

REPORTE DE PRUEBAS

Remoción de sulfatos en relaves mineros

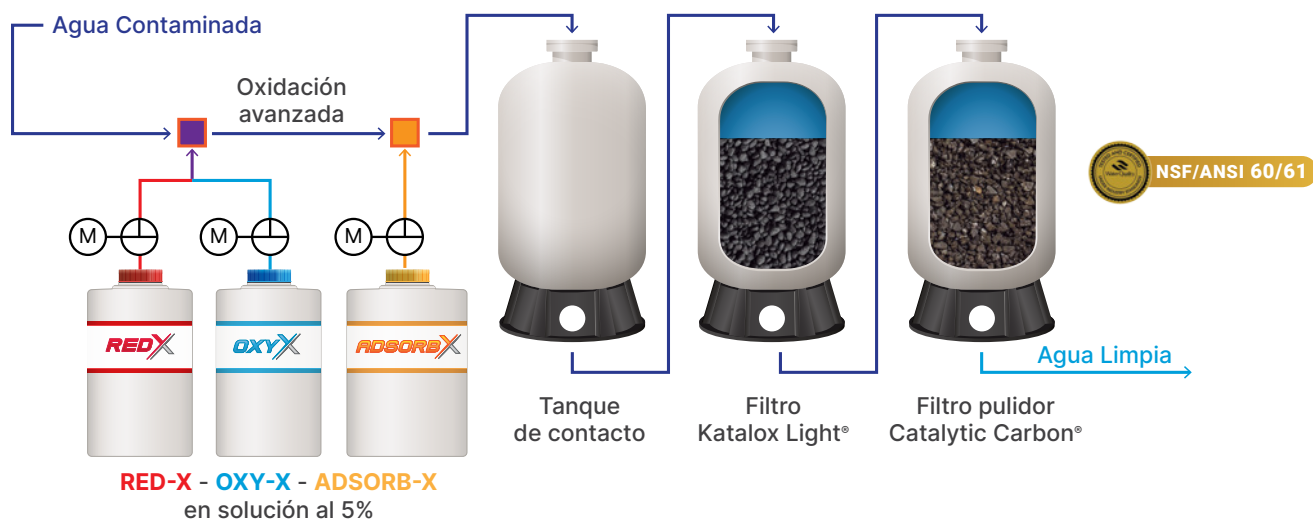
Las pruebas presentadas en este reporte se realizaron en una mina localizada en Centro América. Las aguas residuales de relaves de esta mina tienen una alta cantidad de sulfatos de hasta **1,725 mg/l** y la norma ambiental local específica un **máximo de 400 mg/l**. La mina utiliza actualmente un sistema de tratamiento a base de sales de bario y quiere usar una tecnología más eficiente y económica. Las pruebas se realizaron con el tratamiento **RED-OXY®** de **WATCH WATER®** y dieron muy buenos resultados: **se logró alcanzar la norma con un sistema más económico para la mina.**

Presentación del sistema

RED-OXY® es una solución completa que involucra múltiples procesos: **generación de ferratos, oxidación avanzada, adsorción y filtración**. Remueve la casi totalidad de los contaminantes del agua, incluyendo **pesticidas, farmacéuticos y metales pesados**, entre otros.

RED-OXY® se puede aplicar en una amplia gama de aplicaciones, desde aguas de pozo hasta aguas muy contaminadas por minas o industrias. En la mayoría de los casos, **RED-OXY®** es la solución más factible y económica, ofreciendo una excelente alternativa a los costosos sistemas de ósmosis inversa y otros tratamientos convencionales.

Todos los químicos y medias filtrantes del proceso **RED-OXY®** están certificados para tratar agua para consumo humano (**NSF/ANSI 60 y NSF/ANSI 61**).



Protocolo experimental

Descripción del protocolo

Las pruebas se realizaron conforme al **protocolo de pruebas del sistema RED-OXY®**, añadiendo **nuestra media filtrante de microfiltración CRYSTOLITE®**. Se añadió el **CRYSTOLITE®** para realizar pruebas más completas.

Al final de este documento se encuentran las imágenes de cada etapa de las pruebas.

Parámetros de las medias filtrantes

Diámetro columna: 3.5" = 0.29 pies

Altura columna: 100 cm

Superficie columna: 9.62 pulg² = 0.066 pie²

Volumen medias: 3 L

Altura medias en las columnas: 50 cm

Velocidad y tiempo de contacto simulado

MEDIA	TIEMPO POR FILTRAR 1 L	PARÁMETRO SIMULADO
KATALOX LIGHT®	2.23 min	TCCV = 6.7 min
CATALYTIC CARBON®	5.07 min	TCCV = 15.2 min
CRYSTOLITE®	2.05 min	Velocidad = 1.95 gpm/pie ²

Análisis del agua cruda

PARÁMETRO	VALOR DE ANÁLISIS
pH	9.03
ORP	157 mV
Conductividad	5.9 mV
Sulfatos	1,725 ppm

PRUEBA 1 – DOSIFICACIÓN CALCULADA DE RED-X®, OXY-X® y ADSORB-X®

Se realizó la prueba utilizando la cantidad teórica de los químicos calculada con base en los análisis del agua del proyecto.

