

Contrato núm. SINFRA-APAU-FONREGION-211-2016.

**Diagnóstico del estado actual de la planta potabilizadora
Proaño y puesta en marcha de las instalaciones en la cabecera
municipal de Fresnillo, Zac.**

Informe final

Contenido

ACTIVIDAD 1. Evaluación de las membranas de los sistemas de ósmosis inversa de la planta Proaño.....	1
ACTIVIDAD 2. Optimización de la formación de flóculos en el pretratamiento.	8
ACTIVIDAD 3. Seguimiento de la calidad del agua por un periodo de 5 meses.....	13

Índice de figuras

Figura 1. Remoción de las tapas de las vasijas de presión del tren # 1.....	1
Figura 2. Biopelícula de bacterias sulfato-reductoras en tapa y membranas.....	2
Figura 3. Membranas en posición vertical para el drenado.....	2
Figura 4. Banco de pruebas.....	4
Figura 5 Montaje de la membrana en el banco de pruebas.....	4
Figura 6. Permeado de membrana de la etapa 2 del módulo 1.....	5
Figura 7. Placa para inducción de tubulencia.....	8
Figura 8. Corte de la tubería.....	9
Figura 9. Brida colocada en el corte superior.....	10
Figura 10. Brida soldada en el tubo cortado.....	10
Figura 11. Colocación del tubo cortado.....	11
Figura 12. Colocación de la placa de inducción de turbulencia.....	11
Figura 13. Ajuste de las bridas.....	12
Figura 14. Mezclador estático instalado.....	12
Figura 15. (ANTES DEL TULE O CARRIZO). Agua saliente del bombeo directo de la mina a los lagos de almacenamiento.....	13
Figura 16. (DESPUÉS DEL TULE O CARRIZO), Agua recibida por gravedad en la Planta potabilizadora previo a su potabilización.....	14
Figura 17. (DESPUÉS DE LA POTABILIZACIÓN), Agua almacenada para su distribución, después de pasar por la planta potabilizadora.....	14
Figura 18. Colecta de muestras de Agua en el punto numero dos (DESPUÉS DEL CARRIZO).....	15
Figura 19. Izquierda Presencia de Carrizo (<i>Cañavera Phragmites australis</i>) y Tule (<i>Schoenoplectus acutus</i>) en lago cero (DESPUÉS DEL CARRIZO).....	18

Índice de tablas

Tabla 1. Ubicación e identificación de las membranas y los pesos registrados.....	3
Tabla 2. Resultados de las pruebas de desempeño.....	6
Tabla 3. Resultados de parámetros obtenidos durante la prueba.....	7
Tabla 4. Parámetros bacteriológicos determinados en las muestras colectadas después de la potabilización.....	15
Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos determinados en las muestras colectadas.....	16
Tabla 6. Resultados agua de Lago Cero.....	17
Tabla 7. Resultados muestra antes de la potabilización.....	19
Tabla 8. Resultados muestra de agua DESPUÉS de potabilización.....	20

ACTIVIDAD 1. Evaluación de las membranas de los sistemas de ósmosis inversa de la planta Proaño.

El día 2 de marzo de 2016 se desmontaron 24 membranas de los dos trenes de ósmosis inversa instalados en la Planta Proaño de Fresnillo, Zacatecas.

En el tren número uno, se destaparon las tres vasijas de presión inferiores, tal como se muestra en la Figura 1. Cabe aclarar que solo se extrajeron las membranas de las vasijas exteriores, la vasija central se tapó nuevamente sin extraer las membranas.



Figura 1. Remoción de las tapas de las vasijas de presión del tren # 1.

En el tren número dos solo se destaparon las vasijas de presión inferiores del banco y de los extremos y se extrajeron las membranas, la vasija central no fue abierta.

Al extraer las membranas se observó la presencia de una película negra formada por bacterias sulfato-reductoras que colonizaron tanto las membranas como las tapas de las vasijas de presión. Esto se debió a que el tren de tratamiento no fue desinfectado, al momento en que decidieron detener el proceso, así como al largo periodo que permaneció inactivo. Las fotos siguientes (Figura 2) muestran la tapa y dos membranas recubiertas con la biopelícula de bacterias sulfato-reductoras, pero de distinta intensidad. Nótese que el componente cónico de la tapa es, originalmente, de color blanco. En la segunda foto se aprecia el color original de la membrana y en la última se observa que la cubierta exterior y el extremo de la membrana están totalmente cubiertos por la capa de bacterias sulfato-reductoras.

