

05

OPTIMIZACIÓN

DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN-FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA PLANTA PILOTO

OPTIMIZATION OF THE SEDIMENTATION-FLOCCULATION PROCESS FOR WATER TREATMENT IN A PILOT PLANT

Norberto Justiniano-Gallardo¹

E-mail: norberjust@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0231-4210>

Carlos Elio Céspedes-Jiménez¹

E-mail: ccarlos.eliocespedes@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1959-3056>

Manuel Vega-Almaguer²

E-mail: vegam4242@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8083-4106>

¹ Universidad Privada Domingo Savia. Bolivia.

² Universidad de La Habana. Cuba.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Justiniano-Gallardo, N., Céspedes-Jiménez, C. E., & Vega-Almaguer, M. (2025). Optimización del proceso de sedimentación-floculación para el tratamiento de agua en una planta piloto. *Revista Transdisciplinaria de Estudios Sociales y Tecnológicos*, 5(2), 48-57.

Fecha de presentación: 02/03/2025

Fecha de aceptación: 15/04/2025

Fecha de publicación: 01/05/2025

RESUMEN

En el estudio se caracteriza el agua cruda mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos; y en base a éstos parámetros, realizar un análisis de balance de materia para comprender y optimizar las reacciones químicas en el tanque reactor para la producción de agua de mesa, en base de monitoreo continuo y control de las variables del proceso de tratamiento y la determinación de los costos de producción. Se estableció un proceso eficiente de sedimentación-floculación para el tratamiento de agua en el tanque reactor. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados confirmaron que el agua tratada cumple con los parámetros establecidos por la norma, para agua de mesa, garantizando su calidad para el consumo. Mediante un análisis exhaustivo del balance de materia, se optimizó la dosificación de reactivos, específicamente hipoclorito de calcio o sodio, logrando una reducción significativa en el consumo de insumos, lo que permite optimizar los costos de producción. Se logró optimizar el proceso de tratamiento de agua por sedimentación-floculación cumpliendo con la norma NB-325002 y mejorando la calidad del agua para consumo. Se logró una dosificación eficiente de reactivos, reduciendo costos y alcalinidad, y aumentando la eliminación de microorganismos. La implementación de monitoreo y mantenimiento aseguró operación estable.

Palabras clave:

Sedimentación-floculación, tratamiento de agua, tanque reactor, calidad del agua, parámetros fisicoquímicos, norma NB 325002.

ABSTRACT

The study characterized the raw water through physicochemical and microbiological analyses. Based on these parameters, a material balance analysis was performed to understand and optimize the chemical reactions in the reactor tank for the production of table water. This analysis was based on continuous monitoring and control of the treatment process variables and the determination of production costs. An efficient sedimentation-flocculation process was established for water treatment in the reactor tank. The physicochemical and microbiological analyses confirmed that the treated water meets the parameters established by the standard for table water, ensuring its quality for consumption. Through a comprehensive material balance analysis, the dosage of reagents, specifically calcium or sodium hypochlorite, was optimized, achieving a significant reduction in input consumption and optimizing production costs. The sedimentation-flocculation water treatment process was optimized, complying with standard NB-325002 and improving the quality of the water for consumption. Efficient reagent dosing was achieved, reducing costs and alkalinity, and increasing the elimination of microorganisms. The implementation of monitoring and maintenance ensured stable operation.

Keywords:

Sedimentation-flocculation, water treatment, reactor tank, water quality, physicochemical parameters, NB 325002 standard.

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable más segura, es un pilar fundamental para la salud pública y el desarrollo sostenible. A medida que las poblaciones van creciendo y las fuentes de agua enfrentan grandes desafíos de contaminación, la optimización de los procesos de tratamiento se vuelve esencial para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano (Araque Arellano, 2022).

La sedimentación-floculación es un proceso fisicoquímico bastante utilizado en plantas de tratamiento de agua. Su objetivo es la remoción eficiente de sólidos suspendidos y contaminantes mediante la formación y decantación de flóculos (Yupanqui Pacheco et al., 2024). Para ello, el agua a tratar pasa primero por un tanque reactor, donde se dosifican floculantes como sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), hipoclorito de sodio (NaClO) y cal ($(\text{OH})_2\text{Ca}$), con el fin de reducir la alcalinidad del agua de alimentación y mejorar la eficacia del proceso de coagulación.

