



ARTÍCULO ORIGINAL

## EVALUACIÓN DE LA ELECTROCOAGULACIÓN EN LA REMOCIÓN DE MANGANESO DE LAS AGUAS DEL RÍO CHACAPALCA, OCUVIRI - PUNO

### EVALUATION OF ELECTROCOAGULATION IN THE REMOVAL OF MANGANESE FROM THE WATERS OF THE RIVER CHACAPALCA, OCUVIRI - PUNO

Yessenia Velasquez Zúñiga<sup>1\*</sup>, Higinio Alberto Zúñiga Sánchez<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup> Institución Educativa Privada Colegio Sigma Juliaca

<sup>2\*</sup> Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Altiplano Puno-Perú.

#### RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la electrocoagulación en la remoción de manganeso de las aguas del Río Chacapalca, Ocuvi - Puno. En los métodos se realizaron: la construcción de dos celdas de electrocoagulación con material acrílico y se emplearon en cada celda 5 electrodos de aluminio, 2 como cátodos y 3 como ánodos de sacrificio; se realizó la caracterización del Río Chacapalca antes y después del tratamiento; se evaluó la densidad de corriente y tiempo en un diseño central compuesto. Obteniendo los siguientes resultados: los ánodos de cada celda presentaron un área de 297,6 cm<sup>2</sup> que desprendió los iones aluminio para su conversión en el coagulante hidróxido de aluminio; en la caracterización antes y después del tratamiento, se observó en ambas muestras tratadas PMS1 y PMS2 del Río Chacapalca un incremento en el pH, cloruros y nitratos; sin embargo, la conductividad eléctrica, turbidez, dureza, sulfatos y manganeso disminuyeron sus niveles hasta por debajo de los ECA del agua en la categoría 3; en la evaluación de la densidad de corriente y tiempo, se consiguieron en ambas muestras tratadas valores óptimos de 6,2 mA/cm<sup>2</sup> y tiempo de 30 minutos, para aplicarlos en un volumen de muestra de 1 L y con electrolito NaCl de 20 mL. Se concluye que la electrocoagulación es un método eficiente que disminuyó la concentración de manganeso en el PMS1 de 0,98 a 0,048 mg/L y en el PMS2 de 0,95 a 0,037 mg/L, logrando porcentajes de remoción 95,10 % y 96,11 % respectivamente.

**Palabras claves:** Aguas residuales, densidad de corriente, electrocoagulación, manganeso, remoción.

#### ABSTRACT

The research objective was to evaluate the electrocoagulation in the manganese removal from the Chacapalca River waters, Ocuvi - Puno. In the methods, were performed: the construction of two electrocoagulation cells with acrylic material and 5 aluminum electrodes were used in each cell, 2 as cathodes and 3 as sacrificial anodes; was made the characterization of the Chacapalca River before and after the treatment; were evaluated current density and time in a composite central design. Obtaining the following results: the anodes of each cell presented an area of 297.6 cm<sup>2</sup> that released the aluminum ions for their conversion in the coagulant aluminum hydroxide; in the characterization before and after the treatment was observed in both treated samples PMS1 and PMS2 from the Chacapalca River, a increase in pH, chlorides and nitrates; however, electrical conductivity, turbidity, hardness, sulfates, and manganese decreased their levels until below the "ECA" of water in category 3; in the evaluation of the current density and time, optimal values of 6.2 mA/cm<sup>2</sup> and a time of 30 minutes were achieved in both treated samples, to be applied in a sample volume of 1 L and with NaCl electrolyte of 20 mL. It is concluded that electrocoagulation is an efficient method that decreased the manganese concentration in PMS1 from 0.98 to 0.048 mg/L and in PMS2 from 0.95 to 0.037 mg/L, achieving removal percentages of 95.10 % and 96.11 % respectively.

**Keywords:** Current density, electrocoagulation, manganese, removal, wastewater

\*Autor de correspondencia: [vzy.4234@gmail.com](mailto:vzy.4234@gmail.com)

ORCID: [0009-0001-5006-5991](https://orcid.org/0009-0001-5006-5991)

2do Autor: [HZuniga12@gmail.com](mailto:HZuniga12@gmail.com)

ORCID: [0000 - 0002 - 8204 - 1847](https://orcid.org/0000-0002-8204-1847)

Downloadable from: <http://revistas.unap.edu.pe/epg>

Av. Floral N° 1153, Ciudad Universitaria, Pabellón de la Escuela de Posgrado, tercer piso oficina de Coordinación de investigación. Teléfono (051) 363543



## INTRODUCCIÓN

El Río Chacapalca se encuentra en el distrito de Ocuvi, provincia de Lampa y departamento de Puno, actualmente sus aguas se encuentran contaminadas debido a la operación, plan de cierre y descarga de efluentes mineros de la Unidad Minera Arasi; el organismo de evaluación y fiscalización ambiental realizó la evaluación ambiental en la cuenca Pucará y reporto una alta concentración de manganeso de 0.92 mg/L en el Río Chacapalca (OEFA 2016). La autoridad nacional del agua ejecuto el monitoreo de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica de Pucará en el cual se registró una alta concentración de manganeso de 1.036 mg/L en el Río Chacapalca (ANA 2020). Ambos resultados superaron los Estándares de Calidad Ambiental para el agua en la categoría 3 de riego de vegetales y bebidas de animales de 0.2 mg/L (MINAM 2017).

En los efluentes mineros, el manganeso se encuentra como ion manganeso ( $Mn^{+2}$ ) y es más soluble en aguas residuales acidas que en aguas residuales alcalinas, en algunas aguas de pozos poco profundos, se puede encontrar compuestos orgánicos y coloides de manganeso (Rakhtshah *et al.* 2022). Así mismo, Kwakye *et al.* (2015), mencionan que niveles elevados de manganeso en el agua potable causa afecciones en los pulmones, hígado y sistemas vasculares, disminución de la presión sanguínea, daños neurológicos como la enfermedad de Parkinson mangánico. También AlTowyan *et al.* (2022), afirman que niveles altos de manganeso en los niños pueden causar daños en el cerebro, reduciendo la capacidad de aprendizaje, como la dificultad de hablar y caminar.

Para tratar aguas residuales contaminadas con manganeso se han empleado métodos convencionales como la coagulación química, la precipitación alcalina, resinas de intercambio iónico, las cuales se han mostrado ineficientes (Akter *et al.* 2022). Los métodos tradicionales

presentan lodos difíciles de tratar, requieren de grandes cantidades de insumos químicos y su consumo energético es elevado (Ingelsson *et al.* 2020).