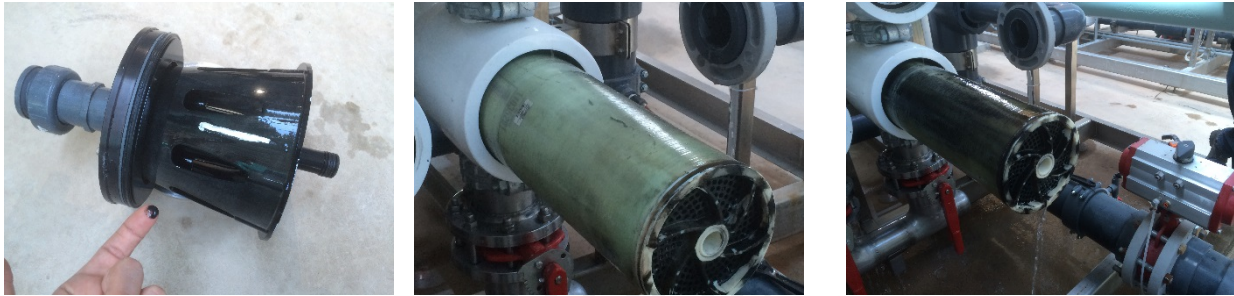


Figura 2. Biopelícula de bacterias sulfato-reductoras en tapa y membranas.

Asimismo, se señala que al destapar el tren 1 se percibió el olor característico del sulfuro de hidrógeno, pero era apenas perceptible. Al destapar el tren 2 la intensidad del olor a “huevo podrido” fue mucho mayor que la del tren 1.

Una vez extraídas las 24 membranas, 6 de cada vasija de presión, éstas fueron colocadas en posición vertical por un plazo de 3 horas. Esto se hizo con el fin de drenar las membranas y poder determinar el peso de ellas. Al cabo de las tres horas de drenado, se sellaron los extremos de las membranas para evitar la pérdida de humedad, así como la entrada de polvo o algún agente externo. En la Figura 3 se muestran a las membranas durante el drenado.



Figura 3. Membranas en posición vertical para el drenado.

El paso siguiente fue el pesado de las membranas. Esto se realiza para determinar que tanta materia sólida se acumuló al interior de la membrana. El peso de una membrana nueva es de 15 kg.

En la tabla 1 se muestra el peso registrado para cada una de las membranas, así como el tren en el que estaba colocada, la etapa a la que corresponde (1ª o 2ª), el número de serie y la posición que ocupó al interior de la vasija de presión (1ª a 6ª).

Tabla 1. Ubicación e identificación de las membranas y los pesos registrados.

Tren	Etapa	Posición dentro de la vasija	Número de serie	Peso kg	
1	1	1	11036087	19.4	
		2	11035480	19.4	
		3	11035291	19.2	
		4	11047829	18.5	
		5	11048171	17.8	
		6	11048071	17.9	
	2	2	1	11036970	20.0
			2	11035594	20.7
			3	11035274	21.8
			4	11035346	22.7
			5	11035547	22.5
			6	11048072	23.5
2	1	1	11035211	18.4	
		2	11035625	18.1	
		3	11036058	18.8	
		4	11036961	18.5	
		5	11026551	17.3	
		6	11036102	17.4	
	2	2	1	11035498	18.5
			2	11034698	18.3
			3	11034754	18.0
			4	11035700	17.2
			5	11036178	17.9
			6	11047558	18.6

En la Tabla 1 se observa que las membranas del banco 1 son las que mayor peso registraron, lo que indica que hay la mayor acumulación de materia sólida, tanto del tipo mineral como bacteriano. Sin duda, esto se puede explicar porque este banco fue operado con antiincrustante caduco y el periodo que permaneció sin uso fue mayor que el del banco 2.

Es una regla empírica, no definitiva, pero las membranas con un peso igual o mayor que 20 kg son muy difíciles de limpiar. Así que para el banco 1, en primera instancia, las evidencias hasta ahora obtenidas son poco favorables. Hay evidencia de colonización bacteriana y la biomasa acumulada es muy importante. Falta la realización de las pruebas de desempeño para poder dar un dictamen definitivo.

PRUEBAS DE DESEMPEÑO

Una vez pesada cada una de las membranas fueron sometidas a una prueba de desempeño para conocer su estado actual y funcionamiento. En la Figura 4 se muestra el banco de pruebas utilizado.