Posteriormente, el agua tratada atraviesa un filtro de arena, el cual retiene las impurezas floculadas, y un purificador de carbón activo encargado de eliminar sabores, olores y residuos de cloro (Serrano-Castillo et al., 2024). Para afinar aún más la calidad del agua, se incluyen pulidores de micras específicas y un sistema de desinfección con hipoclorito de sodio o calcio, asegurando la eliminación microbiológica y el cumplimiento de los estándares fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por la normativa vigente.

La norma NB-325002 establece criterios estrictos para la calidad del agua de mesa, lo que exige un control riguroso de las variables del proceso de tratamiento. En este sentido, el análisis de balance de materia y las reacciones químicas en el tanque reactor permiten comprender y mejorar la eficiencia del sistema, reduciendo el consumo de insumos y optimizando los costos de producción (Araque Arellano, 2022).

La dosificación adecuada de hipoclorito de calcio o sodio ha demostrado ser un factor determinante en la eliminación de microorganismos y en la reducción de la alcalinidad del agua tratada. Investigaciones recientes han confirmado que un ajuste preciso en la cantidad de reactivos no solo mejora la calidad del agua, sino que también contribuye a la sostenibilidad del proceso al minimizar el desperdicio de insumos (Serrano-Castillo et al., 2024).

En este estudio, se implementó un enfoque integral de optimización operacional basado en la caracterización del agua cruda, el ajuste de condiciones de alcalinidad y el monitoreo preventivo del proceso. Los resultados obtenidos confirman la viabilidad de la sedimentación-floculación como un método eficiente para el tratamiento de agua en plantas piloto, asegurando su calidad para el

consumo humano y mejorando la sostenibilidad del sistema (Yupanqui Pacheco et al., 2024).

METODOLOGÍA

El estudio tiene un enfoque experimental y analítico para la optimización del proceso de tratamiento de agua mediante sedimentación-floculación en el tanque reactor. Inicialmente, se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de entrada y salida, ajustándose a los parámetros normativos NB-325002.

Efectuando análisis riguroso del balance de materia para las reacciones químicas involucradas en la coagulación y floculación, permitiendo la optimización de la dosificación de reactivos como sulfato ferroso, hipoclorito de sodio o calcio, y cal para la reducción de alcalinidad. Se implementaron ensayos operativos para evaluar la eficiencia del sistema, con monitoreo continuo de parámetros críticos y ajuste en tiempo real. Adicionalmente, se desarrollaron procedimientos estandarizados de operación y mantenimiento preventivo para asegurar la estabilidad y sostenibilidad del proceso, concluyendo con un estudio de costos.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Identificación de variables:

- **Dosificación de reactivos químicos:** Cantidad y tipo de floculantes ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y desinfectantes (hipoclorito de sodio o calcio) empleados para lograr la coagulación, floculación y desinfección adecuadas y de cal para la reducción de alcalinidad.
- **Tiempo de retención hidráulica en el tanque reactor:** Duración del proceso de sedimentación y floculación, establecido con un mínimo de dos horas para asegurar la formación efectiva de flóculos.
- **Concentración de cloro libre residual:** Niveles de cloro residual en la salida del filtro de arena, recomendados entre 6 y 8 ppm para garantizar la eliminación microbiológica.
- **Velocidad de flujo del agua a tratar:** Caudal o volumen de agua procesada por unidad de tiempo, que afecta la eficacia del contacto con reactivos y sedimentación.
- **Temperatura y pH del agua:** Parámetros fisicoquímicos que influyen en la eficiencia de las reacciones químicas y la estabilidad de los flóculos.
- **Condiciones de filtración:** Tipo y tamaño de medio filtrante (arena, carbón activado, pulidores de 5 y 3 micrones) que afectan la remoción de impurezas y contaminantes.
- **Alcalinidad del agua de entrada:** Nivel de alcalinidad que debe ser reducido mediante el proceso para optimizar la coagulación y floculación.