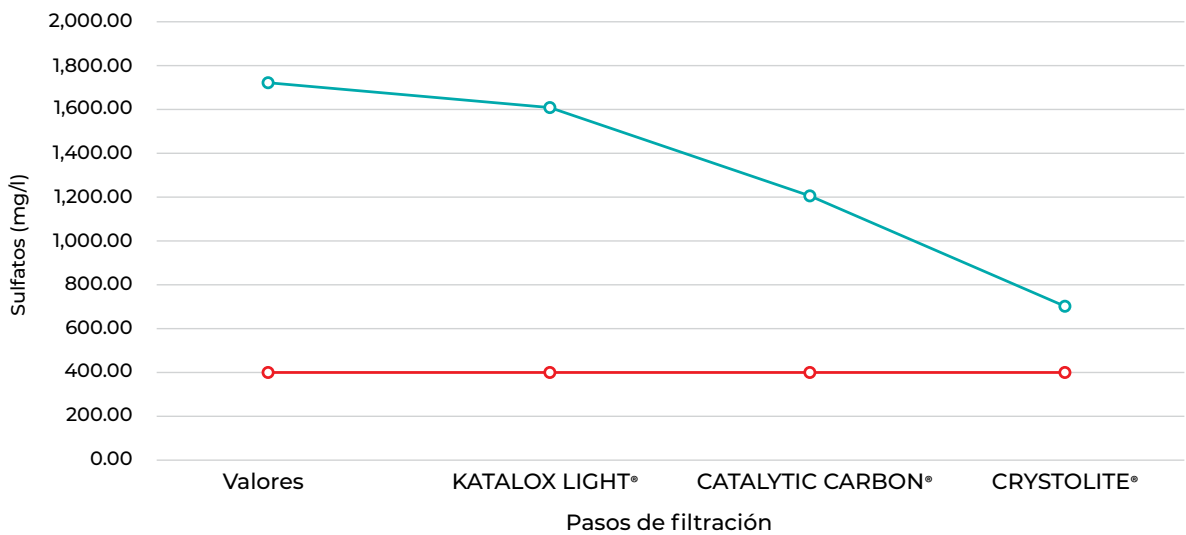
Dosificación de los químicos

DOSIFICACIÓN QUÍMICOS		
Químico	Por m³	Por 5 L
RED-X® (ml)	750.00	3.75
OXY-X® (ml)	1,500.00	7.50
ADSORB-X® (ml)	750.00	3.75

Resultados

	AGUA CRUDA	KATALOX LIGHT®		CATALYTIC CARBON®		CRYSTOLITE®	
Parámetros	Valores	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción
pH	9.03	10.99		6.53		10.95	
ORP (mV)	157.00	5.00		209.00		13.00	
Conductividad (mS)	5.90	6.04		4.83		5.05	
Sulfatos (mg/l)	1,725.00	1,625.00	5.8%	1,225.00	24.6%	725.00	40.8%
						%Remoción	58.0%

Prueba 1 - Evolución de la concentración de sulfatos



Comentarios

- El tren de filtración permitió remover el 58% de los sulfatos.
- Cada media filtrante permite remover parte de los sulfatos.
- El aumento de pH provocado por **KATALOG LIGHT®** y **CRYSTOLITE®** es temporal debido a que las medias filtrantes están nuevas e hizo falta un mejor enjuague.
- El medidor de sulfatos está ligeramente descalibrado, por lo cual los valores de sulfatos reales son 100 ppm debajo del valor indicado.
- La dosificación propuesta no permitió alcanzar a la norma, por lo cual se decidió repetir el experimento con mayor dosificación.

PRUEBA 2 – DOBLE DOSIFICACIÓN

Se realizó la prueba con el doble de la dosificación de la prueba 1, para saber si la remoción de sulfatos es proporcional a la dosificación.

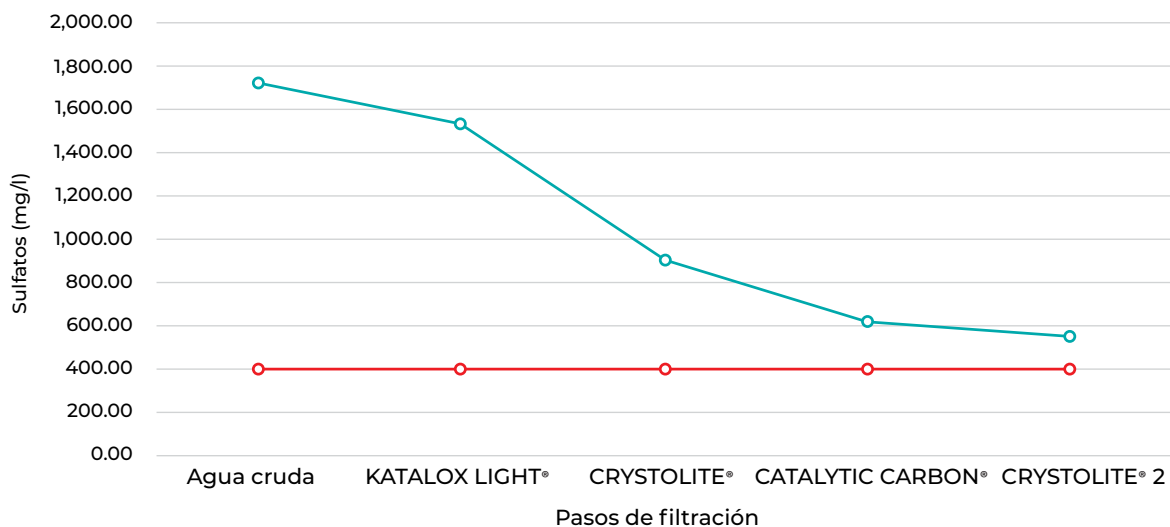
Dosificación de los químicos

DOSIFICACIÓN QUÍMICOS		
Químico	Por m³	Por 5 L
RED-X® (ml)	1,500.00	7.50
OXY-X® (ml)	3,000.00	15.00
ADSORB-X® (ml)	1,500.00	7.50

Resultados

Parámetro	AGUA CRUDA	FILTRACIÓN PAPEL		KATALOG LIGHT®		CRYSTOLITE®		CATALYTIC CARBON®		CRYSTOLITE®	
	Valores	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción
pH	9.03	7.46		11.07		11.15		6.71		11.10	
ORP (mV)	145.00	333.00		37.00		39.00		214.00		41.00	
Conductividad (mS)	6.10	6.33		5.92		5.09		3.62		4.04	
Sulfatos (mg/l)	1,725.00			1,525.00	11.6%	900.00	41.0%	625.00	30.6%	550.00	12.0%
										%Remoción	68.1%

Prueba 2 - Evolución de la concentración de sulfatos



Comentarios

- El aumento de la dosificación mejoró la remoción, pero sin alcanzar la norma
- Las proporciones actuales de **RED-X®** - **OXY-X®** - **ADSORB-X®** no permiten bajar los sulfatos a la norma, por lo cual se cambiarán las proporciones para ver si mejora la remoción de sulfatos.
- El segundo paso de **CRYSTOLITE®** sirvió para ver si mejoraba el porcentaje de remoción de sulfatos con una filtración posterior, pero no representó una mejora significativa.