Figura 4. Banco de pruebas

La prueba consistió en: montar cada una de las membranas en el banco de pruebas, Figura 5, alimentar un caudal de agua y monitorear la presión de alimentación y el caudal del permeado, Figura 6.

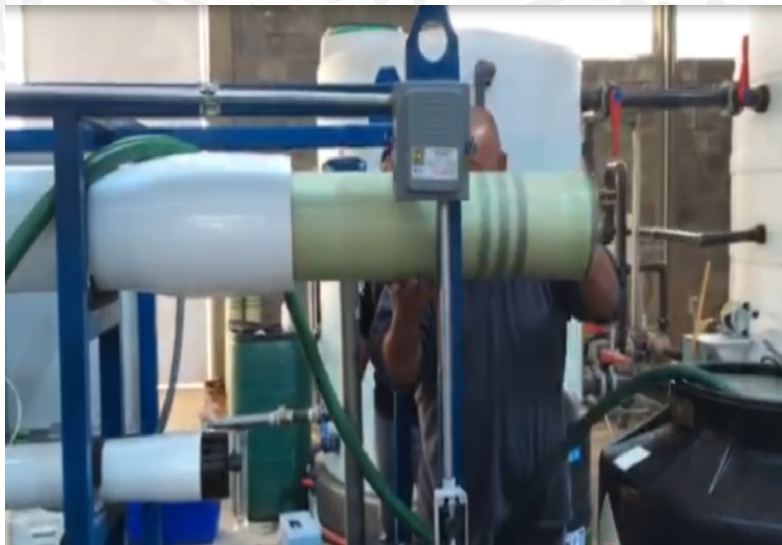


Figura 5 Montaje de la membrana en el banco de pruebas



Figura 6. Permeado de membrana de la etapa 2 del módulo 1

Los resultados que se obtuvieron de cada una de las membranas se muestran en la tabla 2. Observándose que las membranas de la etapa 2 del tren 1 que tuvieron los mayores pesos presentaron los menores caudales de permeado; así como también los menores caudales de alimentación debido a la materia sólida acumulada. Las membranas del tren 2 obtuvieron un mejor desempeño en comparación con el tren 1.

También se midieron conductividad, SDT y pH en el agua de alimentación y el permeado de las membranas en cada una de las pruebas realizadas. Los resultados se muestran en la tabla 3. El tren # 2 y la etapa 1 del tren # 1 presentaron remociones en la conductividad entre un 94 y 98% después de operar la membrana durante 10 a 20 minutos.

Tabla 2. Resultados de las pruebas de desempeño.

Tren	Etapa	Posición	Número de serie	Peso	Caudal de alimentación	Presión de alimentación	Caudal de permeado
				Kg	gpm	psi	L/min
1	1	1	11036087	19.40	31	100	9.47
		2	11035480	19.40	31	100	10.00
		3	11035291	19.20	31	100	10.98
		4	11047829	18.50	31	100	7.58
		5	11048171	17.80	31	100	3.54
		6	11048071	17.90	31	100	1.99
	2	1	11036970	20.00	25	100	1.00
		2	11035594	20.70	25	100	0.31
		3	11035274	21.80	25	150	0.27
		4	11035346	22.70	15	300	0.25
		5	11035547	22.50	15	300	0.79
		6	11048072	23.50	10	300	0.51
2	1	1	11035211	18.40	31	90	10.50
		2	11035625	18.10	31	100	13.00
		3	11036058	18.80	31	100	13.00
		4	11036961	18.50	31	100	10.00
		5	11026551	17.30	31	100	4.00
		6	11036102	17.40	30	260	3.79
	2	1	11035498	18.50	31	100	10.00
		2	11034698	18.30	31	100	9.46
		3	11034754	18.00	25	93	6.50
		4	11035700	17.20	25	100	1.92
		5	11036178	17.90	25	100	2.00
		6	11047558	18.60	25	100	2.64

Tabla 3. Resultados de parámetros obtenidos durante la prueba.