La electrocoagulación se presenta como una alternativa competente en el tratamiento de aguas residuales, en este proceso se aplica corriente eléctrica a los electrodos de hierro o de aluminio que son los más utilizados en la oxidación de los ánodos de sacrificio, para la formación in situ del coagulante (Kambuyi *et al.* 2021). En el medio acuoso se desestabiliza las partículas contaminadas que son adsorbidas por el coagulante formado (Sediqi *et al.* 2021). Los efluentes líquidos de diferentes procesos industriales que han sido tratados mediante electrocoagulación, han obtenido resultados alentadores en la remoción de contaminantes (Garcia *et al.* 2017).

Los objetivos específicos fueron:

- Construir una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para la remoción de manganeso.
- Determinar las características físico-químicas de las aguas del Río Chacapalca antes y después del tratamiento por electrocoagulación.
- Evaluar la densidad de corriente y el tiempo en un diseño experimental que determine el porcentaje de remoción de manganeso.

## MÉTODOS

### Ámbito o lugar de estudio

El estudio se realizó con muestras de agua de dos puntos distintos PMS1 y PMS2 del río Chacapalca del Distrito de Ocuvi, Provincia de Lampa y Departamento de Puno, con ubicación en el PMS1 a 1 Km de la confluencia del Río Azufrini con el río Pataqueña y en el PMS2 a 0,93 Km aguas abajo del PMS1 y a 0,5 Km al norte del Cerro Villacolio y con coordenadas UTM (Tabla 1).

**Tabla 1.** Coordenadas de los puntos de muestreo

Muestra	Coordenadas UTM		Altitud
	Este	Norte	
PMS1	299889	8312555	4474
PMS2	299797	8313478	4428

## Descripción de métodos

### Muestra

No probabilística, se colectaron muestras de agua de 14 L en el PMS1 y 14 L en el PMS2, siguiendo el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (ANA 2016).

### Método de investigación

El tipo de investigación tiene un enfoque cuantitativo y es de nivel explicativo (Hernandez *et al.* 2010).

### Construcción de la celda de electrocoagulación

Se construyeron 2 celdas y cada una contenía las siguientes características:

- 5 placas de acrílico de 12 cm de largo, 10 cm de ancho y 12 cm de alto.
- 1 fuente de energía (P - 3005D): 0 – 30 Voltios y 0 – 5 Amperios
- Se empleo 3 conectores de polo positivo y 2 conectores de polo negativo.
- Se utilizó 5 placas de aluminio con un espesor de 0,1 cm.
- Para el cálculo del número de electrodos ( $N^{\circ} E_s$ ) se reemplazó en la ecuación (1) descrita por Arango & Garcés (2007).

$$N^{\circ} E_s = \frac{\text{largo} - 2(e_s \text{ a cara lateral})}{\text{distancia entre } e_s + \text{espesor}} \quad (1)$$

Donde, longitud de la celda (*largo*); distancia del electrodo a la cara lateral (*e<sub>s</sub> a cara lateral*); distancia entre electrodos (*e<sub>s</sub>*) y espesor del electrodo (*espesor*).

## Caracterización de las aguas del Río Chacapalca.

### Antes del tratamiento

Se tomaron muestras de agua de 2 puntos distintos PMS1 y PMS2 siguiendo el protocolo de monitoreo de la calidad de recursos hídricos superficiales (ANA 2016). Se tomaron volúmenes de 12,5 L en el PMS1 y 12,5 L en el PMS2, en recipientes de polietileno con destino al Laboratorio de Monitoreo y Evaluación Ambiental de la UNA - PUNO para su tratamiento.

A su vez, del PMS1 se tomaron muestras de 1 L para el análisis físico-químico y 0,5 L para el análisis de manganeso, los mismos volúmenes se tomaron en el PMS2 en recipientes de polietileno y se llevaron a Laboratorio Analítico del Sur acreditado por INACAL con registro N° LE – 050 para el análisis de los parámetros: pH, conductividad eléctrica, turbidez, dureza total, cloruros, nitratos, sulfatos y manganeso.

### Después del tratamiento

Se realizó el tratamiento por electrocoagulación a las muestras de agua colectadas en el PMS1 y en el PMS2 del Río Chacapalca con el siguiente procedimiento descrito por Quispe (2015):

- Se realizó un lijado suave a la superficie de los electrodos y se enjuago con agua.
- Se colocaron 5 electrodos de aluminio en la celda, con una separación de 2 cm.
- Se colocó en la celda, 1 litro de muestra de agua a tratar y 25 mL de electrolito de NaCl.
- Seguidamente los conectores de polo positivo y polo negativo se conectaron hacia

la fuente de energía y se encendió con el amperaje y tiempo establecido para aplicar el tratamiento por electrocoagulación.

5. Al culminar, se retiraron los conectores, los electrodos y se mantuvo en reposo la

muestra tratada por 30 min. Después del tiempo de reposo, se procedió a la filtración con papel filtro Whatman N° 42 y se almacenaron en recipientes para su análisis (Tabla 2).

**Tabla 2.** Método de análisis físico-químico y de manganeso de muestras de agua

Parámetro	Técnica empleada	Rango de método analítico
pH	Método electrométrico.	[0 - 14] de pH
Conductividad eléctrica (C.E)	Método de ensayo estándar de conductividad eléctrica.	[0 - 50] mS/cm
Turbidez	Método de ensayo estándar de turbidez en agua	[1,2 - 10000] NTU
Dureza total	Método de ensayo estándar de dureza en agua.	[0,2 - 24973] mg/L
Cloruros ( $Cl^-$ )	Método de nitrato mercurico.	[0,82 - 1000] mg/L
Nitratos ( $NO_3^-$ )	Método espectrofotométrico ultravioleta de la 2da derivada.	[0,5 -1000] mg/L
Sulfatos ( $SO_4^{=}$ )	Método turbidimétrico para sulfato.	[10 - 4000] mg/L
Manganeso (Mn)	Método para manganeso en agua por absorción atómica.	[0,052 - 250] mg/L
Manganeso (Mn)	Determinación de metales traza en aguas residuales por ICP – OES. Método de ensayo acreditado. EPA 200,7 revisión 4,4.	[0 – 2,5] mg/L

Fuente: Métodos utilizados por el Laboratorio Analítico del Sur (LAS)

## Evaluación de la densidad de corriente y tiempo

Se establecieron rangos para la densidad de corriente (D) de 4,13 a 8,26 mA/cm<sup>2</sup> y tiempo (T) de 20 a 40 minutos (Tabla 3).

