

## Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos de una planta potabilizadora: utilización y eficiencia en clarificación de aguas residuales

Jorge O. Noir; Claudia Roca Sallefranque

Autores: Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Entre Ríos. Lorenzo Sartorio 2160 - Concepción del Uruguay - Entre Ríos - Argentina  
Contacto: [jorge.noir@uner.edu.ar](mailto:jorge.noir@uner.edu.ar)

ARK: <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/7d0q7rgwx>

### Resumen

El presente estudio se basó en la recuperación de sulfato de aluminio proveniente de los lodos de la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Concepción del Uruguay, y en la realización de ensayos de efectividad del producto en la clarificación en diferentes tipos de aguas residuales.

Se extrajo barro de los sedimentadores mensualmente durante un año, y mediante un proceso de acidificación a un pH de 2,5 se realizó la recuperación del sulfato de aluminio. Se determinó la efectividad del sulfato de aluminio recuperado, en la clarificación de aguas residuales, tomando como indicadores la dosis del producto, la turbidez, el pH, el oxígeno disuelto y la DBO<sub>5</sub> final de la muestra de agua residual.

Las aguas residuales que se utilizaron fueron: urbana (cloacal), industrial de frigorífico avícola y de fábrica de sub productos cárnicos avícolas, lixiviado de la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos y agua de un curso superficial receptor de diferentes efluentes. Se realizó finalmente una comparación entre la efectividad de sulfato de aluminio recuperado y productos comerciales, cloruro férrico, policloruro de aluminio, sulfato de aluminio con el agregado de un polielectrolito.

La cantidad de sulfato de aluminio recuperado volumen/volumen, varió según la muestra, promediando una recuperación de un 52,4%.

La comparación con otros productos comerciales resultó efectiva, aunque en algunos casos, fue necesaria la incorporación de mayor volumen del producto. Se hacen necesarias a futuro nuevas líneas de investigación y desarrollo.

**Palabras clave:** Recuperación de sulfato de aluminio- aguas residuales

## Objetivos

### General

- Producir coagulante-floculante a partir de la recuperación de aluminio de los barros derivados del proceso de potabilización de agua de la ciudad de Concepción del Uruguay, evaluando su uso y eficiencia para el tratamiento de aguas residuales en relación a otros productos comerciales

### Específicos

- Generar sulfato de aluminio a partir del hidróxido de aluminio de los barros procedentes del proceso de potabilización mediante acidificación.
- Establecer cantidades y concentraciones promedio de ácido a utilizar, en el proceso de recuperación de sulfato de aluminio partir de los lodos.
- Determinar la efectividad del sulfato de aluminio recuperado, para la clarificación de aguas residuales.
- Realizar una comparativa de eficiencia en relación a dosis de producto y turbidez y pH final de la muestra de agua residual.
- Realizar una comparativa de efectividad en relación a los productos comerciales

## Marco teórico

El proceso de potabilización de aguas superficiales consta de diversas operaciones básicas unitarias, donde a través de ellas, se pueda abastecer a la comunidad de un agua para consumo que presente los parámetros de calidad establecidos en el capítulo 12 del Código Alimentario Argentino. Dentro de estas operaciones, el proceso de coagulación- floculación utiliza productos químicos tales como sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$ , el cloruro de aluminio  $AlCl_3$ , Cloruro férrico  $FeCl_3$ , Sulfato ferroso  $FeSO_4$ , Sulfato férrico  $Fe_2(SO_4)_3$  (Barrenechea Martel 2002). Otro producto que también es utilizado, son los policloruros de aluminio PAC, todos estos actúan como coagulantes floculantes, aunque en algunas circunstancias, es necesario el agregado de un polielectrolito para mejorar el proceso de floculación, siendo éstos del tipo aniónico o catiónico. (Cárdenas 2000).

Todas las partículas contenidas en el agua son eliminadas en el sedimentador en donde se acumulan en forma de barro, este barro presenta características variadas según la condición de la fuente de agua y de los químicos utilizados, los cuales tienen relación directa con el tipo y cantidad de coagulante usado; éstos varían entre 0.3 a 1% del volumen de agua tratada (Sandoval et al., 2008) en (Patricia Torres et al 2012).

Los barros obtenidos del tratamiento de las aguas superficiales, por medio de los procesos de coagulación-floculación-sedimentación y filtración, son eliminados y deben ser tratados en una planta de tratamiento de barros (Kielly, 1998). Cuando no existe una planta de tratamiento los barros, terminan descargándose directamente a cursos superficiales, sin considerar que las características físicas y químicas de estos, a menudo transgreden las normas ambientales relativas a las descargas.

En el caso de que se utilice sulfato de aluminio como coagulante-floculante estos barros normalmente poseen un 90% agua, hidróxidos de aluminio, partículas de arcilla o arena, coloides, plancton y materia orgánica, y microorganismos que pueden ser patógenos, mismos aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de su tratamiento y su disposición final (Espigares García- López ,1995).

El proceso de recuperación mediante acidificación con ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$ , reduce el mayor contaminante inorgánico (aluminio), mientras que minimiza el volumen de lodo y por consiguiente reduce el costo de la disposición final; Sumado a que reduce de problemas de disposición asociados con lodos de hidróxidos de aluminio que generan un riesgo ambiental asociado con la disposición de los residuos industriales. (Barba, Mesa, Moreano, 2000).

Estudios relacionados a la recuperación de sulfato de aluminio de los barros de plantas potabilizadoras, Barba Mesa y M. Rosero (2000), en su estudio, recuperaron en muestras, un 60%, del aluminio reduciendo el volumen del lodo del 30% aproximadamente. Por su parte Nuñez y Peña Castro 2011, efectuaron ensayos de jarras a diferentes valores de pH y tiempos de mezcla. Alcanzándose porcentajes de recuperación de aluminio de 60.5% en época de sequía y 71.5% en época de lluvia; a pH de 1.5 demostrando que es factible económicamente reutilizar el sulfato de aluminio. En el estudio Gutiérrez-Rosero Álvaro -Ramírez-Fajardo-Rivas, Balmes Linares y Paredes 2014, sometieron lodos aluminosos a ensayos de recuperación de aluminio, adicionando  $H_2SO_4$ , donde se recuperó el 60-70 % de la concentración inicial del aluminio en el lodo, con pH=1,5 y mezcla de 5-30 minutos. En el año 2019 Gamarra Román y Romero Lanás, trabajaron con dos variables independientes y se escogieron tres niveles por variable, pH (2,0; 2,5; 3,0) y tiempo de mezcla (15 min; 30 min; 45 min), Después del estudio en los resultados obtuvieron porcentajes de recuperación de aluminio entre 75 y 99% y soluciones con concentraciones entre 199,63 y 235,4 mg Al/L. Obteniendo la mayor recuperación de aluminio al 99,68% a las condiciones de pH con 2 unidades y un tiempo de mezcla de 45 minutos, concluyendo que el pH es uno de los factores más importantes para el proceso. Esta recuperación puede alcanzar un 54 % del peso de sulfato de aluminio comercial empleado (Degrémont, 1979).