Tren	Etapa	Número de serie	Alimentación			Permeado			Eficiencia de remoción (%)
			conductividad (µS/cm)	SDT (mg/L)	pH	conductividad (µS/cm)	SDT (mg/L)	pH	
1	1	11036087	532.00	295.00	7.88	8.27	4.32	7.90	98.45
		11035480	593.00	313.00	7.81	7.96	4.64	9.30	98.66
		11035291	603.00	303.00	7.82	9.18	4.36	8.37	98.48
		11047829	597.00	288.00	7.82	12.96	5.95	7.80	97.83
		11048171	705.00	321.00	7.93	27.40	12.06	8.36	96.11
	11048071	611.00	285.00	8.01	92.00	42.10	8.02	84.94	
	2	11036970	284.00	143.60	8.44	38.80	19.15	8.93	86.34
		11035594	2,520.00	1,252.00	8.46	411.00	197.60	8.62	83.69
		11035274	244.00	108.40	8.42	704.00	345.00	8.13	-188.52
		11035346	551.00	246.00	8.38	1,854.00	914.00	8.00	-236.48
11035547		407.00	170.80	8.23	334.00	147.40	8.09	17.94	
11048072	217.70	111.50	8.05	686.00	360.00	7.94	-215.11		
2	1	11035211	420.00	196.00	8.00	9.69	4.31	7.93	97.69
		11035625	430.00	202.70	7.94	9.78	4.28	7.45	97.73
		11036058	632.00	287.00	7.97	13.62	5.84	7.40	97.84
		11036961	721.00	326.00	7.96	14.25	6.08	7.65	98.02
		11026551	719.00	325.00	8.02	21.41	9.23	7.65	97.02
		11036102	867.00	344.00	8.03	87.70	33.70	8.14	89.88
	2	11035498	436.00	204.80	7.87	7.42	3.33	7.37	98.30
		11034698	425.00	204.90	7.91	7.43	3.45	7.67	98.25
		11034754	381.00	192.70	8.04	6.93	3.31	no medido	98.18
		11035700							
		11036178	320.00	158.20	8.28	19.02	9.18	8.89	94.06
		11047558							

En las tablas 2 y 3 se observa que las membranas del banco 1 segunda etapa son las que mayor afectación mostraron ya que los caudales del permeado son inaceptables tanto en cantidad ($Q \leq L/\text{min}$), llegando a ser tan bajos como 0.25 L/min a una presión de operación de 300 lb/pulg². Asimismo, las membranas que ocupaban las posiciones 3, 4 y 6 de la segunda etapa presentan incluso eficiencias negativas de remoción. En estos casos el fenómeno que se presenta es, que el permeado obtenido durante el funcionamiento de las membranas, está disolviendo la capa mineral que se había formado al interior de las mismas membranas, por efecto de la operación inadecuada y por el largo periodo de inactividad de la planta.

Si bien, las condiciones que presentan las membranas no son idóneas, especialmente las de la segunda etapa del banco # 1, se considera que todavía son recuperables mediante una limpieza química.

ACTIVIDAD 2. Optimización de la formación de flóculos en el pretratamiento.

Para optimizar la formación de flóculos en el pretratamiento, se instaló, en cada una de las líneas de alimentación a los filtros, una placa para generar condiciones de mezcla por inducción de turbulencia. Cada placa tiene 10 plg de diámetro y está elaborado en polipropileno de alta densidad en la Figura 7 se muestra la placa.



Figura 7. Placa para inducción de turbulencia.

Como parte de los trabajos de instalación se realizó un corte perpendicular en la tubería de alimentación Figura 8. Una vez cortado el tubo, se eliminaron las rebabas de los extremos; esto permitirá que se acoplen adecuadamente las bridas y evitando la acumulación de residuos que puedan provocar obstrucciones en la zona de corte.



Figura 8. Corte de la tubería.

En el corte superior del tubo se insertó la brida y se soldó para dejarla estática Figura 9. En el pedazo de tubo que se cortó se insertó una brida y se soldó (Figura 10) para posteriormente sobreponerla en la tubería de alimentación tal como se muestra en la Figura 11.



Figura 9. Brida colocada en el corte superior.



Figura 10. Brida soldada en el tubo cortado.



Figura 11. Colocación del tubo cortado.

El siguiente paso fue insertar y colocar en la dirección correcta la placa de inducción de turbulencia entre las bridas, Figura 12. Una vez colocado la placa se asegura insertando y ajustado los vástagos en las bridas tal como se muestra en la Figura 13. Y para sellar completamente la tubería se suelda de la parte inferior de donde se realizó el corte de la tubería.



Figura 12. Colocación de la placa de inducción de turbulencia.



Figura 13. Ajuste de las bridas.

Por último, en un costado de la placa de inducción de turbulencia se encuentra una perforación en la cual se conectó la manguera de dosificación del cloruro férrico. Figura 14.



Figura 14. Mezclador estático instalado.

ACTIVIDAD 3. Seguimiento de la calidad del agua por un periodo de 5 meses.

