

Propuesta de prácticas experimentales de electrodiálisis y ultrafiltración con fines didácticos para la Electiva Ingeniería de Procesos en la Industria de Alimentos

Ana Sofía Argüello Quintero y Fernando Esteban Reyes Mojica

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Químico  
Modalidad Práctica en Docencia

Director

Carlos Jesús Muvdi Nova

Ingeniero Químico, M.Sc., Ph.D.

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas  
Escuela de Ingeniería Química  
Ingeniería Química  
Bucaramanga

2024

### **Dedicatoria**

*A mi mami, Leidy Quintero, quien me acompañó durante todo mi proceso, ayudándome en cualquier cosa que necesitara, siendo ese soporte en todos los momentos difíciles que se presentaron durante el camino y celebrando conmigo en las alegrías. Nada de esto hubiera sido posible sin su compañía.*

*A mi nonita Matilde Bayona, mi tía Carolina Quintero y mi tío David Quintero, quienes siempre han sido mi apoyo en todo momento. También a mis primas, Luciana y Annie, que son parte fundamental de mi vida.*

*A Jose Leiva, por su confianza, amor y por ser esa voz de motivación que más necesitaba en los momentos más difíciles de todo este camino.*

*Por último, a Fernando Reyes, porque sin él nada de esto hubiera sido posible. Gracias por ser el mejor compañero de tesis y de vida que pude tener.*

**Ana Sofía Argüello Quintero**

*Dedico esta tesis de grado a mis padres, Mabel Mojica y Luis Reyes, por apoyarme en todos los sentidos a lo largo de mi carrera universitaria y proyectos personales.*

*A mi hermana Sara Reyes por animarme, escucharme y estar presente para mí en todas las etapas de mi vida.*

*A mi abuela Gloria Velazco por preocuparse, velar por mí y mostrarme su amor cada vez que puede.*

*Finalmente, a mi amiga que hizo esto posible, Sofía Argüello por siempre trabajar en equipo, comunicarse de manera asertiva y hacer más amena la experiencia de trabajo de grado.*

**Fernando Esteban Reyes Mojica**

### **Agradecimientos**

Primero que todo, queremos agradecerle a nuestro director de tesis Carlos Jesús Muvdi por su apoyo, orientación y mucha paciencia en todo el proceso de la creación de este libro. A nuestras compañeras de laboratorio Oliva, Yuli y Angelica por toda su colaboración y apoyo en el laboratorio.

A la Universidad Industrial de Santander, a la Escuela de Ingeniería Química, al grupo CICTA y al semillero AICT por brindarnos todo el apoyo y herramientas necesarias para culminar este proceso. Así mismo, agradecemos a todos los participantes que asistieron activamente a los talleres convocados ya que sin ellos no hubiese sido posible realizar este proyecto.

A Luis Reyes por facilitarnos el transporte hacia Guatiguará cuando lo necesitábamos.

A nuestros amigos, Mafe, Pipe, Andrey, Laura, Catalina, Julián, Mariana, Paula, Laurita, Jose Carlos, Luisa, Nella, Karol, Alejandra por acompañarnos en estos 10 semestres de formación.

Gracias a los participantes de las noches de juegos de miércoles, Mateus, Sebastián S, Luisa, Jessica, Toño, Valentina, Diego, Sebastián V, Juan, Angie, Catalina, Alison, Camile, Sergio, Dayan, Wendy, Karol, Sergio G, Lady, Serrano, Andrés S, Catalina J, Isabella, Nicolás, Damián, Paula Z, Paula L, Juan Ma y Daniela por animar y ayudar a Fer a despejar su mente durante todo este proceso.

**Ana Sofía Argüello Quintero & Fernando Esteban Reyes Mojica**

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>10</b>
<b>1. Objetivos .....</b>	<b>11</b>
1.1 Objetivo General .....	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
<b>2. Marco teórico y estado del arte.....</b>	<b>12</b>
2.1 Ultrafiltración con membranas .....	12
2.2 Electrodiálisis.....	14
<b>3. Metodología .....</b>	<b>17</b>
3.1 Conocimiento de los equipos y construcción de los talleres de ultrafiltración y electrodiálisis .....	18
3.1.1 Ultrafiltración .....	18
3.1.2 Electrodiálisis.....	18
3.2 Evaluación con los estudiantes para el taller de ultrafiltración utilizando lactosuero .....	19
3.3 Evaluación de los estudiantes respecto al taller de electrodiálisis utilizando soluciones ideales y lactosuero clarificado .....	19
<b>4. Análisis y Discusión de Resultados .....</b>	<b>20</b>
4.1 Conocimiento de los equipos y elaboración de los documentos para los talleres de ultrafiltración y electrodiálisis .....	20
4.1.1 Preparación para ultrafiltración .....	20
4.1.2 Preparación para electrodiálisis .....	23
4.2 Ejecución y retroalimentación del taller de ultrafiltración .....	24
4.3 Puesta en marcha y evaluación del taller de electrodiálisis .....	27
<b>5. Conclusiones .....</b>	<b>33</b>
<b>6. Recomendaciones .....</b>	<b>34</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>35</b>
<b>Apéndices .....</b>	<b>38</b>

**Lista de tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Descripción de las características de los pilotos actual y antiguo.....	13
Tabla 2. Habilidades adquiridas con el taller propuesto .....	22

**Lista de figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Configuraciones de los equipos de ultrafiltración .....	13
Figura 2. Configuración inicial equipo de electrodiálisis .....	15
Figura 3. Diagrama metodológico.....	17
Figura 4. Equipo de ultrafiltración simplificado.....	21
Figura 5. Pretratamiento del lactosuero, a) Tratamiento Térmico, b) Descremado. ....	23
Figura 6. Taller de ultrafiltración con integrantes de la electiva .....	24
Figura 7. Turbidez permeados y retenidos en una de las prácticas realizadas usando lactosuero .....	25
Figura 8. Calificación práctica de ultrafiltración .....	26
Figura 9. Promedio de respuestas realizadas antes y después de las correcciones .....	27
Figura 10. Taller de electrodiálisis con integrantes del semillero A.I.C.T. del grupo CICTA.....	28
Figura 11. Conductividad de las muestras de una de las prácticas en el tiempo.....	29
Figura 12. Calificación práctica de electrodiálisis .....	30
Figura 13. Concentraciones de ácido láctico obtenidas mediante HPLC .....	31
Figura 14. Concentraciones de hierro obtenidas mediante absorción atómica .....	32

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Protocolo de ultrafiltración.....	38
Apéndice B. Infografía proceso de ultrafiltración .....	47
Apéndice C. Hoja de datos práctica ultrafiltración .....	48
Apéndice D. Histórico membranas.....	48
Apéndice E. Protocolo actualizado de electrodiálisis .....	49
Apéndice F. Infografía proceso de electrodiálisis.....	57
Apéndice G. Hoja de datos práctica electrodiálisis.....	58
Apéndice H. Respuestas encuesta ultrafiltración .....	58
Apéndice I. Respuesta encuesta electrodiálisis .....	62
Apéndice J. Resultados prueba HPLC .....	66
Apéndice K. Informe técnico proyecto de extensión .....	67
Apéndice L. Resultados concentración de Hierro.....	73

## Resumen

**Título:** Propuesta de prácticas experimentales de electrodiálisis y ultrafiltración con fines didácticos para la Electiva Ingeniería de Procesos en la Industria de Alimentos\*

**Autor:** Ana Sofía Argüello Quintero y Fernando Esteban Reyes Mojica\*\*

**Palabras clave:** Electrodiálisis, ultrafiltración, permeabilidad, conductividad, lactosuero, grupo Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA).

### Descripción:

El grupo CICTA cuenta con equipos de ultrafiltración y electrodiálisis construidos con financiación de proyectos de investigación que han finalizado. A partir de esto surgió la idea de implementar talleres de ultrafiltración y electrodiálisis para la Electiva Ingeniería de Procesos en la Industria de Alimentos. Esto con el fin de profundizar las competencias procedimentales y cognitivas de los estudiantes. Los talleres propuestos cuentan con una infografía, hojas de Excel para la toma de datos, protocolos detallados de apagado, encendido, limpieza y práctica propuesta. Se realizaron pruebas piloto con estudiantes de la electiva mencionada y participantes del semillero A.I.C.T del grupo CICTA, lo que permitió que no solo estudiantes pertenecientes al programa de ingeniería química se beneficien de la experiencia. Al finalizar cada experiencia se realizaron encuestas de satisfacción para evaluar el material y práctica propuesta para asegurar la calidad de estas.

\*Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Carlos Jesús Muvdi Nova, Ingeniero Químico, M.Sc., Ph.D.

### **Abstract**

**Title:** Proposal for experimental electro dialysis and ultrafiltration practices for educational purposes in the Elective Course of Process Engineering in the Food Industry. \*

**Author:** Ana Sofía Argüello Quintero and Fernando Esteban Reyes Mojica\*\*

**Keywords:** Electro dialysis, ultrafiltration, permeability, conductivity, whey, Science and Food Technology group (CICTA, in Spanish)

### **Description:**

The CICTA group has ultrafiltration and electro dialysis equipment built with funding from completed research projects. This situation led to the idea of implementing workshops of ultrafiltration and electro dialysis in the elective course of Processes in the Food Industry. The main objective was to strengthen the students' procedural and cognitive competences related to these two processes. The proposed workshops included an infographic, Excel spreadsheets for data collection, detailed protocols for turning on, turning off and cleaning the equipment as well as an experimental practice proposal. Piloting tests were conducted with students enrolled in the above-mentioned course and members of the A.I.C.T research group adjoined to the CICTA group, which allowed not only Chemical Engineering students to benefit from the experience. At the end of each workshop, satisfaction surveys were conducted to assess the material and the proposed experimental practice in order to guarantee its high quality.

\*Graduation Project

\*\*Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Carlos Jesús Muvdi Nova, Chemical Engineer, M.Sc., Ph.D.

## Introducción

A inicio del año 2023 se implementó con ayuda de MinCiencias, y por primera vez, el equipo piloto de electrodiálisis en el marco del trabajo de grado “Implementación de un Piloto de Electrodiálisis para la Desalinización del Lactosuero y Derivados” (Cedeño González & Coronado Medrano, 2023). Por otra parte, en el año 2017 con la colaboración de MinCiencias, se construyó un equipo de ultrafiltración presente en el laboratorio de procesos del grupo CICTA, para la clarificación de hidrolizados de almidón a nivel industrial (Díaz & Ramos, 2017).

Desde sus inicios, estos equipos han apoyado actividades en espacios de docencia (talleres prácticos no documentados) e investigación (Trabajos de Grado), pero desde la finalización de dichos proyectos y Trabajos de Grado, los equipos quedaban sin uso durante periodos prolongados de tiempo. Por lo cual surgió como oportunidad la creación de dos prácticas de laboratorio para fortalecer competencias procedimentales y cognitivas, especialmente, en la Electiva Ingeniería de Procesos en la Industria de Alimentos. Así mismo, se actualizaron los protocolos de limpieza, encendido y apagado resultado de mejoras realizadas en los equipos.

Se espera que estas prácticas logren implementarse también con los estudiantes del semillero A.I.C.T del grupo CICTA, para que así todos los asistentes conozcan el correcto uso, manejo y disponibilidad de los equipos. Considerando lo expuesto, con esta propuesta se busca formalizar prácticas de laboratorio asegurando el uso frecuente de los equipos de electrodiálisis para el desalado y de ultrafiltración para la clarificación, de soluciones alimentarias.

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo General**

Proponer prácticas experimentales de electrodiálisis y ultrafiltración con fines didácticos para la Electiva Ingeniería de Procesos en la Industria de Alimentos.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Implementar talleres de ultrafiltración usando lactosuero, que complementen la formación de los estudiantes de la Electiva Ingeniería de Procesos en la Industria de Alimentos.
- Realizar prácticas de laboratorio de electrodiálisis, usando soluciones ideales y lactosuero, enfocado a los estudiantes de la Electiva Ingeniería de Procesos en la Industria de Alimentos.

## 2. Marco teórico y estado del arte

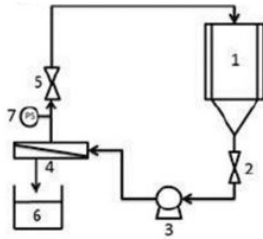
### 2.1 Ultrafiltración con membranas

La ultrafiltración es una operación que requiere el uso de membranas para llevar a cabo la separación de sólidos con el fin de clarificar un fluido líquido. Estas membranas poseen umbrales de corte que varían desde 0,0015  $\mu\text{m}$  hasta 0,1  $\mu\text{m}$  (ASPE, 2012). El tipo de filtración que presentan las membranas es la filtración tangencial. En este tipo de filtración, la solución fluye de manera paralela a la superficie de la membrana y, gracias a la diferencia de presión transmembrana, las partículas con menor tamaño al umbral de corte logran pasar a través de la membrana. La fracción de solución que pasa a través de la membrana se le conoce como permeado o filtrado, mientras que el fluido que es retenido por la membrana se le conoce como remanente o concentrado (Berk, 2018). En la actualidad, el grupo de investigación CICTA cuenta con un equipo de ultrafiltración con mejoras para la clarificación de soluciones. La Figura 1 (a) es un esquema del diseño antiguo del equipo, donde el sistema de alimentación y recirculación eran el mismo. En la sección (b) se presenta el esquema del diseño actual de la configuración del equipo con la mejora implementada, donde el sistema de recirculación es independiente del sistema de alimentación. En la Tabla 1 se especifica las partes del equipo a las que se hace referencia en la Figura 1.

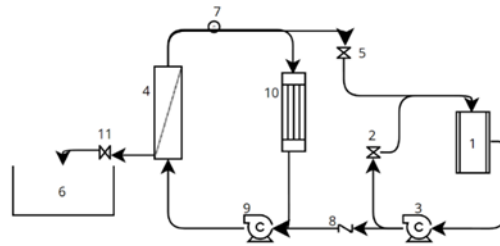
**Figura 1.**

Configuraciones del equipo de ultrafiltración.

a) Configuración antigua del equipo



b) Configuración actual del equipo



Nota. Tomado de Díaz &amp; Ramos, 2017

**Tabla 1.**

Descripción de las características de los pilotos de ultrafiltración actual y antiguo.

	Piloto antiguo	Piloto Actual
#	Elemento	Elemento
1	Tanque enchaquetado de 10L de capacidad	
2	Válvula salida de lactosuero	Válvula reguladora de la presión del sistema
3		Bomba centrífuga
4	Módulo de membrana: -Longitud: 1,2 m -Diámetro: 1 cm -Capacidad máx: 8 membranas -Material: Cerámica $\alpha$ -lúmina	Módulo de membrana: -Longitud: 1 m -Diámetro: 1 cm -Capacidad máx: 8 membranas -Material: Cerámica $\alpha$ -lúmina
5	Válvula reguladora de presión	Válvula para permitir recirculación al tanque
6	Tanque de almacenamiento de permeado	
7		Manómetro
8	-	Válvula cheque
9	-	Bomba centrífuga complementaria
10	-	Intercambiador de calor
11	-	Válvula de salida del permeado

Algunas de las variables que se tienen en cuenta en el proceso de ultrafiltración son: umbral de corte y temperatura. La temperatura es una variable que afecta en primera medida a la viscosidad del fluido a clarificar. El aumento de temperatura disminuye la viscosidad de la solución, lo que da lugar a una mayor permeabilidad. Sin embargo, la mayor importancia de la

temperatura radica en que esta no afecte de manera negativa la integridad y propiedades de la solución empleada (Rosdianah & Nurmin, 2016). El umbral de corte impacta en las moléculas a las cuales la membrana las permite el paso, entre menor sea el umbral de corte más restrictivo será con las partículas a las cuales permita fluir (Schwaller et al., 2022). El grupo CICTA tiene a disposición membranas de 0,3, 0,5 y 1  $\mu\text{m}$  de umbral de corte de diferentes marcas y el cárter de membranas posee una capacidad de 8 membranas de 1 m de largo.

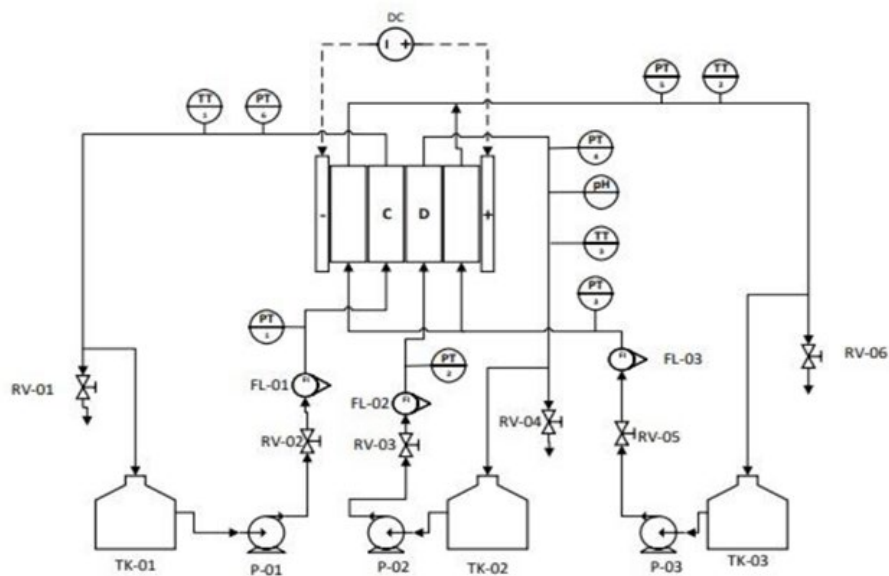
## 2.2 Electrodiálisis

La electrodiálisis es un proceso que consiste en separar iones de un fluido mediante el uso de membranas selectivas a cationes (membranas catiónicas) y membranas selectivas a los aniones (membranas aniónicas). Estas membranas se colocan de forma alternada, formando celdas. Al final del apilamiento de membranas se colocan los electrodos (cátodo y ánodo). Al establecer una diferencia de potencial eléctrico, los cationes se mueven hacia el cátodo, pero son retenidos por las membranas aniónicas y los aniones migran hacia el ánodo, pero son retenidos por las membranas catiónicas (Ávila G. et al., 2017). En este proceso, existen diferentes variables que influyen en la eficacia del proceso. El primero es el caudal, el cual influye en la caída de presión a través del sistema. Un caudal elevado puede causar una mayor caída de presión, lo que aumenta el requerimiento de energía para bombear la solución, aumentando el costo del proceso. Se debe equilibrar el caudal para evitar tanto la caída de presión excesiva como la baja eficiencia de separación iónica (Kevin et al, 2023). El potencial eléctrico (PE) es otra variable a considerar, es importante saber que al incrementar el voltaje aplicado (potencial eléctrico) se incrementará la transferencia de masa por unidad de área (Dévora-Isiordia et al., 2019).