**Tabla 3.** Variables del diseño central compuesto

Variables Independientes	Niveles				
	- $\alpha$	-1	0	1	$\alpha$
X <sub>1</sub> : (D), mA/cm <sup>2</sup>	3,28	4,13	6,2	8,26	9,11
X <sub>2</sub> : (T), min	15,86	20	30	40	44,14
<b>Variable Dependiente</b>					
Y: (%R <sub>Mn</sub> ), Porcentaje de remoción de Mn					

### Determinación del número de experimentos

Se establecieron un total de 10 experimentos donde: 4 corresponden a un diseño factorial, 4 experimentos son los puntos estrella y 2 son las réplicas en el centro.

Conociendo las concentraciones finales de manganeso, se empleó la ecuación (2) para el cálculo del porcentaje de remoción de manganeso (%R), señalado por Aljaberi *et al.* (2020):

$$\%R = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} * 100 \quad (2)$$

Donde  $C_0$  es la concentración de manganeso antes del tratamiento (mg/L) y  $C_f$  es la concentración de manganeso después del tratamiento (mg/L).

### Análisis estadístico para la prueba de hipótesis y valores óptimos

Se desarrollaron pruebas estadísticas en el diseño experimental central compuesto de Box Wilson, con el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVIII para los análisis: prueba de hipótesis y valores óptimos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Construcción de la celda de electrocoagulación

Se construyeron 02 celdas de electrocoagulación con volumen de capacidad de 1,44 L, con una válvula de descarga para la toma de muestras (Figura 1).



**Figura 1.** Sistema de electrocoagulación antes del tratamiento

1. En el estudio realizado por Humpire (2017), se eligió el material acrílico en la celda por ser resistente contra impactos y caídas. Para Arango & Garcés (2007), en la celda se debe considerar tres zonas importantes: La zona de flotación, donde se ubican lodos menos densos; la zona de reacción donde se generan las reacciones electroquímicas y la zona de sedimentación, donde se depositan los lodos precipitados. Según lo descrito para las dos celdas se eligió el material acrílico y se tomó las dimensiones adecuadas en cada celda considerando las tres zonas mencionadas.

### Electrodos de la celda

En la determinación del número de electrodos ( $N^{\circ} E_s$ ) se utilizó la ecuación (1) descrita por Arango & Garcés (2007) y se obtuvieron 5 electrodos en cada celda como se muestra en la ecuación (3).

$$N^{\circ} E_s = \frac{(12 \text{ cm}) - 2(1 \text{ cm})}{2 \text{ cm} + 0,1 \text{ cm}} = 4,8 = 5 \quad (3)$$

Se utilizaron 2 como cátodos y 3 como ánodos; de los cuales cada ánodo tiene 2 caras con un

área sumergida con la muestra a tratar: ancho de 8 cm y alto de 6,20 y según la ecuación (4):

$$A_t = (3)(2)(8,00 \text{ cm} \times 6,2 \text{ cm}) \quad (4)$$

$$A_t = 297,6 \text{ cm}^2$$

Se obtiene el área efectiva total de reacción de los ánodos de 297,6  $\text{cm}^2$ .

### Caracterización de las aguas del Río Chacapalca antes y después del tratamiento

Los resultados de la caracterización de las muestras del PMS1 y PMS2 antes y después del tratamiento por electrocoagulación se presentan en la tabla 4.

En el tratamiento de ambas muestras se aplicaron las mismas condiciones de trabajo: volumen de muestra a tratar de 1 L, Volumen de electrolito NaCl de 25 mL, densidad de corriente de 7.2 mA/ $\text{cm}^2$  y tiempo de 35 minutos.

La variación del pH en la dosis (D1) varía entre 6,5 a 8,5 mientras que en la (D2) varía entre 6,5 a 8,4 así mismo la conductividad eléctrica en la D1 alcanza 2,500 uS/cm y en el D2 alcanza hasta 5000 uS/cm (Tabla 4).

**Tabla 4.** Caracterización de las muestras de agua antes y después del tratamiento

Análisis	Muestras antes y después del tratamiento				ECA - Categoría 3	
					Parámetros para riego de vegetales	Parámetros para bebida de animales
Parámetros	PMS1 Antes	PMS1 Después	PMS2 Antes	PMS2 Después	D1	D2
pH	3,8	7,61	3,91	6,99	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
CE, uS/cm	685	412	649	329	2500	5000
Turbidez (NTU)	234	0,6	196	0,5	No incluye	No incluye
Dureza, mg/L	97,1	34,8	100,5	21,4	No incluye	No incluye
Cloruros, mg/L	9	67,2	10,4	55,7	500	No incluye
Nitratos, mg/L	3,56	8,81	3,02	6,72	100	100
Sulfatos, mg/L	206,1	39,9	198,5	26,47	1000	1000
Manganeso, mg/L	0,98	0,08	0,95	0,07	0,2	0,2

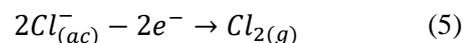
Para Arturi *et al.* (2019), la electrocoagulación actúa como regulador; en muestras alcalinas se disminuye el pH y en muestras acidas se incrementa el pH como sucedió en las muestras de nuestros ensayos. La disminución de la conductividad de 685 a 412 uS/cm del PMS1 y de 649 a 329 uS/cm del PMS2 ambos resultados, están por debajo de los estándares de calidad ambiental del agua en la categoría 3: (D1) y (D2) (MINAM 2017). En nuestros ensayos, antes del tratamiento se añadió a las muestras 25 mL de NaCl, que facilitó la generación del coagulante hidróxido de aluminio, el cual adsorbió los iones disueltos en el agua.

La disminución de la turbidez en la muestra de agua del PMS1 de 234 a 0,60 NTU cuando el pH se incrementó de 3,8 a 7,61 y en la muestra del PMS2 la turbidez se disminuyó de 196 a 0,50 NTU cuando se elevó de 3,91 a 6,99 el pH. En el estudio realizado por Arturi *et al.* (2019), se logró la máxima disminución de turbidez de 460 a 27 NTU, cuando el pH ácido se incrementó a valores entre 6 y 8. El comportamiento descrito coincide con nuestros ensayos, después del tratamiento se incrementaron los niveles de pH a valores mayores a 6 en ambas muestras tratadas y a su vez se disminuyó la turbidez.