Para la determinación de la calidad del agua existen varios métodos, sin embargo, generalmente se prefiere aquel método que relaciona la calidad con el uso para el que se destina el agua. Esta condición hace que en algunos casos se limiten los parámetros que determinan la calidad del cuerpo de agua, y que, además pueden proporcionar una imagen completa del deterioro ambiental de la cuenca o zona que contiene a la fuente de agua.

En México, existen como referencia, varias guías y normas para determinar la calidad del agua, en todas ellas se evalúa de acuerdo al uso para el que está destinada.

Además de las normas, existe la Guía Ecológica o criterios ecológicos que dan una recomendación para la calidad del agua según los usos de abastecimiento, riego, protección de la vida acuática, recreativo con contacto primario y pecuario. Se cuenta con la normatividad de agua para consumo humano, con la norma de agua para aguas residuales - en donde se clasifican varias calidades dependiendo del uso posterior. Los criterios ecológicos constituyen solamente una recomendación, por lo que la observancia por parte del usuario no es obligatoria.

En México también se hace uso del ICA (índice de calidad del agua), el cual es una adaptación de un modelo norteamericano. En este modelo se utilizan ciertos parámetros a los cuales se les imparte un valor relativo de importancia y límites. Mediante una fórmula, se obtiene un valor en una escala de 0 a 100, para cada parámetro, a partir de los cuales se construye el índice, en base a esos parámetros preestablecidos. La utilidad de este criterio es relativa pues los parámetros que toma como base son sencillos y de importancia ambiental limitada. El índice va a calificar en escala de 1 a 100 la calidad de un agua, siendo el cien el valor máximo de calidad.

En esta sección se realiza un análisis de calidad de agua con resultados de parámetros específicos de la norma NOM-127-SSA1-1997, el análisis se realizó en tres puntos diferentes relacionados con la planta Proaño:

- La primera (ANTES DEL TULE (CARRIZO)). Constituye el origen subterráneo del agua que recibe la Planta Potabilizadora, y que resulta del bombeo del agua de la mina hacia una serie de lagunas para su almacenamiento (Figura 15).

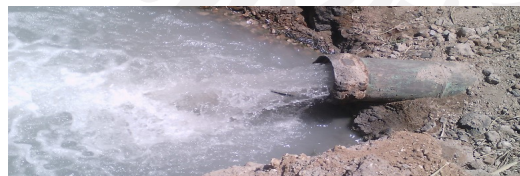


Figura 15. (ANTES DEL TULE O CARRIZO). Agua saliente del bombeo directo de la mina a los lagos de almacenamiento.

- La segunda se colectó de la cisterna de almacenamiento previo a la potabilización (DESPUÉS DEL TULE (CARRIZO)), se le denominó de esa manera para evaluar el efecto del carrizo en la eliminación de contaminantes (Figura 16).



Figura 16. (DESPUÉS DEL TULE O CARRIZO), Agua recibida por gravedad en la Planta potabilizadora previo a su potabilización.

- La tercera (DESPUÉS DE LA POTABILIZACIÓN), en la cisterna de almacenamiento para distribución a la población de Fresnillo Zacatecas, (
- Figura 17).



Figura 17. (DESPUÉS DE LA POTABILIZACIÓN), Agua almacenada para su distribución, después de pasar por la planta potabilizadora.

En cada punto de la colecta de muestras de agua para evaluación de calidad del agua, se siguieron los lineamientos para muestreo de la NMX-AA-003-1980 (Figura 18).



Figura 18. Colecta de muestras de Agua en el punto numero dos (DESPUÉS DEL CARRIZO).

En todos los puntos para la evaluación de calidad microbiológica del agua se utilizaron parámetros de la norma vigente NOM-127-SSA1-1997, que se enlistan en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros bacteriológicos determinados en las muestras colectadas después de la potabilización.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos se incluyeron los que señala esta misma norma y que se enlistan en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos determinados en las muestras colectadas.

