser muy útiles para la recuperación de las aguas en industrias papeleras, de manera que evita la destrucción, deformación y caracterización de la membrana utilizada.

Por otro lado, (Firman, Ochoa, Marchese, & Pagliero, 2017) y (Zhang, Wei, Hu, & Sun, 2018) afirman se realizó la caracterización de alimentación y permeado, obteniendo que la membrana retiene entre el 89-100% de aceite y grasas, 20-40% de demanda química de oxígeno, pero sin embargo el pH y sólidos solubles totales se mantuvieron inalterables, estos dos últimos no concuerdan con el presente estudio, ya que en la figura 6 y 10 podemos observar que los resultados obtenidos fueron realmente positivos, ambos parámetros variaron considerablemente, permitiendo que se encuentren dentro de los límites máximos permisibles.

Respecto a los parámetros microbiológicos, (Malmali, y otros, 2018), (Carreño Martínez, 2009), (Caro Estrada) manifiestan que el uso de tecnologías de membranas demuestra un alto grado de eliminación de microorganismos, de igual modo (Rojas Vargas, 2008) sostiene que las eliminaciones de agentes microbiológicos fueron excepcionales, llegando a eliminar el 100% de estos indicadores: Coliformes fecales, E. coli, Enterococos fecales, Clostridium perfringens y colifagos somáticos. Tenido en cuenta lo mencionado por los autores, un sistema de ultrafiltración también es usado para la eliminación de agentes microbiológicos, permitiendo eliminar el mayor porcentaje de estos. Así como los autores mencionados obtuvieron resultados favorables, la presente investigación tuvo los mismos resultados. Sin embargo, el autor (Rubio Clemente, Chica Arrieta, & Peñuela Mesa, 2013) sostiene que para parámetros microbiológicos puede limitar su aplicación individual de la tecnología de filtración para tratamiento de aguas residuales, es decir que para la evaluación de estos parámetros no siempre se obtendrán los mismos resultados.

Uno de los aspectos más importantes en el uso de sistemas de membranas es la limpieza, (Hernández Navarro, 2015), (Chapinal Lázaro, 2013) indican que el lavado de las membranas tienen un elevado precio, ya que se usa productos químicos para su realización, el rango de tiempo para lavar una membrana dependerá del tipo de alimentación que ingresa a un sistema de membranas, no todos los efluentes tienen la misma caracterización ni calidad de agua, es por ello que es mejor implementar un sistema de pretratamiento o colocar filtros antes del ingreso de la membrana de ultrafiltración, de manera que el sistema no sufra obstrucciones continuamente. Por otro lado, (Jiménez Benítez, 2012) indica que la regeneración química de la membrana es capaz de recuperar parte de la capacidad filtrante de la membrana, al eliminar la componente irreversible del ensuciamiento. El autor, (Corbatón Báguena, 2015) quien sostiene que, la limpieza de membranas mediante disoluciones salinas para membranas de ultrafiltración es la sal NaCl, ya que las disoluciones de NaCl fueron capaces de limpiar de manera efectiva.

Los autores, (Roque, Escudero, & Benito, 2017), (Ching-Chung, 2015) y (Borea, y otros, 2017) sostienen que, los resultados obtenidos resaltan la aplicabilidad de este proceso combinado para la mejora de la ultrafiltración de membrana y como una opción alternativa a los tratamientos convencionales de aguas residuales terciarias. De lo mencionado, se induce que usar las tecnologías de membranas son eficaces en sus procesos y optan un comportamiento eficiente para el tratamiento de aguas residuales como lo señala (Lafi, Gzara, Lajimi, & Hafiane, 2018) y (Sumisha, Arthanareeswaran, Lukka Thuyavan, Ismail, & Chakraborty, 2015) quienes mencionan también que, sus resultados obtenidos fueron significativos entre los parámetros analizados, tales como: pH, turbiedad, conductividad, dureza, sólidos totales disueltos, entre otros. Además,

sostienen que es necesario realizar un pretratamiento a la fuente de alimentación, de tal modo que la membrana no se obstruya frecuentemente.

Existen estudios que sustentan la efectividad y rentabilidad respecto al uso de tecnologías de membranas en distintos sectores industriales, de lo mencionado tenemos a (Qiu, y otros, 2016), (Tang, Zhang, & Zhang, 2018), (Huang, Du, Zhang, Lawless, & Feng, 2015), quienes manifiestan que, la metodología que se desarrolla mediante la ultrafiltración centrífuga es ideal para la retención de virus y mantener desinfectado el producto durante el tiempo de uso, lo autores en mención destacan factores importantes como su simplicidad, rapidez y rentabilidad para eliminar agentes microbiológicos en aguas residuales, empleando un sistema combinado con ozonización y uso de una membrana cerámica en el tratamiento de aguas residuales, en este caso esta metodología mejora la producción del licor mixto y elimina la retención de sólidos en la membrana. Es notable que la tecnología de ultrafiltración se está usando para muchos sistemas de tratamiento, demostrando su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales, enfocados en distintos objetivos y sectores.