La disminución de la dureza en el PMS1 de 97,1 a 34,8 mg/L y en el PMS2 de 100,5 a 21,4 mg/L. Según Pantoja (2012), la disminución de la dureza es debido a que los iones cloruro presentes en el medio acuoso evitaron que los iones bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) conduzcan a la precipitación de los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . Para Miranda (2012), se clasifica como aguas blandas dentro del rango de 0 a 75 mg/L como  $\text{CaCO}_3$ . En nuestros ensayos la dureza de las muestras tratadas del PMS1 y PMS2 se clasifican como aguas blandas.

El incremento de los niveles de cloruros en el PMS1 de 9,00 a 67,2 mg/L y en el PMS2 de 10,4 a 55,7 mg/L; sin embargo, no exceden al límite de la categoría 3 - (D1) establecido por el MINAM (2017). Según Kamel *et al.* (2022), los

iones cloruro en presencia de corriente eléctrica producen el ácido hipocloroso (HClO), según las ecuaciones (5), (6) y (7) que actúa como agente desinfectante del agua. En nuestros ensayos se eliminaron los iones contaminantes por el ácido hipocloroso.



El incremento de los niveles de nitratos en la muestra del PMS1 de 3,56 a 8,81 mg/L y en el PMS2 de 3,02 a 6,72 mg/L; sin embargo no excedieron los ECA para agua en la categoría 3: (D1) y (D2) descrito por (MINAM 2017). En el estudio realizado por Abdel *et al.* (2020), se describe que el contenido de iones sodio  $\text{Na}^+$  en el medio acuoso, ocasiona la precipitación de los iones nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Por lo que se justifica, el leve incremento de los iones ( $\text{NO}_3^-$ ) en nuestros ensayos.

El contenido de sulfatos se disminuyó de manera considerable en ambas muestra tratadas del PMS1 y PMS2. Para Xu *et al.* (2017), la presencia de iones  $\text{Cl}^-$  impide que los iones ( $\text{SO}_4$ )<sup>2-</sup> se unan con los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  y se evita la formación de una capa de aislamiento en los ánodos, que disminuiría la eficiencia del tratamiento, provocando la unión de los iones  $\text{Cl}^-$  con los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  como se muestra en la ecuación (8)



Lo descrito coincide con nuestros ensayos debido a que los iones sulfatos ( $\text{SO}_4$ )<sup>2-</sup> al encontrarse libre en el medio acuoso, fueron removidos por el coagulante hidróxido de aluminio  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

El contenido de manganeso experimento una disminución en ambas muestras tratadas, encontrándose por debajo de los estándares de

calidad del agua en la categoría 3: (D1) y (D2) de 0,2 mg/L (MINAM 2017).

Según los resultados obtenidos en la caracterización de las muestras de agua del PMS1 y PMS2 se observó que después del tratamiento los parámetros que disminuyeron sus niveles fueron: conductividad eléctrica, turbidez, dureza, sulfatos y manganeso.

A su vez el pH ácido se elevó a pH entre 6 a 8 y se aumentaron los cloruros y los nitratos, sin embargo no sobrepasaron los ECA para agua; lo cual indica que la adición del electrolito de NaCl favoreció al proceso de electrocoagulación y aunque se elevó ligeramente los niveles de cloruros y nitratos, se determinó mejorar el tratamiento disminuyendo el volumen de electrolito de NaCl de 25 mL a

20 mL para realizar los ensayos del siguiente apartado que da cumplimiento al tercer objetivo.

### Evaluación de la densidad de corriente y tiempo

En el (Experimento N° 10) se ha aplicado la densidad de corriente de 6,2 mA/cm<sup>2</sup> en combinación con el tiempo de 30 minutos se obtienen las más bajas concentraciones finales de manganeso de 0,048 mg/L y 0,037 mg/L; los cuales consiguieron los más altos porcentajes de remoción de manganeso 95,10 % y 96,11 % en las muestras tratadas del PMS1 y PMS2. Si se sigue incrementando la densidad de corriente y tiempo los resultados no mejoran (Tabla 5 y Tabla 6).

**Tabla 5.** Densidad de corriente y tiempo de las muestras del PMS1

N°	D (mA/cm <sup>2</sup> )	T (min)	C <sub>i</sub> (mg/L)	C <sub>f</sub> (mg/L)	PMS1 %R <sub>Mn</sub>
1	4,13	20	0,98	0,202	79,39
2	8,26	20	0,98	0,157	83,98
3	4,13	40	0,98	0,175	82,14
4	8,26	40	0,98	0,120	87,76
5	<b>3,28</b>	30	0,98	0,200	79,59
6	<b>9,11</b>	30	0,98	0,130	86,73
7	6,2	<b>15,86</b>	0,98	0,185	81,12
8	6,2	<b>44,14</b>	0,98	0,139	85,82
9	6,2	30	0,98	0,051	94,80
10	6,2	30	0,98	0,048	95,10

**Tabla 6.** Densidad de corriente y tiempo de las muestras del PMS2

N°	D (mA/cm <sup>2</sup> )	T (min)	C <sub>i</sub> (mg/L)	C <sub>f</sub> (mg/L)	PMS2 %R <sub>Mn</sub>
1	4,13	20	0,95	0,186	80,42
2	8,26	20	0,95	0,146	84,63
3	4,13	40	0,95	0,158	83,37
4	8,26	40	0,95	0,130	86,32
5	<b>3,28</b>	30	0,95	0,181	80,95
6	<b>9,11</b>	30	0,95	0,133	86,00
7	6,2	<b>15,86</b>	0,95	0,168	82,32
8	6,2	<b>44,14</b>	0,95	0,137	85,58
9	6,2	30	0,95	0,039	95,89
10	6,2	30	0,95	0,037	96,11

Para Arboleda & Herrera (2015), después de haber alcanzado una densidad de corriente adecuada un incremento de corriente no mejora la eficiencia del tratamiento, debido a que la energía eléctrica se convierte en energía calorífica ocasionando un calentamiento en el medio acuoso. Según Prieto *et al.* (2012), a medida que transcurre el tiempo aumenta la eliminación de los contaminantes hasta alcanzar su máximo rendimiento, un aumento adicional en el tiempo no incrementa la eficiencia del proceso de electrocoagulación debido al consumo de electrodos. El comportamiento descrito del presente estudio coincide con lo mencionado por Arboleda & Herrera (2015) y lo indicado por Prieto *et al.* (2012).