Parámetros del agua de mesa según Norma Boliviana NB-325002

Los parámetros fisicoquímicos para el agua de mesa según NB-325002 (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros del agua de mesa según la Norma Boliviana.

Parámetro	Límite Máximo mg/L
Antimonio	0.005
Arsénico, calculado como As total	0.01
Bario	0.7
Borato, calculado como B	5
Cadmio	0.003
Cromo, calculado como Cr total	0.05
Cobre	1
Cianuro	0.07
Fluoruro	Según 7.2.2
Plomo	0.01
Manganeso	0.5
Mercurio	0.001
Níquel	0.02
Nitrato, calculado como nitrato	50
Nitrito, calculado como nitrito	0.02
Selenio	0.01
Turbidez	5 NTU

La planta de producción de agua de mesa por el proceso de Sedimentación-Floculación se detalla en la figura 1.

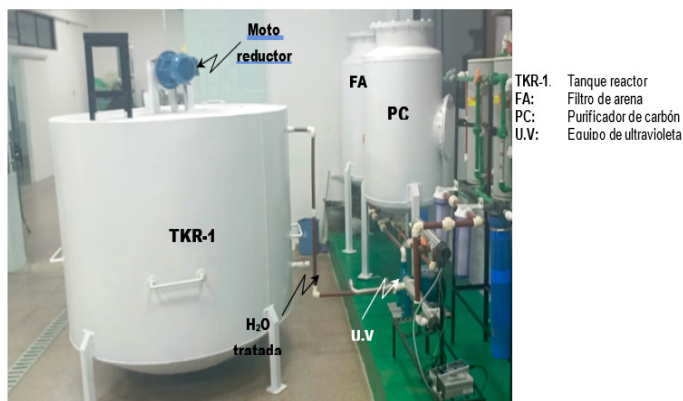


Figura 1. Planta de tratamiento de agua por sedimentación-floculación.

En la figura 2 se detalla el proceso de producción de agua de mesa por el sistema de tratamiento de sedimentación-floculación.

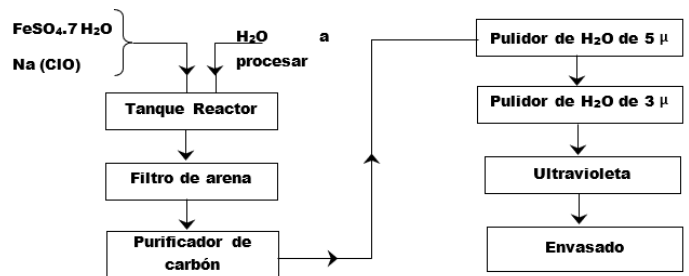


Figura 2. Proceso de tratamiento de H₂O por Sedimentación-Floculación.

Balance de materia para tratamiento de agua 1.000 L/h

Para el diseño de la planta de tratamiento de agua por medio del sistema de coagulación, cuyo sistema permite resolver la mayoría de los problemas del agua, exceptuando el de alto contenido de sales, cloruros o sulfatos.

Sulfato Ferroso

Las plantas de coagulación dosifican coagulante para el proceso elegido, el sulfato ferroso la dosificación oscila de 20 a 50 ppm. El factor que rige es la formación de un buen floculo.

Dosis de SO₄Fe = 1.000 L/h x 0,05 g/L. = 50 g/h

Dosificación de sulfato ferroso heptahidratado SO₄Fe.7H₂O.

$$\frac{278 \text{ g de SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}{152 \text{ g de SO}_4\text{Fe}} \times 50 \frac{\text{g de SO}_4\text{Fe}}{\text{h}} = 91 \frac{\text{g de SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}{\text{h}}$$

Pureza de sulfato ferroso heptahidratado SO₄Fe.7H₂O comercial (88%).

$$\text{sulfato ferroso comercial} = 91 \frac{\text{g de SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}{\text{h}} \times \frac{1}{0.88} = 103,92 \frac{\text{g de SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}{\text{h}}$$

Cal

$$\text{Consumo} = C_F + C_R + C_{2P-M}$$

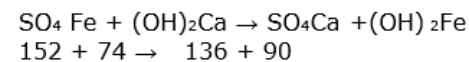
C_F = Consumo para la formación del floculo