Respecto al equipo de electrodiálisis del grupo CICTA, este cuenta con las siguientes características: Un módulo membranario modelo *EDM-Z/4x10-0.8\_19* producido por la empresa *MemBrain Ltda.* Este módulo cuenta con membranas de intercambio aniónico y catiónico heterogéneo de tipo *EDR-Z RALEX* con un espesor de 0,653 mm para CM y 0,614 mm para AM. Además, la unidad de electrodiálisis consta de 6 circuitos independientes; estos son destinados para los flujos de lavado de electrodos (CL), de diluido (CD) y de concentrado (CC) (Cedeño & Coronado, 2023). En la Figura 2 se observa el diseño inicial del equipo piloto de electrodiálisis planteado. Actualmente, el equipo piloto de electrodiálisis tiene una mejora que no está registrada en el diagrama presentado anteriormente. Esta mejora consiste en la inclusión de intercambiadores de calor en forma de serpentín en los tanques de lavado, diluido y concentrado (TK-01, 02 y 03).

**Figura 2**

*Configuración inicial equipo de electrodiálisis.*



Nota. Tomado de Peña & Roa, 2022

La selectividad de un proceso de electrodiálisis depende de las membranas con las que se trabaja y las condiciones de operación. Esta variable mide la capacidad de separar

preferencialmente iones de carga opuesta a las fijadas en la estructura de la membrana; esta debe ser lo más alta posible y se puede ver afectada por la movilidad y el tamaño de los iones (López, 2005). En este proceso también se puede analizar la selectividad respecto a las sales y componentes solubles partir de la conductividad y turbidez.

Respecto al compuesto de interés, el lactosuero es un subproducto contaminante resultado del proceso de coagulación de yogur y del queso (Guerra & Tovar, 2013). La importancia de este en la industria actualmente es la presencia de proteínas de interés como son lactoferrina,  $\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -lg) y  $\alpha$ -lactoalbúmina ( $\alpha$ -la) (Posada & Ramírez, 2011). Esta sustancia ha sido un efluente que se ha venido estudiando en el marco de diferentes proyectos de investigación y su uso no solo aporta un valor en las prácticas aplicadas, si no también, aumenta la información y conocimiento que se tiene sobre el comportamiento del fluido. Por otra parte, los hidrolizados de sangre de bovino tienen importancia debido a la presencia de péptidos con propiedades bioactivas tales como antimicrobiana, opioide, antihipertensiva, antioxidante, entre otras (Gómez et al., 2013). Así mismo, estudiantes de la Universidad Industrial de Santander que hacen parte del semillero de investigación, planean investigar sobre este producto y su contenido de hierro al someterlo al proceso de electrodiálisis. Sin embargo, se desconoce actualmente el porcentaje de pérdidas de este subproducto de interés.

### 3. Metodología

La Figura 3 muestra el diagrama metodológico planteado para la presente propuesta.

**Figura 3**

*Diagrama metodológico.*



### **3.1 Conocimiento de los equipos y construcción de los talleres de ultrafiltración y electrodiálisis**

#### ***3.1.1 Ultrafiltración***

Para el inicio esta etapa se reconoció en detalle las piezas y accesorios de la unidad de ultrafiltración, junto con el aprendizaje de su protocolo de limpieza. Después, se hicieron las pruebas experimentales con agua para evaluar el funcionamiento del equipo. Finalmente, a partir de los resultados obtenidos, se implementaron los ajustes necesarios en los protocolos de uso del equipo. De esta fase metodológica se obtuvo el conocimiento suficiente sobre el manejo y la operación del equipo, así como los rangos para relacionar el umbral de corte, la temperatura y la presión transmembrana con la permeabilidad. Para que fuera posible la siguiente etapa metodológica se realizaron dos pretratamientos con el lactosuero empleado. En primera instancia se ejecutó un descremado a la solución y luego, una desnaturalización térmica y ácida del lactosuero bruto. Con este lactosuero tratado se efectuaron las prácticas experimentales.

#### ***3.1.2 Electrodiálisis***

Para comenzar a trabajar con el equipo de electrodiálisis, primero se llevó a cabo la lectura del protocolo existente y, posteriormente, se realizó el reconocimiento detallado y limpieza de las diversas piezas y accesorios que conforman la unidad de electrodiálisis. Se identificaron mejoras para perfeccionar el protocolo. Después se ejecutaron pruebas experimentales con soluciones salinas preparadas para evaluar el funcionamiento del equipo. Para finalizar, a partir de los resultados obtenidos, se implementaron los ajustes necesarios en el protocolo de uso del equipo. De esta fase metodológica se obtuvo el conocimiento suficiente sobre el manejo y la operación del equipo, así como los datos suficientes para relacionar el voltaje con la selectividad del proceso.

### **3.2 Evaluación con los estudiantes para el taller de ultrafiltración utilizando lactosuero.**

Para todas las experiencias se hizo uso de dos membranas de umbral de corte de 30 nm, 1 m de largo y 0,007 m de diámetro interno (superficie de filtración de 0,014 m<sup>2</sup>). Se trabajó con recirculación total para mantener la concentración constante. Para el estudio del efecto de la temperatura en la permeabilidad del proceso se mantuvo una presión transmembrana de 2 atm y la temperatura se sometió a variaciones. La primera condición de operación fue de 50°C y la segunda de 70°C. Se realizaron pruebas de caracterización con las muestras tomadas en términos de conductividad, pH, turbidez, % de humedad. Luego, se realizó la limpieza del equipo con solución de NaOH 1M y seguido de lavado con agua desmineralizada y prueba de permeabilidad.

De esta fase metodológica se obtuvo lactosuero clarificado junto con los datos necesarios para conocer la relación de la temperatura y presión transmembrana con la permeabilidad. Con la participación de los estudiantes se evaluó la práctica de laboratorio, infografía y el manual actualizado para usar el equipo mediante una encuesta.

### **3.3 Evaluación de los estudiantes respecto al taller de electrodiálisis utilizando soluciones ideales y lactosuero clarificado.**

Para la ejecución de las pruebas, las condiciones de operación fueron las siguientes:  $T_{\text{operación}} < 35^{\circ}\text{C}$ ;  $Q_{\text{CC, CD}} = 30 \text{ L/h}$ ;  $Q_{\text{CL}} = 40 \text{ L/h}$ ;  $V_{\text{máximo}} = 4 \text{ L}$ ; Turbidez  $< 5 \text{ NTU}$ . El potencial eléctrico se trabajó en 2 niveles: 26 y 30 V. La solución de diluido en algunas experiencias fue lactosuero clarificado y en otras una solución preparada de ácido láctico, cloruro de sodio y sulfato de hierro II heptahidratado. Se realizó la caracterización de las muestras tomadas en términos de conductividad, pH y turbidez. Para finalizar esta etapa se analizaron los resultados obtenidos para comprender el efecto del potencial eléctrico en la selectividad del proceso. Así mismo, los participantes diligenciaron una encuesta para evaluar el protocolo, infografía y práctica.

#### **4. Análisis y discusión de resultados**

##### **4.1. Conocimiento de los equipos y elaboración de los documentos para los talleres de ultrafiltración y electrodiálisis**

###### ***4.1.1 Preparativos para ultrafiltración***

Gracias a las pruebas realizadas con agua desmineralizada en el equipo de ultrafiltración, fue posible redactar la versión inicial de los protocolos necesarios para el uso adecuado del equipo. Se realizó un primer boceto para cada sección presente en esta experiencia y poder evaluar su uso en la siguiente fase. En el protocolo creado se redactó el paso a paso detallado del ensamble y desarmado del equipo de ultrafiltración, manipulación recomendada de las partes del equipo y eliminación adecuada de los efluentes utilizados. El protocolo ajustado para el arranque y apagado del equipo de ultrafiltración se presenta en el Apéndice 1.

Se determinó que, por seguridad y facilidad del proceso, el lavado del equipo de ultrafiltración se debe realizar con la configuración antigua del equipo. Es decir, la configuración simplificada que se presenta en la Figura 4.

**Figura 4.**

*Equipo de ultrafiltración simplificado.*



Usar esta configuración ahorra recursos y tiempo al momento de realizar este proceso. Se detectó que el lavado del equipo se debe realizar con 2 tipos de soluciones. La primera es una solución de hidróxido de sodio (NaOH) [1 N] para retirar los sólidos solubles orgánicos que pudiesen existir en las membranas. La segunda es una solución de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) [1 N]. El protocolo a utilizarse se presenta en el Apéndice 1.

Para un mayor entendimiento de la práctica se elaboró una infografía que sintetiza los conceptos necesarios, el proceso y aplicaciones de la ultrafiltración. La infografía se puede visualizar el Apéndice 2. Para realizar las prácticas piloto se realizó un archivo de Excel para registrar la permeabilidad, temperatura y presión transmembrana del proceso y los datos de caracterización de las muestras; el detalle del contenido se puede profundizar en el Apéndice 3.

Al momento de diseñar la práctica de laboratorio se analizaron las variables de operación que eran posibles modificar para poder repetir la experiencia con los futuros participantes. También se tuvo en cuenta, las propiedades fisicoquímicas que se pueden analizar con los respectivos

equipos y elementos que permiten la caracterización. Simultáneamente, se pensó en las habilidades y competencias que podrán adquirir los estudiantes que participen del taller propuesto, las cuales se pueden apreciar en la Tabla 3.

**Tabla 2**

*Habilidades adquiridas con el taller propuesto.*

<b>Equipo o elemento de laboratorio</b>	<b>Competencia y/o habilidad desarrollada</b>
Conductímetro	Uso y cuidado del elemento de laboratorio y medición de la conductividad.
Turbidímetro	Uso y cuidado del elemento de laboratorio y medición de la turbidez.
pHmetro	Uso y cuidado del elemento de laboratorio y medición del pH.
Balanza de humedad	Conocimiento, uso y cuidado del equipo y medición del % de humedad.
Micropipetas	Uso, cuidado y conocimiento del elemento de laboratorio para realizar diluciones.
Equipo de ultrafiltración	Conocimiento, uso, cuidado y limpieza del equipo.
Toma y caracterización de muestras	Trabajo en equipo, comunicación asertiva, iniciativa, adaptabilidad a los roles asignados, capacidad para escuchar.

Previo a los talleres de ultrafiltración programados con estudiantes, se le realizó un pretratamiento al lactosuero para disminuir la carga de ensuciamiento que pudiera llegar a obstruir las membranas del equipo de ultrafiltración. En la Figura 5 se observa el reactor utilizado para el tratamiento térmico, la descremadora y el lactosuero obtenidos del proceso.

**Figura 5**

*Pretratamiento del lactosuero, a) Tratamiento Térmico, b) Descremado.*

a)



b)



Finalmente, se propuso un histórico de datos para el equipo de ultrafiltración con el fin de llevar un seguimiento de la permeabilidad de las membranas que se utilicen. En este documento se pretende conocer el número de membranas usadas, la identificación de la membrana usada, la fecha y nombre de quien la usó, entre otras. Para mayor profundidad en el contenido del histórico creado puede reportarse al Apéndice 4.

#### **4.1.2 Preparativos para electrodiálisis**

Inicialmente, se realizaron pruebas con agua desmineralizada para poder conocer el equipo de electrodiálisis y de esta forma actualizar el protocolo existente (Cedeño y González, 2023). Los principales cambios realizados fueron la actualización de las imágenes, detalles de redacción y el protocolo de limpieza del equipo, para más información visualizar el Apéndice 5. Para la ejecución de las prácticas, se propuso trabajar con tres soluciones diferentes para cada corriente: una solución al 1 N de sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), la segunda fue una solución al 0,0171 N de cloruro de sodio

(NaCl) y para la corriente de diluido se trabajó con una mezcla de ácido láctico (0,167 M), sulfato de hierro heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (0,00057 M) y NaCl (0,068 M). En el Apéndice 5 se encuentran las cantidades necesarias para obtener estas soluciones a las concentraciones deseadas.

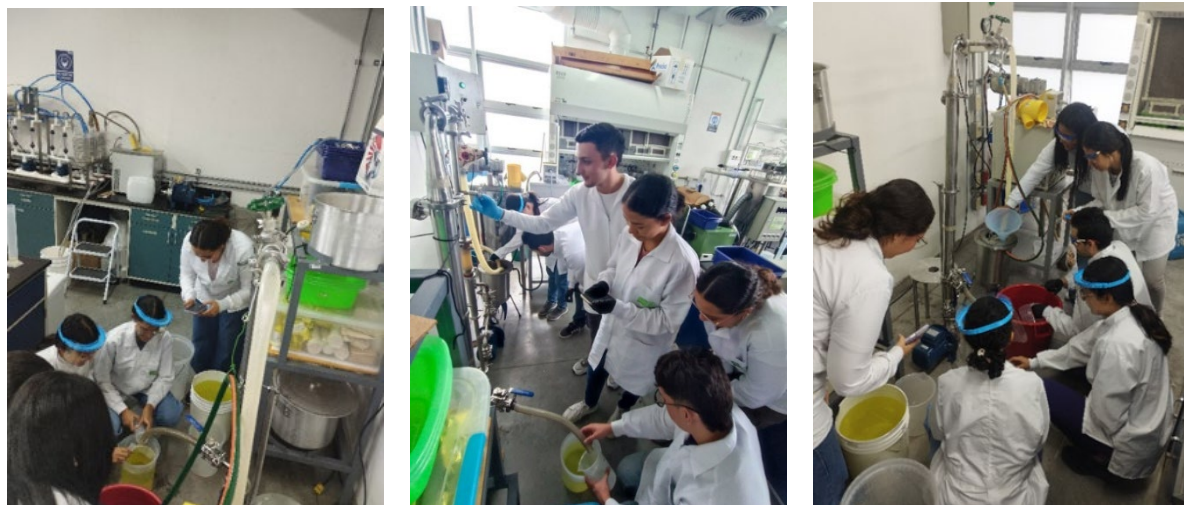
Para una mejor comprensión del proceso también se realizó una infografía sobre el proceso de electrodiálisis que sintetizaba conceptos, aplicaciones y momentos clave de la práctica, para mayor detalle referirse al Apéndice 6. De igual forma, se realizó un Excel para facilitar la toma de datos de la temperatura, corriente y caracterización de las muestras; este documento se puede ver en el Apéndice 7.

#### 4.2. Ejecución y retroalimentación del taller de ultrafiltración

Se convocaron estudiantes para poner a prueba los protocolos realizados y permitir una evaluación de los documentos creados. Su participación se puede evidenciar en la Figura 6.

#### Figura 6

*Taller de ultrafiltración con integrantes del semillero AICT.*

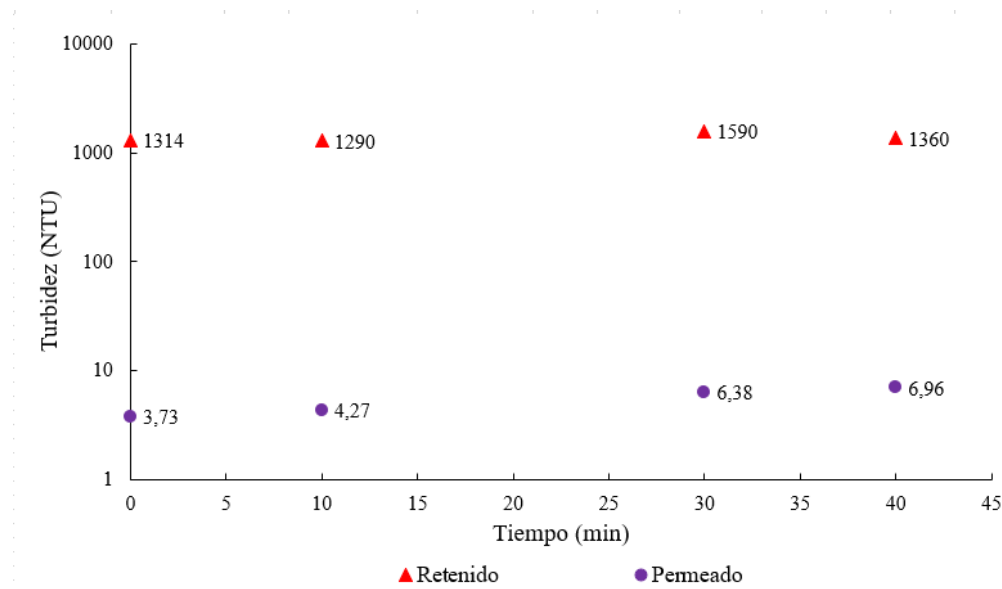


Gracias a las hojas de datos realizadas, se ilustró y explicó de mejor manera el comportamiento de las muestras a lo largo del tiempo. En la Figura 7 se puede ver una de estas

gráficas creadas. Todas las gráficas y datos registrados durante las prácticas son presentados en el Apéndice 3.