**Análisis estadístico para la prueba de hipótesis y valores óptimos** En el análisis estadístico de la prueba de hipótesis y de los valores óptimos, se empleó el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVIII. La prueba de hipótesis se desarrolló para comprobar estadísticamente si la evaluación de densidad de corriente y tiempo en el diseño de Box Wilson determina adecuadamente el porcentaje de remoción de manganeso probándose las siguientes hipótesis:

$H_0$ : La evaluación de la densidad de corriente y tiempo en el diseño central compuesto de Box Wilson no determina adecuadamente el porcentaje de remoción de manganeso.

$H_1$ : La evaluación de la densidad de corriente y tiempo en el diseño central compuesto de Box Wilson determina adecuadamente el porcentaje de remoción de manganeso.

Para lo cual se consideró los porcentajes de remoción de manganeso de las tablas 5 y 6. Modelo de segundo orden de los ensayos del PMS1.

Con los datos de la tabla 5 se obtuvieron los coeficientes del modelo de segundo orden de la densidad de corriente ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ ) y tiempo (min); de sus cuadraturas respectivas y de su interacción como se presenta en la ecuación (9).

$$\%R_1 = -19,993 + 17,982D + 3,531T - 1,382D^2 + 0,012DT - 0,057T^2 \quad (9)$$

Los valores de ANOVA y su significado según AlJaberi *et al.* (2020), para el estadístico R-cuadrada, indica que el modelo matemático de segundo orden se ajusta al proceso de remoción de manganeso con un 99,983 % de los ensayos realizados con las muestras del PMS1; el estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes resultó un

99,963 % de aceptación de las variables de estudio. A su vez se presentan 5 efectos que tienen una probabilidad (valor-P) menor que 0,05 revelando que las variables como la densidad de corriente (D), tiempo (T), sus cuadraturas (DD), (TT) y su interacción (DT) tienen influencia sobre el porcentaje de remoción de manganeso con un 95% de confianza (Tabla 7).

**Tabla 7.** Análisis de varianza de la remoción de manganeso del PMS1

Fuente	Suma de Cuadrados	G.l.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
D: Densidad de corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	51,549	1	51,549	4268,99	0,000
T: Tiempo (min)	21,704	1	21,704	1797,35	0,000
DD	158,828	1	158,828	13153,16	0,000
DT	0,265	1	0,265	21,96	0,009
TT	150,585	1	150,585	12470,51	0,000
Error total	0,048	4	0,012		
Total (corr.)	290,213	9			
<b>Datos de ANOVA</b>					
R-cuadrada			99,983 %		
R-cuadrada (ajustada por g.l.)			99,963 %		

**Modelo de segundo orden de los ensayos del PMS2**

Con los datos de la tabla 6 se obtuvieron los coeficientes del modelo de segundo orden de la densidad de corriente (mA/cm<sup>2</sup>) y tiempo (min),

Los resultados de la probabilidad (valor-P), muestran que 5 efectos son menores que 0,05 indicando que las variables densidad de corriente (D), tiempo (T), sus cuadraturas y su interacción tienen influencia significativa sobre el porcentaje de remoción de manganeso de las

de sus cuadraturas e interacción, como se muestra en la ecuación (10).

$$\%R_2 = -26,379 + 19,539D + 3,829T - 1,470D^2 - 0,015DT - 0,060T^2 \quad (10)$$

muestras del PMS2 con un 95 % de confianza (Tabla 8).

**Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alterna  $H_1$ .

**Tabla 8.** Análisis de varianza de la remoción de manganeso del PMS2

Fuente	Suma de Cuadrados	G.l.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
D: Densidad de corriente (mA/cm <sup>2</sup> )	25,568	1	25,568	3954,76	0,000
T: Tiempo (min)	10,696	1	10,696	1654,46	0,000
DD	179,68	1	179,68	27792,65	0,000
DT	0,397	1	0,397	61,39	0,001
TT	166,325	1	166,325	25726,85	0,000
Error total	0,026	4	0,006		
Total (corr.)	279,025	9			
<b>Datos de ANOVA</b>					
R-cuadrada			99,991 %		
R-cuadrada (ajustada por g.l.)			99,979 %		

El estadístico R-cuadrada muestra que el modelo matemático de segundo orden se ajusta al proceso de remoción de manganeso con 99,991 % y el estadístico R-cuadrada ajustada, se encarga de comparar modelos con diferente número de variables independientes obteniendo un 99,979 % de aceptación de las variables de estudio en los ensayos del PMS2; según AlJaberi *et al.* (2020).

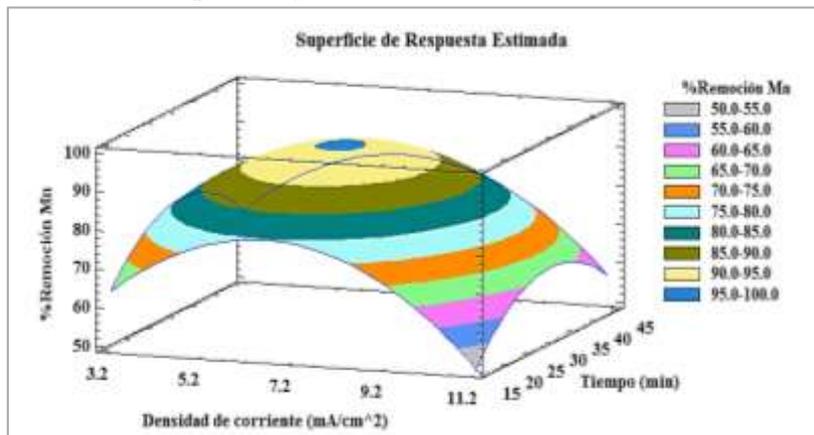
**Comprobación de la prueba de hipótesis**

Se comprueba estadísticamente que la evaluación de la densidad de corriente y tiempo en el diseño central compuesto de Box Wilson determina adecuadamente el porcentaje de

remoción de manganeso con un 95% de confianza.