## Metodología

Para llevar adelante el proceso de recuperación y determinación de eficiencia de la sal de sulfato de aluminio reciclado proveniente de la planta potabilizadora de la ciudad, se estableció como primera instancia la realización de una división de las tareas a desarrollar a fin de contar con un esquema organizacional que quedó establecido en el desarrollo de cuatro etapas diferentes, para dar cumplimiento a los tres objetivos específicos a saber.

Para el objetivo primero: extraer el aluminio de los barros mediante acidificación en función del pH, estableciendo la concentración de ácido a utilizar para la recuperación, se subdividió en dos etapas

- Primera etapa: Recolección del barro
- Segunda etapa: Recuperación del aluminio

Para llevar adelante el segundo objetivo: determinar la efectividad del sulfato de aluminio recuperado, para la clarificación de aguas residuales, comparando la eficiencia en relación a dosis de producto, turbidez y pH final de la muestra de agua residual se subdividió en:

- Tercera etapa: Recolección de agua residual
- Cuarta etapa: Determinación de eficiencia

Para realizar el análisis comparativo del producto recuperado, en relación a otros productos comerciales se estableció la última etapa

- Quinta etapa: Comparativa con otros productos comerciales

#### » **Primera etapa (Recolección del barro)**

La primera etapa se basó en la recolección del barro de los decantadores, se decidió, que debido a que el sector nuevo de la planta posee descarga automática de los mismos, se recogieron los barros únicamente de ese sector, dado que tanto la calidad como la cantidad en relación a la parte más antigua de la planta son proporcionalmente similares. La fuente de agua de la planta potabilizadora, (Río Uruguay) sufre cambios en la calidad del agua a lo largo del año debido principalmente al aumento drástico de caudal en épocas de crecientes, variabilidad de la calidad debido a las escorrentías superficiales por lluvias intensas, como así también en momentos de bajas considerables. Estos cambios generan una modificación en la dosificación de sulfato de aluminio, en relación a la cantidad de sólidos que se deban precipitar, variando de esta forma la calidad y la cantidad de barro generado en los sedimentadores.

Dada la condición anterior y a fin de poseer un valor más representativo se decidió realizar muestras mensuales durante 12 meses, a fin de cubrir un año calendario contemplando la variabilidad estacional, el período fue de junio de 2022 a junio de 2023. La metodología para la extracción de los barros del sedimentador, se estableció in-situ en función de varias pruebas en el campo.

Para la recolección del barro se esperaba el momento en que la válvula automática dejara caer el lodo por gravedad impulsado por el peso del agua contenida en el decantador, dada la fuerza con la que caía, la recolección de forma directa sea muy difícil. Además de esto, la calidad y cantidad del barro que se escurre en el proceso de purga, no es la misma durante el tiempo que dura el proceso de descarga de cada válvula (30 segundos).

En primera instancia el barro se observa más denso y oscuro, mientras en el final de la descarga está compuesto mayoritariamente por agua del decantador.

En relación a lo anterior y a fin de que el proceso de recolección sea seguro y más representativo de los diversos momentos de descarga, se definió como punto de muestreo el final del canal donde el barro es conducido hacia a la cañería que lo lleva a disposición final (cuerpo receptor).

Al momento que el barro circulaba en ese punto se recolectaba con balde plástico y de allí se completaban recipientes de 500 ml los cuales eran llevados para su posterior análisis en el laboratorio.

#### » **Segunda etapa (Recuperación del aluminio)**

La recuperación del aluminio se llevó a cabo en el laboratorio de aguas la Facultad de Ciencias de la Salud (UNER), donde se disponía del instrumental y reactivos necesarios para realizar las determinaciones y reacciones necesarias para el proceso. Al momento que se recolectaban las muestras, éstas eran llevadas al laboratorio; a fin de estructurar el proceso se realizó un esquema que contenía una secuencia de actividades, que fue ajustada en pruebas previas a la fecha del presente estudio.

### Esquema para la recuperación del aluminio

1. Medición de pH del barro
2. Medición Densidad del barro
3. Incorporación polielectrolito
4. Reposar 10 minutos sedimentación
5. Medición de la cantidad de sólido sedimentado
6. Descarte de líquido sobrenadante
7. Acidificación hasta pH 2,5
8. Medición nuevamente el barro que quedó, descartar el barro usar el liquido
9. Dejar reposar durante 24 horas

### Medición de pH del barro

Para la determinación del pH se utilizó Ph metro de mesa marca Adwa Modelo AD1000 /AD1020. El contenido del barro (500 ml), se dispuso en un vaso de precipitado de vidrio agitándolo para homogenización luego se introdujo el electrodo hasta que indique una medición estable, una vez realizado este paso, se incorporó el valor en una planilla diseñada para tal fin.

### Medición densidad del barro

Una vez determinado el pH se colocó el vaso de precipitado en un agitador magnético a fin de mezclar y homogenizar el barro, una vez realizado esto, se extrajo, mediante una pipeta aforada, 50 ml del barro y fueron incorporados a un recipiente plástico previamente tarado en una balanza analítica marca Denver Instrument Modelo MXX-412, con el dato de la masa y el volumen se determinó la densidad del barro. Una vez realizadas las mediciones se determina la densidad y se la incorpora en la planilla.

### Incorporación polielectrolito

Con el objeto de espesar aún más el barro y que este proceso se realice de forma rápida, se incorporó a los 500 ml de barro 5 ml de polielectrolito como floculante, se utilizó un floculante aniónico.

El producto se incorporó mientras la muestra de barro se removía de forma lenta mediante el agitador magnético, durante unos 5 minutos, para que se formen y crezcan los flóculos y luego comiencen a precipitar una vez detenido el agitador, dejándolo reposar por 10 minutos aproximadamente.

Una vez sedimentado el lodo, se extrajo la mayor parte del líquido y se colocó el resto junto con el barro en una probeta y se dejó nuevamente sedimentar, se descartó el líquido restante para determinar el volumen de barro a acidificar, de la muestra de 500 ml, posteriormente se comenzó el proceso de acidificación.

### Acidificación hasta pH 2,5

Con el barro espesado se procedió a incorporarlo en un vaso de precipitado, a fin de comenzar con la acidificación hasta un de pH 2,5, que según bibliografía es el valor que mejor resultados alcanza en relación a la cantidad de ácido sulfúrico a incorporar.

Para la realización de la acidificación, se preparó en una probeta de 100 ml, una solución de ácido sulfúrico al 25% v/v, representando 25 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y 75 ml de agua destilada, debido a la reacción exotérmica que se genera, se eleva

demasiado la temperatura por lo que se creyó conveniente utilizar una solución de 2,5%v/v, representando 2,5 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) como soluto y 97,5 ml como solvente generando 100 ml de solución.

El barro se incorporó a un vaso de precipitado y mediante el agitador magnético de forma lenta, se mantenía en movimiento permanente, la solución de ácido sulfúrico, se comenzó a incorporar al barro con una bureta graduada, a fin de realizar la lectura del volumen de ácido incorporado al momento en que el pH llega al valor de 2,5.