C_R = Consumo para la reducción de la alcalinidad

C_{2P-M} = 2 = Consumo para llegar a la alcalinidad deseada

Consumo para la formación del floculo

Según la reacción:



$$C_F = \frac{0,05 \text{ g de SO}_4}{\text{L}} \times 74 \frac{\text{g de (OH)}_2\text{Ca}}{152 \text{ g de SO}_4} \times 1.000 \frac{\text{L de H}_2\text{O}}{\text{h}} = 24,32 \frac{\text{g de (OH)}_2\text{Ca}}{\text{h}}$$

Consumo para la reducción de la alcalinidad

Según la reacción

Alcalinidad de calcio a reducir = 290 p.p.m CO_3Ca = 290 mg CO_3Ca /L de H_2O

Alcalinidad de calcio a reducir = 0,29 g CO_3Ca /L de H_2O

$$290 \text{ ppm de } \text{CO}_3\text{Ca} \times \frac{162 \text{ ppm de } (\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}}{100 \text{ g de } \text{CO}_3\text{Ca}} = 470 \text{ ppm de } (\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$$
$$C_R = \frac{74 \text{ g de } (\text{OH})_2\text{Ca}}{162 \text{ g de } (\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}} \times 0,47 \frac{\text{g de } (\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}}{\text{L}} = 0,215 \frac{\text{g de } (\text{OH})_2\text{Ca}}{\text{L}}$$
$$C_R = 0,215 \frac{\text{g de } (\text{OH})_2\text{Ca}}{\text{L}} \times 1.000 \frac{\text{L}}{\text{h}} = 214,6 \frac{\text{g de } (\text{OH})_2\text{Ca}}{\text{h}}$$

Consumo para la alcalinidad deseada

$C_{2P-M} = 2 = 2 \text{ p.p.m. } \text{CO}_3\text{Ca}$

$$2 \text{ ppm } \text{CO}_3\text{Ca} \times \frac{74 \text{ ppm de } (\text{OH})_2\text{Ca}}{200 \text{ ppm de } \text{CO}_3\text{Ca}} = 0,74 \text{ ppm } (\text{OH})_2\text{Ca} = 0,74 \frac{\text{mg } (\text{OH})_2\text{Ca}}{\text{L}}$$
$$C_{2P-M} = 0,74 \frac{\text{mg } (\text{OH})_2\text{Ca}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ g de } (\text{OH})_2\text{Ca}}{1.000 \text{ mg } (\text{OH})_2\text{Ca}} \times 1.000 \frac{\text{L de } \text{H}_2\text{O}}{\text{h}} = 0,74 \frac{\text{g de } (\text{OH})_2\text{Ca}}{\text{h}}$$

Consumo = $C_F + C_R + C_{2P-M} = 2 = 24,34 + 214,6 + 0,74 = 239,62 \text{ g de } (\text{OH})_2\text{Ca}$ puro

Considerando una pureza de la Cal $\approx 85 \%$

Carga básica = 281,98 g de $(\text{OH})_2\text{Ca}$ comercial/h

Hipoclorito de sodio

Consumo = $C_{\text{bactericida}} + C_{\text{oxidación}} + C_{\text{Mat. Orgánica}} + \text{Impurezas}$

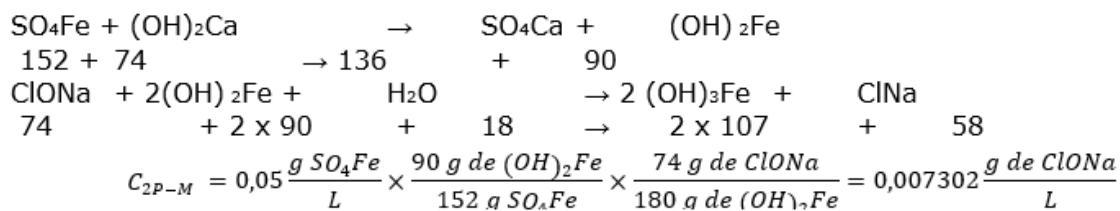
Consumo para eliminar microorganismos

$C_{\text{bactericida}} = 10 \text{ p.p.m} = 0,01 \text{ g de } \text{Cl}_2/\text{L}$

$$0,01 \frac{\text{g de } \text{Cl}_2}{\text{L}} \times \frac{110 \text{ g de } \text{ClONa}}{1 \text{ g de } \text{Cl}_2} = 0,011 \frac{\text{g de } \text{ClONa}}{\text{L}}$$