Por otro lado, el autor (Petricin, Korenak, Povodnik, & Hélix-Nielsen, 2015) menciona que, es posible añadir el proceso de ultrafiltración como tratamiento previo para eliminar los contaminantes disueltos, coloidales y eliminar el ensuciamiento de la membrana antes de un proceso final de ósmosis inversa que dé como resultado un permeado que cumpliría los criterios de reutilización. El autor en mención, muestra que el tratamiento de ultrafiltración y ósmosis inversa eliminó entre 91.3% y 99.8% de los contaminantes del efluente, como elementos metálicos,

compuestos orgánicos e inorgánicos. El autor (Monnot, Laborie, & Cabassud, 2016) destaca la eficacia cuando se usa como etapa de pretratamiento, pero indica que no es lo suficientemente eficaz para eliminar el carbono orgánico disuelto. (Galloway & Mahoney, 2004) indica que, el tratamiento para aguas marinas mediante osmosis inversa debería tener un pretratamiento adecuado, el autor menciona que la ultrafiltración tiene ventajas significativas ante los tratamientos convencionales.

4.2 Conclusiones

- Mediante la evaluación de los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa, podemos asegurar una calidad de agua óptima para el consumo humano, siendo evaluadas con los LMP establecidos en el DS 031-2010.
- Se realizó la caracterización de los parámetros físico químicos y microbiológicos del agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa, permitiendo obtener un diagnóstico del pretest, los cuales en su mayoría estuvieron por encima de los LMP.
- Se evaluó de la presión y el flujo de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa, la presión con 3 psi, el flujo con 5 litros por minuto de agua permeada y 5 litros por minuto de agua de rechazo.

- Se caracterizaron los parámetros físico químicos y microbiológicos del agua producto obtenido de un sistema de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa, obteniendo el diagnóstico del posttest, los cuales permanecieron por debajo de los LMP.
- El uso de una lámpara ultravioleta obtuvo un efecto significativo de desinfección del 100% para los indicadores de los parámetros microbiológicos.
- El uso de la membrana de ultrafiltración fue eficiente durante el periodo de la investigación, ya que mantuvo un comportamiento óptimo del 100%, a pesar de estar sometida a diferentes pruebas de presión como 1, 2, 3, 4 y 5 psi y a la exposición intensiva de sólidos.

REFERENCIAS

Rock, C., & Rivera, B. (2014). La Calidad del Agua, E. coli y su Salud. COLLEGE OF AGRICULTURE AND LIFE SCIENCES, 1.

Alegre Lizardi, J. L. (2009). Remoción de micro organismos patógenos utilizando polímeros como mecanismo de ultrafiltración en aguas de origen doméstico. México.

Álvarez Arroyo, R. (2017). Contaminación en redes de distribución de agua potabilizada mediante membranas de ultrafiltración. Granada.

Alventosa de Lara, E. (2015). Ultrafiltración de efluentes de la industria textil. Estudio de los parámetros de operación y mecanismos de ensuciamiento. Valencia.

Amezcuca Fernández, P. (2015). Diseño de un sistema portable de desalinización de agua de supervivencia marina para consumo humano mediante la energía solar fotovoltaica mediante osmosis inversa.

Andrade Cuvi, M. J., Moreno Guerrero, C., Henríquez Bucheli, A., Gómez Gordillo, A., & Concellón, A. (2010). Influencia de la radiación UV como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrocha carambola L.*) minimamente procesada almacenada en refrigeración.

Arango Ruíz, A., & Garcés Giraldo, L. F. (2009). Influencia de la conductividad eléctrica en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Producción + Limpia*, 57.

Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad del los recursos hidricos superficiales. Lima.

Borea, L., Nadeo, V., Shalaby, M., Zarra, T., Belgiorno, V., Abdalla, H., & Shaban, A. (2017). Wastewater treatment by membrane ultrafiltration enhanced with ultrasound: Effect of membrane flux and ultrasonic frequency. Elsevier.

Caro Estrada, R. (s.f.). Estudio de aplicación de biorreactores de membranas (MBR) en la depuración de aguas residuales. . Cádiz.

Carrasco Díaz, S. (2009). METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA. Lima.

Carreño Martínez, Y. M. (2009). Modelado del proceso de ultrafiltración en un biorreactor de membranas utilizando redes neuronales. Valencia.

Cervantes Anangón, L. A. (2015). Diseño y construcción de un ablandador de agua mediante el empleo de resinas de intercambio iónico para abastecer los equipos térmicos del laboratorio de termodinámica. Quito.

Chapinal Lázaro, E. (2013). Estudio de sistemas de ultrafiltración en procesos de potabilización y de tratamiento de lixiviados. Valladolid.

Ching-Chung, L. (2015). Coupled precipitation-ultrafiltration for treatment of high fluoride-content wastewater. Taipei: Elsevier.