Una vez que el pH llegó al valor 2,5 se colocó el contenido en una probeta y se dejó nuevamente precipitar el lodo durante unos 10 minutos, luego se vertió el líquido sobrenadante, que es el sulfato de aluminio recuperado, y se lo incorporó a otra probeta para realizar la mensura del volumen y el lodo restante también fue mensurado y luego se descartó. El líquido final posee una tonalidad ámbar y se dejó en un envase plástico donde se etiquetó la fecha del proceso. (Imagen 1).

**Imagen 1:** Separación final del aluminio y el residuo



### » Tercera etapa (Recolección de agua residual)

Para la determinación de la eficiencia del sulfato de aluminio recuperado y la comparativa entre otros productos comerciales, se recogió agua residual de diferentes fuentes a fin de poder conocer la posible aplicabilidad del producto.

En algunos casos no fue posible conseguir el agua residual en las condiciones esperables, (las empresas no permitieron que se extrajera agua residual solo con un pre tratamiento o un tratamiento primario), de todas formas, en función del proceso que haya atravesado el agua, se realizaron las determinaciones de la carga contaminante expresada en DBO.

Los efluentes líquidos que fueron utilizados para la realización de las distintas determinaciones fueron:

#### Aguas residuales urbanas

Provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cloacales, que abarca un sector de la ciudad, recogándose el líquido luego de que éste atravesara el pro-

ceso de pretratamiento, el cual consta de una cámara de rejillas, un depósito de bombeo, un desarenador y un desengrasador.

#### Agua residual industrial de frigorífico

Obtenida de un frigorífico avícola luego de un tratamiento secundario, compuesto por un sistema de lagunas de estabilización en serie, una anaeróbica y otra facultativa

#### Agua residual industrial de fábrica de sub productos

Procedente de una fábrica de subproductos derivados de pollo luego de un proceso de tratamiento secundario (DAF sin incorporación de químicos).

#### Agua de lixiviado de residuos

El agua residual del relleno sanitario de la ciudad, se obtuvo con autorización del encargado de la planta. Se recolectó el agua directamente de un reservorio que sirve como depósito de bombeo, el líquido residual normalmente llega a la cámara de aforo y es bombeado nuevamente al relleno a fin de que ese proceso lo vaya degradando y además no se generen grandes cantidades de lixiviado a tratar. Sobre todo, en este relleno que se encuentra próximo su etapa de clausura, a fin de comenzar a verter en el relleno nuevo que está en construcción.

#### Agua de un curso de agua superficial:

Se extrajo de un curso de agua (Arroyo El Curro), en un punto donde éste se ve fuertemente impactado con diversos efluentes, tanto cloacales como industriales.

De cada una de las muestras, se obtuvo un volumen de 20 litros, a fin de poder realizar el ensayo del Jar Test, además inicialmente se les determinó turbidez, pH, Oxígeno disuelto y DBO.

### » **Cuarta etapa (Determinación de eficiencia)**

Para la determinación de la eficiencia del producto recuperado, se realizó una comparativa de la calidad de las aguas residuales al momento inicial y se luego de la incorporación del producto reciclado a fin de establecer el nivel de eficiencia según los parámetros estudiados mediante análisis en el laboratorio,

La dosificación del producto se realizó en un Jar test Maca NUMAK modelo JJ-4- 10 A ELECTRIC STIRRER, floculador de 6 vasos con controlador de velocidad y temporizador, adquirido mediante el presente proyecto.

### **Determinación parámetros iniciales del agua**

#### Oxígeno disuelto

Una vez con el agua residual en el laboratorio se realizaron de las determinaciones de la calidad inicial de cada agua a estudiar, este proceso llevo a cabo 5 veces para cada una de las diferentes aguas problema a analizar. En primera instancia se utilizaron 300 ml de la muestra para realizar la determinación del oxígeno disuelto en el agua, se realizó por titulometría mediante el método de Winkler, utilizando tiosulfato de sodio como titulante (f. Una vez establecido el valor se anotó en la planilla diseñada para tal fin.

### Carga orgánica

Dado que, durante el proceso de clarificación realizado, decanta gran parte de la materia orgánica presente en la muestra de agua, se realizó, el análisis de demanda bioquímica de oxígeno en cinco días ( $DBO_5$ ), para lo cual se realizaron diluciones, de la muestras problema en la proporción 25%,10%, 5% y 1% (para las aguas con alto contenido orgánico se reemplazó la dilución al 25% por la de 0,5%), estas fueron conservadas en reactor a 20°C, para luego durante un período de 5 días volver a medir el oxígeno y poder establecer el valor de la  $DBO_5$ .

### Determinación del pH

Para la determinación del pH se utilizó un Ph metro de mesa marca Adwa Modelo AD1000 /AD1020. La medición se efectuó en cada una de las muestras de agua, antes y después del proceso de coagulación, a fin de poder establecer la variación del pH dada la incorporación de los diferentes coagulantes – floculantes.

### Determinación de la turbidez

La medición del valor de turbidez de las muestras de agua se determinó, antes y después de la clarificación y en cada una de las cuatro cubas del Jar-Test. Mediante el valor inicial y el final se establece la eficiencia de remoción de partículas en la masa de agua por parte de los productos utilizados. Se utilizó un turbidímetro marca Lutron TU 2016.

Posteriormente de la incorporación del Sulfato de aluminio recuperado y el floculante, se volvieron a realizar cada uno de los análisis antes descriptos, para poder determinar la eficiencia de remoción de contaminantes y la acidez que genera la incorporación del producto.

## » **Quinta etapa: Comparativa con otros productos comerciales**

Para este proceso, se determinaron en el Jar Test, las dosis ideales de los diferentes productos químicos a comparar, la preparación de los cuales se detalla a continuación

### Preparación de productos

Se describen a continuación la preparación y diluciones de los diferentes productos comerciales utilizados para la clarificación de las aguas estudiadas, los mismos fueron sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, cloruro férrico como coagulante- floculante y como coadyuvante poliacrilamida aniónica.

### Sulfato de aluminio

Sulfato de aluminio al 18% [ $Al_2(SO_4)_3$ ], la presentación que se utilizó fue sólida, se presenta envasada en bolsas de 25 kg, la marca comercial es Indu-química, la misma se prepara al 1%p/v, para lo cual se pesaron 10gramos de la sal y se los disolvió en 1000 ml de agua destilada dejándolo reposar 24 horas en un frasco color caramelo. Implica que cada ml de la solución contiene 1,8 mg de aluminio expresado en oxido de aluminio  $Al_2O_3$ .



### Cloruro Férrico

El cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) utilizado en la preparación fue el de uso analítico con una pureza aproximada del 98%, en estado sólido, por lo que se preparó una solución al 5% donde se pesó 5 gramos y se los disolvió en 1000 ml de agua destilada, dejándolo reposar 24 horas en un frasco color caramelo. Implica que cada 1 ml de la solución contiene 10 mg cloruro férrico.

### Policloruro de aluminio

La fórmula química es  $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{(3n-m)}$  para  $0 < m < 3n$ , la marca comercial utilizada fue Mac Power Floc 18 PWG, la presentación de éste es de forma líquida de color ámbar, muy viscoso. Dado que ya viene líquido y la conc

entración es muy elevada, para realizar las determinaciones fue necesario diluir el producto, para lo cual se incorporaron 8 ml del producto y se completó hasta llegar a los 1000 ml de solución al quedando una solución de 0,8% v/v.