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0,20
Arsénico (Nota 2)	0,05
Bario	0,70
Cadmio	0,005
Cianuros (como CN-)	0,07
Cloruros (como Cl-)	250,00
Cobre	2,00
Zinc	5,00
Cromo total	0,05
Dureza total (como CaCO ₃)	500,00
Fenoles o compuestos fenólicos	0,3
Hierro	0,30
Fluoruros (como F-)	1,50
Manganeso	0,15
Mercurio	0,001
Nitratos (como N)	10,00
Nitritos (como N)	1,00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6,5-8,5
Color	20 unidades de color verdadero
Plomo	0,01
Sodio	200,00
Sólidos disueltos totales	1000,00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400,00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Turbiedad	5 unidades (UTN) o su equivalente

Modificación a la NOM-127-SSA-1-1994 publicada en 2000

RESULTADOS

Los resultados de la calidad del agua antes de pasar por el tule (carrizo), es decir el agua que es bombeada directamente de la mina a los lagos de almacenamiento, se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados agua de Lago Cero

ANTES DEL CARRIZO-TULE	28/04/2016	13-07-2016	13-10-2016	17-11-2016
SDT mg/L (LMP 1000)	1913	ANS	ANS	ANS
Sulfatos mg/L (LMP 400)	1245	ANS	ANS	ANS
Turbiedad UNT (LMP 5)	35	ANS	ANS	ANS
Cloruros mg/L (LMP 250)	7.48	ANS	ANS	ANS
Color Verd. UPt-Co (LMP 20)	5	ANS	ANS	ANS
pH (LMP 6.5 - 8.5)	8.22	ANS	ANS	ANS
Dureza total mg/L CaCO ₃ (LMP 500)	999	663	1030	1075
Fenoles T. mg/L (LMP 0.3)	< 0.111	ANS	ANS	ANS
N-NO ₂ mg/L (LMP 1.0)	0.3684	ANS	ANS	ANS
N-NO ₃ mg/L (LMP 10)	12.6	ANS	ANS	ANS
SAAM mg/L (LMP 0.5)	0.157	ANS	ANS	ANS
Fluoruros mg/L (LMP 1.5)	2.53	ANS	ANS	ANS
N-NH ₃ mg/L (LMP 0.5)	0.582	ANS	ANS	ANS
Aluminio mg/L (LMP 0.2)	5.31	30.96	4.76	26.52
Arsénico mg/L (LMP 0.05)	0.0608	0.1977	0.0229	0.0465
Bario mg/L (LMP 0.70)	< 0.20	0.46	<0.5	<0.5
Cadmio mg/L (LMP 0.05)	< 0.0052	0.0164	0.002	
Cobre mg/L (LMP 2.0)	< 0.10	<0.10	<0.05	<0.05
Cromo total mg/L (LMP 0.05)	< 0.02	0.02	0.005	0.016
Hierro mg/L (LMP 0.30)	10.58	48.76	2.21	9.85
Manganeso mg/L (LMP 0.15)	0.45	1.92	0.21	0.46
Mercurio mg/L (LMP 0.001)	0.0009	<0.0005	<0.0005	<0.0007
Plomo mg/L (LMP 0.01)	0.1235	0.6159	0.036	0.311
Sodio mg/L (LMP 200)	155.5	154.25	176.8	186.15
Zinc mg/L (LMP 5.0)	0.63	1.95	0.21	0.53
Cianuros mg/L (LMP 0.07)	< 0.02	< 0.02	< 0.02	<0.02
PLAGUICIDAS CLORADOS mg/L	no detectados	<i>no detectados</i>	<i>no detectados</i>	
TRIALOMETANOS Y BTEX µg/L	no detectados	<i>no detectados</i>	<i>no detectados</i>	

ANS = Análisis no solicitado

Los valores en rojo en la Tabla 6, por un lado, junto al parámetro determinado señalan los límites máximos permisibles, y ya en los resultados determinados en laboratorio en rojo son aquellos que están por arriba de los límites máximos permisibles. Por otra parte los valores que se muestran en fondo verde y números negros se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994. Cabe señalar que en la colecta de muestras del 17 de noviembre de 2016, se realizó de manera normal en la muestra de antes del carrizo-tule. Sin embargo, las muestras de antes de potabilizar y después de potabilizar se colectaron con agua almacenada del proceso debido a que la planta se encontraba en mantenimiento.

Como se puede observar, el agua de inicio antes de pasar por el filtro natural de Carrizo (*Cañavera Phragmites australis*) y de Tule (*Schoenoplectus acutus*) (Figura 19), presenta arriba de los límites máximos permisibles a; SDT, Sulfatos, Fluoruros, Dureza Total, Nitratos, Turbiedad, Fluoruros, Nitrógeno amoniacal, Aluminio, Arsénico, Hierro, Manganeso y Plomo.



Figura 19. Izquierda Presencia de Carrizo (*Cañavera Phragmites australis*) y Tule (*Schoenoplectus acutus*) en lago cero (DESPUÉS DEL CARRIZO).