**Valores óptimos**

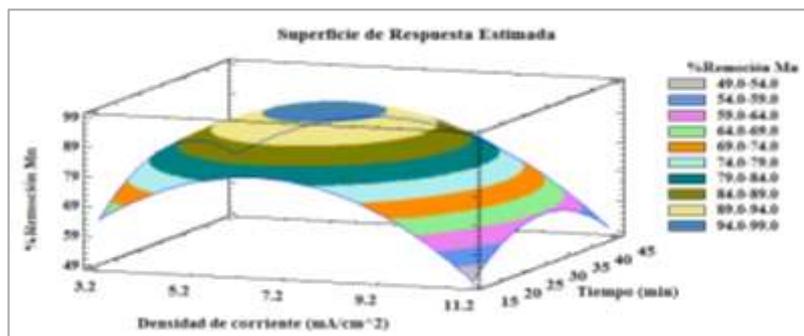
Los valores óptimos se obtuvieron de la evaluación de la gráfica de superficie respuesta para ambas muestras, las cuales se graficaron con el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVII. La superficie respuesta obtenida de la ecuación (9), la cual indica que incrementando la densidad de corriente hasta 6,65 mA/cm<sup>2</sup> y el tiempo hasta 31,49 min se consigue el máximo porcentaje de remoción de manganeso de 95,35 % (Figura 2).



**Figura 2.** Gráfica de superficie respuesta en el % remoción (Mn) del PMS1

La superficie respuesta de los ensayos del PMS2, obtenida de la ecuación (10), la cual indica que se logra el máximo porcentaje de remoción de manganeso de 96,18 %, cuando se aumenta la densidad de corriente hasta 6,48 mA/cm<sup>2</sup> y el tiempo hasta 30,92 min, a valores

superiores se disminuye el porcentaje de remoción, revelando que la densidad de corriente y el tiempo tienen efecto de curvatura con pendiente positiva sobre el % Remoción de Manganeso (Mn) (Figura 3).



**Figura 3.** Gráfica de superficie respuesta en el % Remoción (Mn) del PMS2

Los valores óptimos de densidad de corriente y tiempo con sus respectivos porcentajes de remoción de manganeso conseguidos con el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVIII los cuales son similares a los obtenidos mediante ensayos de laboratorio por lo que se validan los valores óptimos de densidad de corriente de 6,2 mA/cm<sup>2</sup> y tiempo de 30 minutos y sus porcentajes de remoción de manganeso de 95,10 % en el PMS1 y 96,11 %

en el PMS2 datos encontrados en el (Experimento N°10) de las tablas 5 y 6; considerando que en el tratamiento por electrocoagulación se requiere emplear una densidad de corriente no muy elevada y un tiempo no muy prolongado para obtener porcentajes significativos. (Tabla 9).

**Tabla 9.** Comparación de valores óptimos obtenidos

<b>Valores óptimos obtenidos con el programa estadístico STATGRAPHICS Centurión XVIII</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Densidad de corriente (mA/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>%Remoción (Mn)</b>
PMS1	6,65	31,49	95,35
PMS2	6,48	30,92	96,18
<b>Valores óptimos obtenidos mediante ensayos de laboratorio (Experimento N° 10) de las tablas 5 y 6</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Densidad de corriente (mA/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>%Remoción (Mn)</b>
PMS1	6,2	30	95,10
PMS2	6,2	30	96,11

### Mejores porcentajes de remoción de manganeso (tercer objetivo)

Los altos porcentajes de remoción de manganeso conseguidos en ambas muestras; es debido a que en nuestros ensayos, se obtuvo un área efectiva en los ánodos de aluminio de 297,6 cm<sup>2</sup>, que permitió el desprendimiento de los cationes Al<sup>3+</sup> y estos a su vez se unieron a los iones hidroxilo (OH)<sup>-</sup> liberados por los cátodos, formándose el coagulante hidróxido de aluminio Al(OH)<sub>3</sub> como lo indican Akter *et al.* (2022); a su vez se presentó la desestabilización de los iones manganeso (Mn<sup>2+</sup>) que fueron adsorbidos por el coagulante Al(OH)<sub>3</sub> en forma de flóculos y se trasladaron a la zona de flotación con ayuda de los gases (H<sub>2</sub>) y (O<sub>2</sub>) liberados en el medio acuoso descrito por Tegladza *et al.* (2021) y los flóculos más pesados se trasladaron a la zona de sedimentación en forma de especies precipitadas de manganeso como lo describe Casquino (2018), en la ecuación (11).



En el estudio realizado por Casquino (2018), se removió el manganeso de las aguas del Río Rímac con electrodos de aluminio en la celda electrolítica, se observó que después del tratamiento se alcanzó un porcentaje de remoción de manganeso de 96,01 %.

En la investigación realizada por Das & Nandi (2021), se obtuvieron mejores resultados con electrodos de aluminio en ánodos y cátodos; se empleó NaCl como electrolito, después del tratamiento se obtuvo porcentaje de remoción de manganeso de 97,99 % en 40 minutos y densidad de corriente de 6,85 mA/cm<sup>2</sup>.

Por otro lado Ramírez (2013), empleó electrodos de cobre en ánodos y cátodos con una distancia de electrodos de 1 cm, se obtuvo porcentaje de remoción de manganeso de 24,27 % en aguas de pozo con una corriente de 26,82 amperios y tiempo de 15 minutos.

En la investigación realizada por Nariyan *et al.* (2017), se emplearon ánodos de hierro y cátodos de acero inoxidable, se obtuvo remoción del 23,4 % de manganeso de aguas de mina aplicando una densidad de corriente de 70 mA/cm<sup>2</sup> y tiempo de 60 min.

De acuerdo a los estudios mencionados se observó que se obtienen menores porcentajes de remoción de manganeso con el uso de electrodos de cobre investigado por Ramírez (2013) y con el uso de ánodos de hierro estudiado por Nariyan *et al.* (2017).

Sin embargo, se obtienen mejores porcentajes de remoción de manganeso con el empleo de electrodos de aluminio en ánodos y cátodos según los estudios realizados por Casquino (2018) y Das y Nandi (2021), coincidiendo con nuestra investigación, debido a la afinidad que tiene el coagulante hidróxido de aluminio para adsorber los iones manganeso del medio acuoso.

### CONCLUSIONES

Se construyeron dos celdas de electrocoagulación con material acrílico, la primera celda para tratar las muestras del PMS1 y la segunda celda para tratar las muestras del PMS2 del río Chacapalca, se emplearon en cada celda 5 electrodos de aluminio, de los cuales 3 electrodos fueron los ánodos de sacrificio y se obtuvo un área efectiva de reacción de 297.6 cm<sup>2</sup> que desprendió los iones aluminio para la formación in situ del coagulante hidróxido de aluminio, el cual trabajó como un eficiente material adsorbente de los iones manganeso.