PRUEBA 3 – MISMA PROPORCIÓN PARA TODOS LOS QUÍMICOS

Se realizó una prueba con la misma proporción de **RED-X®**, **OXY-X®** y **ADSORB-X®**.

Dosificación de los químicos

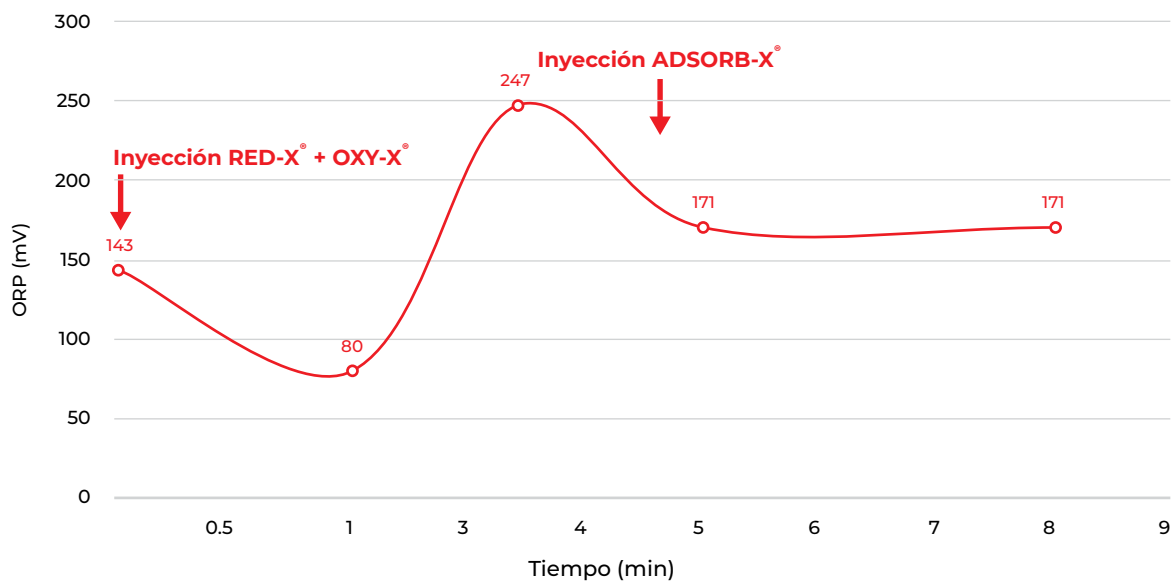
Químico	DOSIFICACIÓN QUÍMICOS	
	Por m³	Por 3 L
RED-X® (ml)	750.00	2.25
OXY-X® (ml)	750.00	2.25
ADSORB-X® (ml)	750.00	2.25

Comentario: la cantidad de agua a tratar fue reducida a 3 L con el fin de realizar los experimentos de manera más eficiente

Variación del ORP durante la reacción

Se midió el ORP después de la inyección de los químicos, para conocer la cinética de la reacción. Para la remoción de los sulfatos, es recomendable trabajar con un ORP negativo.

Prueba 3 - Evolución del ORP durante la reacción

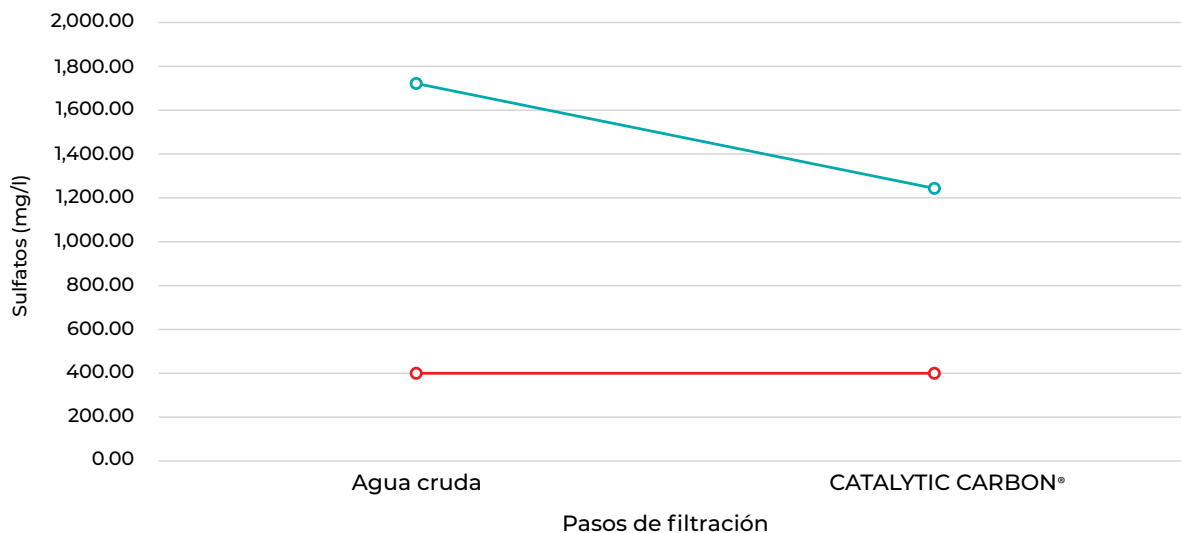


Los valores de este gráfico son de carácter informativo y no corresponden a una medida precisa, por la velocidad de la reacción

Resultados

	AGUA CRUDA		FILTRACIÓN PAPEL		CATALYTIC CARBON®	
Parámetro	Valores		Valores	%Remoción	Valores	%Remoción
pH	9.03		8.15		7.14	
ORP (mV)	147.00		203.00		245.00	
Sulfatos (mg/l)	1,725.00				1,250.00	27.5%
				%Remoción		27.5%

Prueba 3 - Evolución de la concentración de sulfatos



Comentarios

- En esta prueba, se buscó reducir los sulfatos con una sola etapa de filtración
- Como los resultados no cambiaron de manera significativa, se decidió seguir con otras pruebas