### Figura 7

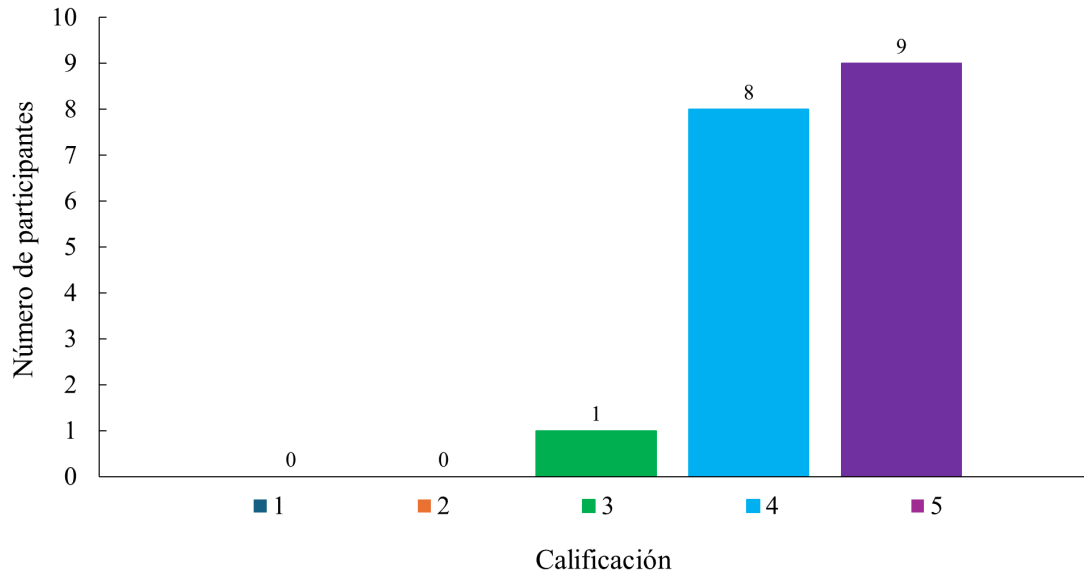
*Turbidez permeados y retenidos en una de las prácticas realizadas, usando lactosuero, umbral de corte de 30 nm, área de filtración 0,0439 m<sup>2</sup>, presión transmembrana 2 bar y T = 50 °C.*



Gracias a la asistencia de los participantes convocados fue posible poner a prueba los protocolos realizados en la fase anterior. Los participantes realizaron una encuesta de satisfacción que permitía obtener una retroalimentación sobre la eficacia de los protocolos y de los conocimientos adquiridos en la actividad realizada; el formulario creado se puede ver en el Apéndice 8. Las respuestas registradas en la encuesta evidenciaron un buen recibimiento de la práctica y de los protocolos, como se puede visualizar en la Figura 8.

**Figura 8***Calificación práctica de ultrafiltración.*

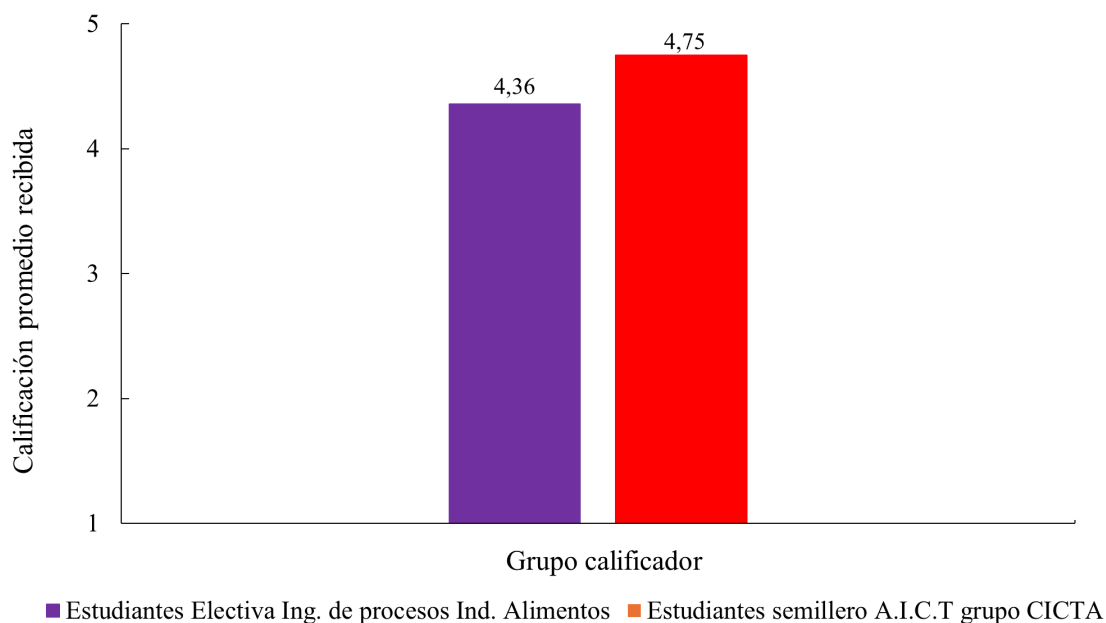
¿Cómo calificaría la experiencia general utilizando los protocolos de laboratorio del equipo de ultrafiltración?



Sin embargo, también se detectaron aspectos a mejorar como calidad de imágenes, explicación de procedimiento y contextualización del proceso; para conocer más a detalle las respuestas registradas referirse al Apéndice 8. Una vez se recibió la retroalimentación de los asistentes se implementaron las mejoras pertinentes; en el Apéndice 1 se presenta la versión final de los documentos base. Este se volvió a poner a prueba en una práctica posterior con estudiantes del semillero A.I.C.T del grupo CICTA, con respuestas mucho más satisfactorias respecto a la claridad de las indicaciones y la calidad de las imágenes. La Figura 9 ilustra la diferencia en el promedio de respuestas al realizar las correcciones.

**Figura 9**

*Promedio de respuestas realizadas antes y después de las correcciones, inicialmente con estudiantes de la Electiva Ing. de Procesos en la Industria de Alimentos y posteriormente, con estudiantes del semillero A.I.C.T del grupo CICTA.*

**4.3. Puesta en marcha y evaluación del taller de electrodiálisis.**

Se convocaron estudiantes del semillero A.I.C.T para poner a prueba el protocolo actualizado. Se realizaron 4 prácticas en total, donde la primera práctica se realizó con una solución ideal (preparada) de ácido láctico y sulfato de hierro II heptahidratado. Para la siguiente práctica, a la solución ideal se le agregó cloruro de sodio para así aumentar el contenido de sales en la muestra. Las dos últimas prácticas se trabajaron con lactosuero clarificado obtenido de la fase anterior. En la Figura 10 se puede visualizar la participación de los estudiantes para cada prueba.

**Figura 10**

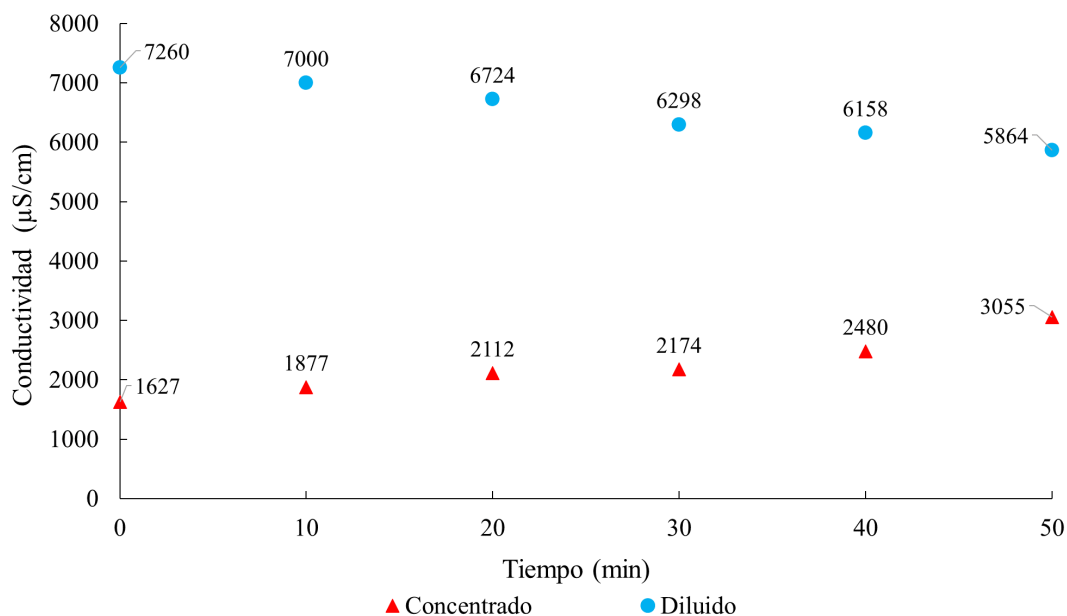
*Taller de electrodiálisis con integrantes del semillero A.I.C.T del grupo CICTA en las cuatro convocatorias mencionadas.*



Una hoja de datos creada para la experiencia ayudó a ilustrar y mediar en el proceso de aprendizaje sobre el comportamiento de las muestras caracterizadas a través del tiempo. En la Figura 11 se puede observar una de estas gráficas. Todos los datos registrados se presentan en el Apéndice 7.

**Figura 11**

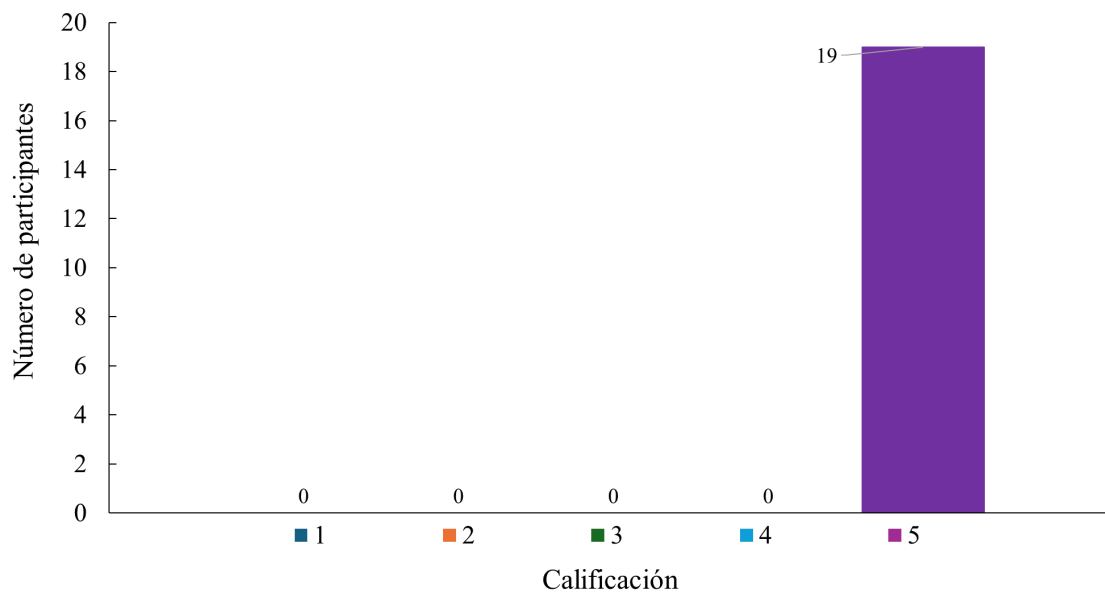
Conductividad de las muestras de una de las prácticas en el tiempo. Solución de concentrado: NaCl (0,0171 N); Solución corriente de diluido: mezcla de ácido láctico (0,167 M), sulfato de hierro ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (0,00057 M) y NaCl (0,068 M),  $T_i = -10^\circ\text{C}$ ,  $V = 4\text{L}$ ,  $Q_d = Q_c = 30\text{ L/h}$ .



Para retroalimentar las experiencias, se elaboró una encuesta para conocer la opinión de los participantes sobre la claridad de los documentos creados y los conocimientos adquiridos. Las respuestas registradas mostraron un excelente recibimiento y entendimiento de la práctica y los documentos elaborados, como se puede ver en la Figura 12; el contenido de la encuesta y sus respuestas se pueden ver en el Apéndice 9.

**Figura 12***Calificación práctica de electrodiálisis.*

¿Cómo evaluaría la experiencia general utilizando el protocolo de desalado del equipo de electrodiálisis?

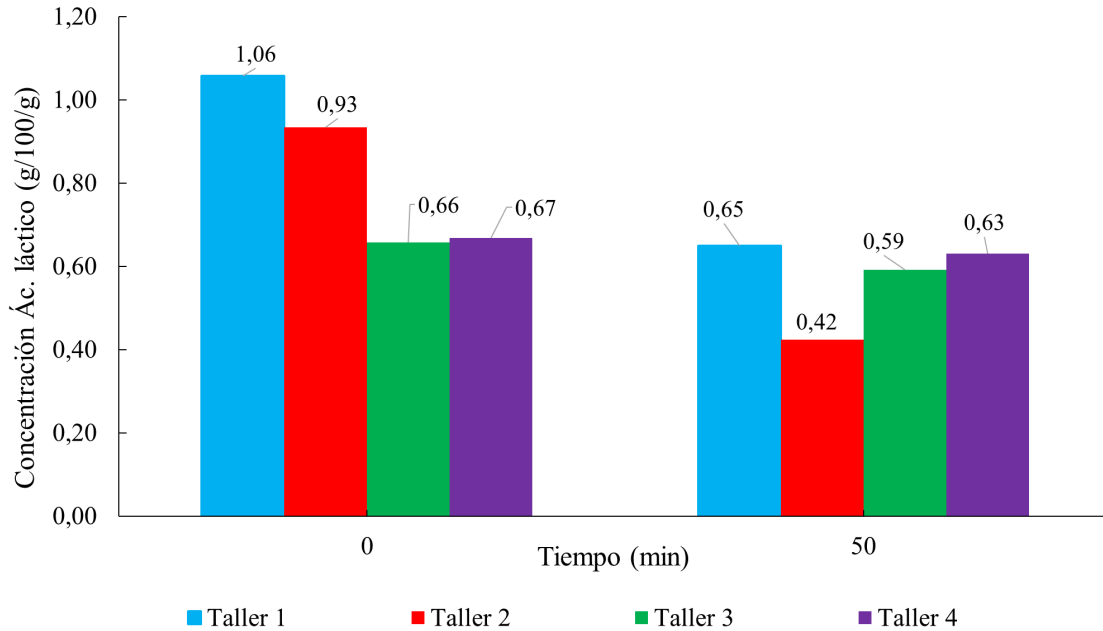


A las muestras iniciales y finales de cada práctica se les realizó una prueba de caracterización específica. En el caso del lactosuero y la solución preparada, se caracterizaron por HPLC, donde se obtuvieron los datos que se muestran en la Figura 13. Para mayor detalle de estos datos referirse al Apéndice 10, realizado por los asistentes al taller de capacitación de análisis instrumental.

Debido a que las actividades fueron realizadas en el marco de proyectos de extensión (6450-4188 y 6450-4201) se realizó un informe técnico el cual contiene un resumen de las actividades propuestas y las encuestas de satisfacción de los participantes (para una mayor claridad del informe referirse al Apéndice 11).

**Figura 13**

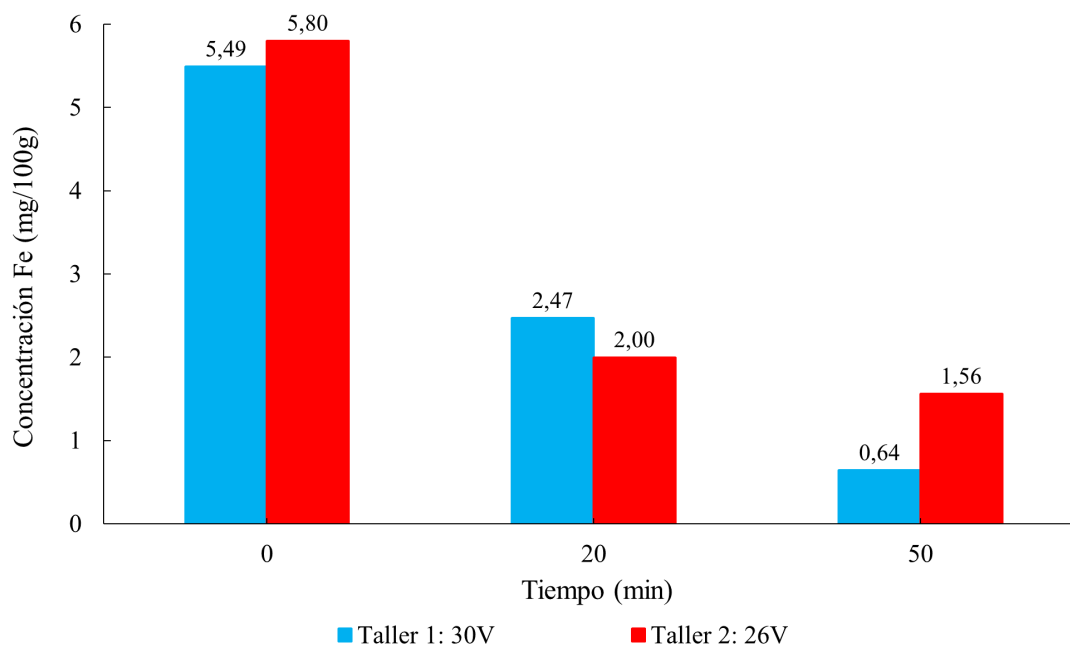
Concentraciones de ácido láctico obtenidas mediante HPLC, el caudal y temperatura inicial en todos los talleres fueron los mismos  $Qd=30\text{ L/h}$ ,  $T_i=-10\text{ °C}$ , el voltaje varió siendo  $V1=V2=V3=30\text{ V}$  y  $V4=26\text{ V}$ ,  $Sln1= Sln2=$  Solución preparada con ácido láctico (0,167 M),  $Sln3= Sln4=$  Lactosuero. \*Los números 1 al 4 hacen referencia a los talleres realizados.



Así mismo, para la solución preparada se le realizó una prueba de absorción atómica para analizar el contenido de hierro en las muestras tomadas. Los datos se muestran en la Figura 14. Para mayor detalle de los datos referirse al Apéndice 12 realizado por los asistentes al taller de capacitación de análisis instrumental.