Consumo para oxidar al sulfato ferroso

Según las reacciones:



Consumo para oxidar materia orgánica e impurezas

$C_{\text{Mat. Orgánica}} + \text{Impurezas} = 0,25 (B_{\text{actericida}} + O_{\text{oxidación}})$

$= 0,25 (0,011 + 0,007302) = 0,004576 \text{ g/L.}$

Consumo de ClONa puro = 11 + 7,303 + 4,576 = 22,879 g de ClONa

Considerando una pureza de hipoclorito de sodio comercial $\approx 94 \%$

Carga básica = 30,813 g de ClONa comercial/h = 26,897 L de ClONa comercial/h

Optimización del proceso

La propuesta para la optimización del proceso de producción de agua de mesa en la planta de tratamiento de agua por sedimentación floculación se detalla a continuación.

- Recirculación del agua tratada en el tanque reactor
- Alimentación de agua para retro lavado y enjuague en los filtros

Recirculación de agua trata en el tanque reactor

La recirculación de agua tratada en el tanque reactor permite el flujo de agua del 50 % del agua floculada en el tanque reactor y una homogenización de los flóculos sedimentados.

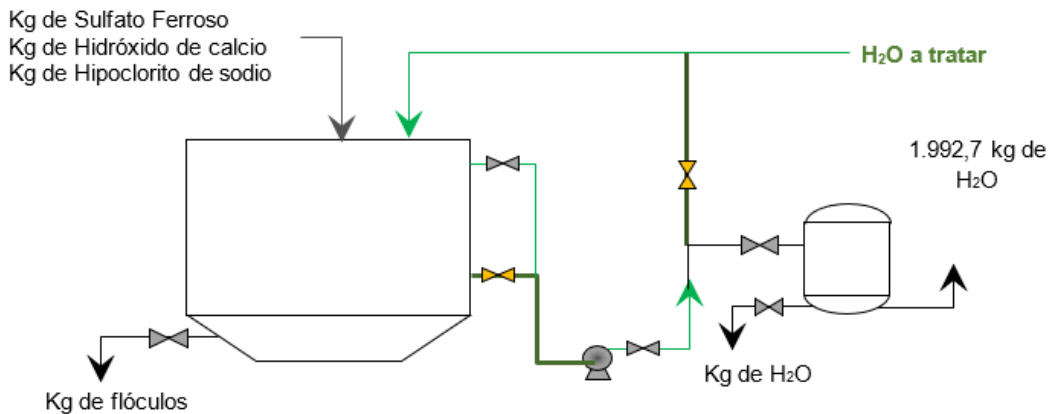


Figura 3. *Recirculación de agua floculada.*

Alimentación de agua sin tratar para retro lavado y enjuague del filtro de arena y purificador de carbón

Es necesario implementar una línea de alimentación de agua sin tratar para el proceso de retro lavado en el filtro de arena y purificador de carbón considerando que la presión de la bomba de alimentación al tanque reactor es adecuada para efectuar estos procesos (Retro lavado y enjuague) es suficiente la que provee la bomba de alimentación al tanque reactor proveniente del tanque de condensado.

A. Retro lavado de los filtros de arena y los purificadores de carbón

Un lugar muy peligroso donde contaminación puede ocurrir en los Filtros de la arena y los purificadores del carbón. Ningún constreñimiento prevenir la implementación de los siguientes procesos.