PRUEBA 4

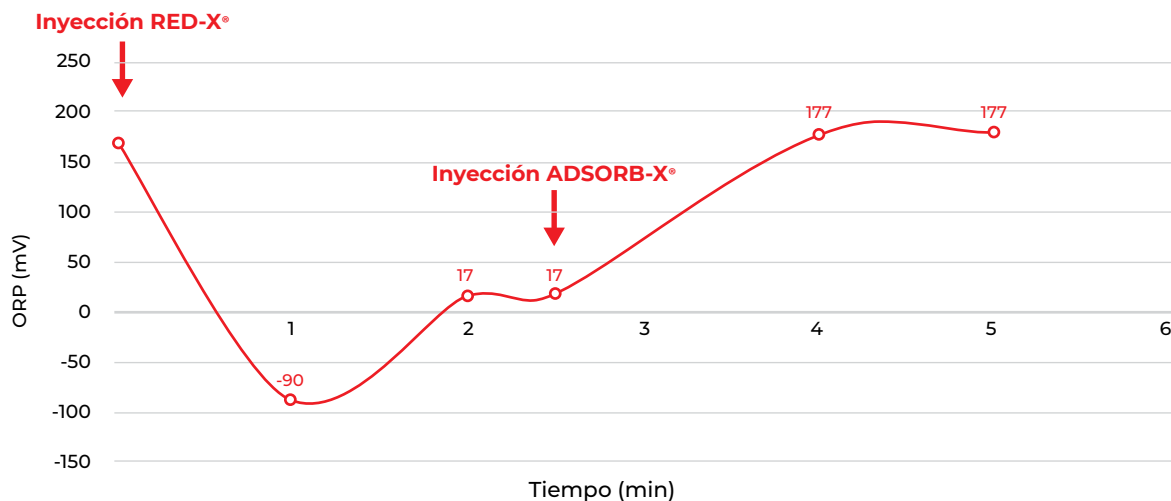
Se realizó la prueba sin el **OXY-X®**, para ver si se puede eliminar del sistema.

Dosificación de los químicos

DOSIFICACIÓN QUÍMICOS		
Químico	Por m³	Por 3 L
RED-X® (ml)	750.00	2.25
OXY-X® (ml)	-	-
ADSORB-X® (ml)	750.00	2.25

Variación del ORP durante la reacción

Prueba 4 - Evolución del ORP durante la reacción

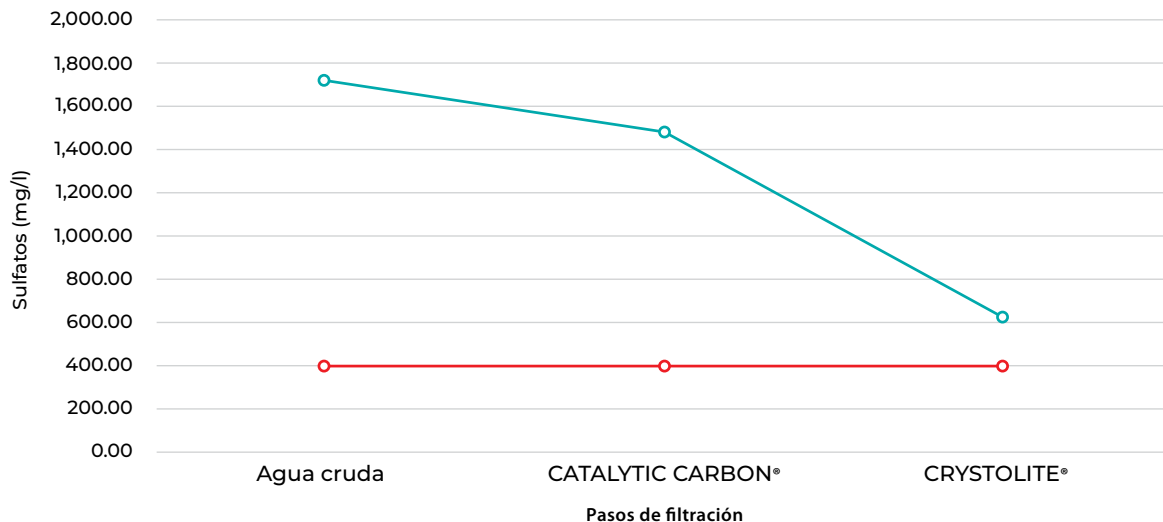


Los valores de este gráfico son de carácter informativo y no corresponden a una medida precisa, por la velocidad de la reacción

Resultados

	AGUA CRUDA		FILTRACIÓN PAPEL		CATALYTIC CARBON®		CRYSTOLITE®	
Parámetro	Valores	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	
pH	9.03	8.54		7.14		11.26		
ORP (mV)	147.00	182.00		248.00		26.00		
Sulfatos (mg/l)	1,725.00			1,475.00	14.5%	625.00	57.6%	
					%Remoción		63.8%	

Prueba 4 - Evolución de la concentración de sulfatos



Comentarios

- Se obtuvo un porcentaje de remoción alto, con solamente 2 etapas de filtración
- Esta prueba validó que se puede eliminar el **OXY-X®** del sistema
- Se probó una filtración con **CATALYTIC CARBON®** primero para limitar la influencia del pH alto en salida de **KATALOX LIGHT®** o **CRYSTOLITE®**