### Solución de sulfato de aluminio recuperado

La solución de sulfato de aluminio recuperado, se utilizó de forma directa sin ninguna dilución, una vez obtenida se guardó en un frasco color caramelo hasta el momento en que fue utilizado.

### Solución de polielectrolito

El coadyuvante utilizado fue una poliácridamida granulada de grado agua potable, el nombre comercial es Mak Power Floc (AN 923 PWG). Es un producto sólido de color blanco que cuando se diluye en agua genera una consistencia viscosa, la preparación se realiza en una proporción de 0,03 % es decir 0,3 g/l, una vez realizada la solución se incorpora de forma directa en la etapa de floculación.

## **Determinación de las dosis de productos**

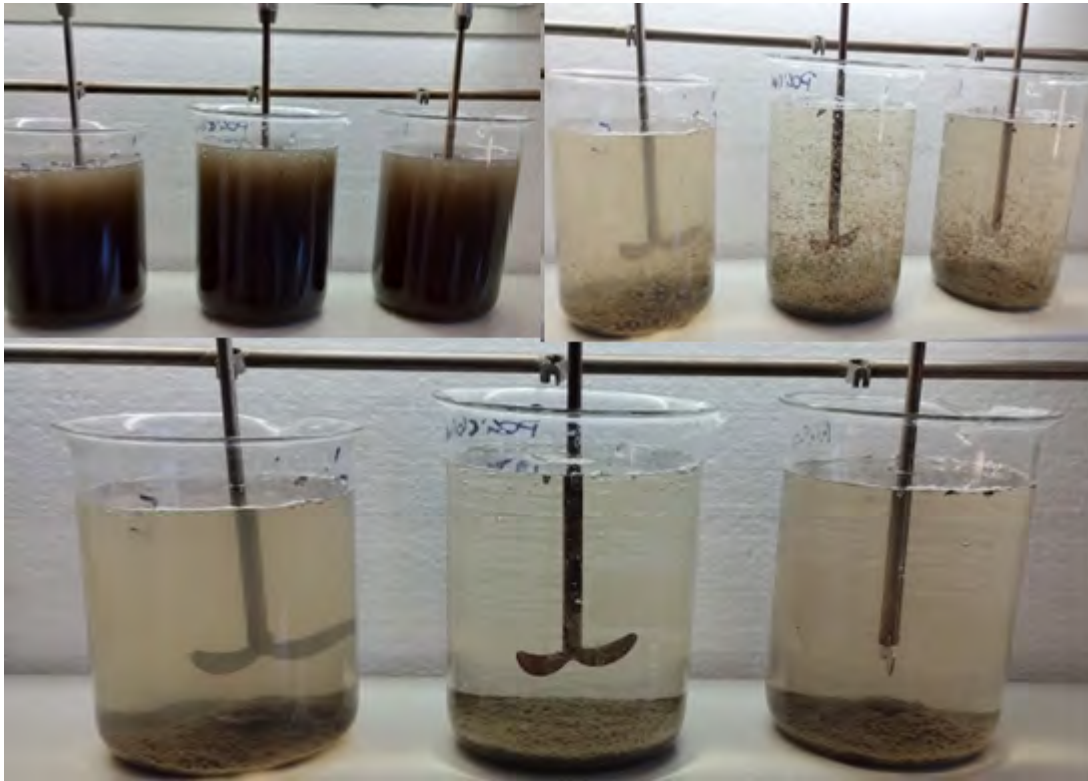
### Determinación de la dosis de coagulante-floculante

Para la determinación de la dosis de cada uno de los productos a comparar, se realizaron varios ensayos de Jar Test para cada uno de los coagulantes-floculantes, sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, cloruro férrico y sulfato de aluminio, como así también para establecer la dosis ideal de floculante (polielectrolito) a incorporar. Para cada determinación fue necesaria alrededor de 20 litros de agua problema.

Para la realización de cada ensayo se utilizó 1 litro de agua problema en cada uno de los 3 recipientes utilizado del equipo.

Seguidamente se incorporaron a cada uno de es las diferentes dosis del coagulante - floculante agitándolo de forma rápida a 120 rpm, durante un minuto, a fin de garantizar que el producto entre en contacto con la totalidad de la masa de agua y de esta forma comiencen a formarse coágulos, posteriormente se disminuyó la velocidad a 30 rpm durante 10 minutos para favorecer la formación de flóculos, Luego de dejarlo sedimentar por otros 15 minutos, se determinó la cantidad de producto coagulante floculante ideal a utilizar.

**Imagen 2:** proceso de clarificación de agua en jar -test:



Una vez determinada la dosis ideal de cada coagulante -floculante y del coadyuvante, se registraron los valores en una tabla diseñada para tal fin. Este procedimiento se repitió con cada uno de los productos y con las diferentes aguas residuales que se utilizaron para el estudio.

## **Resultados**

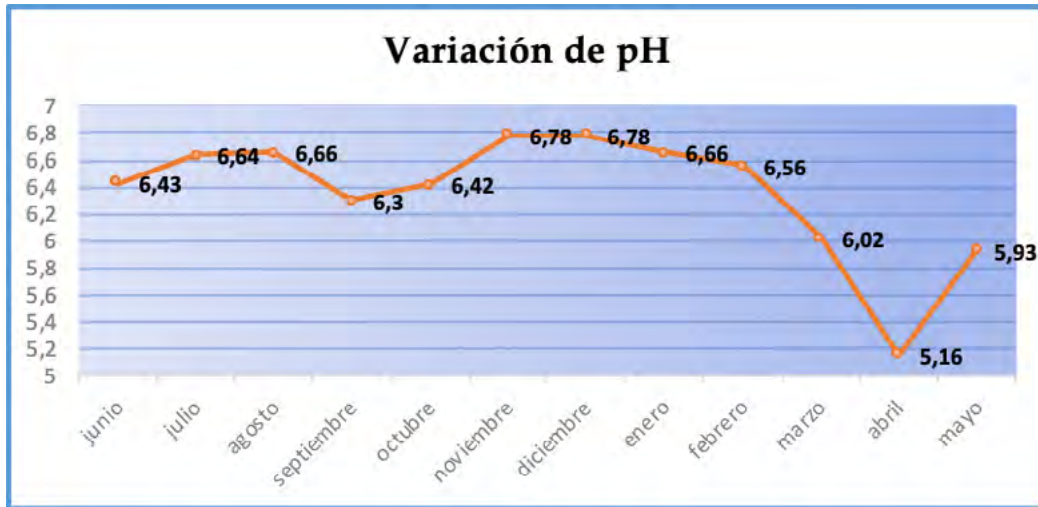
Al igual que la metodología, los resultados obtenidos se registraron en función del desarrollo de cada una de las etapas antes descritas, generándose algunas pequeñas modificaciones a saber:

- Primera etapa: Características del barro
- Segunda etapa: Recuperación del aluminio
- Tercera etapa: Características de las aguas residuales
- Cuarta etapa: Determinación de eficiencia
- Quinta etapa: Comparativa con otros productos comerciales

### **» Primera etapa: características del barro**

Se recolectaron doce muestras de barro de los sedimentadores, durante el período de junio de 2022 a mayo de 2023, las características fisicoquímicas de cada muestra fueron variando tal como se observa en la figura 1.