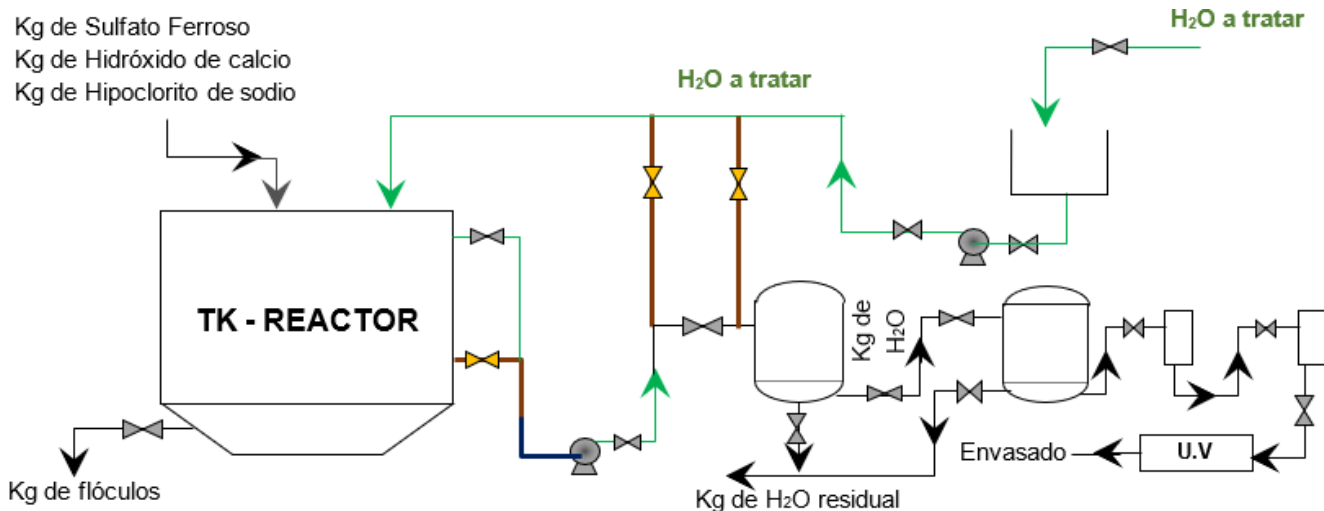


Figura 4. Alimentación de agua para retro lavado y enjuague.

Análisis de costos de producción

Se efectúa el análisis de costos de producción que implica los costos variables y costos fijos del presente estudio técnico.

Costos variables

Contempla los recursos económicos para la producción de agua de mesa por el proceso de sedimentación-Floculación.

A. Costos de materia prima

El agua empleada en la planta de producción proviene de SAGUAPAC. (Cooperativa de agua potable de Santa Cruz), donde la tarifa es de 1,6 Bs/m³. (1,6 bolivianos por metro cúbico)

En la tabla 2 se detallan los costos de materia prima y proveedores de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra.

Tabla 2. Costos de materia prima.

Reactivos	Características	Proveedor	Precio (Bs/kg)
Hipoclorito de sodio NaClO	Es utilizado por su gran poder de desinfección contra bacterias, hongos. Además, es un oxidante potente capaz de destruir el sabor, olor, color, hierro, magnesio, H2S y otros.	HONNEN LTDA. Av. El trompillo, esquina Chaco	10
Hidróxido de calcio Ca(OH)2	Es utilizada para reducir la alcalinidad (reducción de bicarbonatos de calcio, magnesio y en menor grado de sodio).	Parque industrial 3465346	3,2
Sulfato ferroso (FeSO4)	El sulfato ferroso se usa para purificación de agua por floculación y para eliminar fosfatos en las plantas de depuración municipales e industrias para prevenir la eutrofización de masas de agua superficiales.	HONNEN LTDA. Av. El trompillo, esquina Chaco	25

Los costos variables de producción de materia prima para un lote de producción se detallan en la tabla 3.

Tabla 3. Costos de materia prima.

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario Bs	Costo
				Bs
Costos de reactivos	Para el tratamiento de 1 Lote de producción			
Hipoclorito de sodio	Kg.	0,025	10,00	0,252
Cal Hidratada	Kg.	0,031	3,20	0,099
Sulfato Ferroso	Kg.	0,104	25,00	2,598
Agua de alimentación	m³	1,000	1,6	1,600
Total				4,548
Costo unitario (Bs/L)				0,005
Costo unitario (Bidón de 20 L)				0,091

Costos de mano de obra

La tabla 4 ilustra el personal requerido para la planta de producción que se requiere de dos operadores, y de dos ayudantes.

Tabla 4. Mano de obra directa.