**Figura 14**

Concentraciones de hierro obtenidas mediante absorción atómica, el caudal y temperatura inicial en todos los talleres fueron los mismos  $Qd=30$  L/h  $Ti=-10$  °C, el voltaje varió siendo  $V1=V2= 30$  V,  $Sln1 = Sln2 =$  Solución con sulfato de hierro ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) (0,00057 M).



El taller permite así, que los estudiantes conozcan el proceso y visualicen el efecto del voltaje en la selectividad del proceso. En este taller al igual que los demás se realizó una encuesta de satisfacción en la cual se obtuvo un promedio de 4.86 sobre 5 de la aceptación del taller. Los resultados de esta encuesta a detalle se pueden encontrar en el Apéndice 11.

## 5. Conclusiones

Se implementaron talleres de ultrafiltración con los estudiantes de la Electiva Ingeniería de Procesos en la Industria de Alimentos, usando lactosuero como solución de estudio. A través de estos talleres, los estudiantes pudieron conocer de forma práctica el funcionamiento y principio de la ultrafiltración con membranas, ahondar en el significado de °Brix, presión transmembrana, turbidez, permeabilidad y porcentaje de humedad. De igual forma, se favoreció la experiencia de los estudiantes en el laboratorio teniendo acceso a la manipulación de equipos como el turbidímetro, pHmetro, balanza de humedad, conductivímetro y micropipetas. También se comprobó la eficacia y aceptación del taller propuesto gracias a la excelente retroalimentación recibida por los participantes a las experiencias realizadas. Finalmente, se elaboró un protocolo detallado para el correcto uso del equipo de ultrafiltración y un histórico de datos de las membranas usadas para asegurar una extensión de su vida útil.

Se realizaron talleres de electrodiálisis con los integrantes del semillero A.I.C.T del grupo CICTA y de la Electiva Ingeniería de Procesos en la Industria de Alimentos, usando una solución preparada de ácido láctico (0,167 M), sulfato de hierro heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (0,00057 M) y NaCl (0,068 M) como solución de estudio. Esto permitió a los participantes entender de forma práctica el principio de electrodiálisis, y profundizar en la importancia de la conductividad, pH, turbidez y potencial eléctrico. Así mismo, se fomentó la experiencia de los estudiantes disponiendo de equipos como pHmetro, turbidímetro, micropipetas y conductivímetro. De igual forma, se evidenció un recibimiento sobresaliente de los talleres propuestos debido a los comentarios positivos de todos los asistentes a las experiencias. Para finalizar, se actualizó el protocolo de electrodiálisis elaborado por Cedeño & Coronado (2023) y gracias a las muestras tomadas fue

posible analizar el efecto del potencial eléctrico en la pérdida de iones de hierro y ácido láctico de una solución.

Finalmente, se propusieron y llevaron a cabo prácticas experimentales de ultrafiltración y electrodiálisis para la Electiva Ingeniería de Procesos en la Industria de Alimentos y se elaboraron los protocolos de cada práctica para que sea posible replicarlos en semestres futuros.

## **6. Recomendaciones**

1. Para llevar a cabo las prácticas se recomienda tener 2 personas líderes de la actividad, para un mejor manejo del grupo y correcto entendimiento de los fundamentos de la práctica. La cantidad máxima recomendada por práctica de laboratorio es de 7 estudiantes.
2. Para la realización de la prueba de electrodiálisis, se recomienda enfriar con un día de antelación las soluciones a usar en la práctica para una mayor duración de la prueba. También es importante concientizar a los participantes sobre el riesgo del termómetro de mercurio para un mayor cuidado al momento de tomar muestras.
3. Proponer la realización de las prácticas a los integrantes del semillero A.I.C.T del grupo CICTA para una mayor extensión de información y formación académica.

### Referencias Bibliográficas

- American Society of Plumbing Engineers (ASPE). (2012). Plumbing Engineering Design Handbook, Volume 4 - Plumbing Components and Equipment - Glossary. American Society of Plumbing Engineers (ASPE). Retrieved from [https://www.academia.edu/44907527/American\\_Society\\_of\\_Plumbing\\_Engineers](https://www.academia.edu/44907527/American_Society_of_Plumbing_Engineers)
- Ávila G., R. M., Medina, A. L., & Cadenas A., R. A. (2017). Tratamiento del lactosuero utilizando la técnica de electrodiálisis. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/200054>
- Berk, Zeki. (2018). Food Process Engineering and Technology (3rd Edition) - 10.3.1 Solvent Transport. (pp. 261-263). Elsevier. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011Q1DB1/food-process-engineering/solvent-transport>
- Castillo H., L. A., & Ortiz A., R. J. (2023). *Evaluación de las etapas de evaporación de película descendente en vacío y secado por aspersión de hidrolizados clarificados de sangre de bovino para la obtención de pulverizados enriquecidos en hierro.* <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/14766>
- Cedeño G., L. V., & Coronado M., L. C. (2023). *Implementación de un piloto de electrodiálisis para la desalinización del lactosuero y derivados.* <https://noesis.uis.edu.co/handle/20.500.14071/14866>
- Coronel Feijo, M., Beltrán Sinchiguano, E., Proaño Cortez, M., Mariño Brito, G., & González Gallardo, C. E. (2021). Ultrafiltración tangencial de lactosuero de queso fresco pasteurizado. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 6(2).

- Dévora-Isiordia, G.-E., Robles-Lizárraga, A., Lares-Rangel, L.-A., Valdez-Valdez, J.-C., & Torres-Valenzuela, I.-Y. (2019). Desalación de aguas salobres por Electrodialisis Reversible: Viabilidad para rescate de pozos abandonados en Sonora, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 15(3), 77-87.
- Díaz-Arenas, G. L., Ramos-González, D. J., & Muvdi-Nova, C. J. (2017). Estudio del proceso de producción en continuo de hidrolizados de almidón de yuca integrando hidrólisis enzimática y clarificación con membranas. *vitae (Medellín)*, 25–34. [https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v24n2\(2\)a04](https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v24n2(2)a04)
- Gómez, L. J., Figueroa, O. A., & Zapata, J. E. (2013). Actividad antioxidante de hidrolizados enzimáticos de plasma bovino obtenidos por efecto de alcalasa® 2.4 L. *Información tecnológica*, 24(1), 33-42.
- Guerra, Á. V. A., Castro, L. M. M., & Tovar, A. L. Q. (2013). Aprovechamiento del lactosuero como fuente de energía nutricional para minimizar el problema de contaminación ambiental. *RIAA*, 4(2), 55-65.
- Kevin, F., Espinoza, M., Fabián, B., Leonardo, G., & Valverde, P. (2023). Desalinización de agua salobre mediante electrodiálisis para producción de agua potable.
- López G., U. (2005). Aplicación de la electrodiálisis a la eliminación de nitrato en agua [Disertación en doctorado]. CONACYT.
- Mora-García, S. A., Muvdi-Nova, C. J., & Cáceres-Roa, S. A. (2021). Evaluating volume reduction of clarified acid bovine milk whey via falling film vacuum evaporation. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num1\\_art:1241](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1241)

- Peña P., N. & Roa G., D. A. (2022). *Diseño de un sistema de electrodiálisis a escala piloto laboratorio para el desalado de soluciones*. <https://noesis.uis.edu.co/items/331e8ecf-f1e6-4898-a347-0ef5400c5624>
- Posada, K., Terán, D. M., & Ramírez-Navas, J. S. (2011). Empleo de lactosuero y sus componentes en la elaboración de postres y productos de confitería. *La Alimentación Latinoamericana*, 292, 66-75.
- Rosdianah Ramli, & Nurmin Bolong. (2016). Effects of pressure and temperature on ultrafiltration hollow fiber membrane in mobile water treatment system. *Journal of Engineering Science & Technology*, 11(7), 1031–1040.
- Schwaller, C., Knabl, M. A., Helmreich, B., & Drewes, J. E. (2022). Effects of varying flux and transmembrane pressure conditions during ceramic ultrafiltration on the infectivity and retention of MS2 bacteriophages. *Separation and Purification Technology*, 299, 121709-. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121709>
- Shen, F. (2014). *Separación de biomasa y productos (ácido láctico y ácido lactobiónico) por microfiltración* [Master thesis]. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/29277>
- Solís, C.A., Vélez, C.A., & Ramírez-Navas, J.S. (2017). *Tecnología de membranas: Ultrafiltración. Entre Ciencia e Ingeniería*, 11(22), 26-36. Retrieved January 05, 2024, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-83672017000200026&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672017000200026&lng=en&tlng=es).

## APÉNDICES

### Apéndice A

*Protocolo de operación del piloto de ultrafiltración para la clarificación de soluciones acuosas.*

Protocolo de operación del piloto de ultrafiltración

Ana Sofía Argüello Quintero y Fernando Esteban Reyes Mojica

Laboratorio de procesos 210

Profesor:

Carlos Jesús Muvdi Nova

Ingeniero químico, M.Sc., Ph.D.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Programa Académico

Bucaramanga

2024

## Introducción

Este protocolo de operación del piloto de ultrafiltración proporciona una guía para acompañar a los estudiantes de pregrado y posgrado en el uso y funcionamiento adecuado del equipo. El objetivo es asegurar que las pruebas experimentales se realicen de manera responsable. Para lograr esto, se incluye un reconocimiento detallado del equipo, sus partes y componentes, el sistema de control y el protocolo de operación, desde el encendido hasta el apagado, incluyendo los procedimientos de lavado. Así mismo, se proponen prácticas experimentales para que los estudiantes puedan realizar.

### 1. Descripción general del piloto

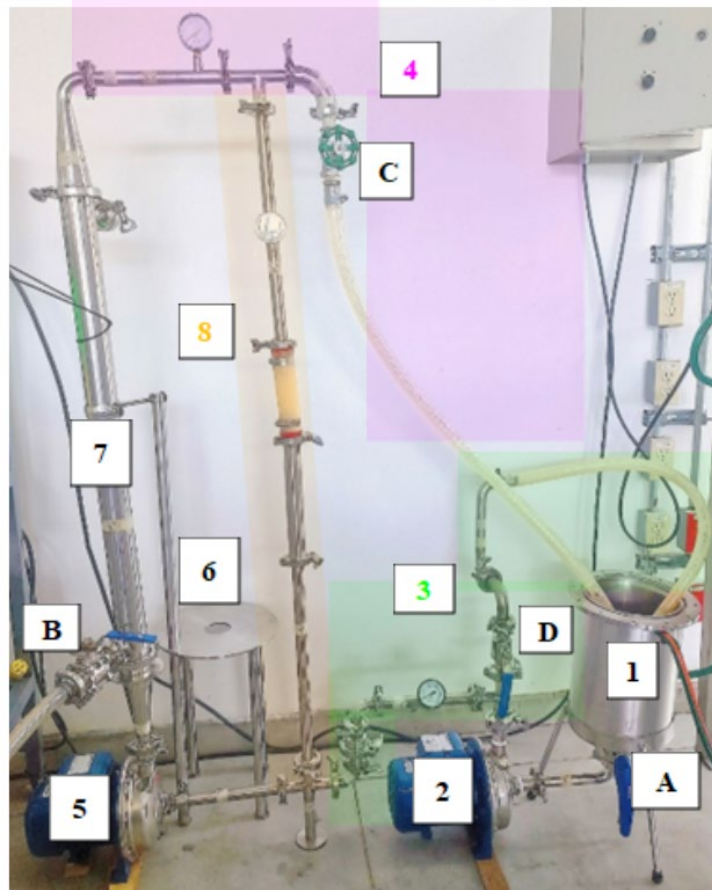
El equipo de ultrafiltración cuenta de manera general, con un tanque de almacenamiento de 8L [1] con un sistema tubería-válvula en la parte inferior para permitir el ingreso del líquido al sistema [A]. Luego se encuentra el sistema de recirculación 1 que cuenta con una bomba centrífuga [2], un cheque, un manómetro y un sistema tubo-válvula [3 D] que permite la recirculación del fluido. Seguidamente, se encuentra un intercambiador de calor con un termómetro [8] que permite conocer la temperatura en este tramo de la configuración. Luego, se encuentra la segunda bomba centrífuga [5] conectada al cárter de membranas [7], dentro de este hay lugar para un máximo de 8 membranas, y está conectada a un soporte de metal [6] para mayor seguridad. A la salida inferior del permeado se encuentra una válvula [B] que permite el paso del líquido permeado. A la salida superior del permeado del cárter puede existir un tapón o una manguera que ayuda al lavado por inundación, mientras que a la salida superior del retenido del cárter se encuentra el sistema de recirculación 2 [4] que consta de un manómetro y la válvula de recirculación 2 [C] que permite regular la presión del sistema.

## 2. Piezas del módulo de ultrafiltración.

En la Figura 1 se presenta el piloto de ultrafiltración con las mejoras realizadas, el cual fue diseñado por el grupo de investigación CICTA/UIS.

### Figura 1.

*Esquema del piloto de ultrafiltración.*



En la Figura 2 se presenta la configuración del piloto de ultrafiltración que se debe emplear para la limpieza de las membranas.

**Figura 2.**

*Esquema limpieza del piloto de ultrafiltración.*



1. Baño termostatado que permite alcanzar la temperatura deseada para el sistema.
2. El tanque de alimentación donde se encuentra inicialmente la solución.
3. La bomba del sistema que impulsa el líquido por las membranas.
4. El soporte que va a unido al cárter de membranas para brindarle estabilidad.
5. El cárter de membranas donde se encuentran las membranas responsables de la ultrafiltración.
6. La manguera de permeado que se llenará por inundación.
7. A. Válvula de alimentación del tanque
8. B. Válvula de permeado.
9. C. Válvula de recirculación.

### 3. Funcionamiento del módulo de ultrafiltración.

#### 3.1. Protocolo de encendido

1. Inicialmente se realizará el armado del equipo
  - Conectar el tanque de alimentación (1) con la bomba 1 (2). Asegurarse que queden a la misma altura.
  - Conectar el tramo de recirculación 1(3) a la bomba 1 (2).
  - Conectar la bomba 2 (5) a la bomba 1 (2). Asegurarse que queden a la misma altura.
  - Conectar el cárter de membranas (6) y el manómetro a la bomba 2.
  - Asegurar el cárter al soporte metálico.
  - Conectar la unión en T y la manguera de recirculación al tramo del manómetro (4).
  - Conectar el tramo de tubo y tuberías (8) entre las uniones en T.
  - Conectar el baño termostatado a la chaqueta del intercambiador de calor y fijar el *set point* en la temperatura deseada. Asegurarse que la manguera que sale del baño termostatado se fije en la parte inferior de la chaqueta del tanque de alimentación.

La configuración debe verse al final como se ilustra en la Figura 1.

2. Llenar hasta la mitad del tanque de alimentación con el fluido a trabajar.
3. Revisar la posición de las válvulas:
  - Asegurarse que la válvula de permeado (B) se encuentre cerrada.
  - Asegurarse que la válvula del tanque de alimentación (A) y la válvula de recirculación 2 (C) se encuentren completamente abiertas.
  - Asegurarse que la válvula de recirculación 1 (D) se encuentre a 30° (respecto a la vertical).
4. Encender la bomba 1 por dos segundos y apagarla. Volver a llenar el tanque hasta la mitad de su capacidad.
5. Encender la bomba 1 y después encender la bomba 2. Se deben esperar 2s.
6. Apagar la bomba 1 y después la bomba 2 cuando se llene el sistema con el fluido, esto se sabrá cuando el líquido fluya por la manguera de recirculación 2. Dejar las mangueras sumergidas para evitar que el sistema se vacíe.
7. Llenar nuevamente el tanque de alimentación hasta la mitad y sostener las mangueras sumergidas junto a la pared del tanque orientadas en diagonal y hacia abajo.
8. Encender la bomba 1 y dos segundos después encender la bomba 2.
9. Para llevar al sistema a la presión transmembrana de trabajo, es necesario primero cerrar gradualmente la válvula 1 y después la válvula 2 hasta que ambas se encuentren a la misma presión.
10. Finalizar el llenado del tanque de alimentación.
11. Tener en cuenta el plan de muestreo de tomas de temperatura y de permeabilidades según el diseño de experimentos planteado a continuación.

### 3.2. Protocolo de práctica de laboratorio

1. Las condiciones de operación para esta práctica de laboratorio son las siguientes:

Práctica	Condición de operación	Umbral de corte de la membrana [nm]	Presión transmembrana [bar]	Temperatura [°C]
1	1	30	1	50
	2		2	50
2	1		1	70
	2		2	70

La temperatura se graduará con el *set point* del baño termostatado y la presión con las válvulas de recirculación.

2. Cada experiencia tendrá una duración de 40 min.
3. Para cada una de las experiencias se debe ubicar un tanque a la salida de la manguera de permeado y abrir la válvula de permeado para recolectar el líquido.
4. Se hará seguimiento al volumen permeado al inicio del proceso (aparición de la primera gota de permeado), 10 min, 30 min y 40 min. Se medirá la permeabilidad por triplicado (volumen medido en 5s). Se tomarán muestras de retenido y de permeado de 30ml para su caracterización fisicoquímica a los tiempos anteriormente mencionados.
5. Diligenciar la información en el formato Excel suministrado.
6. Caracterizar las muestras tomadas en:

- Turbidez (NTU)
- pH
- °Brix
- Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
- % humedad

7. Una vez finalizada la prueba, proceder con el apagado del equipo como se indica a continuación.

### 3.3. Protocolo de apagado

1. Disminuir el *set point* a 40°C y apagar el baño termostatado.
2. Abrir gradualmente las válvulas del sistema para disminuir la presión. Primero realizar los cambios en la válvula D y posteriormente en la válvula B. Asegurarse que la válvula de recirculación 1 (B) se encuentre en una posición de 30° (respecto a la vertical).
3. Una vez la presión del sistema haya disminuido, apagar primero la bomba 1 (2) y después la bomba 2 (5).
4. Para descargar la solución del módulo de membranas, ubicar las mangueras de recirculación en un balde de 20 L.