**Figura 1:** Variación de pH en las muestras de barro



Se puede observar en la figura 1 que el pH se mantuvo en un rango constante en las diferentes muestras analizadas a lo largo del año, registrándose una variación por debajo de pH 6 los últimos dos meses de estudio consecuente con la mayor concentración de sulfato de aluminio utilizado en la planta.

#### » **Segunda etapa: Recuperación del aluminio**

##### Espesamiento del barro

Primeramente, para lograr el espesamiento del barro, se utilizaron iguales cantidades de polielectrolito como floculante 2 ml/l, al igual que el tiempo que se destinó para la floculación 5 minutos y la sedimentación 10 minutos.

De aquí se determinó la cantidad de barro concentrado a utilizar para la recuperación de aluminio en cada muestra.

**Tabla 1:** Volumen de barro para recuperación

<b>Volumen final de barro a acidificar por muestra</b>						
Fecha	Volumen inicial barro	Volumen polielectrolito	Volumen sobrenadante eliminado	Tiempo de floculación	Volumen final barro	Tiempo de sedimentación
Junio	500 ml	4ml	295	5 min	205 ml	10 min
Julio	500 ml	4ml	220	5 min	280 ml	10 min
Agosto	500 ml	4ml	360	5 min	140 ml	10 min
Septiembre	500 ml	4ml	150	5 min	350 ml	10 min
octubre	500 ml	4ml	400	5 min	100 ml	10 min
Noviembre	500 ml	4ml	470	5 min	30 ml	10 min
diciembre	500 ml	4ml	362	5 min	138 ml	10 min
Enero	500 ml	4ml	344	5 min	156 ml	10 min
febrero	500 ml	4ml	345	5 min	155 ml	10 min
Marzo	500 ml	4ml	345	5 min	155 ml	10 min
Abril	500 ml	4ml	380	5 min	120 ml	10 min
Mayo	500 ml	4ml	400	5 min	100 ml	10 min

Se observa en la tabla, la variabilidad de volumen de barro obtenido para el espesado para acidificación por muestra. Variando desde el máximo valor obtenido 350 ml a escasos 30 ml. El promedio fue de 160 ml de barro a acidificar por cada 500 ml de barro crudo.

#### Volumen de aluminio a recuperar

Luego de la acidificación se volvió a dejar decantar el sólido, que posteriormente fue descartado y solo se utilizó el líquido sobrenadante, la relación existente entre el barro espesado y el sobrenadante de sulfato de aluminio recuperado se observa en la siguiente tabla.

**Tabla 2:** Volumen de sulfato de aluminio recuperado por muestra

Volumen de $Al_2(SO_4)_3$ recuperado					
Fecha	Cantidad de barro	Volumen recuperado $Al_2(SO_4)_3$	Volumen barro descartado	Porcentaje recuperado	Relación volumen recuperado y volumen ácido
Junio	310	255,00	55	82,26	5,04
Julio	280	105,00	175	37,50	18,10
Agosto	140	95,00	45	67,86	6,32
Septiembre	350	70,00	280	20,00	22,86
Octubre	100	30,00	70	30,00	4,33
Noviembre	30	20,00	10	66,67	12,50
Diciembre	138	80,00	58	57,97	2,50
Enero	156	87,00	69	55,77	2,30
Febrero	155	45,00	110	29,03	3,33
Marzo	155	118,00	37	76,13	2,03
Abril	120	85,00	35	70,83	2,71
Mayo	100	80,00	20	80,00	0,88
<b>Promedio</b>	<b>169,5</b>	<b>89,17</b>	<b>80,33</b>	<b>56,17</b>	<b>6,91</b>

Se observa en la Tabla 2 la relación existente entre la cantidad de ácido utilizado, el volumen inicial de barro y el sulfato de aluminio recuperado en cada muestra, destacándose la muestra de febrero con un porcentaje de 82,3% de recuperación y como el valor más bajo el de noviembre con un valor de 22,2 %, promediando un 52,46% de recuperación del volumen total de lodo espesado.

**Figura 2:** Relación de volúmenes de barros y sulfato de aluminio



En función de los datos, se destaca que por cada 500 ml de barro que normalmente es vertido a un cuerpo receptor, se reduce en promedio entre el 89% y el 58% de volumen de barro, que impacta de forma directa a la fuente de agua, dado que el barro

no recibe ningún tipo de tratamiento. En la figura 2 se observan los valores iniciales y finales de barro como así también la cantidad de sulfato de aluminio recuperado.

**Valores finales:**

Para lograr la disociación del hidróxido de aluminio y el agua (Al(OH)<sub>3</sub> - 3H<sub>2</sub>O) para convertirlo en aluminio (Al<sup>+3</sup>) se requerirán 1,11 Kg de ácido por kilogramo de Al(OH)<sub>3</sub>-3H<sub>2</sub>O o 5,45 Kg. de ácido por kilogramo de Aluminio (Nuñez Zarur y Castro Peña, 2011). Se estima que aproximadamente a un pH de 2 puede esperarse una recuperación de alumbre del 80% (Rosero, 2000).

Asumiendo una recuperación mínima a pH 2,5 sea de un 60%, sabiendo que la planta potabilizadora de la ciudad, consume una cantidad de sal de sulfato de aluminio aproximada de 300 bolsas de 25 kg semanales y el porcentaje de aluminio presente en la sal de sulfato aluminio Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> es de 18%, Se puede estimar una recuperación de 810 kg de aluminio semanales, los que dejarían de ser vertidos al Rio Uruguay. Para lo cual se requerirían 4,400 kg de ácido, lo que en volumen serían aproximadamente 2400 litros de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 98%, de densidad aproximada de 1,83 g/ml.

**» Tercera etapa: Características de las aguas residuales**

Las diferentes aguas residuales a estudiar fueron sometidas a análisis de turbidez, pH, oxígeno disuelto y materia orgánica biodegradable a través del análisis de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), estas determinaciones fueron tomadas como indicadores para luego realizar la comparativa de calidad con el agua resultante de la decantación generada por el sulfato de aluminio recuperado.