Conejos Buj, A. M. (2013). Diseño de una planta de ultrafiltración para el tratamiento de aguas residuales de una industria textil . Valencia.

Corbatón Báguena, M. J. (2015). Limpieza de membranas de ultrafiltración aplicadas a industria alimentaria por medio de técnicas no convencionales y caracterización del ensuciamiento de las membranas. Valencia.

Deiana, A. C., Granados, D. L., & Sardella, M. F. (2018). Balance de Masa.

Déniz Quintana, F. (2010). Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO5 y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa. Las Palmas de Gran Canaria.

Escobar Jiménez, J., Muro Urista, C., & Castellanos Estupiñan, J. (2011). Optimización del proceso de ultrafiltración de efluentes de una industria de cereales.

Escobedo P., T., Salas Plata, J., & Muñoz M., G. (2006). Evaluación de los procesos de purificación de una despachadora de agua potable en ciudad Juarez. Juarez.

Espinoza Rodriguez, L. M. (2015). ESTUDIOS DE TRATABILIDAD DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL UTILIZANDO TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS. Colombia.

Firman, L. R., Ochoa, N. A., Marchese, J., & Pagliero, C. L. (2017). Tratamiento de efluentes acuosos provenientes de la industria de biodiesel, utilizando tecnología de membranas. REVISTAMATERIA, 1.

Galloway, M., & Mahoney, J. (2004). Ultrafiltration for seawater reverse osmosis pretreatment. Massachusetts: Elsevier.

Gómez Polanco, E. P., & Martínez Valeriano, V. H. (2013). Estudio de optimización de variables de funcionamiento de un sistema de electrocoagulación para tratar aguas de industria textil. Quito.

Hernández Navarro, M. (2015). Caracterización del ensuciamiento en membranas de ultrafiltración mediante parámetros de medida de resistencia en operación de flujo cruzado. Gran Canaria.

Hernandez Navarro, M. (2015). Caracterización del ensuciamiento en membranas de ultrafiltración mediante parámetros de medida de resistencia en operación de flujo cruzado.

Las Palmas de Gran Canaria.

Huang, Y., Du, J., Zhang, Y., Lawless, D., & Feng, X. (2015). Removal of mercury (II) from wastewater by polyvinylamine-enhanced ultrafiltration. Elsevier.

Jiménez Benítez, A. (2012). Estudio en la planta piloto de la aplicación de la tecnología de membranas para el tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas. Valencia.

Lafi, R., Gzara, L., Lajimi, R., & Hafiane, A. (2018). Treatment of textile wastewater by a hybrid ultrafiltration/electrodialysis process. Elsevier.

Li, T., Zhang, W., Zhai, S., Gao, G., Ding, J., Zhang, W., . . . Lv, L. (2018). Efficient removal of nickel(II) from high salinity wastewater by a novel PAA/ZIF-8/PVDF hybrid ultrafiltration membrane. Elsevier.

Lluch, M. (1983). Métodos oficiales de análisis microbiológicos de aguas potables de consumo directo. Madrid.

Lluís Berdonces, J. (2008). La problemática del tratamiento del agua potable.

Londoño Carvajal, A., Giraldo Gomez, G. I., & Gutierrez Gallego, Á. A. (2010). Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua. Colombia: Blanecolor Ltda.

Macías Sanchez, A. (2012). Evaluación de procesos de ultrafiltración por membranas como pre-tratamiento de osmosis inversa. Aplicación a aguas salobres como el río Llobregat. Barcelona.

Malmali, M., Askegaard, J., Sardari, K., Eswaranandam, S., Sengupta, A., & Wickramasinghea, R. (2018). Evaluation of ultrafiltration membranes for treating poultry processing wastewater. Elsevier.

Martin Pascual, J. (2014). Estudio tecnico de biorreactores de membrana con lecho móvil aplicados al tratamiento de aguas residuales urbanas. Granada.

MINSA. (2011). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Lima.

Monnot, M., Laborie, S., & Cabassud, C. (2016). Granular activated carbon filtration plus ultrafiltration as a pretreatment to seawater desalination lines: Impact on water quality and UF fouling. Elsevier.

Norma Mexicana, N.-A.-0.-S.-2. (2001). Análisis de agua - determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Organismo Mundial de la Salud. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. Ginebra.

Ortiz Varón, J. E. (2011). Manual de métodos fisicoquímicos básicos para el análisis de agua para consumo humano. Bogotá.

Otero Fernández, A. (2017). Aplicaciones de la nanofiltración para el acondicionamiento del agua potable destinada a la industria farmaceutica y tratamiento de vertidos toxicos conteniendo metales pesados cromo (VI) y plomo (II). Madrid.

Panachlor. (s.f.). Panachlor.com. Obtenido de Panachlor.com: [http://panachlor.com/wp-content/uploads/pdf/Solidos-Disueltos-Totales-\(TDS\)-Electroconductividad-\(EC\).pdf](http://panachlor.com/wp-content/uploads/pdf/Solidos-Disueltos-Totales-(TDS)-Electroconductividad-(EC).pdf)

Pérez Fernández, D. A. (2017). Optimización de parámetros de operación en procesos de ultrafiltración para la eliminación de materia orgánica en la regeneración de aguas de proceso de una industria papelera. Valencia.