Los resultados de la Tabla 6, son el control positivo de aquellos parámetros que no cumplen con la NOM-127-SSA1-1994. El siguiente punto de colecta de agua para determinar su calidad fue después de que el agua pasa por este filtro natural y llega en primera instancia por bombeo a una primera cisterna al interior de la Mina Fresnillo y de ahí por gravedad se dirige a la segunda cisterna antes de pasar por la Planta Potabilizadora de la cual se colectaron las muestras, cuyos resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados muestra antes de la potabilización

DESPUÉS DEL TULE	17-03-2016	28/04/2016	13-07-2016	13-10-2016	17-11-2016
SDT mg/L (LMP 1000)	2093 ± 141	1936	1778	1870	
Sulfatos mg/L (LMP 400)	1170	1333	972	1101	1053
Turbiedad UNT (LMP 5)	0.85	0.5	0.15	0.5	0.7
Cloruros mg/L (LMP 250)	10.7	9.74	10.9	30.5	17.2
Color Verd.UPt-Co (LMP 20)	5	7.5	5	2.5	15
pH (LMP 6.5 - 8.5)	7.85	8.36	8.2	7.61	7.97
Dureza total mg/L CaCO ₃ (LMP 500)	1071	851	775	853	912
Fenoles T. mg/L (LMP 0.3)	< 0.0111	< 0.111	<0.0111	<0.0100	<0.0100
N-NO ₂ mg/L (LMP 1.0)	0.0631	0.2733	<0.0213	<0.0200	<0.0200
N-NO ₃ mg/L (LMP 10)	9.84 ± 0.389	9.12	12	4.73	2.79
SAAM ¹⁾ mg/L (LMP 0.5)	< 0.130	<0.130	<0.130	<0.100	<0.100
Fluoruros mg/L (LMP 1.5)	1.82 ± 0.063	4.55	1.25	2.29	1.32
N-NH ₃ mg/L (LMP 0.5)	< 0.284	<0.284	<0.284	<0.200	0.211
Aluminio mg/L (LMP 0.2)	< 0.20	< 0.20	< 0.20	0.023	0.490
Arsénico mg/L (LMP 0.05)	0.0239	0.0222	0.0212	0.0092	0.0169
Bario mg/L (LMP 0.70)	< 0.20	< 0.20	< 0.20	<0.05	<0.50
Cadmio mg/L (LMP 0.005)	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	<0.0010	
Cobre mg/L (LMP 2.0)	< 0.10	< 0.10	< 0.10	<0.05	<0.05
Cromo total mg/L (LMP 0.05)	< 0.02	< 0.02	< 0.02	<0.005	<0.005
Hierro mg/L (LMP 0.30)	< 0.10	< 0.10	< 0.10	0.12	<0.10
Manganeso mg/L (LMP 0.15)	< 0.10	< 0.10	< 0.10	<0.05	<0.05
Mercurio mg/L (LMP 0.001)	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	<0.0005	<0.0005
Plomo mg/L (LMP 0.01)	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050	<0.005	<0.005
Sodio mg/L (LMP 200)	147.73	193.43	196.96	217.6	181.98
Zinc mg/L (LMP 5.0)	< 0.10	< 0.10	< 0.10	<0.10	<0.10
Cianuros mg/L (LMP 0.07)	< 0.02	< 0.02	< 0.02	<0.02	<0.02
PLAGUICIDAS CLORADOS mg/L	no detectados	no detectados	no detectados	no detectados	
TRIALOMETANOS Y BTEX µg/L	no detectados	no detectados	no detectados	no detectados	

Como se observa en la Tabla 7, la combinación de plantas de Carrizo y Tule, que ya se han reportado como plantas útiles para bioremediar sistemas acuáticos, es capaz de reducir los niveles de; Aluminio, Arsénico, Bario, Cadmio, Cobre, Cromo total, Hierro, Manganeso, Mercurio, Plomo y Zinc, con excepción de Aluminio y Arsénico para la muestra del 17 de noviembre de 2016.

En la Tabla 8, se observan los resultados de la muestra de agua después de pasar por el tratamiento de la Planta Potabilizadora “PROAÑO” y los parámetros determinados en tres fechas de muestreo distintas.