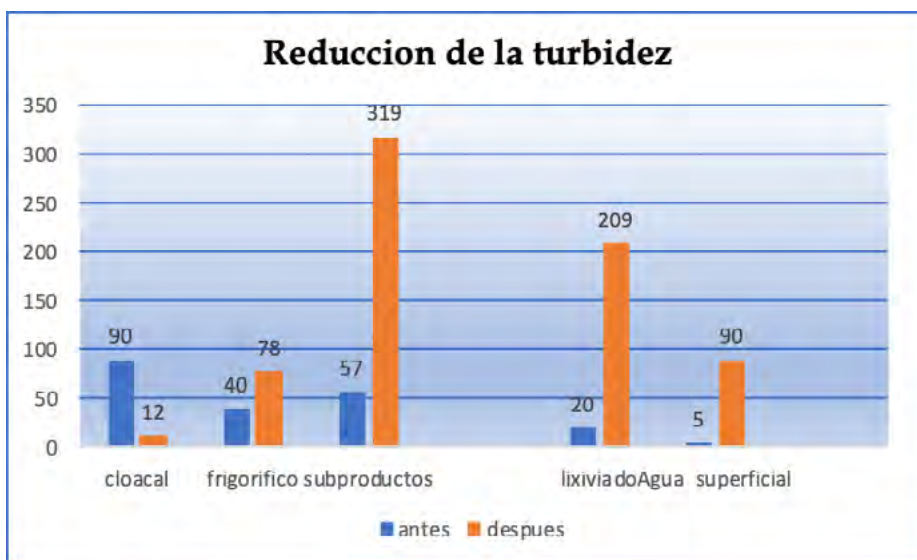
**Tabla 2:** Características del agua residual cloacal

<i>Características del agua residual cloacal</i>			
Oxígeno disuelto	pH	Turbidez	DBO <sub>5</sub>
0,28 mg/l	6,83	90	295
<i>Características del agua residual frigorífico avícola</i>			
Oxígeno disuelto	pH	Turbidez	DBO <sub>5</sub>
1,12 mg/l	8,00	78	47
<i>Características del agua residual planta de subproductos</i>			
Oxígeno disuelto	pH	Turbidez	DBO <sub>5</sub>
0 mg/l	8,20	319	180
<i>Características del agua residual relleno sanitario (lixiviado)</i>			
Oxígeno disuelto	pH	Turbidez	DBO <sub>5</sub>
5,9 mg/l	9,00	209	119
<i>Características del agua de arroyo</i>			
Oxígeno disuelto	pH	Turbidez	DBO <sub>5</sub>
0,58 mg/l	6,83	90	84

» **Cuarta etapa: Determinación de eficiencia**

Tras la determinación ideal del sulfato de aluminio recuperado mediante la realización del Jar - test, se realizaron las mediciones de la calidad del agua post sedimentación. El tiempo de sedimentación que se estudió fue de 15 minutos.

**Figura 3:** Reducción de turbidez en cada tipo de agua



Se observa en la figura, la comparativa de reducción del parámetro turbidez, expresado en UNT para los diferentes tipos de agua estudiada.

**Materia orgánica**

En cuanto a la eficiencia de reducción de materia orgánica expresada en DBO<sub>5</sub> la variación fue del 51 % en el caso menos favorable a un valor de 92%. A su vez el agua que resultó con el valor final más elevado, fue la proveniente del lixiviado del relleno sanitario, la cual presento un valor final de 59 mg/l, siendo este un valor que excede al parámetro estipulado en el decreto reglamentario de la Ley Provincial 6260 que estipula un valor de 50 mg/l en cuerpos de agua interiores, es decir que no sean vertidos de forma directa al Río Paraná o al Río Uruguay.

**Figura 4:** Reducción de la DBO<sub>5</sub> en cada tipo de agua

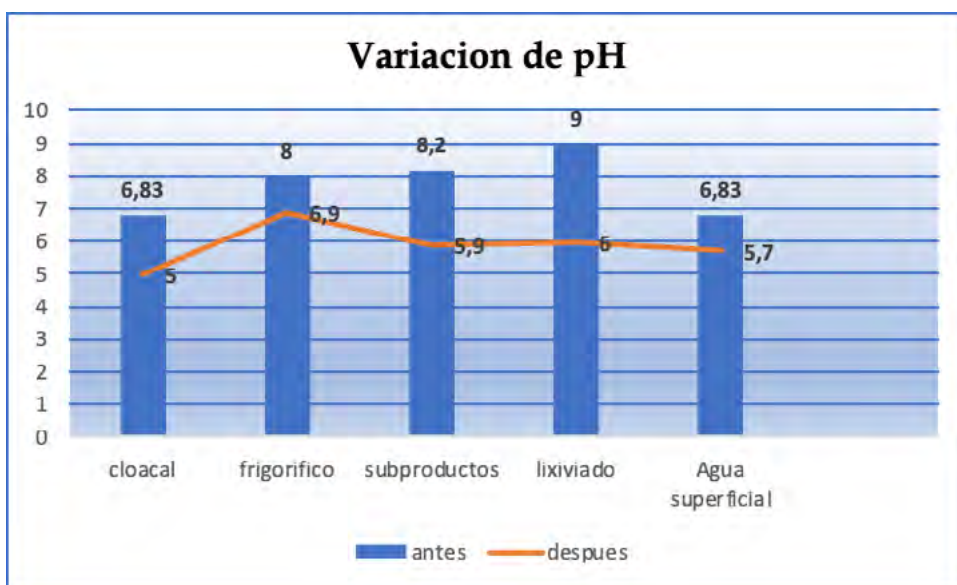


Se observó, además, una incorporación de oxígeno en todos los casos, posiblemente debido al proceso de agitación rápida y lenta que genere intercambio gaseoso de la masa de agua con el oxígeno atmosférico.

**pH**

Como aspecto negativo a destacar es que el pH desciende de forma considerable, llegando en un caso (agua residual cloacal) a presentar valores excedidos a los expresados en del Decreto 2235 de Secretaría de Estado de Obras y Servicios Públicos, el que hace referencia a los parámetros de vertido de aguas residuales urbanas a cuerpo receptor, lo que generaría la necesidad de neutralizarlo con solución de hidróxido de calcio  $Ca(OH)_2$ . Como contrapunto a lo anterior el agua que presenta menor variación de pH es el agua extraída de un curso superficial

**Figura 5:** Variación del pH en cada tipo de agua



**Tabla 3:** Eficiencia del producto recuperado para las diferentes aguas residuales

<b>Eficiencia en agua residual cloacal</b>							
Oxígeno disuelto inicial	Oxígeno disuelto final	pH inicial	pH final	Turbidez inicial	Turbidez Final	DBO <sub>5</sub> Inicial	DBO <sub>5</sub> Final
0,28 mg/l	2,5 mg/l	6,83	5,00	90 (UNT)	12 (UNT)	295 mg/l	25 mg/l
Aumento 2,78mg/l		No apto decreto 2235		Eficiencia 86%		Eficiencia 92%	
<b>Eficiencia en agua residual frigorífico avícola</b>							
Oxígeno disuelto inicial	Oxígeno disuelto final	pH inicial	pH final	Turbidez inicial	Turbidez Final	DBO <sub>5</sub> Inicial	DBO <sub>5</sub> final
1,12 mg/l	1,87 mg/l	8,00	6,90	78 (UNT)	40 (UNT)	47 mg/l	23 mg/l
Aumento 0,75 mg/l		Apto según ley 6260		Eficiencia 48%		Eficiencia 51%	