ITEM	Cantidad	Modalidad	Sueldos	Bs	Bs
M.O.D.			Bs mes	Anual	Día
Operador de planta de H2O	1	Becario	600,0	7.200,0	19,73
Operador de llenadora	1	Becario	600,0	7.200,0	19,73
Ayudante	1	Pasante	600,0	7.200,0	19,73
Ayudante	1	Pasante	600,0	7.200,0	19,73
Total	4		2.400,0	28.800,0	78,9

Costos de energía Motriz

En la Tabla 5 se detallan los costos de energía motriz para 1 lote de producción.

Tabla 5. Costos de energía motriz para un lote de producción.

Detalle	Tarifa de energía		Consumo kWh	Costo Bs
CRE	0,756	Bs/kWh	12,628	9,5468

Costos variables totales

La tabla 6 contiene los costos variables para un lote de producción expresados en bolivianos.

Tabla 6. Costos variables totales expresados en bolivianos.

Detalle	Costo Bs
Litros de agua tratada	1,600
Reactivos químicos	2,948
Mano de obra directa	78,90
Energía eléctrica	78,9
Imprevistos 2 %	3,247
Total	165,60
Costo unitario Bs/L	0,1656
Costo unitario Bs/Bidón	3,312

Costos fijos

A. Costos de Mantenimiento

En la tabla 7 se detallan los costos de mantenimiento, estableciendo un porcentaje de la inversión total de los activos. El monto por incurrir en el mantenimiento de los activos asciende a 18.599,0 Bs al año y por día a 50,96 Bs/día.

Table 7. Costos fijos de mantenimiento.

Detalle	Inversión		Tasa	Costo
	\$us	Bs	%/año	Bs/año
Obras civiles	42.550	340.400	5,00%	17.020,00
Maquinarias y equipos	9.868,75	78.950,00	2,00%	1.579,00
Total, Bs/año				18.599,00
Total, Bs/Día				50,96

Costos de seguro

Los costos por incurrir en el seguro están de acuerdo con la relación de los porcentajes de los activos que se detallan en la tabla 8.

Tabla 8. Costos del seguro, expresados en bolivianos.

Detalle \$us	Inversión		Tasa	Costo
	Bs	%/ Año	Bs/año	
Obras civiles	42.550	42.551	0,80%	340,41
Maquinarias y equipos	9.868,75	78.950,00	0,90%	710,55
Total, Bs/año				1.050,96
Total, Bs/Día				2,88

Costos de depreciación

Para la depreciación existen disposiciones legales en Bolivia que permiten determinar la valoración de depreciación por unidad de tiempo y la vida útil de los bienes (decreto 24051). En la tabla 9 se detalla el costo por depreciación de los activos fijos.

Tabla 9. Costos de depreciación, expresados en bolivianos.

Detalle	Inversión		Vida útil (año)	Valor en Bs	
	\$us	Bs		Anual	Residual
Terreno	3.993,0	31.944			3.993,00
Obras civiles	42.550,0	340.400	40	8.510,00	280.830,00
Maquinarias y equipos	9.868,8	78.950	10	7.895,00	23.685,00
Instalaciones complementarias	549,0	4.392	5	878,40	0,00
Equipos de seguridad	276,0	2.208	6	368,00	0,00
Reposición 6to año	549,0	4.392	5	878,40	2.635,20
Reposición 7mo año	276,0	2.208	6	368,00	1.840,00
Total	58.062	464.494		18.898	312.983
Total, Bs/Día				51,77	

D. Amortización de la inversión diferida

De acuerdo con la ley 1606, la inversión diferida debe ser amortizada en los 5 primeros años del proyecto en funcionamiento (Tabla 10).

Tabla 10. Amortización de la inversión diferida, expresados en Bs.

Detalle	Inversión		Amortización
	\$us	Bs	Bs
Diseño de la planta	1.000,0	8.000,0	1.600,0
Gastos preoperativos	250,0	2.000,0	400,0
Imprevistos 2 %	25,0	200,0	40,0
Total	1.275,0	10.200,0	2.040,0
Total, Bs/día			5,59

El monto total de la inversión diferida es de 10.200,0 Bs, y su amortización es 2.040,0 Bs/año.