5. Encender la bomba 1 (2) y dos segundos después la bomba 2 (5). Esperar que se desocupe el sistema.
6. Apagar primero la bomba 1 (2) y después la bomba 2 (5).
7. Ubicar un balde nuevo a la salida de la manguera de permeado y abrir la válvula de permeado (C) para recolectar el líquido.
8. Para vaciar el líquido que se encuentra al interior de las tuberías, ubicar un recipiente debajo de la salida de la bomba 2 y desajustar ligeramente la abrazadera hasta que empiece a gotear líquido. Tener cuidado que inicialmente puede salir a gran velocidad. Si el recipiente sigue llenándose al alcanzar un 25% de su capacidad cerrar la abrazadera y verter el líquido recolectado en un balde. Posteriormente, continuar con el proceso de vaciado.
9. Ubicar un recipiente pequeño debajo de la salida de la bomba 1 y desajustar ligeramente la abrazadera hasta que empiece a gotear líquido. Tener cuidado que inicialmente puede salir a gran velocidad. Si el recipiente sigue llenándose al alcanzar un 50% de su capacidad cerrar la abrazadera y verter el líquido recolectado en un balde. Posteriormente, continuar con el proceso de vaciado.

### 3.4 Protocolo de limpieza

1. Una vez desmontado todo el equipo, se debe lavar muy bien con agua jabonosa todas las piezas retiradas teniendo precaución de no mojar el manómetro (incluyendo el tanque de alimentación). Para el caso de la bomba de alimentación solo lavarla con agua potable.
2. Purgar con agua desmineralizada las partes grandes del equipo:
  - Ubicar un recipiente pequeño en la salida del tanque de alimentación y lavar. Repetir este paso tres veces.
  - Ubicar un recipiente pequeño en la salida de la bomba y purgar. Es necesario inclinarla para asegurar que no queden residuos de solución y de agua dentro de esta. Repetir este paso tres veces.
  - Ubicar un recipiente pequeño en la salida inferior del cárter de membranas y ubicar una manguera con un embudo pequeño en la entrada superior del cárter y purgar. Repetir este paso tres veces.
  - Mantener un recipiente pequeño en la salida del permeado del cárter de membranas y ubicar una manguera con un embudo pequeño en la entrada posterior del cárter y lavar. Repetir este paso tres veces.
3. Armar el equipo siguiendo la configuración que se en la Figura 2 de la sección 2 incluyendo una manguera de recirculación de permeado en la salida posterior del cárter y que su otro extremo se encuentre dentro del tanque de alimentación. Verificar que todos los empaques y abrazaderas estén bien ajustados.
4. Seguir los pasos de seguridad antes de prender el equipo:
  - Verificar que la válvula del tanque de alimentación (B) y permeado (A) estén completamente cerradas y la válvula reguladora de presión (C) este completamente abierta.
  - Encender el baño termostataado y ubicar el *set point* a una temperatura de 40°C. Asegurar que el equipo siempre tenga suficiente agua destilada en su interior.

- Hacer uso de guantes, gafas de seguridad y tapabocas para garantizar la seguridad de los usuarios con el uso de 10L de solución de NaOH a 1N. (Si hay riesgo de ensuciamiento con minerales se recomienda realizar el mismo proceso con ácido fosfórico)
  - Filtrar la solución de NaOH para retirar impurezas.
  - Ubicar un embudo en el tanque de alimentación y verter con mucho cuidado la solución.
  - Retirar el embudo y abrir la válvula del tanque de alimentación, (A) asegurándose que la manguera de recirculación no esté sumergida en el líquido. Esta actividad se hace para verificar que no existan fugas en la parte inferior de la configuración.
  - Sujetar la manguera de alimentación dentro del tanque con orientación diagonal en la pared del tanque para evitar la creación de vortex.
5. Encender la bomba (3) y, posteriormente ir cerrando la válvula reguladora de presión (C) hasta alcanzar una presión de 2 bar. Para mayor seguridad encender la cabina de extracción para evitar presencia de vapores en el ambiente.
  6. Esperar hasta que el baño termostatado se encuentre a 40°C, una vez alcanzada esta temperatura esperar durante 1 h y revisar periódicamente que no se forme vortex y que la presión transmembrana se estabilice. A los 10 minutos de iniciado el proceso, agregar 100 ml de hipoclorito de sodio al 5% v/v para obtener una limpieza más efectiva.
  7. Después de transcurrido ese tiempo, abrir al máximo la válvula reguladora de presión y apagar la bomba.
  8. Para retirar el NaOH del equipo:
    - Verificar que la válvula del tanque de permeado esté completamente cerrada y la válvula de presión este completamente abierta.
    - Apagar el baño termostatado para facilitar la limpieza del equipo.
    - Para vaciar el tanque de alimentación, sostener un balde inclinado hacia la pared, ubicar la manguera de alimentación con orientación en diagonal y hacia abajo, para evitar proyecciones y salpicaduras.
    - Prender la bomba para desocupar el tanque de alimentación sujetando tanto el balde como la manguera.
    - Apagar la bomba y poner la manguera en el tanque de alimentación.
    - Para evitar derrames del líquido, se deben ubicar recipientes pequeños en la parte inferior del sistema para recoger el líquido al momento de liberar las abrazaderas. El líquido recuperado se almacenará en baldes.
    - Tener cerca al equipo un recipiente para ubicar las piezas sucias.
    - Alejar cuidadosamente el cárter de membranas de la bomba, evitando golpes.
    - Sujetar la base de la válvula de presión y liberar la abrazadera del cárter de membranas. Según se vaya desajustando, se debe ir inclinando la pieza hacia la derecha para asegurar el vaciado del líquido remanente hacia el tanque de alimentación.
    - Para evitar regar el líquido que se encuentra dentro del cárter de membranas, se deben ubicar trapos absorbentes debajo de las abrazaderas a retirar.
    - Separar el tramo donde está el manómetro del que mantiene la válvula de presión.


9. Verter 10L de agua desmineralizada en el tanque de alimentación verificando que la válvula del tanque de alimentación se encuentre cerrada.
10. Ubicar el extremo de la manguera de recirculación de permeado y de alimentación en baldes aparte. Para evitar contaminación con restos de NaOH se debe encender la bomba y simultáneamente abrir la válvula del tanque de alimentación. Unos segundos después se cierra la válvula y se apaga la bomba.
11. Verificar que el sistema se encuentre en un pH neutro, para poder recircular, este pH se mide en la manguera de alimentación.
12. Una vez se encuentre el pH neutro, ubicar la manguera de alimentación en el tanque de alimentación.
13. Para garantizar la limpieza total de las membranas se debe realizar una purga. Esperar que la manguera de recirculación de permeado se llene completamente y una vez suceda esto abrir completamente la válvula de permeado para vaciar el sistema. Repetir este paso tres veces.
14. Asegurar que el tanque de alimentación siempre mantenga un volumen constante de agua desmineralizada durante el proceso.
15. Verificar el pH de la solución a la salida de la válvula de permeado.
16. Apagar el sistema y ubicar un recipiente pequeño en la unión en T de la parte inferior del sistema para recoger el líquido al momento de desajustar la abrazadera. Separar ligeramente el tanque de alimentación de la unión. El líquido recuperado se almacenará en baldes.

#### 4. Recomendaciones


- ⊘ Es importante el uso de elementos de protección personal como guantes y caretas al momento de manipular las soluciones y sustancias a utilizar.
- ⊘ Ante cualquier duda o inquietud, consultar con el profesor o profesional encargado ya que una mala manipulación puede terminar en un accidente.
- ⊘ Siempre debe haber mínimo 2 personas en el laboratorio en caso de que ocurra algún percance.
- ⊘ Cumplir con la indumentaria básica necesaria para trabajar dentro del laboratorio como bata, pantalón sin rotos y zapato cerrado.
- ⊘ Antes del trabajo en el laboratorio 210, leer detenidamente el *manual de seguridad*, este se encuentra en el portafolio de manuales.

## Apéndice B

### Infografía proceso de ultrafiltración.

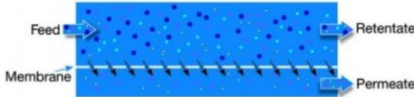


# PROCESO DE ULTRAFILTRACIÓN



## 1 ¿QUÉ ES LA ULTRAFILTRACIÓN?

Técnica de filtración tangencial que utiliza membranas con poros de umbral de corte comprendido entre 1 y 100 nm. Permite separar y concentrar partículas y moléculas de mayor tamaño (como proteínas, bacterias, y coloides) del agua y otros líquidos, dejando pasar moléculas más pequeñas como agua, sales disueltas y azúcares.



Fuente: <https://www.alfalaval.es/productos-y-soluciones/separacion/membranas/que-es-filtracion-por-membrana/>

## 2 CONCEPTOS PRINCIPALES

1. Membranas de ultrafiltración: Son membranas poliméricas o cerámicas con poros lo suficientemente pequeños para retener macromoléculas y partículas. Las membranas se ubican dentro del cárter de membranas del equipo.
2. Presión transmembrana: Presión requerida para impulsar el líquido a través de la membrana.
3. Permeado: El líquido que pasa a través de la membrana, compuesto principalmente de agua y solutos de bajo peso molecular.
4. Retenido: Las partículas y macromoléculas que no atraviesan las membranas.

## 3 PROCESO LABORATORIO ULTRAFILTRACIÓN

1. Se enciende el baño termostático (50°C o 70°C) y se llena el tanque de alimentación con la solución a trabajar (se debe verificar que las válvulas se encuentren en las posiciones especificadas en el manual).
2. Se enciende la bomba de alimentación del equipo siguiendo todas las indicaciones especificadas en el manual.
3. Se ajusta la presión transmembrana del sistema (1 bar o 2 bar). La presión se debe ir controlando a lo largo de la práctica.
4. Cada 10 min realizar un toma de muestra en la salida del retenido y la salida de permeado de 30ml. A su vez, realizar el seguimiento de la temperatura en el tanque de alimentación y el volumen permeado.
5. No olvides hacer la caracterización de las muestras en términos de conductividad, pH, turbidez, ° Brix y % humedad para que aprecies como evoluciona el proceso.

Es importante verificar que TODAS las abrazaderas y empaques del equipo se encuentren correctamente ajustadas. Se debe cuidar que NO se genere vortex en el tanque de alimentación.

## 4 VENTAJAS

- Alta eficiencia de separación
- Bajo Consumo de energía: Requiere menos presión que otros procesos.
- Mejora de la calidad del producto: Producto final más puro y libre de contaminantes.
- Versatilidad: Aplicable en diversas industrias.

## 5 DESVENTAJAS

- Ensuciamiento de membranas: Pérdidas de eficiencia por la acumulación en las membranas.
- Costo inicial: Inversión alta en equipo y membranas.
- Mantenimiento: Limpieza constante y reemplazo de las membranas para mantener el rendimiento óptimo.

## 6 APLICACIONES

- Clarificación de bebidas.
- Purificación de sustancias.
- Concentración de proteínas
- Tratamiento de aguas residuales

Realizado por: Ana Sofía Argüello Quintero y Fernando Esteban Reyes Mojica. Estudiantes IQ UIS.



## **Apéndice E**

*Protocolo actualizado electrodiálisis.*

Protocolo de operación del piloto de electrodiálisis

Realizado por

Laura Valentina Cedeño González y Luis Carlos Coronado Medrano

Actualizado por

Ana Sofía Argüello Quintero y Fernando Esteban Reyes Mojica

Laboratorio de procesos 210

Profesor:

Carlos Jesús Muvdi Nova

Ingeniero químico, M.Sc., Ph.D.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Programa Académico

Bucaramanga

2024

## **Introducción**

Mediante este protocolo de operación del piloto de electrodiálisis, se hace un acompañamiento a los estudiantes de pregrado y postgrado en el funcionamiento y uso correcto del equipo, con el objetivo de que las pruebas experimentales a realizar se hagan de la forma más responsable posible. Para ello, se realiza un reconocimiento del equipo, todas las partes y piezas de este, el sistema de control y el protocolo de funcionamiento tanto del encendido como del apagado, incluyendo lavado.

### **1. Descripción general del piloto**

El piloto de electrodiálisis se conforma principalmente por tres tanques de almacenamiento con capacidad de 5 L cada uno y con un sistema tubería-válvula en la parte inferior para facilitar el vaciado y la toma de muestras. A estos se les adecuó un sistema de enfriamiento usando un serpentín con manguera reforzada conectada a un baño termostatado por el que circula una mezcla de agua y mono etilenglicol, con el objetivo de controlar el aumento de la temperatura. Los tanques van conectados a tres bombas centrífugas las cuales envían las soluciones salinas a los rotámetros para medir el flujo y controlarlo por medio de válvulas, y con los manómetros ubicados en las tuberías se realiza un seguimiento a la presión del sistema. Posteriormente, el fluido ingresa al módulo membranario integrado por tres circuitos independientes. Un circuito de concentrado (CC) por el que circula parte de la solución que irá enriqueciéndose de iones, un circuito de diluido (CD) en el que la solución se irá empobreciendo de iones, y un circuito de lavado (CE) para minimizar la presencia de reacciones en el área de los electrodos. Finalmente, el fluido se recircula desde el módulo hacia los tanques. Adicionalmente, la unidad de electrodiálisis cuenta con una fuente de poder conectada al módulo, la cual es la encargada de suministrar el potencial eléctrico para inducir el flujo de iones a través de las membranas de intercambio iónico.

### **2. Piezas del módulo de electrodiálisis.**

En la Figura 1 se presenta el piloto de electrodiálisis diseñado por el grupo de investigación CICTA/UIS.

**Figura 1.**

*Esquema del piloto de electrodiálisis.*

1. Tres tanques de almacenamiento de 5 L con sistema de tubería-válvula en la parte inferior con un sistema de enfriamiento usando un serpentín con una manguera reforzada conectada a un baño termostático, las válvulas presentes en los tanques serán conocidas como válvulas de salida en este documento.
2. Tres bombas centrífugas las cuales direccionan las soluciones salinas.
3. Tres rotámetros, uno para cada bomba los cuales ayudan a medir y controlar el flujo por medio de válvulas, estas serán conocidas como válvulas de alimentación en este documento.
4. Tres manómetros que ayudan a realizar un seguimiento de la presión del sistema.
5. Módulo membranario integrado por tres circuitos independientes
  - i. Circuito de concentrado (CC), por la cual circula parte de la solución que irá enriqueciéndose de iones.
  - ii. Circuito de diluido (CD), por la cual circula la solución que irá perdiendo iones.
  - iii. Circuito de éluído o lavado (CE), la cual se usa para minimizar la presencia de reacciones en el área de los electrodos.
6. Fuente de poder conectada al módulo, la cual es la encargada de suministrar el

potencial eléctrico para inducir el flujo de iones a través de las membranas de intercambio iónico.

7. Baño termostataado con solución de mono etilenglicol para poder enfriar el contenido dentro de los tanques de alimentación.

### **3. Preparación de las soluciones**

#### **3.1. Solución de éuido**

Se preparan 4 L de una solución 1 N de sulfato de sodio. Se agregan 284 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a un vaso de precipitado con agua destilada hasta completar 4 L. Esta solución es usada como solución de lavado de los electrodos en todos los ensayos. Es necesario pasar la solución por un filtro de tela para asegurarse de que no existan cristales de sal dentro de esta.

#### **3.2. Soluciones para pruebas preliminares**

Para realizar pruebas preliminares de desalación se procesan soluciones ideales de NaCl con el fin de verificar la transferencia de iones en la operación. Para esto, se preparan dos soluciones de 4 L para la corriente de concentrado y diluido, añadiendo 4 y 28 g de NaCl, respectivamente, a un volumen de 4 L de agua destilada.

Es necesario realizar un proceso de filtrado de las soluciones con filtro de tela previo a la operación, para la remoción de sólidos insolubles que puedan afectar el funcionamiento y estado de las membranas de intercambio iónico.

#### **3.3. Soluciones ideales**

Para realizar la solución ideal que simula el lactosuero es necesario ácido láctico ( $\text{CH}_3\text{CHCOOH}$ ) con el fin de analizar el comportamiento de los iones de una forma ideal. Para esto, se prepara una solución de 4L para la corriente de diluido, añadiendo 60g de ácido láctico a un volumen de 4L de agua desmineralizada. Para el tanque de concentrado se usará la solución de agua con NaCl descrita en el apartado 3.2.

Para realizar la solución ideal que simula el hidrolizado de sangre, es necesario sulfato de hierro II heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) con el fin de analizar el comportamiento de los iones de una forma ideal. Para esto, se prepara una solución de 4L para la corriente de diluido, añadiendo 1.2g de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  a un volumen de 4L de agua desmineralizada. Para el tanque de concentrado se

usará la solución de agua con sal descrita en el apartado 3.2.

Para realizar una solución idea que simule lactosuero e hidrolizado de sangre a la vez, es necesario ácido láctico ( $\text{CH}_3\text{CHCOOH}$ ) y sulfato de hierro II heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Para esto, se prepara una solución de 4L para la corriente de diluido, añadiendo las cantidades mencionadas anteriormente. Adicionalmente, es necesario agregar 16g de NaCl para aumentar la conductividad de la solución.