PRUEBA 5

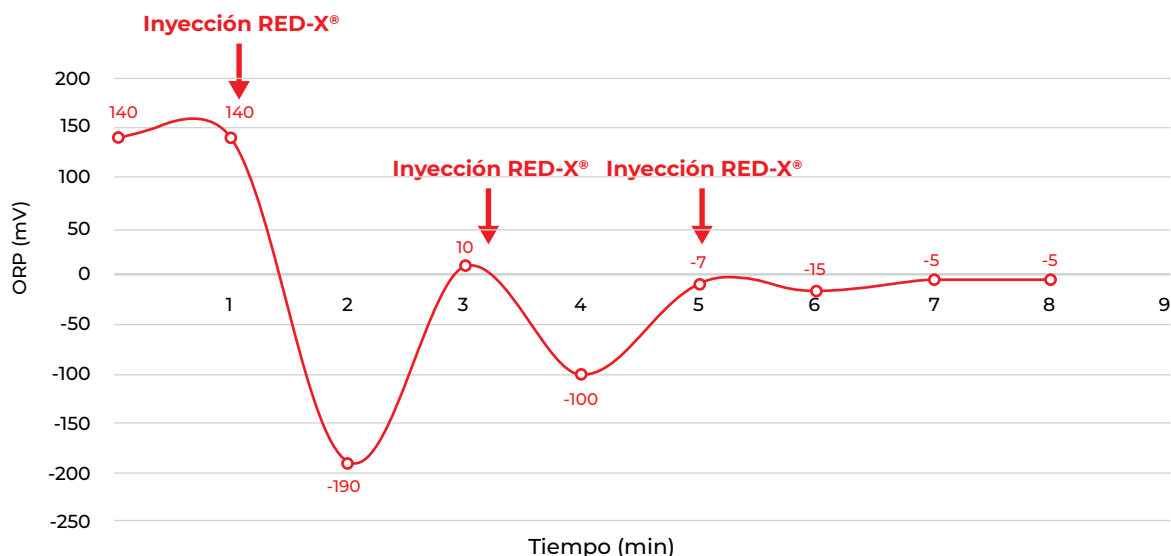
Esta prueba se realizó únicamente con **RED-X®**, para ver si **ADSORB-X®** se puede eliminar del sistema. Decidimos remplazar la dosificación de **ADSORB-X®** y **OXY-X®** por una mayor dosificación del **RED-X®**, por lo cual dosificamos 3 veces la dosis inicial de **RED-X®** en el agua.

Dosificación de los químicos

DOSIFICACIÓN QUÍMICOS		
Químico	Por m³	Por 3 L
RED-X® (ml)	2,250.00	6.75
OXY-X® (ml)	-	-
ADSORB-X® (ml)	-	-

Variación del ORP durante la reacción

Prueba 5 - Evolución del ORP durante la reacción



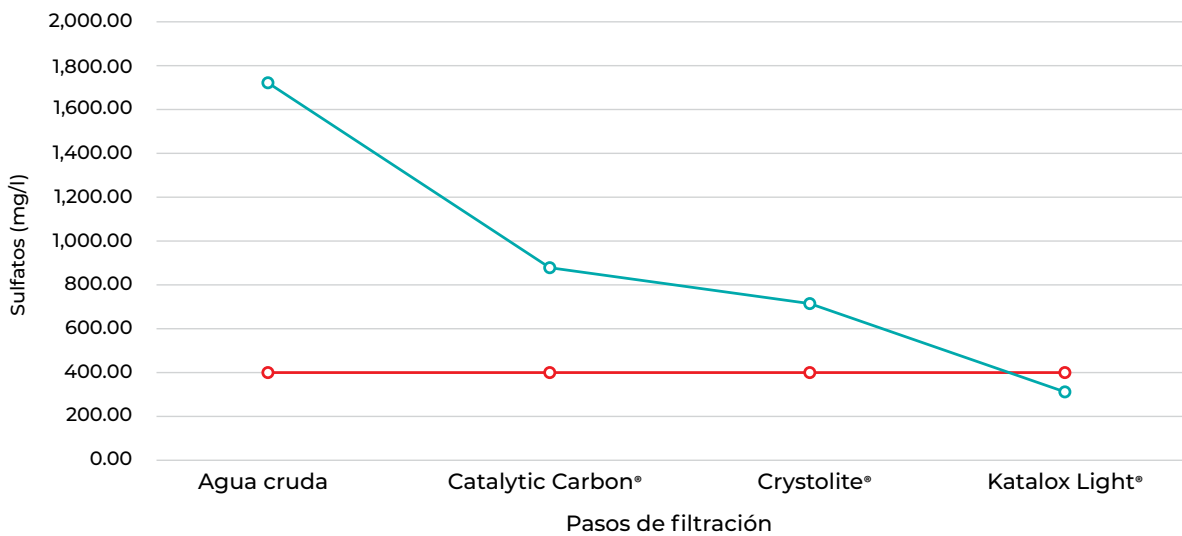
Los valores de este gráfico son de carácter informativo y no corresponden a una medida precisa, por la velocidad de la reacción

Resultados

En esta prueba, las muestras fueron enviadas al laboratorio de la mina, por lo cual hay más parámetros analizados.

	AGUA CRUDA		FILTRACIÓN PAPEL		CATALYTIC CARBON®		CRYSTOLITE®		KATALOX LIGHT®		TOTAL
Parámetro	Valores		Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Remoción total
pH	9.03		6.95		7.06		11.24		11.05		
ORP (mV)	147.00		69.00		264.00		23.00		47.00		
Sulfatos (mg/l)	1,725.00				1,625.00	5.8%	700.00	56.9%	325.00	53.6%	81.2%
Arsénico (µg/l)	570.67				32.11	94.4%	7.03	78.1%	4.38	37.7%	99.2%
Cobalto (mg/l)	0.55				0.56		0.43	23.2%	0.37	14.0%	32.7%
Hierro (mg/l)	0.43				0.99		0.31	68.7%	0.22	29.0%	48.8%
Mercurio (µg/l)	24.44				12.28	49.8%	7.42	39.6%	5.59	24.7%	77.1%
Selenio (µg/l)	178.89				164.28	8.2%	120.52	26.6%	107.49	10.8%	39.9%

Prueba 5 - Evolución de la concentración de sulfatos



Comentarios

- Se logró bajar los sulfatos hasta la norma de 400 ppm, logrando un porcentaje de remoción de 81.2%
- El sistema presenta una alta eficiencia para los demás parámetros: 99.2% para el arsénico, 32.7% para el cobalto, 48.8% para el hierro, 77.1% para el mercurio y 39.9% para el selenio
- En las próximas pruebas, se buscará repetir este sistema y mejorarlo

PRUEBA 6 – AJUSTE DE PH A 5.5

En esta prueba, guardamos la misma dosificación de **RED-X®** y ajustamos el pH a 5.5 ya que la remoción de sulfatos se mejora a un pH bajo.