Petricin, I., Korenak, J., Povodnik, D., & Hélix-Nielsen, C. (2015). A feasibility study of ultrafiltration/reverse osmosis (UF/RO)-based wastewater treatment and reuse in the metal finishing industry. Elsevier.

Qiu, Y., Lee, B., Ruecker, N., Neumann, N., Ashbolt, N., & Pang, X. (2016). A one-step centrifugal ultrafiltration method to concentrate enteric viruses from wastewater. Elsevier.

Rodríguez Zamora, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. Pensamiento Actual, 129.

Rojas Vargas, J. C. (2008). Potabilización de aguas superficiales mediante el proceso de ultrafiltración con membranas arrolladas en espiral. Granada: Editorial de la Universidad de Granada.

Roque, L., Escudero, I., & Benito, J. (2017). Separation of sodium lactate from Span 80 and SDS surfactants by ultrafiltration. Burgos: Elsevier.

Rubio Clemente, A., Chica Arrieta, E. L., & Peñuela Mesa, G. A. (2013). Procesos de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes. Medellín.

Ruvalcaba Sil, J. L. (2013). Métodos Analíticos para la determinación de Metales Pesados. Trillas.

Singh, R. (2014). Membrane technology and engineering for water purification.

Solis, C., Vélez, C., & Ramírez Navas, J. (2017). Tecnología de membranas: Ultrafiltración.

Suares Ramirez, A. M. (2016). Propuesta de dimensionamiento de un sistema de ultrafiltración, para tratar agua permeada almacenada. Bogotá.

Sumisha, Arthanareeswaran, Lukka Thuyavan, Ismail, & Chakraborty. (2015). Treatment of laundry wastewater using polyethersulfone/polyvinylpyrrolidone ultrafiltration membranes. Elsevier.

Tang, S., Zhang, Z., & Zhang, X. (2018). Coupling in-situ ozonation with ferric chloride addition for ceramic ultrafiltration membrane fouling mitigation in wastewater treatment: Quantitative fouling analysis. Elsevier.

Tonato Tualumbo, J. J. (2010). Diseño e implementación de un sistema de control y HMI en la planta de tratamiento de agua de las calderas de vapor para la refinería estatal esmeraldas. Latacunga.

Varela Lopez, A. (Lunes de Septiembre de 2013). T Student Muestras Independientes. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=W6fuVCGGK8I&t=225s>

Vargas, L. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano. Lima.

Zhang, Y., Wei, S., Hu, Y., & Sun, S. (2018). Membrane technology in wastewater treatment enhanced by functional nanomaterials. Tianjin: Elsevier.