#### 4. Funcionamiento del piloto

##### 4.1. Pretratamiento

- Inicialmente, se enciende el baño termostataado y se fija a una temperatura de  $-5\text{ }^\circ\text{C}$ .
- Para verificar que no exista óxido dentro del sistema, se tienen que conectar las mangueras de salida a las boquillas a la salida de las bombas para que no exista contacto con el módulo de membranas.
- Ubicar la salida de todas las mangueras en un balde externo para evitar la recirculación. Realizar un lavado con agua normal 3 veces o hasta que no se vean trazas de óxido.
- Ubicar las entradas y salidas de las mangueras en el módulo con ayuda del profesional encargado.
- Realizar una primera prueba con agua desmineralizada, con el fin de verificar la ausencia de fugas en el sistema.
- Se debe verificar que las soluciones utilizadas tengan turbidez  $< 10\text{ NTU}$ .
- Se verifican que las válvulas de salida estén cerradas y que las válvulas de alimentación estén ligeramente abiertas para evitar derrames del líquido.
- Se fija el flujo en los rotámetros a  $20\text{ L/h}$  para los circuitos de diluido, concentrado y lavado.
- Se conectan los electrodos del módulo de ED a la fuente de poder de la siguiente manera:

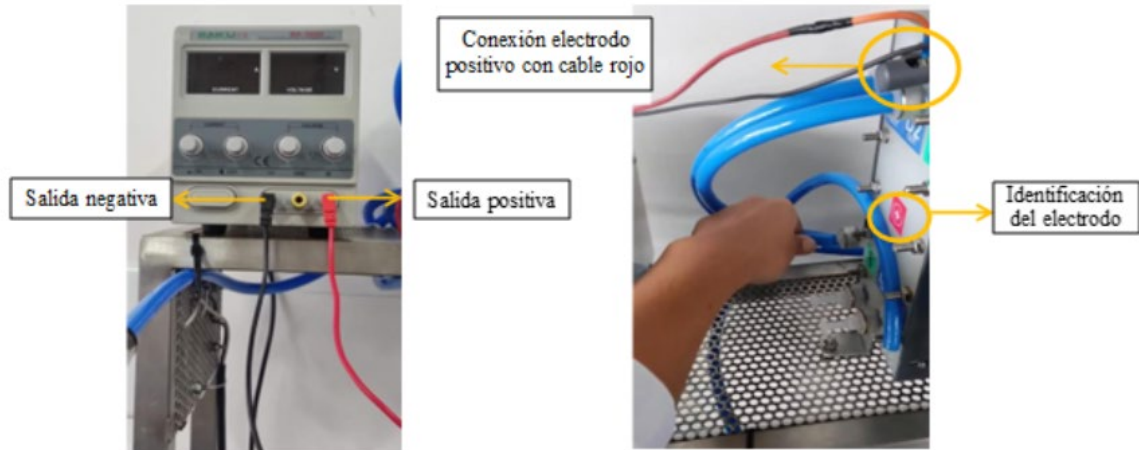


Imagen 1. Fuente de poder

Imagen 2. Identificación de electrodos en el módulo membranario.

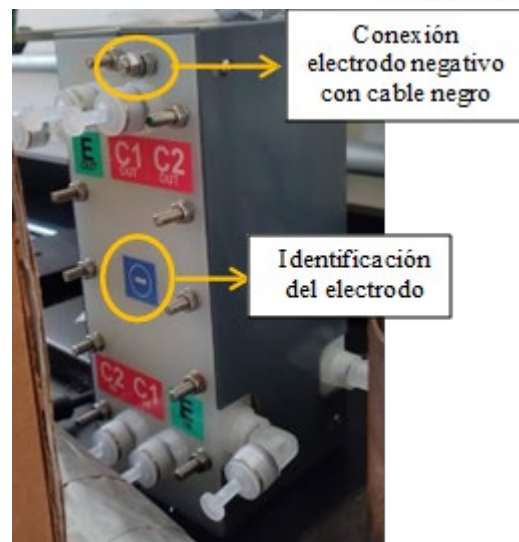


Imagen 3. Identificación de electrodos en el módulo membranario.

1. Se verifican las variables presión y temperatura para que los valores de operación estén en los rangos recomendados por el proveedor.
2. Una vez se verifica el correcto funcionamiento del piloto, se preparan las soluciones descritas anteriormente, según el tipo de prueba que se vaya a realizar (pruebas preliminares o con soluciones reales). Al momento de vaciar el sistema, no olvidar revisar los rotámetros para vaciar el agua remanente dentro de ellos.
3. Se agregan a los tanques de diluido, concentrado y lavado. Se miden las conductividades, el Ph, turbidez y las temperaturas iniciales de cada una de las soluciones para tener una referencia de estas variables en el tiempo 0.

4. Cuando la temperatura inicial de cada una de las soluciones esté por debajo de los 10°C, se puede iniciar la prueba.

#### **4.2. Protocolo de desalado**

1. Se encienden las bombas y se fija el flujo en los rotámetros a 30 L/h para los circuitos de diluido y concentrado y para el circuito de lavado se fija un flujo de 40 L/h.
2. Se enciende la fuente de poder y se fija el voltaje con el cual se va a trabajar (30V) y se da inicio al cronómetro.
3. Se toman muestras de concentrado y diluido cada 10 minutos, mientras los valores del amperaje varían en el tiempo. Se mide la conductividad, turbidez, pH y la temperatura de las muestras para el seguimiento del proceso. Algunas muestras se deben almacenar para hacer los análisis pertinentes posteriormente. La temperatura se debe medir en la boquilla de cada manguera de recirculación (cada vez que se mida la temperatura se debe lavar y seca muy bien el termómetro antes de introducirlo en otro tanque), mientras que las muestras destinadas a conductividad se toman en las válvulas de salida.
4. A los 10min de haber iniciado la práctica, se recomienda añadir una botella de agua congelada a cada tanque de alimentación. Cada botella debe lavarse con agua destilada antes de depositarse en los tanques.
5. Hay que prestar atención en todo momento a los rotámetros del equipo para asegurar el flujo correcto de las soluciones. En caso de que algún rotámetro se desplace al fondo indica que la bomba se tapó y por consiguiente hay que apagar el equipo como se describe en la siguiente sección.
6. Cuando la temperatura de operación esté cerca a los 35 °C se finaliza la prueba.

#### **4.3. Protocolo de apagado**

1. Primero se debe detener la corriente al módulo, disminuyendo el voltaje a cero, luego se disminuye el amperaje y, finalmente, se apaga la fuente de poder.
2. Posteriormente, se apagan las bombas y se cierran las válvulas de salida de estas.
3. Esperar 10min mientras las bombas se enfrían con la ayuda de las soluciones.
4. Se vacían los tanques de almacenamiento recuperando y almacenando las soluciones en tanques separados.

5. Al momento de vaciar el sistema, no olvidar revisar los rotámetros para vaciar el agua remanente dentro de ellos.

#### 4.4. Protocolo de lavado


1. Con las válvulas de salida completamente abiertas se vierte agua del grifo con la intención de eliminar trazas de sales en las paredes del tanque y en el serpentín. Este proceso se recomienda repetirlo 3 veces.
2. Luego, se cierran las válvulas de salida y se llenan los tanques de alimentación con agua desmineralizada, se retiran las mangueras de los tanques y se introducen en un solo recipiente externo, para que no exista recirculación del agua contaminada.
3. Se activan las bombas sin encender la fuente de poder y una vez los tanques estén casi vacíos se detienen las bombas y se mide la conductividad del agua que se descarta.
4. El proceso se repite hasta que la conductividad del agua a la salida de los tanques sea igual a la del agua desmineralizada (5 veces son recomendadas). Esto se debe realizar para evitar la acumulación de sales dentro del módulo de membranas.
5. Finalmente, se vacía el sistema y se revisan los rotámetros para vaciar el agua remanente dentro de ellos, se desconecta el piloto, se apaga el baño termostático, se ordena y se limpia el área de trabajo.

#### 5. Recomendaciones

- Es importante el uso de protectores auditivos tipo casco debido al ruido generado por el equipo.
- Ante cualquier duda o inquietud, consultar con el profesor o profesional encargado ya que una mala manipulación puede terminar en un accidente.
- Siempre debe haber mínimo 2 personas en el laboratorio en caso de que ocurra algún percance.
- Cumplir con la indumentaria básica necesaria para trabajar dentro del laboratorio como bata, pantalón sin rotos y zapato cerrado.
- Antes del trabajo en el laboratorio 210, leer detenidamente el *manual de seguridad*, este se encuentra en el portafolio de manuales.

Apéndice F

Infografía proceso de electrodiálisis.



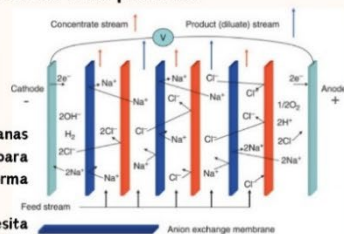
# Proceso de Electrodiálisis

¡Conoce más sobre este proceso!

### ¿QUÉ ES LA ELECTRODIÁLISIS?

Es un proceso que utiliza membranas selectivas (catiónicas y aniónicas) para separar iones, colocadas de forma alterna formando celdas.

Para que funcione el módulo, se necesita un electrodo a cada lado de la celda y de un gradiente de potencial eléctrico.



Fuente: <https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/electrodialysis>

### CONCEPTOS PRINCIPALES

1. Membranas de electrodiálisis: Son membranas densas que permiten el intercambio de iones (memb. catiónicas para el paso de los cationes y memb. aniónicas para el paso de los aniones).
2. Electrodo: El sistema necesita un ánodo(+) y un cátodo (-), que en presencia de un gradiente de potencial eléctrico genera el movimiento de los iones.

### PROCESO DE LABORATORIO

1. Se enciende el baño termostático (-5°C) y se llenan los tanques con las soluciones a trabajar (se debe verificar que las válvulas de vaciado estén cerradas).
2. Se encienden las bombas de alimentación del equipo y se ajustan los caudales con los manómetros según lo indicado en el manual.
3. Se enciende la fuente de poder y se ajusta el potencial eléctrico (20V o 30V).
4. Durante la práctica se deben controlar los caudales y, a su vez, realizar el seguimiento en la corriente y las temperaturas de las tres soluciones a la salida de la celda de electrodiálisis.
5. Cada 10 min realizar una toma de muestra en los tanques de alimentación de diluido y de concentrado.
6. No olvides hacer la caracterización de las muestras en términos de conductividad, pH y turbidez, para que aprecies como evoluciona el proceso.

Es importante tener en cuenta, **NO** encender la fuente de poder en ausencia de soluciones salinas, **NO** pasar soluciones con una turbidez superior a 8 NTU y **NO** trabajar a temperaturas superiores a 40°C. ¡De esta manera cuidas las membranas!

### APLICACIONES

Producción de agua ultrapura	Tratamiento de aguas residuales	Desalinización de productos (agua de mar y lactosuero)	Desmineralización de jugos
------------------------------	---------------------------------	--	----------------------------

### VENTAJAS

- Eficiencia: Alta eficiencia en la separación de iones.
- Menor uso de químicos
- Bajo consumo energético: En comparación con la ósmosis inversa para ciertas aplicaciones.

### DESVENTAJAS

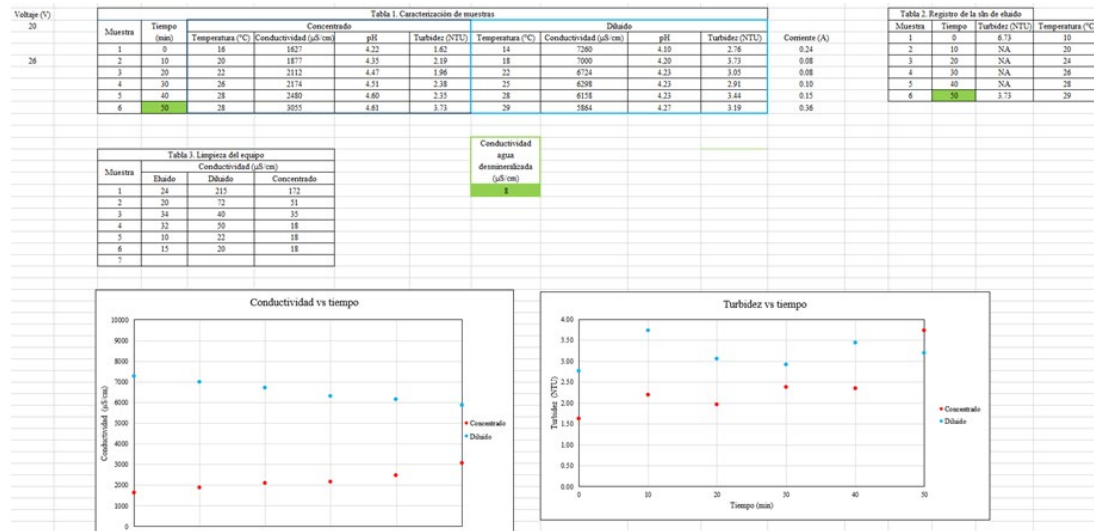
- Costos iniciales: Inversión inicial alta en equipos y membranas.
- Mantenimiento: Necesidad de mantenimiento regular de las membranas.
- Limitaciones: No es efectiva para la eliminación de compuestos no iónicos.

Realizado por: Ana Sofía Argüello Quintero y Fernando Esteban Reyes Mojica. Estudiantes IQ UIS.

**Apéndice G**

*Hoja de toma de datos electrodiálisis.*

[https://correouisedu-my.sharepoint.com/:x/g/person/fernando2190588\\_correo\\_uis\\_edu\\_co/EW-G0ZZ7qmNJrAUytrwymQMBNAY8Bplki3CpEzyuJYIE0A?e=rIasBA](https://correouisedu-my.sharepoint.com/:x/g/person/fernando2190588_correo_uis_edu_co/EW-G0ZZ7qmNJrAUytrwymQMBNAY8Bplki3CpEzyuJYIE0A?e=rIasBA)



**Apéndice H**

*Respuestas encuesta ultrafiltración.*

**Evaluación protocolos de laboratorio en el equipo de ultrafiltración**

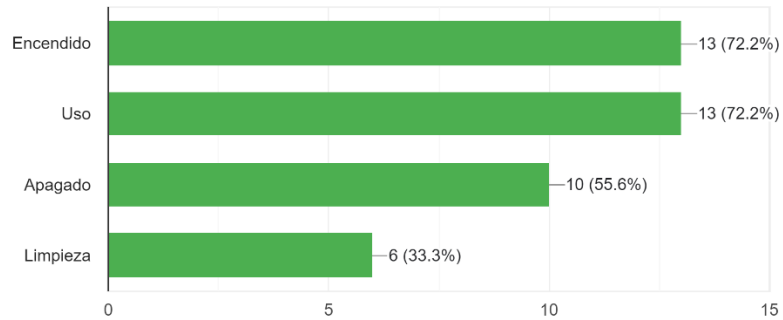
**1. Nombre y código**

Luis Camilo Sanabria Ardila	2200693
Andrés Rangel	2152807
Krisstal Riveros Fabra	2192445
Kimberly Pinzón Michel	2182466
Juan Pablo González Herrera	2182468
Karen Ximena Bermudez Jaimes	2185111
Mayra Alejandra Bustos	2190595
Álvaro Jose Sierra Cuadros	2194249
Dana Carolina Gómez Castillo	2192927
Juan Diego Marquez Miranda	2201484
Johan Remolina	2192603
Melissa Barragan	2201426
Valeria Duarte Carvajal	2192449
Tomas Felipe Rueda Portilla	2190577
Yamile Ardila	2204666
Julied Andreina Rosales Rincón	2221007
Gabriela Alejandra Rangel	2194566
Silvia Rangel	2192448

2.

Protocolo de laboratorio a evaluar

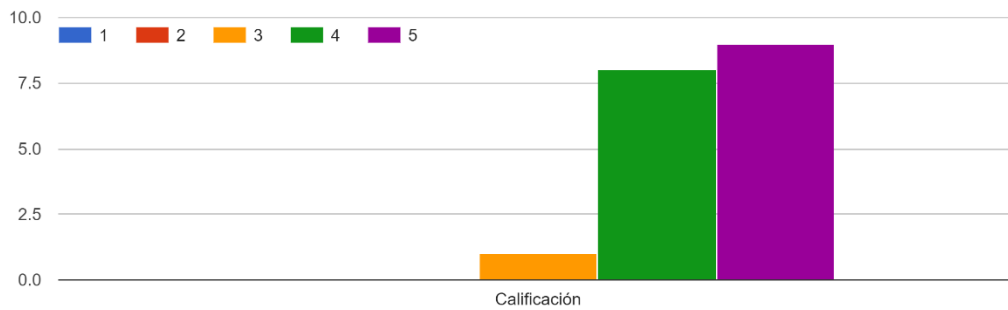
18 responses



Los estudiantes evaluaron la experiencia en una escala del 1 al 5, donde 1 significa "Muy insatisfecho/a", 2 "Insatisfecho/a", 3 "Neutral", 4 "Satisfecho/a" y 5 "Muy satisfecho/a".

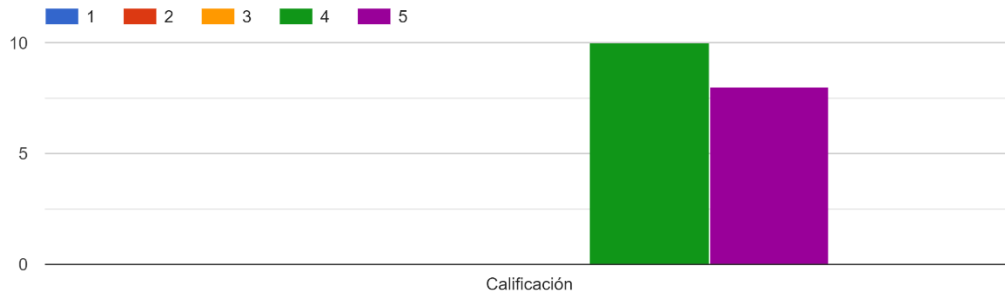
3.

¿Cómo calificaría la experiencia general utilizando los protocolos de laboratorio del equipo de ultrafiltración?



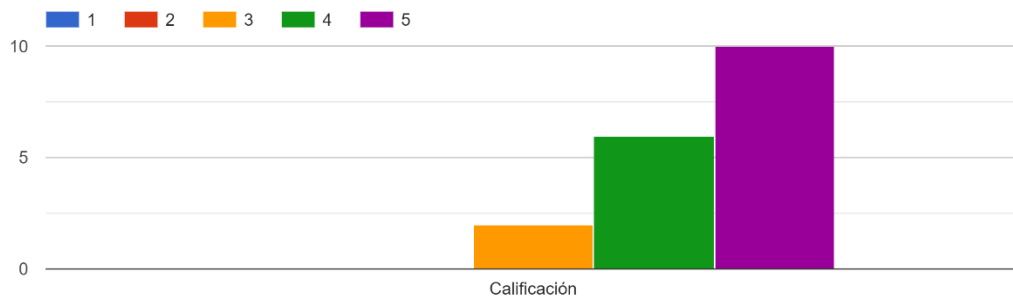
4.