Dosificación de los químicos

DOSIFICACIÓN QUÍMICOS		
Químico	Por m³	Por 5 L
RED-X® (ml)	2,250.00	6.75
OXY-X® (ml)	-	-
ADSORB-X® (ml)	-	-

Resultados

Parámetro	AGUA CRUDA	PAPEL FILTRACIÓN		KATALOX LIGHT®		CRYSTOLITE®	
	Valores	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción
pH	5.50	5.85		10.88			
ORP (mV)	157.00	107.00		29.00			
Sulfatos (mg/l)	1,725.00	1,600.00	7.2%	1,400.00	12.5%	725	48.2%
						%Remoción	58.0%

Comentarios

- El ajuste de pH no permite aumentar de manera significativa la remoción de sulfatos
- No se procedió a realizar más pruebas ya que realizar un ajuste de pH no es viable para el proyecto final

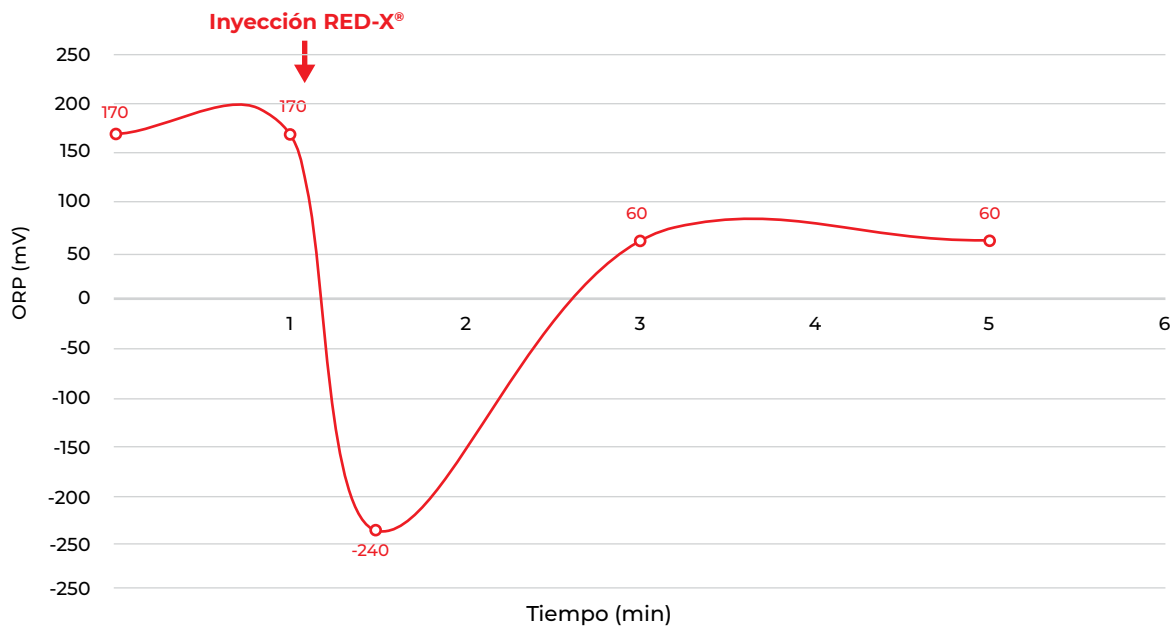
PRUEBA 7 – 2 ETAPAS DE FILTRACIÓN EN CRYSTOLITE®

En esta prueba se modificó el orden de filtración por el siguiente: **CRYSTOLITE®**, **KATALOX LIGHT®** y **CATALYTIC CARBON®**. Además, se filtró el agua 2 veces en **CRYSTOLITE®**, para simular una altura de cama de 100 cm (altura de cama recomendada para **CRYSTOLITE®**).

Dosificación de los químicos

Químico	DOSIFICACIÓN QUÍMICOS	
	Por m ³	Por 3 L
RED-X® (ml)	2,250.00	6.75
OXY-X® (ml)	-	-
ADSORB-X® (ml)	-	-

Prueba 7 - Evolución del ORP durante la reacción

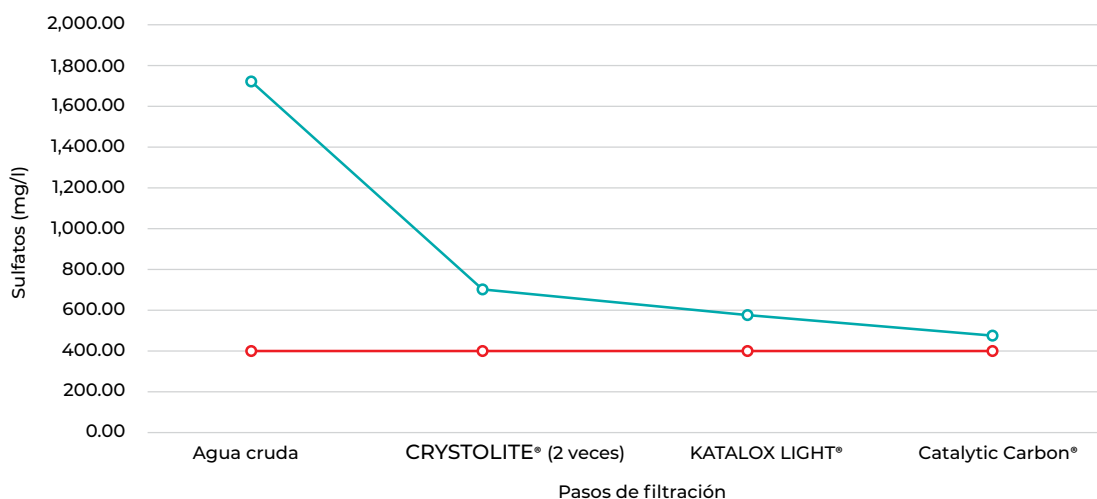


Los valores de este gráfico son de carácter informativo y no corresponden a una medida precisa, por la velocidad de la reacción