<b>Eficiencia en residual fabrica subproductos</b>							
Oxígeno disuelto inicial	Oxígeno disuelto final	pH inicial	pH final	Turbidez inicial	Turbidez final	DBO <sub>5</sub> Inicial	DBO <sub>5</sub> Final
0 mg/l	0,5 mg/l	8,20	5,9	319 (UNT)	57(UNT)	180 mg/l	13,5 mg/l
Aumento 0,5 mg/l		Apto según ley 6260		Eficiencia 82%		92,5 %	
<b>Eficiencia en agua residual lixiviado relleno sanitario</b>							
Oxígeno disuelto inicial	Oxígeno disuelto final	pH inicial	pH final	Turbidez inicial	Turbidez final	DBO <sub>5</sub> Inicial	DBO <sub>5</sub> final
5,9 mg/l	6,00 mg/l	9,00	6,00	209 (UNT)	20 (UNT)	119 mg/l	59 mg/l No apto ley 6260
Aumento 0,1 mg/l		Apto según ley 6260		Eficiencia 90%		51%	
<b>Eficiencia en agua superficial</b>							
Oxígeno disuelto inicial	Oxígeno disuelto final	pH inicial	pH final	Turbidez inicial	Turbidez Final	DBO <sub>5</sub> Inicial	DBO <sub>5</sub> Final
0,58 mg/l	2,00 mg/l	6,83	5,7	90	5	84 mg/l	4 mg/l
Aumento 1,48 mg/l		Apto según ley 6260		Eficiencia 95%		95%	

#### » Quinta etapa: Comparativa de productos

De cada una de las muestras, se obtuvo un volumen de 20 litros, a fin de poder realizar el ensayo del Jar Test, para establecer la dosis óptima de los diferentes productos químicos, se realizó una aproximación general y para ajustar la dosis de sulfato de aluminio comercial y con ese valor se tomó como referencia para los demás productos coagulantes floculantes los cuales fueron ajustados cada 5 ml o 10 ml según la carga contaminante que se observó según cada caso.

Finalizado el proceso para las diferentes aguas estudiadas y de cada tipo de reactivo utilizado, se dejó reposar 15 minutos y se registraron los valores.

En la tabla 13, se detallan de forma clara, la comparativa entre el producto reciclado y los productos comerciales, en relación al tipo de agua, los valores de pH, turbidez, dosis de coagulante - floculante, y dosis de polielectrolito como coadyuvante.

Se observa en todos los casos un descenso de pH en el agua donde se incorporó el producto recuperado, también se observa que fue necesaria una mayor dosificación en relación a los demás, para llegar a la dosis óptima de clarificación. En cuanto a la disminución de la turbidez siempre estuvo dentro de los rangos aceptables en comparación con los demás productos e incluso en un caso fue la muestra clarificada con el producto recuperado la que generó la calidad más favorable en relación a la turbidez.

**Tabla 4:** Comparativa entre diferentes productos químicos y el sulfato de aluminio recuperado

Dosificación de productos para los diferentes tipos de agua y su resultado																				
Producto	Agua residual cloacal				Agua curso superficial				Agua residual fabrica subproductos				Agua residual relleno sanitario(lixiviado)				Agua residual frigorífico avícola			
	pH	Dosis (ml)	floc (ml)	Turbidez (UNT)	pH	Dosis (ml)	floc (ml)	Turbidez (UNT)	pH	Dosis (ml)	floc (ml)	Turbidez (UNT)	pH	Dosis (ml)	floc (ml)	Turbidez (UNT)	pH	Dosis (ml)	floc (ml)	Turbidez (UNT)
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (1%)	6,1	10	10	2	6,3	20	10	2	6,2	60	20	47	7,2	25	20	42	7,37	30	10	43
FeCl <sub>3</sub> (5%)	5,9	10	10	23	6,3	20	15	10	6,3	50	20	53	8,8	20	20	47	7,42	30	10	51
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Recuperado	5	25	10	12	5,7	25	15	5	5,9	70	20	57	6	35	35	20	6,92	35	10	46
Policloruro de Al (2%)	5,9	10	10	2	6	20	15	2	6	70	20	60	7,1	25	20	31	7,09	30	10	32
Ponderación	X	>	=	Σ	X	>	=	Σ	X	>	=	Σ	X	>	>	<	X	>	=	Σ

X: mayor acidificación; >: Mayor; <: menor; Σ: Aceptable; = Igual o aproximado  
■ Negativo ■ Favorable ■ Muy favorable

Es importante mencionar que el tiempo de residencia hidráulica del líquido en todos los casos solo fue de 15 minutos, sabiendo que en decantadores secundarios este tiempo puede llegar hasta las 2,5 horas, lo que reduciría aún más la cantidad de sólidos en suspensión expresados en menores niveles de turbidez.

## Conclusiones

Del presente estudio se destaca que el proceso de recuperación de sulfato de aluminio proveniente de los barros de la planta potabilizadora de la ciudad de Concepción del Uruguay es factible de realizar, lo que generaría una minimización del impacto que estos ocasionan al cuerpo receptor donde se descargan los barros sin ningún tipo de tratamiento.

Si bien para la recuperación, se requiere como insumo permanente el ácido sulfúrico lo cual representaría un costo para el proceso, es de interés considerar el costo ambiental que se genera actualmente con la incorporación diaria de aluminio a la fuente de suministro agua.

El sulfato de aluminio recuperado mediante acidificación, resultó ser eficiente, tanto para aguas residuales urbanas como industriales, en relación a la disminución de

los parámetros de  $\text{DBO}_5$  y turbidez. La comparación con otros productos comerciales resultó efectiva, aunque en algunos casos, fue necesaria la incorporación de un mayor volumen del producto en comparación a los demás productos comerciales, posiblemente sea debido a una menor concentración de aluminio en el producto recuperado. Consecuentemente, la incorporación de mayor cantidad de producto generó en todos los casos un descenso del pH, siendo este un factor a considerar en función de los parámetros de vertidos de efluentes a cursos de agua, lo que puede generar en algunos casos, la necesidad de incorporación de agentes neutralizantes.

Surge del estudio la necesidad de complementarlo con futuras investigaciones relacionadas con: un análisis económico del proceso, considerando la necesidad permanente del ácido sulfúrico como insumo, generando un costo, pero a su vez el producto recuperado podrá comercializarse en industrias de la zona, para sus respectivos sistemas de tratamiento de efluentes líquidos. Establecer una relación entre cantidad y calidad del barro desechado, ya sea desde el comienzo hasta la finalización de funcionamiento de las bombas automáticas de los sedimentadores, para fin de establecer así el volumen total diario generado, realizar una caracterización de la calidad del barro en durante todo el período de tiempo que funciona la bomba, mediante la extracción de alícuotas en diferentes momentos, y replicarlo en diferentes épocas del año.

Se hace necesario también realizar estudios en aguas residuales con mayor carga contaminante y establecer dosis, efectividad del producto, modificación pH. Establecer eficiencias de clarificación del producto, en función de diferentes tiempos de sedimentación en períodos que varíen de los 15 minutos hasta 2,5, TRH para decantador convencionales (Kielly 1998). Determinar los métodos más efectivos y de menor impacto para el desecado y la disposición final del barro eliminado de la recuperación, como así también establecer potencial de recuperación del barro reutilizado y los ciclos de recuperación posibles.

Establecer un diseño para la recuperación del barro a escala real, considerando variables económicas, de disponibilidad de productos, tamaño de la planta, esquema de recuperación, recursos humanos, almacenamiento del producto y distribución, entre otros aspectos de relevancia.