Tabla 8. Resultados muestra de agua DESPUÉS de potabilización

DESPUÉS de potabilización	28/04/2016	13-07-2016	13-10-2016	17-11-2016
SDT mg/L (LMP 1000)	636	752	744	
Sulfatos mg/L (LMP 400)	636	422	395	394
Turbiedad UNT (LMP 5)	0.1	0.05	0.2	0.1
Cloruros mg/L (LMP 250)	6.56	12.2	19	13
Color Verd. UPt-Co (LMP 20)	2.5	5	2.5	7.5
pH (LMP 6.5 - 8.5)	8.38	7.9	7.89	7.71
Dureza total mg/L CaCO ₃ (LMP 500)	261	345	312	350
Fenoles T. mg/L (LMP 0.3)	< 0.111	<0.0111	<0.0100	<0.0100
N-NO ₂ mg/L (LMP 1.0)	<0.0213	<0.0213	0.1234	<0.0200
N-NO ₃ mg/L (LMP 10)	3.96	4.22	2	<0.0200
SAAM mg/L (LMP 0.5)	0.143	<0.130	<0.100	<0.100
Fluoruros mg/L (LMP 1.5)	0.9	0.713	1.07	0.771
N-NH ₃ mg/L (LMP 0.5)	<0.284	<0.284	<0.200	<0.200
Aluminio mg/L (LMP 0.2)	< 0.20	< 0.20	0.020	0.024
Arsénico mg/L (LMP 0.05)	0.006	0.0078	0.0045	0.0067
Bario mg/L (LMP 0.70)	< 0.20	< 0.20	< 0.5	< 0.5
Cadmio mg/L (LMP 0.005)	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0010	
Cobre mg/L (LMP 2.0)	< 0.10	< 0.10	< 0.05	< 0.05
Cromo total mg/L (LMP 0.05)	< 0.02	< 0.02	< 0.005	< 0.005
Hierro mg/L (LMP 0.30)	< 0.10	< 0.10	0.14	<0.10
Manganeso mg/L (LMP 0.15)	< 0.10	< 0.10	<0.05	<0.05
Mercurio mg/L (LMP 0.001)	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005
Plomo mg/L (LMP 0.01)	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Sodio mg/L (LMP 200)	63.71	69.64	86.5	73.72
Zinc mg/L (LMP 5.0)	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
Cianuros mg/L (LMP 0.07)	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
PLAGUICIDAS CLORADOS mg/L	no detectados	no detectados	no detectados	
TRIALOMETANOS Y BTEX µg/L	no detectados	no detectados	no detectados	

Como es evidente en la Tabla 8 la efectividad de la planta de potabilización “PROAÑO”, es muy alta debido a que después de dos monitoreos el único parámetro que se salta un poco los límites máximos permisibles fueron los Sulfatos, sin embargo en el muestreo del 13 de octubre, ya los sulfatos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles. Al cierre del presente informe estaba pendiente el dato de cadmio.



CONCLUSIONES

- Las membranas del tren # 2 se encuentran en un estado aceptable, todas fueron capaces de producir permeado a presiones de operación de 100 lb/pulg² (7.03 kg/cm²), los caudales producidos fueron mayores que 1.92 L/min y la eficiencia de remoción osciló entre 89.88 y 98.3 %.
- Las membranas del tren # 1 etapa 1 presentaron un estado de conservación semejante a las del tren # 2. Sin embargo, las membranas de la etapa dos (tren # 1) se detectaron mayores niveles de afectación, ya que algunas de ellas (posición 3, 4 y 6) tuvieron que ser operadas a presiones mayores, el flujo de permeado fue menor que 1 L/min y se observó una eficiencia de remoción negativa. Aun así, se considera que las membranas son susceptibles de volver a funcionar, pero requerirían de 2 limpiezas químicas consecutivas.
- El humedal formado por las plantas de Tule (carrizo) en el “Lago 0”, a la fecha ha mostrado que es capaz de reducir la concentración de Aluminio, Arsénico, Bario, Cadmio, Cobre, Cromo total, Hierro, Manganeso, Mercurio, Plomo y Zinc y por tanto es un pretratamiento muy adecuado para la potabilización del agua ya que reduce las concentraciones de tales elementos a valores que están en cumplimiento de la NOM-127-SSA1-1994(2000).
- La capacidad de reducción de parámetros por arriba de los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994, de la planta de potabilización “PROAÑO”, es muy alta debido a que el único parámetro que se salta un poco los límites máximos permisibles fueron los Sulfatos.
- Es necesario realizar un seguimiento de estos parámetros durante un ciclo anual y determinar el comportamiento de la calidad del agua, así como, la operatividad de la planta potabilizadora “PROAÑO”



ANEXO.

Gráficos de los parámetros determinados