Resultados

	AGUA CRUDA	CRYSTOLITE® (2 VECES)		KATALOX LIGHT®		CATALYTIC CARBON®		TOTAL
Parámetro	Valores	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Remoción total
pH	9.03	11.18		10.94		7.05		
ORP (mV)	147.00	17.00		39.00		239.00		
Sulfatos (mg/L)	1,725.00	700.00	59.4%	575.00	17.9%	450.00	21.7%	73.9%
Arsénico (µg/L)	570.67	0.00	100.0%	11.89		6.75	43.2%	98.8%
Cobalto (mg/L)	0.55	0.44	20.0%	0.41	6.8%	0.36	12.2%	34.5%
Hierro (mg/L)	0.43	0.21	51.2%	0.26		0.24	7.7%	44.2%
Mercurio (µg/L)	24.44	7.71	68.5%	7.13	7.5%	5.43	23.8%	77.8%
Selenio (µg/L)	178.89	120.94	32.4%	113.93	5.8%	104.25	8.5%	41.7%

Prueba 7 - Evolución de la concentración de sulfatos



Comentarios

- El medidor de sulfatos está ligeramente descalibrado, por lo cual los valores de sulfatos reales son 100 ppm debajo del valor indicado
- Tomando en cuenta esta variación en la medida de sulfatos, consideramos que se logró disminuir los sulfatos debajo de la norma (valor esperado de sulfatos de 350 ppm)
- La segunda etapa de filtración con **CRYSTOLITE®** no mejoró significativamente la remoción de sulfatos

PRUEBA 8 – ORDEN DE LAS MEDIAS FILTRANTES

En esta prueba, investigamos si el orden de las medias filtrantes tiene una influencia en la remoción de los sulfatos. Se realizó 6 L de agua cruda con **RED-X®** y se dividió en 2 partes, las cuales fueron filtradas en el siguiente orden:

- PRUEBA 8-A: KATALOX LIGHT®, CRYSTOLITE®, CATALYTIC CARBON®
- PRUEBA 8-B: CRYSTOLITE®, KATALOX LIGHT®, CATALYTIC CARBON®

Dosificación de los químicos

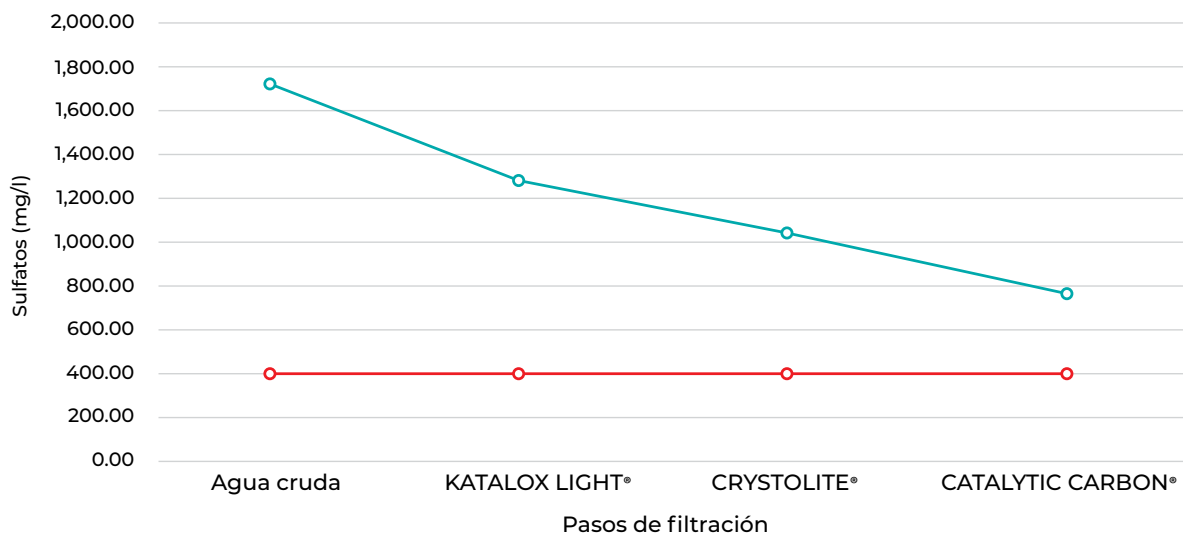
DOSIFICACIÓN QUÍMICOS		
Químico	Por m³	Por 6 L
RED-X® (ml)	2,250.00	13.50
OXY-X® (ml)	-	-
ADSORB-X® (ml)	-	-

Resultados

PRUEBA 8-A – KATALOX LIGHT®, CRYSTOLITE®, CATALYTIC CARBON®

Parámetro	AGUA CRUDA	KATALOX LIGHT®		CRYSTOLITE®		CATALYTIC CARBON®		TOTAL
	Valores	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Remoción total
pH	9.03	10.97		11.24		7.21		
ORP (mV)	72.00	-15.00		11.00		181.00		
Sulfatos (mg/l)	1,725.00	1,275.00	26.1%	1,050.00	17.6%	775.00	26.2%	55.1%
Arsénico (µg/l)	540.30	19.30	96.4%	5.42	71.9%	0.00	100.0%	100.0%
Cobalto (mg/l)	0.55	0.53	3.6%	0.47	11.3%	0.43	8.5%	21.8%
Hierro (mg/l)	0.40	0.38	5.0%	0.15	60.5%	0.14	6.7%	65.0%
Mercurio (µg/l)	27.26	12.09	55.6%	9.50	21.4%	6.63	30.2%	75.7%
Selenio (µg/l)	179.54	163.68	8.8%	141.70	13.4%	126.98	10.4%	29.3%