Finalmente es necesario destacar que el propio hecho de poner a discusión, la necesidad de recuperar el aluminio del barro proveniente a planta potabilizadora y a su vez proponer una aplicación práctica para el producto, es un inicio para la toma de conciencia sobre la importancia de no arrojar el residuo del proceso de potabilización de forma directa al curso de agua, como así también brindar un tratamiento final a los barros se descartan del proceso de recuperación. Será relevante la aplicación no solo en la ciudad sino hacerlo extensivo a otras localidades y de esta forma llevar al territorio aplicaciones prácticas desde las universidades hacia la comunidad en general en post de la protección del ambiente.

## **Indicadores de producción**

### **Presentaciones a Congresos internacionales**

Ponencia tecnología para la gestión de olores desagradables, de en fábrica de sub-productos cárnicos avícolas, XX Congreso ALTEC 2023.

Presentación de poster "Análisis del riesgo solar en pescadores de Uruguay: la divulgación de la ciencia aplicada a la sociedad." firmada por Felipe Gorla Gargano, Graciela

Salum, Jorge Noir ha sido presentada como póster en el IX Congreso de Comunicación Social de la Ciencia CCSC2023 celebrado del 25 al 27 de octubre de 2023 en Granada y que organiza el Ayuntamiento de Granada, Universidad de Granada (UGR).

### **Presentaciones a Congresos nacionales**

Expositor percepción de riesgo y prácticas de cuidado de sí relacionadas a la exposición solar laboral en pescadores artesanales adultos, de Concepción del Uruguay” en las “II Jornadas de Investigaciones para la Salud: la Facultad de Ciencias de la Salud Investiga”, en el marco de la 7° Feria Regional de la Salud, en la Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de Entre Ríos, el día 7 de abril de 2022.

Actividad de extensión realizada en conjunto con el área El ser humano y Si Media de la carrera de medicina, cuyo nombre fue Enfermedades hídricas y la presencia de bacterias en agua de consumo; dirigida por la Dra Marianela Rodríguez FCS UNER.

Participante de la acción de extensión denominada “Acceso al agua, un derecho diluido” Coordinadora: Romero Florencia (en conjunto con la carrera de Lic. en enfermería. FCS UNER 2023

### **Bibliografía**

- Barba, Luz & Mesa, E & Rosero Moreano, Milton. (2000). recuperación de sulfato de aluminio de lodos generados durante el proceso de potabilización del agua. *Gaceta Ambiental*. 13. 5-11. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/260183405\\_recuperacion\\_de\\_sulfato\\_de\\_aluminio\\_de\\_lodos\\_generados\\_durante\\_el\\_proceso\\_de\\_potabilizacion\\_del\\_agua](https://www.researchgate.net/publication/260183405_recuperacion_de_sulfato_de_aluminio_de_lodos_generados_durante_el_proceso_de_potabilizacion_del_agua)
- Cárdenas, Yolanda Andía , Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico.Ttratamiento de Agua: Coagulación Floculación. Lima,perú, 2000 disponible en: [http://www.se-dapal.com.pe /c/ document\\_library /get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.se-dapal.com.pe /c/ document_library /get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)
- Degremont, “Manual Técnico Del Agua” Cuarta Edicion, 1979.
- Frank N. Kemmer y John Mc. Callion. “ Nalco Manual del Agua, su naturaleza tratamiento y aplicaciones2 Ed. Mc Graw Hill. 1989.
- Gerad Kielly. Ingeniería Ambiental, fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Ed. McGraw Hill- 1998.
- Henry - Heinke “ Ingeniería Ambiental “ 2da Edición. Ed Prentice Hall Hispano Americano .1999. Disponible en: [https://www.u-cursos.cl/usuario/037b375d320373e6531ad8e4ad86968c/mi\\_blog/r/ingenieria-ambiental\\_glynn.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/037b375d320373e6531ad8e4ad86968c/mi_blog/r/ingenieria-ambiental_glynn.pdf)
- John Arundel, Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales, Ed. Acribia SA - España. 2000.
- José A. Días lázaro- Carrasco “Depuración de Aguas Residuales”. Centro de Publicaciones- Ministerio de Obras Públicas y Transporte, España.1993.
- Léo Heller “Saneamiento y salud”. O.P.S./ O.M.S 1997.
- Martel Ada Barrenechea, Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida Manual I: Teoría Tomo I Capítulo 4 Coagulación OPS/CEPIS Lima, 2004 disponible en: [https://www.academia.edu/36681500/CAP%C3%8DTULO\\_1\\_ASPECTOS\\_FISICOQU%C3%8DMICOS\\_DE\\_LA\\_CALIDAD\\_DEL\\_AGUA](https://www.academia.edu/36681500/CAP%C3%8DTULO_1_ASPECTOS_FISICOQU%C3%8DMICOS_DE_LA_CALIDAD_DEL_AGUA)
- Metcalf & Eddy , Inc “Ingeniería de las Aguas Residuales” Tercera edición, Vol I Ed. Mc Graw-Hill

- Miguel Espigares García y J.A. Pérez López: “Estudio sanitario del agua”, Universidad de Granada. Granada España 1995.
- Patricia Torres, Darwin Hernández, Diego Paredes Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. Revista Ingeniería de Construcción Vol. 27 N°3, Diciembre de 2012 \* Universidad del Valle. Colombia disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732012000300003](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732012000300003)
- Ramirez F. “Lodos producidos en el tratamiento del agua potable”. Revista Técnica Industrial, (2008).
- Revista “ Ingeniería Sanitaria Y Ambiental”. Números Varios A.I.D.I.S. Argentina.
- Seoanez Calvo: “Aguas residuales urbanas- tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento”. Ed. Mundi-Prensa 1999.
- Valter Silva “Curso de Ingeniería Sanitaria”. Clase I, II, III y IV. Facultad De Bioingeniería. U.N.E.R. 1997
- Varios “Depuración de agua residuales en pequeñas comunidades”. Colegio de ingenieros caminos y puertos. España 1992.
- Varios “Tratamiento de las aguas y líquidos cloacales.” libro II, O.S.N, Bs. As. 1978
- Varios, módulo “Especialización en Ingeniería Sanitaria: aguas residuales industriales” capítulo N° 4, FUNIBER (Universidad de León) – España 2010.

**PID10104 Denominación del Proyecto**

Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos de una planta potabilizadora: utilización y eficiencia en clarificación de aguas residuales

**Director**

Jorge Omar Noir

**Codirectora**

Claudia Roca Sallefranque

**Unidad de Ejecución**

Universidad Nacional de Entre Ríos

**Dependencia**

Facultad de Ciencias de la Salud

**Contacto**

[jorge.noir@uner.edu.ar](mailto:jorge.noir@uner.edu.ar)

**Cátedra/s, área o disciplina científica**

Tratamiento de efluentes líquidos

**Integrantes del proyecto**

Integrantes docentes: Mayoraz Díaz Maximiliano Javier; Rodríguez Esteban Matías. Ruhl Gustavo Gabriel; Federico Martín Reymundo. Estudiantes de grado: Salvi Eugenia Delfina. Scelzi Aldana Elizabeth; Diana Giovenal Nerea; Galvan Ricardo

**Fechas de iniciación y de finalización efectivas**

01/06/2022 y 31/05/2024

Aprobación del Informe Final por Resolución C.S. N° 344/24 (01-11-2024)