Se realizó la caracterización de las muestras de agua del PMS1 y PMS2 del río Chacapalca antes y después del tratamiento, con un análisis físico-químico, se observó que después del tratamiento por electrocoagulación se incrementó el pH entre 6 a 8; a su vez se elevaron ligeramente los cloruros y nitratos, los cuales no sobrepasaron los ECA del agua; por otro lado; la conductividad eléctrica, turbidez, dureza, sulfatos, y manganeso disminuyeron sus niveles en ambas muestras de agua hasta por

debajo de los ECA del agua en la categoría 3 y se comprobó que la técnica de electrocoagulación, logro la remoción de los parámetros mencionados incluido el manganeso.

La evaluación de la densidad de corriente y tiempo se realizó en ambas muestras de agua del PMS1 y del PMS2, en un diseño central compuesto que permitió obtener los valores óptimos de 6,2 mA/cm<sup>2</sup> y 30 minutos para un volumen de muestra a tratar de 1 L y con la adición del electrolito NaCl de 20 mL, que facilito la disolución de los iones aluminio en el medio acuoso; estos parámetros contribuyeron a disminuir las concentraciones de manganeso en el PMS1 a 0,048 mg/L y en el PMS2 a 0,037 mg/L, valores que se encuentran por debajo de los ECA para agua en la categoría 3: (D1) riego de vegetales y (D2) bebida de animales de 0,2 mg/L según Decreto Supremo N° 004 – 2017 – MINAM y a su vez se alcanzó los máximos porcentajes de remoción de manganeso de 95,10 % y 96,11 % en el PMS1 y PMS2 respectivamente con un 95% de confiabilidad.

## AGRADECIMIENTO

Se le agradece a la Maestría de Tecnologías de Protección Ambiental de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano. A sí mismo, agradezco a mi asesor Mtro. Higinio Alberto Zúñiga Sánchez por la revisión crítica del presente artículo.

## REFERENCIAS

- Abdel-Aziz, M. H., El-Ashtoukhy, E. S. Z., Sh. Zoromba, M., Bassyouni, M., & Sedahmed, G. H. 2020. Removal of nitrates from water by electrocoagulation using a cell with horizontally oriented Al serpentine tube anode. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 82, 105–112. <https://doi.org/10.1016/J.JIEC.2019.10.001>
- Akter, S., Suhan, M. B. K., & Islam, M. S. 2022. Recent advances and perspective of

electrocoagulation in the treatment of wastewater: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 17, 100643. <https://doi.org/10.1016/J.ENMM.2022.100643>

- AlJaberi, F. Y., Ahmed, S. A., & Makki, H. F. (2020). Electrocoagulation treatment of high saline oily wastewater: evaluation and optimization. *Heliyon*, 6(6), e03988. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E03988>
- AlTowyan, L., AlSagabi, S., AlAjyan, T., AlSulami, K., & Goumri-Said, S. 2022. The removal of manganese ions from industrial wastewater using local Saudi and commercial bentonite clays. *Groundwater for Sustainable Development*, 19, 100821. <https://doi.org/10.1016/J.GSD.2022.100821>
- ANA. 2016. *Resolución Jefatural N° 010 - 2016 - ANA. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. [http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.010-2016-ana\\_0.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.010-2016-ana_0.pdf)
- ANA. (2020). *Informe Técnico N° 120 – 2020 – ANA – AAA. TIT – AT/RWAA. Resultados del Monitoreo de Calidad de Agua Superficial en la Unidad Hirográfica Pucará (Octubre del 2020)*.
- Arango R., A., & Garcés G., L. F. 2007. Diseño de una celda de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea. *Revista Universidad EAFIT*, 43(147), 56–67. <https://www.redalyc.org/pdf/215/21514706.pdf>
- Arboleda C., J. M., & Herrera L., P. J. 2015. Evaluación de un proceso de electrocoagulación en un reactor tipo batch para la remoción de cromo hexavalente Cr(6+) con electrodos de

- aluminio-aluminio y de hierro-aluminio en condiciones de laboratorio. Universidad Santo Tomas. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/613>
- Arturi, T. S., Seijas, C. J., & Bianchi, G. L. 2019. A comparative study on the treatment of gelatin production plant wastewater using electrocoagulation and chemical coagulation. *Heliyon*, 5(5), e01738. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.E01738>
- Casquino B., J. M. 2018. Remoción de Manganeso en aguas del Río Rímac-San Mateo por el proceso de electrocoagulación tipo Batch para uso de regadío, 2018 [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34675>
- Das, D., & Nandi, B. K. 2021. Treatment of iron ore beneficiation plant process water by electrocoagulation. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(1), 102902. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.11.008>
- García-Segura, S., Eiband, M. M. S. G., de Melo, J. V., & Martínez-Huitle, C. A. 2017. Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 801, 267–299. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.07.047>
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. 2010. Metodología de la investigación. [https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.\\_Hernandez\\_Fernandez\\_y\\_Baptista-Metodología\\_Investigacion\\_Cientifica\\_6ta\\_ed.pdf](https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2._Hernandez_Fernandez_y_Baptista-Metodología_Investigacion_Cientifica_6ta_ed.pdf)
- Humpire C., F. 2017. Efecto del ph y tiempo en la depuración de lactosuero residual por electrocoagulación [universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/3908>
- Ingelsson, M., Yasri, N., & Roberts, E. P. L. 2020. Electrode passivation, faradaic efficiency, and performance enhancement strategies in electrocoagulation—a review. *Water Research*, 187, 116433. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2020.116433>
- Kambuyi, T. N., Bejjany, B., Lekhlif, B., Mellouk, H., Digua, K., & Dani, A. 2021. Design of a continuous-flow single-channel reactor using optimal experimental data from batch reactor for turbidity removal by electrocoagulation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104651. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2020.104651>
- Kamel, M., El-Ashtoukhy, E. S. Z., Abdel-Aziz, M. H., Zahran, R. R., Sedahmed, G. H., & El Gheriany, I. 2022. Effect of additives and electrode roughness on the production of hypochlorite sanitizer by the electrolysis of NaCl solution in a batch recycle reactor. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 176, 108959. <https://doi.org/10.1016/J.CEP.2022.108959>
- Kwakye, G. F., Paoliello, M. M. B., Mukhopadhyay, S., Bowman, A. B., & Aschner, M. 2015. Manganese-induced parkinsonism and Parkinson's disease: Shared and distinguishable features. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(7), 7519–7540. <https://doi.org/10.3390/ijerph120707519>
- MINAM. 2017. Decreto Supremo N° 004 – 2017 – MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones

- Complementarias. Normas legales. Diario Oficial El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Miranda Z., N. 2012. *Tecnología de aguas tratamiento y control de calidad* (2da Edición). Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Montgomery, D. 2020. *Design and analysis of experiments* (10ma ed.). John Wiley & Sons. <https://drive.google.com/file/d/1JgvIJU8p0nQmRR2FAemPsZAMBgt1Bv1M/view>
- Nariyan, E., Sillanpää, M., & Wolkersdorfer, C. 2017. Electrocoagulation treatment of mine water from the deepest working European metal mine – Performance, isotherm and kinetic studies. *Separation and Purification Technology*, 177, 363–373. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.12.042>
- OEFA. 2016. *Informe N° 100 – 2016 – OEFA/DE – SDLB – CEAL. Informe de Evaluación Ambiental en la Cuenca Pucará durante el año 2016*. [http://visorsig.oefa.gob.pe/datos\\_de/PM0203/PM020302/01/IF/IF\\_0100-2016-OEFA-DE-SDLB-CEAL.pdf](http://visorsig.oefa.gob.pe/datos_de/PM0203/PM020302/01/IF/IF_0100-2016-OEFA-DE-SDLB-CEAL.pdf)
- Pantoja P., E. T. 2012. Aplicación de la electrocoagulación y floculación sobre el tratamiento del drenaje ácido de minas de carbón [Universidad del Valle]. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/4148/CB-0460950.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Prieto G., F., Callejas H., J., Reyes C., V. E., & Mormolejo S., Y. (2012). Electrocoagulación: Una alternativa para depuración de lactosuero residual. *Revista AIDIS*, 5(3), 51–77. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/34727>
- Quispe Q., K. K. (2015). Electrocoagulación en la remoción de Mercurio de las aguas residuales en el Centro Poblado la Rinconada-Puno [Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/2529>
- Rakhtshah, J., Shir Khanloo, H., & Dehghani Mobarake, M. 2022. Simultaneously speciation and determination of manganese (II) and (VII) ions in water, food, and vegetable samples based on immobilization of N-acetylcysteine on multi-walled carbon nanotubes. *Food Chemistry*, 389, 133124. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133124>
- Ramírez O., A. A. 2013. Analisis de la eficiencia de la remoción de Hierro y Manganeso por medio de un proceso de electrocoagulación utilizando un prototipo de celda electroquímica tipo batch y de su factibilidad financiera. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 8(1), 41–47. <https://doi.org/10.36829/08ASA.v8i1.1485>
- Sediqi, S., Bazargan, A., & Mirbagheri, S. A. 2021. Consuming the least amount of energy and resources in landfill leachate electrocoagulation. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101454. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2021.101454>
- Tegladza, I. D., Xu, Q., Xu, K., Lv, G., & Lu, J. 2021. Electrocoagulation processes: A general review about role of electro-generated flocs in pollutant removal. *Process Safety and Environmental Protection*, 146, 169–189. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.08.048>
- Xu, L., Huang, Q., Xu, X., Cao, G., He, C., Wang, Y., & Yang, M. 2017. Simultaneous removal of Zn<sup>2+</sup> and Mn<sup>2+</sup> ions from synthetic and real smelting

wastewater using electrocoagulation process: Influence of pulse current parameters and anions. *Separation and Purification Technology*, 188, 316–328. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2017.07.036>

N°	TIPOLOGÍAS	APORTE EN %
1	<b>Conceptualización</b> - Ideas, formulación o evolución de los objetivos y metas generales de la investigación.	Y. Velasquez Z. 60
		H. A. Zúñiga S. 40
2	<b>Curación de datos</b> - Actividades de gestión para anotar (producir metadatos), depurar datos y mantener los datos de la investigación (incluido el código de software, cuando sea necesario para interpretar los propios datos) para su uso inicial y su posterior reutilización.	Y. Velasquez Z. 60
		H. A. Zúñiga S. 40
3	<b>Análisis formal</b> - Aplicación de técnicas estadísticas, matemáticas, computacionales u otras técnicas formales para analizar o sintetizar datos de estudio.	Y. Velasquez Z. 60
		H. A. Zúñiga S. 40
4	<b>Adquisición de fondos</b> - Adquisición del apoyo financiero para el proyecto que conduce a esta publicación.	Y. Velasquez Z. 50
		H. A. Zúñiga S. 50
5	<b>Investigación</b> - Realización de una investigación y proceso de investigación, realizando específicamente los experimentos, o la recolección de datos / evidencia.	Y. Velasquez Z. 60
		H. A. Zúñiga S. 40
6	<b>Metodología</b> - Desarrollo o diseño de la metodología y creación de modelos.	Y. Velasquez Z. 50
		H. A. Zúñiga S. 50
7	<b>Administración del proyecto</b> - Responsabilidad de gestión y coordinación de la planificación y realización de la actividad de investigación.	Y. Velasquez Z. 60
		H. A. Zúñiga S. 40
8	<b>Recursos</b> - Suministro de materiales de estudio, reactivos, materiales, pacientes, muestras de laboratorio, animales, instrumentación, recursos informáticos u otras herramientas de análisis.	Y. Velasquez Z. 60
		H. A. Zúñiga S. 40
9	<b>Software</b> - Programación, desarrollo de software, diseño de programas informáticos, implementación del código informático y de los algoritmos de apoyo, pruebas de los componentes de código existentes.	Y. Velasquez Z. 60
		H. A. Zúñiga S. 40
10	<b>Supervisión</b> - Responsabilidad de supervisión y liderazgo en la planificación y realización de actividades de investigación, lo que incluye la tutoría externa al equipo central.	Y. Velasquez Z. 50
		H. A. Zúñiga S. 50
11	<b>Validación</b> - Verificación, ya sea como parte de la actividad o por separado, de la replicabilidad / reproducción general de los resultados / experimentos u otros productos de la investigación.	Y. Velasquez Z. 60
		H. A. Zúñiga S. 40
12	<b>Visualización</b> - Preparación, creación o presentación del trabajo publicado, específicamente la visualización / presentación de datos.	Y. Velasquez Z. 50
		H. A. Zúñiga S. 50
13	<b>Redacción</b> - borrador original - Preparación, creación o presentación del trabajo publicado, específicamente la redacción del borrador inicial (se incluye la traducción sustantiva).	Y. Velasquez Z. 50
		H. A. Zúñiga S. 50
14	<b>Redacción</b> - revisión y edición - Preparación, creación o presentación del trabajo publicado por los miembros del grupo de investigación original, específicamente revisión crítica, comentario o revisión - se deben incluir las etapas previas o posteriores a la publicación.	Y. Velasquez Z. 50
		H. A. Zúñiga S. 50