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA																										
EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE UN MÓDULO DE ULTRAFILTRACIÓN EN LA OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE A PARTIR DE AGUA DE RECHAZO DE UN SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA																										
AUTOR: OSCAR JUBERT ASCUE ALEJOS																										
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES																							
<p>¿Es posible evaluar los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa?</p> <p>Problema específico 1</p> <p>¿Es posible caracterizar los parámetros físico químicos y microbiológicos del agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa?</p> <p>Problema específico 2</p> <p>¿Es posible la evaluar la presión y el flujo de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa?</p> <p>Problema específico 3</p> <p>¿Es posible caracterizar los parámetros físico químicos y microbiológicos del agua producto obtenido de un sistema de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa?</p>	<p>Evaluar los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.</p> <p>Objetivo Específico 1</p> <p>Caracterizar parámetros físico químicos y microbiológicos del agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.</p> <p>Objetivo Específico 2</p> <p>Evaluar la presión y el flujo de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.</p> <p>Objetivo Específico 3</p> <p>Caracterizar parámetros físico químicos y microbiológicos del agua producto obtenido de un sistema de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa</p>	<p>Los parámetros de operación de un módulo de ultrafiltración influyen significativamente en la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.</p> <p>Hipótesis Específico 1</p> <p>La caracterización físico química y microbiológica del agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa influyen significativamente la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.</p> <p>Hipótesis Específico 2</p> <p>La evaluación de la presión y el flujo de un módulo de ultrafiltración en la obtención de agua potable a partir de concentrado de osmosis inversa influyen significativamente la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.</p> <p>Hipótesis Específico 3</p> <p>La caracterización físico química y microbiológica del agua producto obtenido de un sistema de ultrafiltración influyen significativamente la obtención de agua potable a partir de agua de rechazo de un sistema de osmosis inversa.</p>	<p>Variable 1: Parámetros de Operación</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>DIMENSIONES</th> <th>INDICADORES</th> <th>UNIDAD DE MEDIDA</th> <th>RANGO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Parámetros de Operación</td> <td>Flujo</td> <td>Litros/minuto</td> <td>0 - 5</td> </tr> <tr> <td>Presión</td> <td>Psi</td> <td>0 - 150</td> </tr> </tbody> </table>	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO	Parámetros de Operación	Flujo	Litros/minuto	0 - 5	Presión	Psi	0 - 150												
			DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	RANGO																				
Parámetros de Operación	Flujo	Litros/minuto	0 - 5																							
	Presión	Psi	0 - 150																							
<p>Variable 2: Agua Potable</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th></th> <th>UNIDAD DE MEDIDA</th> <th>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">Parámetros Organolépticos</td> <td>pH</td> <td>Valor de pH</td> <td>6,5 a 8,5</td> </tr> <tr> <td>Cloruros</td> <td>mg/L</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>Turbiedad</td> <td>UNT</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Conductividad</td> <td>µm/cm</td> <td>1 500</td> </tr> <tr> <td>Sólidos Totales Disueltos</td> <td>mgL-1</td> <td>1 000</td> </tr> <tr> <td>Dureza Total</td> <td>mg CaCO3 L-1</td> <td>500</td> </tr> </tbody> </table>					UNIDAD DE MEDIDA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	Parámetros Organolépticos	pH	Valor de pH	6,5 a 8,5	Cloruros	mg/L	250	Turbiedad	UNT	5	Conductividad	µm/cm	1 500	Sólidos Totales Disueltos	mgL-1	1 000	Dureza Total	mg CaCO3 L-1	500	
		UNIDAD DE MEDIDA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE																							
Parámetros Organolépticos	pH	Valor de pH	6,5 a 8,5																							
	Cloruros	mg/L	250																							
	Turbiedad	UNT	5																							
	Conductividad	µm/cm	1 500																							
	Sólidos Totales Disueltos	mgL-1	1 000																							
	Dureza Total	mg CaCO3 L-1	500																							
			<p>Parámetros microbiológicos</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Bacterias Coliformes Totales</td> <td>UFC/100 mL a 35°C</td> <td>0 (*)</td> </tr> <tr> <td>Echerichia Coli</td> <td>UFC/100 mL a 44,5°C</td> <td>0 (*)</td> </tr> <tr> <td>Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.</td> <td>UFC/100 mL a 44,5°C</td> <td>0 (*)</td> </tr> </tbody> </table>	Bacterias Coliformes Totales	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)	Echerichia Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)	Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)														
Bacterias Coliformes Totales	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)																								
Echerichia Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)																								
Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)																								

UCV = Unidad de color verdadero
 UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad
 UFC = Unidad formadora de colonias
 (*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8/100 ml

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Matriz de consistencia

ANEXO 2: Materiales



Figura 17. Materiales utilizados para la construcción de un módulo de ultrafiltración.

Fuente: Elaboración propia

- a) Tablero inoxidable para manómetros (30cm x 40cm).
- b) Tablero inoxidable como base de bomba de agua (50cm x 60cm).
- c) Flujómetros (rango de 0 a 4 LPM).
- d) Barras de acero inoxidable (2 unidades de 3 metros).
- e) Manómetros (rango de 0 a 160 psi).
- f) Codo (1/2", 3/4" y 1").
- g) Unión (1/2" y 3/4").
- h) Bushing (1/2" y 3/4").
- i) Tee (1/2" y 3/4").
- j) Niple (1/2").
- k) Adaptador (1/2" y 3/4").
- l) Teflón.
- m) Reducción (1/2" y 3/4").
- n) Válvula de bola (1/2", 3/4" y 1").
- o) Válvula universal (1/2", 3/4" y 1").

- p) Tanque de almacenamiento de agua (250 litros).
- q) Válvula de aguja (1/2”).
- r) Pegamento de PVC.
- s) Tubería de PVC (1/2”, 3/4” y 1”).
- t) Conector neumático (3 unidades).
- u) Manguera de 1/4” (1.5 metros).
- v) Filtro y porta filtro.
- w) Bomba de agua 1/2 hp.
- x) Lámpara ultravioleta.
- y) Membrana de ultrafiltración.