¿Qué tan claro era el proceso para seguir los protocolos de laboratorio del equipo de ultrafiltración?



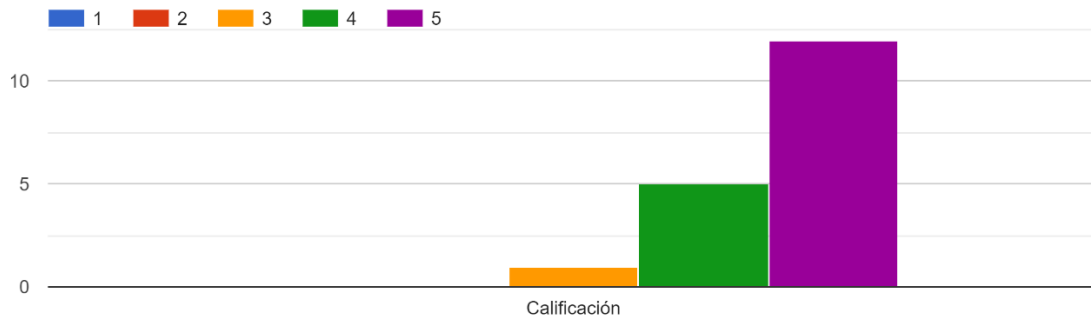
5.

¿Qué tan probable es que recomiende el uso de estos protocolos de laboratorio y prácticas realizadas a otros estudiantes?



6.

¿Cuánto considera que las prácticas y protocolos de laboratorio han aportado a su formación como profesional?



7. ¿La experiencia de seguir los protocolos de laboratorio y realizar la actividad en el laboratorio le proporcionó nuevos conocimientos o habilidades relacionadas con el manejo de equipos de laboratorio? Por favor, describa cualquier aprendizaje específico que haya adquirido durante esta experiencia.

La diferencia entre separar partículas en suspensión y partículas en solución
Las condiciones y prevenciones que se deben tener en cuenta al momento de encender y apagar el equipo. También los diferentes equipos que se utilizaron para la caracterización de la sustancia utilizada
Aparte de conocer el procedimiento de encendido, uso y apagado, me permitió poner en marcha algo muy importante, cuando ocurre un problema en el proceso cómo se debe arreglar y el paso a seguir para la corrección de este mismo
La práctica solo será exitosa si se han estructurado los pasos del manejo y funcionamiento de los equipos, si las condiciones de operación son controlables y si se integran los conocimientos acerca de los principios de los equipos que componen la unidad de trabajo.
Se obtuvo nuevos conocimientos tanto para el uso del equipo como también para las herramientas de caracterización
Uso del equipo de ultrafiltración
Aprendí cómo funciona el equipo para tomar la turbidez y también el equipo que calcula la humedad, por otro lado, nunca había manipulado el equipo de medición de grados brix.
Dentro de los aprendizajes adquiridos puedo resaltar el uso de las membranas, su limpieza y cómo ubicarlas dentro del equipo.
Ensamblar un equipo desde cero y medir datos como turbidez y conductividad
Si, uno de ellos es como la membrana era selectiva para ciertos compuestos y por ende al final se obtenía un producto de lactosuero más "limpio" y "claro"
El ensamblado del equipo al iniciar la práctica
El proceso de limpieza es tan importante como el del uso del equipo
Si, ya que conocí más a fondo el proceso de ultrafiltración y el ensamble del equipo, así como el método para medir la conductividad, ph, humedad y NTU.
La montado y desmonte aunque no sea tan utilizado en la industria pero sobre todo el manejo, correcto uso de las membranas
Adquirí más conocimientos acerca la ultrafiltración, tener un poco más claro de como se manejan los equipos.
Uso del refractómetro y del equipo del turbidímetro
Adquirí más conocimientos de las membranas que se utilizan para la filtración y como se utilizan diferentes equipos como lo fueron el de turbidez
La medición de pH, conductividad y grados brix

## 8. Recomendaciones para mejorar la efectividad o claridad del protocolo de laboratorio

Quiza marcar areas de seguridad alrededor de los equipos y señales de zonas potencialmente peligrosas
Ninguna
En genera, estuvieron muy bien y claros, mejoraría la explicación y claridad de la imagen tomada, ya que no se entendía muy bien las partes del equipo así como las válvulas
Destaca cualquier riesgo potencial o precaución importante que deba tenerse en cuenta durante el experimento.
Seguir haciendo charlas antes del uso del equipo ante cualquier duda que haya quedado al respecto del protocolo
En mi opinión todo está claro
Depronto ser más detallados en cada uno de los pasos.
Más ilustraciones en la metodología
Arreglar la calidad y brillo de algunas imágenes y palabras del protocolo, incluir más imágenes, incluir una pequeña introducción al principio sobre el equipo, sus funciones y aplicaciones.
Se tuvo que añadir y tachar algunos pasos en el protocolo
Mejorar los protocolos, unas partes no eran claras
Tener más claridad del paso a paso
No tengo sugerencias, ya que el procedimiento fue bastante claro y tuve la oportunidad de realizar todas las mediciones para caracterizar el lactosuero.
En mi opinión se debe trabajar en el apagado para evitar fugas, inundaciones o posibles baños del material de llenado
Me parece bien la forma en que se llevó a cabo la práctica
Enviar con antelación el manual para su lectura y comprensión previa
Ninguna, todo claro
Ninguna sugerencia

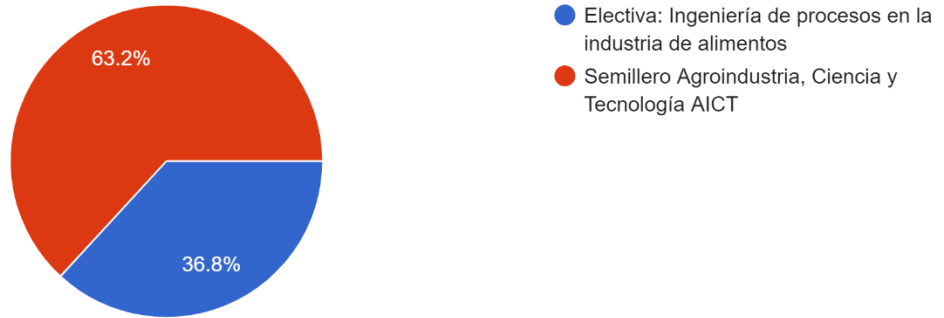
**Apéndice I***Respuesta encuesta electrodiálisis***Evaluación protocolos de laboratorio en el equipo de electrodiálisis****1. Nombre y código**

Jose Fernando Leiva Velasco	2192925
Álvaro José Sierra Cuadros	2194249
Juan Diego Marquez	2201484
Iván Santiago González Oliveros	2210557
Valeria Borja Dorado	2210598
Myriam Julieth Rangel Miranda	2210599
Tomas Felipe Rueda Portilla	2190577
Diana Marcela Pulido Giraldo	2211830
Juan Pablo Leon Chaparro	2196571
Laura Sofia Sandoval Granados	2201928
Julián David Suárez	2200653
Ximena Rodríguez Manchego	2194254
Kimberly Pinzón Michel	2182466
Luis Camilo Sanabria Ardila	2200693
Nicole Vanessa Roa Romero	2230850
Juan Pablo Gutierrez Portilla	2171076
Jonathan Arley Vélez Vera	2212393
Maria Camila Duran Moncaleano	2192814
Gisell Daniela Parra Ortiz	2190565

2.

¿A cuál de las siguientes opciones pertenece?

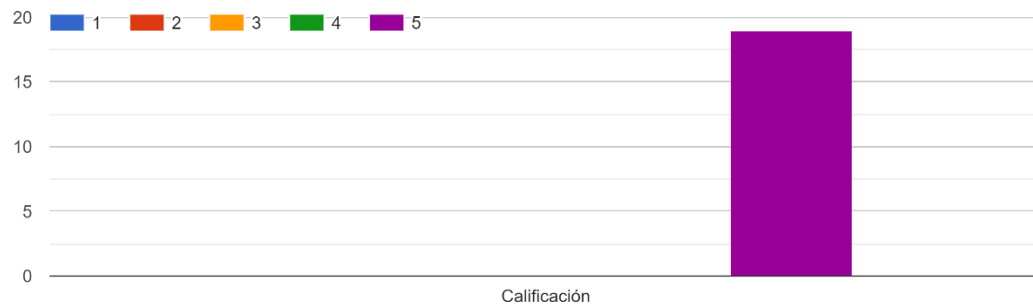
19 responses



Los estudiantes evaluaron la experiencia en una escala del 1 al 5, donde 1 significa "Muy insatisfecho/a", 2 "Insatisfecho/a", 3 "Neutral", 4 "Satisfecho/a" y 5 "Muy satisfecho/a".

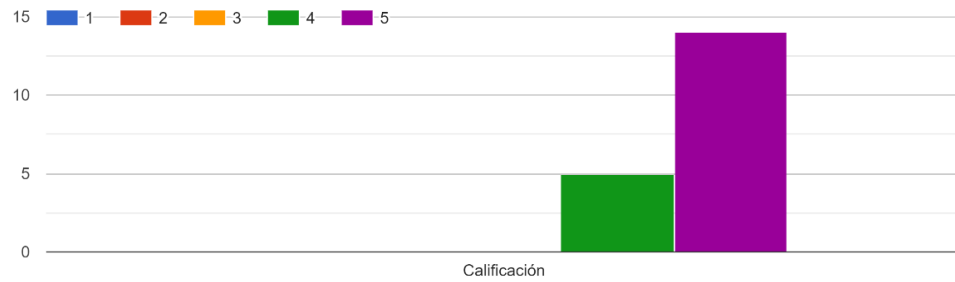
3.

¿Cómo evaluaría la experiencia general utilizando el protocolo de desalado del equipo de electrodiálisis?



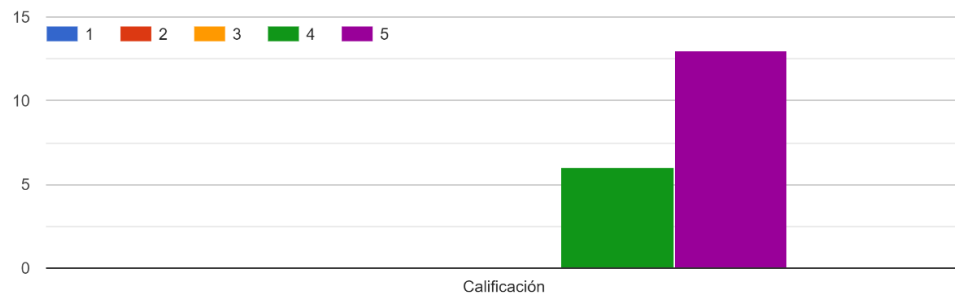
4.

¿Cómo evaluaría la experiencia general utilizando el protocolo de laboratorio de pretratamiento y lavado del equipo de electrodiálisis?



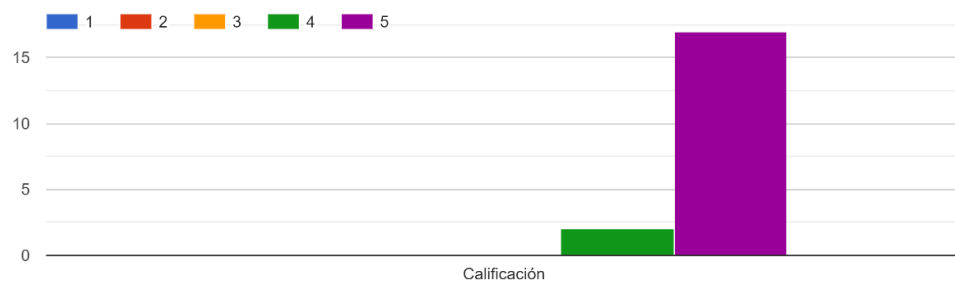
5.

¿Qué tan comprensible fue el procedimiento para seguir el protocolo de laboratorio del equipo de electrodiálisis?



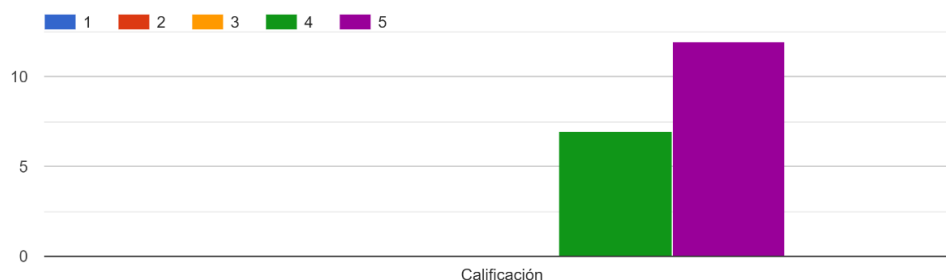
6.

¿Qué tan probable es que recomiende el uso de este protocolo de laboratorio y práctica ejecutada a otros estudiantes?



7.

¿Cuánto considera que la práctica y protocolo de laboratorio han aportado a su formación como profesional?



**8.** ¿La experiencia de seguir el protocolo de laboratorio y realizar la actividad en el laboratorio le proporcionó nuevos conocimientos o habilidades relacionadas con el manejo de equipos de laboratorio? Por favor, describa cualquier aprendizaje específico que haya adquirido durante esta experiencia.

Aprendí como funciona la electro diálisis
Manipulación de nuevos equipos, su correcta ejecución y limpieza
Se aprendió el manejo del equipo para la elución, dilución y concentrado y el lavado de este
Aprendí de mejor manera la electrodiálisis y pude verla y experimentar cada parte de esta de manera práctica
A caracterizar las soluciones y utilizar micropipetas
Permitió consolidar conocimientos adquiridos en otras asignaturas como fenómenos de transporte II sobre electrodiálisis.
Además, conseguir habilidades prácticas como el manejo de equipos como micropipetas, turbidímetro, etc.
Se aprendió sobre el uso de micro pipetas, turbidímetro y el funcionamiento del equipo de electrodiálisis
Aprendí sobre cómo medir el pH, turbidez y conductividad de la muestra con el uso de diferentes dispositivos.
la toma de muestras, el manejo del phímetro, el manejo de las micropipetas, el conocimiento de electrodiálisis.
La caracterización de los líquidos, específicamente en el uso del turbidímetro y el medidor de conductividad, ya que aprendí sobre el uso de ellos. También sobre el proceso de electro diálisis, el funcionamiento de las membranas y como controlar los flujos.
Mejorar en el proceso de dilución a través de micropipetas y el funcionamiento de la corriente para el desalado
Uso de la micro pipeta, tomar conductividad, ph y turbidez
Respecto al manejo de equipos, el uso de la micropipeta fue un nuevo aprendizaje.
En el uso de la micropipetas
aprendí bastante sobre como este proceso sirve para aplicaciones en la industria
El manejo de equipos para medir ph, conductividad, turbulencia y el uso de las micro pipetas
La toma de muestras, su manejo correcto para no contaminarlas y el funcionamiento de los equipos de medición, especialmente los medidores de pH y conductividad.
Evidentemente en la industria la electrólisis tiene diversas aplicaciones. Por lo tanto, es importante adquirir dicho conocimiento en un equipo piloto con muestras sencillas en el que se conoce el uso. Además, los instrumentos de medición como el turbidímetro, micropipeta, siendo estos dos instrumentos nuevos para mi.
Sí, como manejar las micro pipetas, los medidores de conductividad y pH, el medidor de turbidez.