Costos fijos totales

Los costos fijos totales que no tienen ninguna relación con los niveles de producción, se ha determinado los costos fijos que son altos y que se detallan para el primer año de gestión (Tabla 11).

Tabla 11. Costos fijos total expresado en bolivianos.

Detalle	Costo Bs
Mantenimiento	50,96
Seguros	2,88
Depreciación	51,77
Inversión diferida	5,59
Total (Bs/día)	111,20

Costos totales y costos unitarios

La determinación de los costos totales (fijos y variables) permiten determinar los costos totales unitarios resultante de la división de los costos anuales proyectados respecto a los volúmenes de agua de mesa para un lote de producción (Tabla 12).

Tabla 12. Costos totales y unitarios expresados en bolivianos.

Costos totales	
Detalle	Bs
Costos fijos	111,20
Costos variables	165,60
Total	276,80
Costos unitarios	
Detalle	Bs
Litros de agua de mesa	1.000,00
Bidones de agua	50,00
Costos totales	276,80
Costos unitarios Bs/l	0,2768
Costo bidón en Bs.	5,54

El costo unitario de producción estimado es de 5,54 Bs el bidón de 20 litros que hace atractivo su producción y comercialización. Investigaciones adicionales han resaltado la importancia de la eficiencia hidráulica en plantas de tratamiento de agua potable. Por ejemplo, Ávila Pulido & Rodríguez Albarracín (2020), analizaron el impacto de la selección de coagulantes en la eficiencia del proceso de potabilización, concluyendo que el ajuste preciso de la dosificación de reactivos es clave para garantizar la estabilidad del sistema.

Asimismo, Saavedra Bolívar (2005), realizó un diagnóstico y optimización de una planta de tratamiento de agua potable, destacando la importancia de la calibración de equipos y el mantenimiento preventivo para asegurar la operación estable del sistema.

En consecuencia, los resultados obtenidos en este estudio confirman la viabilidad de la sedimentación-floculación como un método eficiente para el tratamiento de agua en plantas piloto. La optimización de la dosificación de reactivos y el monitoreo continuo de las variables del proceso han permitido mejorar la calidad del agua para consumo humano y reducir costos operacionales. Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas y refuerzan la importancia de seguir desarrollando estrategias de optimización en el tratamiento de agua potable.

CONCLUSIONES

En el estudio se demostró que el proceso de tratamiento de agua por el sistema de sedimentación-floculación es

eficaz para producir agua que cumple con los estándares de calidad si se establece un monitoreo y control.

El análisis del balance de materia permitió optimizar la dosificación de reactivos, reduciendo costos y mejorando la eficiencia. Además, el proceso fortalece la formación práctica de particulares y profesionales del área y contribuye a la sostenibilidad financiera y ambiental del laboratorio. Se recomienda continuar con la capacitación, monitoreo constante y la investigación de nuevas tecnologías para mejorar el tratamiento de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araque Arellano, M. (2022). Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable. Editorial Abya-Yala.

Ávila Pulido, A., & Rodríguez Albarracín, A. (2020). Optimización de los procesos de coagulación-floculación en el tratamiento de agua potable a partir de la investigación documental de coagulantes en el proceso de potabilización. (Tesis de licenciatura). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Saavedra Bolívar, J. (2005). Diagnóstico y optimización de la planta de tratamiento de agua potable, municipio de Puente Nacional. (Trabajo de titulación). Universidad Industrial de Santander.

Serrano-Castillo, B. J., Herrera-Morales, G. C., & Jiménez-Gutiérrez, M. Y. (2024). Tratamiento de aguas para uso agropecuario. Caso: Proyecto Agrosilvopastoril, Orellana, Ecuador. Agroecología Global. Revista Electrónica De Ciencias Del Agro Y Mar, 6(10), 4–22. <https://doi.org/10.35381/a.g.v6i10.3182>

Yupanqui Pacheco, K., Espinoza Rojas, W. I., Alhúa Lozano, B. J., & Cornejo Tueros, J. V. (2024). Reingeniería y optimización de los procesos de la planta de tratamientos de aguas residuales “Doris Mendoza”. Prohominum, 6(1), 134–150. <https://doi.org/10.47606/AC-VEN/PH0233>