ANEXO 3: Instrumentos

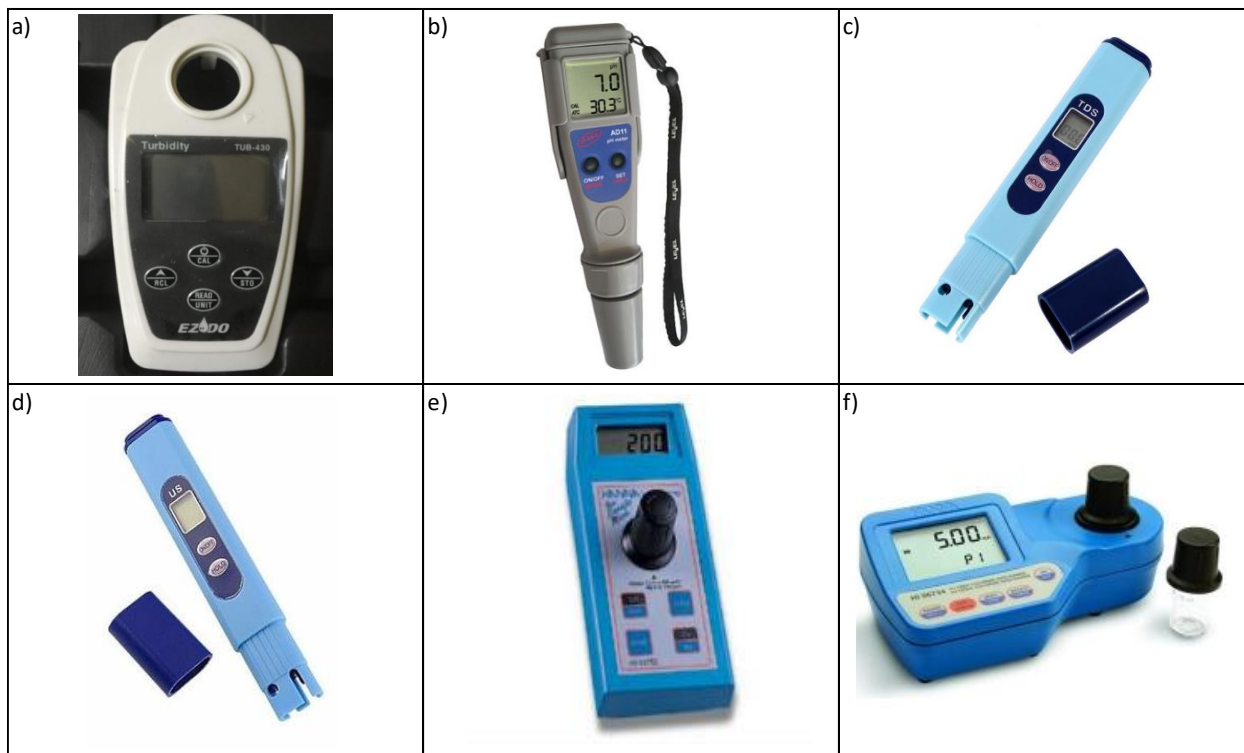


Figura 18. Instrumentos usados para la evaluación de parámetros organolépticos y microbiológicos.

Fuente: Elaboración propia

- a) Turbimímetro.
- b) pH-metro.
- c) Sólidos Totales Disueltos.
- d) Conductímetro.
- e) Medidor de Cloruros.
- f) Medidor de Dureza total.

ANEXO 4: Elección de la prueba estadística

		PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS			PRUEBAS PARAMÉTRICAS
Variable Aleatoria / Variable Fija		NOMINAL DICOTÓMICA	NOMINAL POLITÓMICA	ORDINAL	NUMÉRICA
Estudio Transversal	Un grupo	X ² Bondad de Ajuste Binomial	X ² Bondad de Ajuste	X ² Bondad de Ajuste	T de Student (una muestra)
	Dos grupos	X ² Bondad de Ajuste Corrección de Yates Test exacto de Fisher	X ² de Homogeneidad	U Mann-Whitney	T de Student (muestras Independientes)
Muestras Independientes	Más de dos grupos	X ² Bondad de Ajuste	X ² Bondad de Ajuste	H Kruskal-Wallis	ANOVA con un factor INTERSujetos
Estudio Longitudinal	Dos medidas	Mc Nemar	Q de Cochran	Wilcoxon	T de Student (muestras Relacionadas)
	Más de dos Medidas	Q de Cochran	Q de Cochran	Friedman	ANOVA para medidas repetidas (INTRASujetos)

Figura 19. Elección de la prueba estadística.

Fuente: (Varela Lopez, 2013).

ANEXO 5: Alimentación del módulo de ultrafiltración



Figura 20. Planta de osmosis inversa.

Fuente: Empresa Tecnología de Membranas.



Figura 21. Tanque de carbón activado.

Fuente: Empresa Tecnología de Membranas.



Figura 22. Tanque de resina.

Fuente: Empresa Tecnología de Membranas.



Figura 23. Membrana de osmosis inversa.
Fuente: Empresa Tecnología de Membranas.



Figura 24. Lámpara ultravioleta.
Fuente: Empresa Tecnología de Membranas.

ANEXO 6: Resultados de parámetros Organolépticos

Tabla 24
Resultados del pH.

	pH			
	Pretest	Postest	LMP (min)	LMP (máx)
1	8,01	7,90	6,5	8,5
2	8,02	7,95	6,5	8,5
3	8,10	7,98	6,5	8,5
4	8,09	7,99	6,5	8,5
5	8,10	7,84	6,5	8,5
6	8,12	7,81	6,5	8,5
7	8,04	7,95	6,5	8,5
8	8,20	7,98	6,5	8,5
9	8,03	7,84	6,5	8,5
10	8,01	7,86	6,5	8,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25
Resultado de Cloruros.