**9.** Recomendaciones para mejorar la efectividad o claridad del protocolo de laboratorio

Ninguna
Todo bien
Ninguna, todo fue muy claro
Muy claro todo
Por el momento ninguno
Especificar o aclarar que el eluido es el mismo lavado ya que en el documento da un salto o no se especifica
Me gustó mucho, tuvimos la oportunidad de hacer la práctica completa y así tener una experiencia completa mejorar el equipo de electrodiálisis, enseñar mejor el procedimiento para conocerlo.
Ninguna.
Buscar algún sistema de enfriamiento mas sofisticado para evitar pasarse de la temperatura límite
Ninguna me pareció muy buena
Pienso que el protocolo estuvo perfecto.
En general me pareció bastante claro
Todo me pareció correcto ya que todos participaron en la actividad
Muy bien la experiencia
No tengo comentarios al respecto.
Realmente todo fue muy claro por parte de los compañeros tutores y el profesor que estuvo presente. Estuvieron atentos a las preguntas que teníamos respondiendo adecuadamente.
Explicar por qué tomamos ciertos datos

**Apéndice J**

*Resultados prueba HPLC.*

[https://correousedu-my.sharepoint.com/:x/g/person/fernando2190588\\_correo\\_uis\\_edu\\_co/EVm4oKz-u0ZCq77WnMKFPfHPfXpigiish8gv1ZH5aNIlw?e=KoPSOW](https://correousedu-my.sharepoint.com/:x/g/person/fernando2190588_correo_uis_edu_co/EVm4oKz-u0ZCq77WnMKFPfHPfXpigiish8gv1ZH5aNIlw?e=KoPSOW)

Muestras	Peso muestra [g]	HPLC - Lactosa						Muestras líquidas	Encargado
Muestra	Peso [g]	Señal	Concentración [g/L] curva	Aforo [ml]	Factor de dilución [ml/g]				
T2M1I	1.0194	0	0.0496	25	25		T2M1I	Angelica Chacón	
T2M1F	1.0424	0	0.0496	25	25		T2M1F	Angelica Chacón	
T2M2I	1.0267	0	0.0496	25	25		T2M2I	Ingrid Prada	
T2M2F	1.0083	0	0.0496	25	25		T2M2F	Ingrid Prada	
T2M3I	1.0641	0	0.0496	25	25		T2M3I	Angie Medina	
T2M3F	1.0501	0	0.0496	25	25		T2M3F	Angie Medina	
T4M2I	1.0357	0	0.0496	25	25		T4M2I	Alejandra Olarte	
T4M2 F	1.0036	2.003	0.6915	25	25		T4M2 F	Alejandra Olarte	
T4M3 I	1.0209	1.954	0.6758	25	25		T4M3 I	Luis Peña	
T4M3F	1.0315	3.256	1.0931	25	25		T4M3F	Luis Peña	
T3M2 I	1.0156	3.306	1.1091	25	25		T3M2 I	Wendy Robles	
T3M2 F	1.0171	3.384	1.1341	25	25		T3M2 F	Wendy Robles	
T3M3 I	1.0194	3.423	1.1466	25	25		T3M3 I	Wendy Robles	
T3M3 F	1.0333	3.372	1.1303	25	25		T3M3 F	Alvaro Sierra	
M. INICAL I	1.0016	3.312	1.1110	25	25		M. INICAL I	Alvaro Sierra	
M. INICAL F	1.0088	3.142	1.0560	25	25		M. INICAL F	Alvaro Sierra	
		3.155	1.0607	25	25				

Curva de Calibración	
Señal	Concentración [g/L]
6.090	2
9.175	3
12.376	4
15.424	5
m	3.1203
b	-0.15480



Muestras	Lactosa [g/100g]
T2M1I	0.1217
T2M1F	0.1190
T2M2I	0.1208
T2M2F	0.1230
T2M3I	0.1156
T2M3F	0.1181
T4M2 I	1.6692
T4M2 F	1.6835
T4M3 I	2.6768
T4M3F	2.6881
T3M2 I	2.7918
T3M2 F	2.8184
T3M3 I	2.7719
T3M3 F	2.6881
M. INICAL I	2.6372
M. INICAL F	2.6287

$$\text{Concentración lactosa} = \frac{\text{Concentración (Curva)} \cdot \text{Aforo} \cdot 100}{\text{Peso de la muestra} \cdot 1000}$$

$$\text{Concentración lactosa} = \frac{\text{Concentración (Curva)} \cdot \text{Aforo}}{\text{Peso de la muestra} \cdot 10}$$

**Apéndice K**

*Informe técnico proyecto de extensión.*

### **Informe técnico de actividades realizadas: Taller ultrafiltración (11 de junio 2024) y taller de electrodiálisis (13 y 14 de junio de 2024)**

El día 11 de junio de 2024 se realizó el taller de ultrafiltración propuesto por el semillero AICT, este se realizó en el laboratorio 210 del EDI ubicado en la sede UIS Guatiguará. Este taller trabajó con el equipo piloto de ultrafiltración donde la solución a filtrar fue lactosuero obtenido del proceso de producción de yogurt griego. La ultrafiltración se llevó a cabo haciendo uso de 5 membranas con un umbral de corte de 30nm, una temperatura de 70°C y una presión de 2 bar. Este taller les permitió a los participantes aprender más sobre el proceso de ultrafiltración, el manejo de diferentes equipos como el conductímetro, pHmetro, turbidímetro, balanza de humedad y micropipetas.

Durante los días 13 y 14 de junio de 2024 se realizaron talleres de electrodiálisis con participantes del semillero AICT. Estos talleres se realizaron en jornadas de la mañana y de la tarde para un total de 4 talleres. En cada taller se hizo uso del equipo de electrodiálisis, presente en el mismo laboratorito anteriormente mencionado, pero se variaron algunas condiciones de operación para poder comparar los datos y compartirlos con los estudiantes.

Para cada taller se requería una solución de éuido, diluido y concentrado. En todas las experiencias realizadas la solución de éuido elaborada fue de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  con una concentración de 71 g/L y la solución de concentrado fue de  $\text{NaCl}$  con una concentración inicial de 4g/L. Para la solución de diluido esta varió en la mayoría de los talleres. Para el taller 1 fue una solución ideal de ácido láctico con concentración de 15 g/L y  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  con una concentración de 0.3 g/L. Para el taller 2 se emplearon los mismos solutos del taller 1 pero también se agregó una concentración de 4 g/L de  $\text{NaCl}$ . Como solución de éuido, para el taller 3 y 4 se empleó el lactosuero clarificado anteriormente en el taller de ultrafiltración. Para las 3 primeras experiencias se trabajó con un voltaje de 30V, mientras que para la última práctica se fijó el voltaje en 26V. Finalmente en cada taller los participantes caracterizaron las muestras que tomaron, midiendo turbidez, pH, conductividad y temperatura. En varios casos los participantes realizaron disoluciones y conocieron el uso de la micropipeta y reforzaron el cálculo para las disoluciones.

El objetivo principal de estos talleres impartidos fue el conocimiento de los participantes sobre el proceso de electrodiálisis. Aunque de manera simultánea los participantes también reforzaron su experticia en la toma de datos, creación de diluciones y uso de herramientas de medición como el pHmetro, turbidímetro y conductímetro.

Las figuras 1 a 5 ilustran la participación de los diversos estudiantes a los talleres impartidos por el semillero.

#### **Figura 1.**

*Taller ultrafiltración*



**Figura 2.**

*Taller 1 de electrodiálisis*



**Figura 3.**

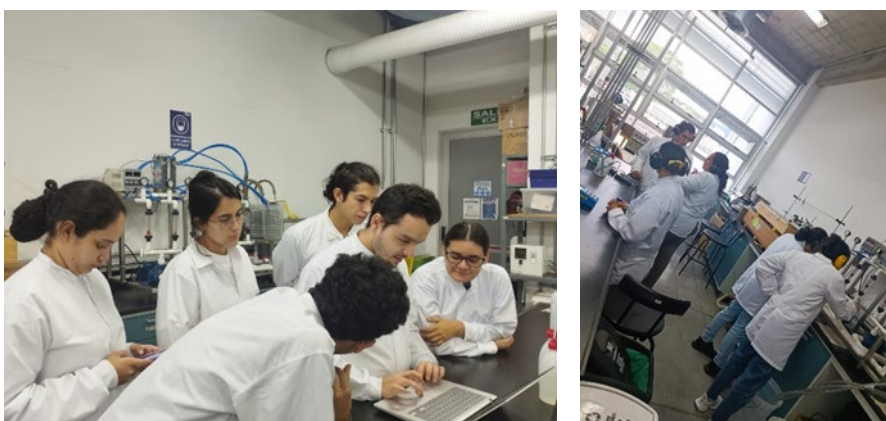
*Taller 2 de electrodiálisis*

**Figura 4.**

*Taller 3 de electrodiálisis*

**Figura 5.**

*Taller 4 de electrodiálisis*



Para conocer como fue la experiencia de los participantes a los talleres ejecutados, se les realizo una encuesta de satisfacción completamente anónima para que pudiera dejar su retroalimentación. Esta encuesta tenía en cuenta aspectos como el contenido de los talleres, los recursos empleados y el manejo del tema por parte de los encargados. Como se observa en la Figura 5, el 100% de los

participantes que diligenciaron la encuesta respondieron que volverían a asistir a una actividad como esa, evidencia el éxito de los talleres realizados por el semillero AICT.

**Figura 5.**

*Satisfacción talleres realizados.*

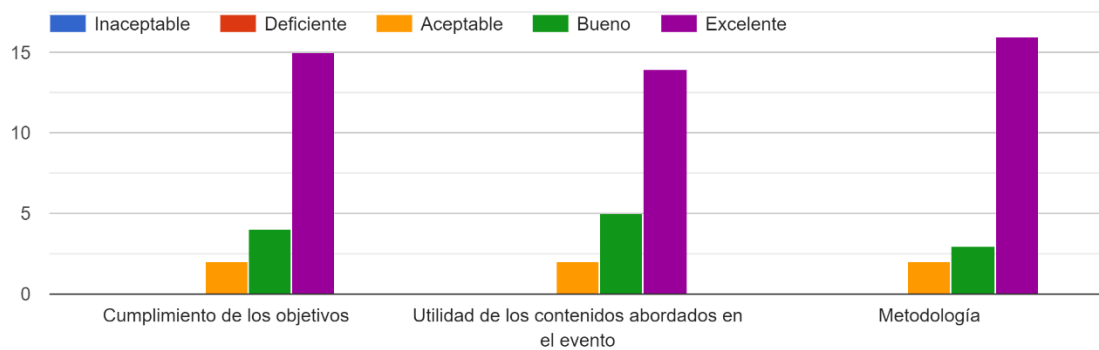


## Apéndices Informe

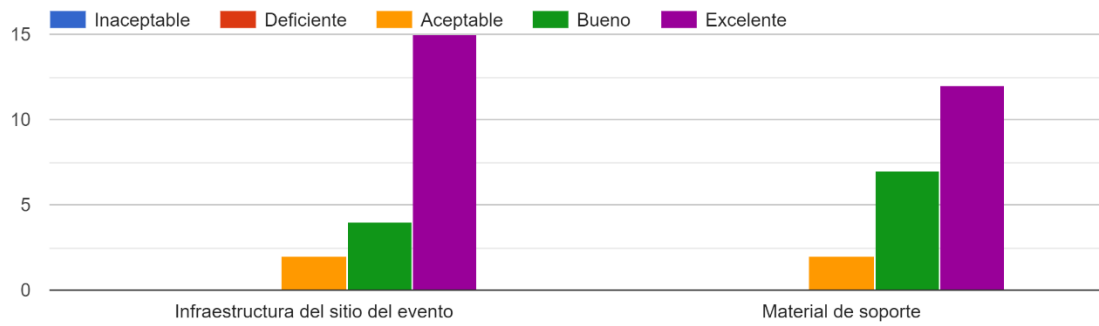
### Apéndice A1.

*Preguntas y respuestas encuesta de satisfacción.*

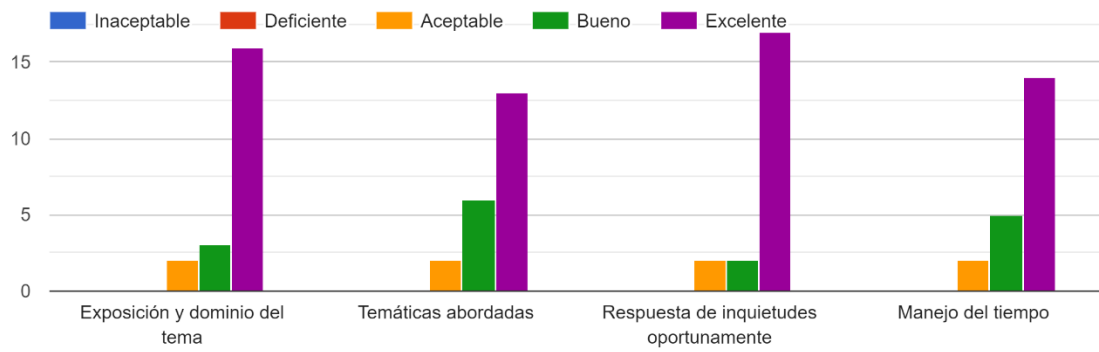
Evaluación respecto al contenido del evento



Evaluación respecto a los recursos empleados

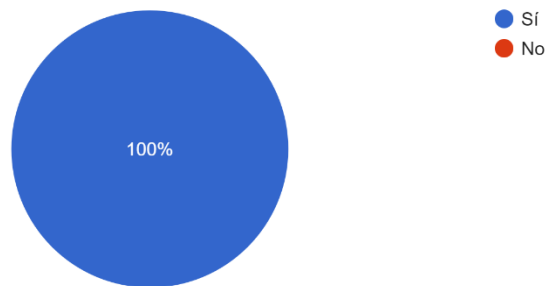


Evaluación respecto a las presentaciones



¿Volvería a participar en un evento así?

21 respuestas



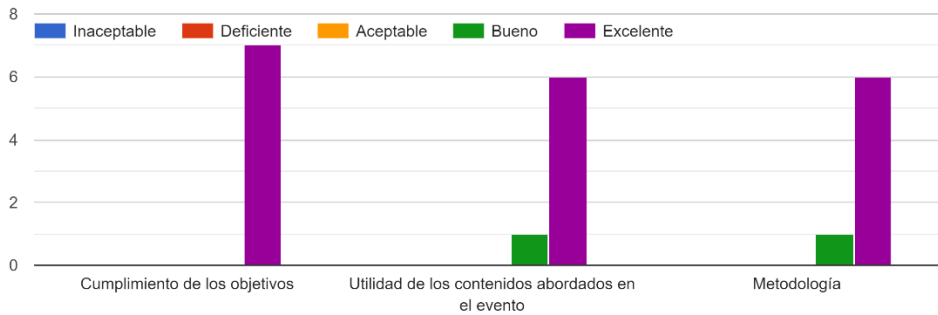
Comentarios y observaciones

Me pareció una actividad muy buena y productiva: ver de manera práctica y ser un poco más afin al laboratorio resulta muy provechoso
Muy interesante.
Excelente actividad, tuve la oportunidad de hacer toda la práctica y usar cada uno de los equipos para una experiencia más completa
Buen taller porque se aprende practicando deberian hacer mas eventos para aprender mas.
Considero que aunque es un equipo piloto, se puede llegar a analizar a profundidad del objetivo
La actividad es una experiencia enriquecedora
Todo muy chévere :D
Una práctica muy interesante, recomiendo seguir repitiendola.
Muy buena la actividad
Muy interesante la experiencia y enriquecedora
Ninguno, todo claro

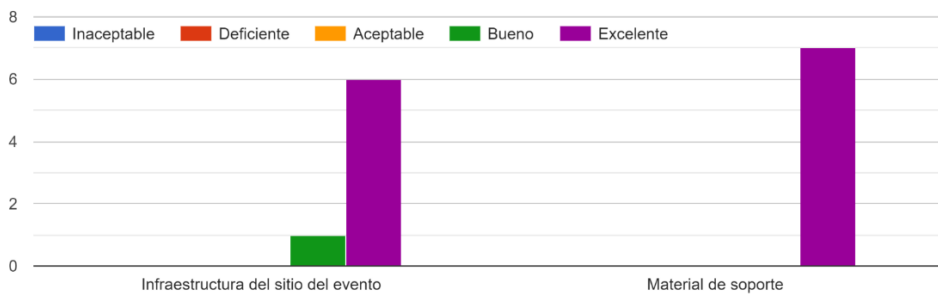
Apéndice A2.

Preguntas y respuestas encuesta de satisfacción taller instrumental.

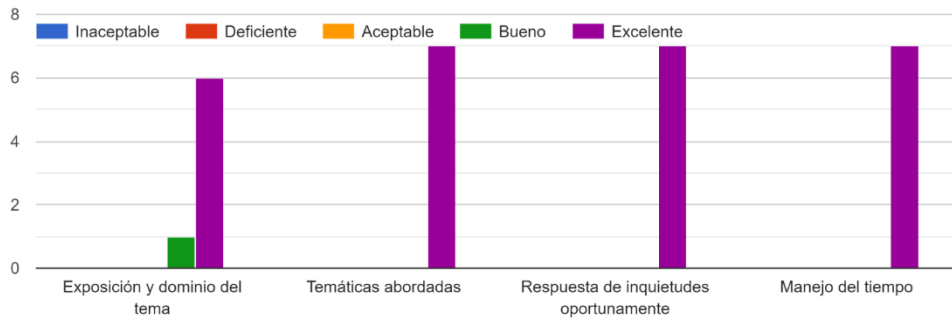
Evaluación respecto al contenido del evento



Evaluación respecto a los recursos empleados

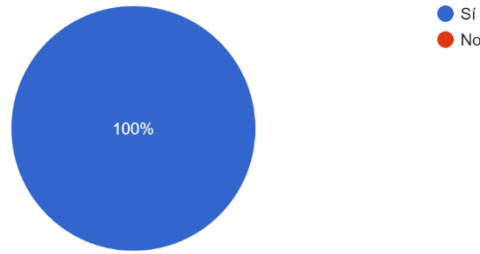


Evaluación respecto a las presentaciones



¿Volvería a participar en un evento así?

7 respuestas



Comentarios y observaciones

Sería bueno que adjuntaran el póster del proyecto. De modo que las personas que no pudimos ir a la exposición podamos entender un poco más sobre el proyecto de grado y porque se esta realizando en el laboratorio.

Apéndice L

Resultados concentración de hierro.

[https://correousedu-my.sharepoint.com/:x/g/person/fernando2190588\\_correo\\_uis\\_edu\\_co/EZAcEYf1H3hLgJXebdoqNjAB19\\_xavRXDseecTrabwhByQ?e=uO840c](https://correousedu-my.sharepoint.com/:x/g/person/fernando2190588_correo_uis_edu_co/EZAcEYf1H3hLgJXebdoqNjAB19_xavRXDseecTrabwhByQ?e=uO840c)

Cuantificación de Fe muestras líquidas						Curva de Calibración	
Muestra	Peso [g]	Absorbancia	Concentración [mg/L] curva	Aforo [ml]	Factor de dilución [ml/g]	Concentración mg/L	Absorbancia
T1M1	2.0284	0.0218	0.4456	25	10	0.1	0.0052
T1M2	1.9989	0.0963	1.9754	25	1	0.3	0.0149
T1M3	2.0120	0.0253	0.5175	25	1	0.5	0.0242
T2M1	2.1413	0.0243	0.4969	25	10	1	0.0485
T2M2	2.0230	0.0789	1.6181	25	1	1.5	0.0735
T2M3	2.0175	0.0615	1.2608	25	1	2	0.0976

Ecuación para calcular la concentración de Fe		Concentración de Fe	
$\text{Concentración Fe} = \frac{\text{Concentración} \cdot \text{Factor de dilución} \cdot \text{Aforo}}{10 \cdot \text{Peso de la muestra}}$		Muestra	Concentración [mg/100g]
$\text{Concentración Fe} \left( \frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right)$		Inicial Voltaje 30	5.4918
		Tiempo 20 Voltaje 30	2.4706
		Tiempo 50 Voltaje 30	0.6430
		Inicial Voltaje 20	5.8016
		Tiempo 20 Voltaje 30	1.9996
		Tiempo 50 Voltaje 20	1.5623

Curva de Calibración	
m	0.0487
b	0.0001