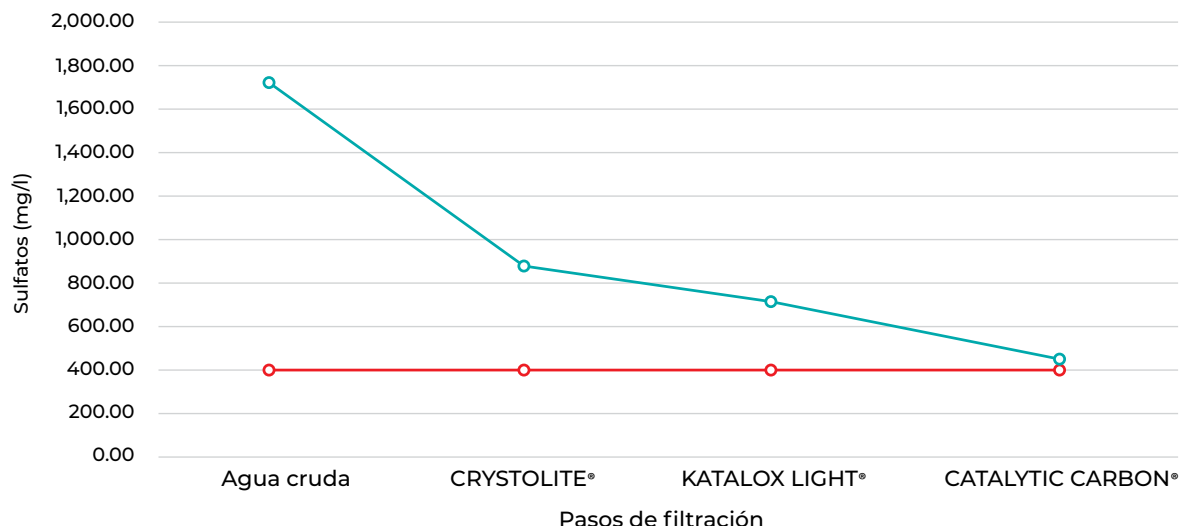
Prueba 8-A - Evolución de la concentración de sulfatos



PRUEBA 8-B – CRYSTOLITE®, KATALOX LIGHT®, CATALYTIC CARBON®

	AGUA CRUDA	CRYSTOLITE®		KATALOX LIGHT®		CATALYTIC CARBON®		TOTAL
Parámetro	Valores	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Valores	%Remoción	Remoción total
pH	9.03	11.22		11.00		7.17		
ORP (mV)	72.00	32.00		34.00		177.00		
Sulfatos (mg/l)	1,725.00	875.00	49.3%	700.00	20.0%	450.00	35.7%	73.9%
Arsénico (µg/l)	540.30	6.34	98.8%	7.28		0.00	100.0%	100.0%
Cobalto (mg/l)	0.55	0.45	18.2%	0.41	8.9%	0.32	22.0%	41.8%
Hierro (mg/l)	0.40	0.36	10.0%	0.25	30.6%	0.12	52.0%	70.0%
Mercurio (µg/l)	27.26	9.71	64.4%	6.44	33.7%	3.90	39.4%	85.7%
Selenio (µg/l)	179.54	133.85	25.4%	115.49	13.7%	83.17	28.0%	53.7%

Prueba 8-B - Evolución de la concentración de sulfatos



Comentarios

- El orden de las medias filtrantes tiene una influencia en la remoción de sulfatos
- El arreglo más eficiente es: **CRYSTOLITE®, KATALOX LIGHT® y CATALYTIC CARBON®**
- Además de mejorar la remoción de sulfatos, este arreglo aumenta la remoción de cobalto, hierro, mercurio y selenio
- La remoción del arsénico fue muy buena (100% de remoción)
- El medidor de sulfatos está ligeramente descalibrado, por lo cual los valores de sulfatos reales son 100 ppm debajo del valor indicado.
- Tomando en cuenta esta variación en la medida de sulfatos, consideramos que se logró disminuir los sulfatos debajo de la norma en la prueba 8-B (valor esperado de sulfatos de 350 ppm)

Comentarios generales

Los siguientes comentarios aplican a todas las pruebas y es importante tomarlos en cuenta para entender bien los experimentos realizados:

- El aumento de pH provocado por KATALOX LIGHT® y CRYSTOLITE® es temporal, debido a que las medias están nuevas y faltaron enjuagarlas adecuadamente. En la instalación real, el retrolavado inicial permitirá evitar que se aumente el pH después de las medias
- El medidor de sulfatos está ligeramente descalibrado, por lo cual los valores de sulfatos reales son 100 ppm debajo del valor indicado

Conclusiones

El sistema RED-OXY® demostró una eficiencia de remoción de sulfatos de **hasta 81.2%**, logrando **remover los sulfatos hasta un valor debajo de la norma** (<400 ppm). El sistema que dio mejor resultados es el siguiente:

1. Dosificación de 2,500 mL/m³ de RED-X® al 5%
2. Pre-filtración (hasta 20 µm)
3. Filtración con CRYSTOLITE®
4. Filtración con KATALOX LIGHT®
5. Filtración con CATALYTIC CARBON®

Para seguir optimizando el sistema, se recomienda realizar una **planta piloto**, con el fin de probar el sistema en condiciones reales. Las pruebas permitirán, entre otras: determinar el tiempo de contacto ideal para cada media filtrante, conocer la cinética de reacción con los sulfatos y optimizar más la dosificación de RED-X®.

Fotografías de las pruebas



Químicos **RED-X®**, **OXY-X®** y **ADSORB-X®** en su forma inicial de polvo, 25 g por bote (para preparar 500 ml de una solución al 5%).



Los químicos fueron preparados con agua destilada y con la ayuda de un mezclador magnético.



Recuperación de la solución con una jeringa, para medir la cantidad exacta y dosificarla con precisión.



Los químicos fueron inyectados en el agua cruda con medición constante del ORP. La solución fue agitada hasta que el ORP se estabilice y se dejó en reposo durante 5 min después.



Se realizó una filtración con papel filtrante (remoción hasta 20 micras aproximadamente), con la ayuda de una bomba de vacío.



Se puede observar la diferencia entre un filtro usado (izquierda) y nuevo (derecha). El color café proviene del hierro añadido al agua para precipitar los sulfatos.



Se realizó la filtración en las columnas de el **KATALOX LIGHT®**, **CRYSTOLITE®** y **CATALYTIC CARBON®**.



Muestra de agua antes (izquierda) y después (derecha) de filtración con **KATALOX LIGHT®**. Se puede observar la remoción del hierro por la variación del color: el color amarillo corresponde a la presencia de hierro.



Entre cada etapa de filtración, se recuperó una muestra de agua, la cual fue enviada a laboratorio.



Se realizaron pruebas en campo para definir los siguientes parámetros: pH, ORP, conductividad y sulfatos.





WATCH WATER FOR BETTER WATER

Oficina generales

Tel. +52 (999) 920 1972

info@watchwater.mx

Calle 27 No. 101 x 20 y 22

Col. Loma Bonita, Mérida, 97205

Yucatán, México