Cloruros			
	Pretest	Postest	LMP
1	245,61	239,65	250
2	245,36	240,61	250
3	245,62	238,95	250
4	245,09	238,65	250
5	244,98	239,57	250
6	245,65	240,82	250
7	244,29	240,96	250
8	244,28	239,21	250
9	244,65	238,65	250
10	244,63	239,05	250

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26
Resultados de la turbidez.

Turbiedad			
	Pretest	Postest	LMP
1	15,03	2,62	5
2	15,12	2,53	5
3	15,36	2,65	5
4	15,21	2,45	5
5	15,13	2,39	5
6	14,98	2,51	5
7	15,01	2,62	5
8	15,13	2,52	5
9	15,36	2,46	5
10	14,99	2,43	5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27
Resultados de la conductividad.

Conductividad			
	Pretest	Postest	LMP
1	2114,62	1298,65	1500
2	2114,58	1298,68	1500
3	2114,95	1298,59	1500
4	2115,36	1298,15	1500
5	2115,63	1297,96	1500
6	2115,62	1297,69	1500
7	2114,95	1298,05	1500
8	2114,89	1298,26	1500
9	2115,65	1298,69	1500
10	2114,98	1298,62	1500

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28

Resultados de los sólidos totales disueltos.

Sólidos Totales Disueltos			
	Pretest	Postest	LMP
1	1359,95	945,69	1000
2	1357,70	945,95	1000
3	1358,95	945,98	1000
4	1359,69	945,05	1000
5	1358,71	946,95	1000
6	1359,76	946,85	1000
7	1358,90	946,98	1000
8	1357,95	946,06	1000
9	1357,89	946,65	1000
10	1357,65	946,95	1000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29
Resultado de dureza total.

Dureza Total			
	Pretest	Postest	LMP
1	481,34	472,69	500
2	482,03	473,62	500
3	482,12	473,98	500
4	482,23	472,15	500
5	481,21	473,62	500
6	481,87	473,95	500
7	483,01	473,98	500
8	483,05	472,94	500
9	483,11	474,66	500
10	482,93	473,55	500

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 7: Resultados de parámetros Microbiológicos

Tabla 30

Resultados de Bacterias coliformes totales.

Bacterias Coliformes Totales			
	Pretest	Postest	LMP
1	0,985	0,00	0
2	0,999	0,00	0
3	0,958	0,00	0
4	1,021	0,00	0
5	1,001	0,00	0
6	1,010	0,00	0
7	0,986	0,00	0
8	0,989	0,00	0
9	0,953	0,00	0
10	1,023	0,00	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31
Resultados de Echerichia Coli.

Echerichia Coli			
	Pretest	Postest	LMP
1	1,233	0,00	0
2	1,356	0,00	0
3	1,359	0,00	0
4	1,364	0,00	0
5	1,205	0,00	0
6	1,198	0,00	0
7	1,295	0,00	0
8	1,364	0,00	0
9	1,498	0,00	0
10	1,023	0,00	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32
Resultados de Bacterias coliformes termotolerantes

Bacterias Coliformes Termotolerantes			
	Pretest	Postest	LMP
1	1,231	0,00	0
2	1,251	0,00	0
3	1,265	0,00	0
4	1,359	0,00	0
5	1,205	0,00	0
6	1,198	0,00	0
7	1,295	0,00	0
8	1,364	0,00	0
9	1,498	0,00	0
10	1,023	0,00	0

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 8: Resultado de Fluxes de permeado y rechazo de un módulo de ultrafiltración

Tabla 33

Fluxes de permeado y rechazo a diferentes presiones.

Presión	Flujo de permeado	Flujo de rechazo
1	240	560
2	320	480
3	400	400
4	480	320
5	560	240

Fuente: Elaboración propia.

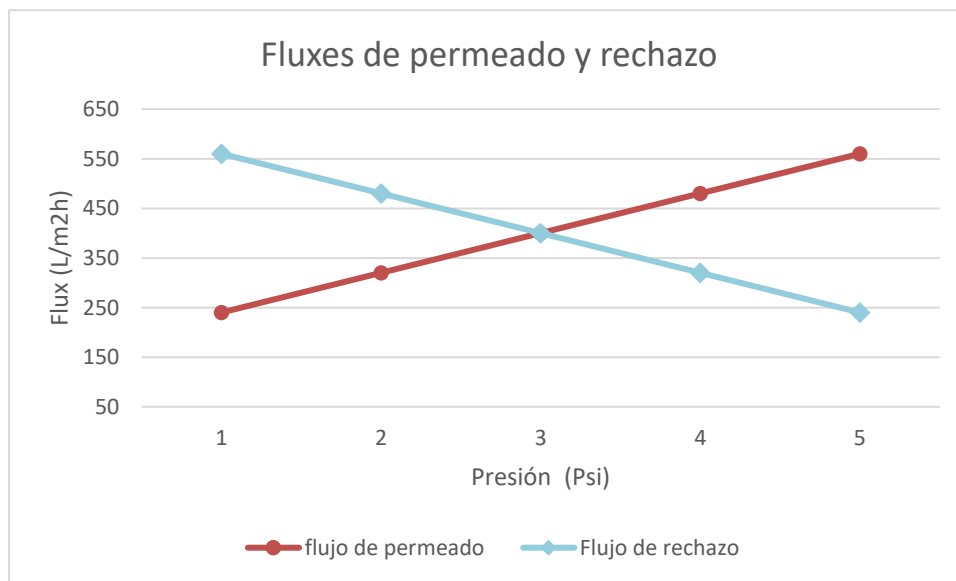


Figura 25 Fluxes de permeado y rechazo

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 9: Resultados de parámetros de operación

Tabla 34

Resultados de parámetros de operación a diferentes presiones

Presión	Flujo de alimentación (LPM)	Flujo de permeado (LPM)	Flujo de rechazo (LPM)	Parámetros/unidad	Concentración de alimentación	Concentración de permeado	Concentración de rechazo
1 psi	10	3	7	pH (Valor de pH)	8,01	7,79	8,67
				Cloruros (mg/L)	245,61	236,31	249,81
				Turbiedad (UNT)	15,03	2,18	18,42
				Conductividad (µS/cm)	2 114,60	1 157,30	2 124,24
				Sólidos Totales Disueltos (ppm)	1 359,95	385,31	1 777,54
				Dureza Total (mg/L)	481,34	410,83	488,73
				Bacterias Coliformes Totales (UFC)	0,99	0,00	0,99
				Echerichia Coli (UFC)	1,23	0,00	1,23
				Bacterias Coliformes Termotolerantes (UFC)	1,23	0,00	1,23
				2 psi	10	4	6
Cloruros (mg/L)	245,61	237,18	248,21				
Turbiedad (UNT)	15,03	2,41	18,13				
Conductividad (µS/cm)	2 114,60	1 201,78	2 123,60				
Sólidos Totales Disueltos (ppm)	1 359,95	737,09	1 775,11				
Dureza Total (mg/L)	481,34	453,52	487,34				
Bacterias Coliformes Totales (UFC)	0,99	0,00	0,99				
Echerichia Coli (UFC)	1,23	0,00	1,23				
Bacterias Coliformes Termotolerantes (UFC)	1,23	0,00	1,23				
3 psi	10	5	5				
				Cloruros (mg/L)	245,61	239,61	246,41
				Turbiedad (UNT)	15,03	2,62	16,01
				Conductividad (µS/cm)	2 114,60	1 298,60	2 116,02
				Sólidos Totales Disueltos (ppm)	1 359,95	945,69	1 773,97
				Dureza Total (mg/L)	481,34	472,69	483,51
				Bacterias Coliformes Totales (UFC)	0,99	0,00	0,99
				Echerichia Coli (UFC)	1,23	0,00	1,23
				Bacterias Coliformes Termotolerantes (UFC)	1,23	0,00	1,23
				4 psi	10	6	4
Cloruros (mg/L)	245,61	241,80	244,63				
Turbiedad (UNT)	15,03	2,98	15,56				
Conductividad (µS/cm)	2 114,60	1 342,80	2 114,25				
Sólidos Totales Disueltos (ppm)	1 359,95	1 086,58	1 769,89				
Dureza Total (mg/L)	481,34	475,57	480,49				
Bacterias Coliformes Totales (UFC)	0,99	0,00	0,99				
Echerichia Coli (UFC)	1,23	0,00	1,23				
Bacterias Coliformes Termotolerantes (UFC)	1,23	0,00	1,23				
5 psi	10	7	3				
				Cloruros (mg/L)	245,61	243,03	241,41
				Turbiedad (UNT)	15,03	3,19	15,13
				Conductividad (µS/cm)	2 114,60	1 397,51	2 110,16
				Sólidos Totales Disueltos (ppm)	1 359,95	1 187,09	1 763,15
				Dureza Total (mg/L)	481,34	478,21	475,44
				Bacterias Coliformes Totales (UFC)	0,99	0,00	0,99
				Echerichia Coli (UFC)	1,23	0,00	1,23
				Bacterias Coliformes Termotolerantes (UFC)	1,23	0,00	1,23

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35

Características principales del módulo de ultrafiltración

Módulo UF	Características
% de recuperación	50
Flujo de permeado (L/min)	5
Flujo de rechazo (L/min)	5
Dimensiones	1,5 x 0,45 x ,65
Membrana	
• Marca	SpiraSep
• Modelo	Espiral BM-90
• Tamaño de poro (μm)	0,05
• N° membranas	1
• Rango de presión (Psi)	1 - 5
Lampara ultravioleta	
• Marca	Huamo
• Material de carcasa	Acero inoxidable
• Longitud de onda (nm)	325,7
• Flujo de agua (m ³ /h)	0,1 - 200
• Tiempo de vida (hrs)	9000
• Potencia de la lámpara (W)	30
Tanque de alimentación	
• Volumen (L)	250
Bomba de agua	Centrifuga, autocebante
• Hp	0,5

Fuente: Elaboración propia