

Capítulo 5

PLANTA POTABILIZADORA PARA COMUNIDADES RURALES: OPTIMIZACIÓN DE LA COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Resumen

El suministro de agua con características adecuadas para consumo humano, es un problema al que no se le ha encontrado una solución total en México; especialmente en las comunidades rurales pequeñas, donde además la población se encuentra dispersa y en muchas ocasiones también carece de suministro de energía eléctrica. Una alternativa de solución consiste en almacenar el agua de escurrimientos de lluvia en estanques artificiales y posteriormente darle un tratamiento. El objetivo de este trabajo fue establecer la condición óptima de operación para el proceso de coagulación-floculación de una planta piloto compacta de potabilización de agua de lluvia, almacenada en un bordo, desarrollada para pequeñas comunidades rurales, que funciona con energía hidráulica.

En principio se determinó la variabilidad en las características que durante un año presentó el agua recogida y almacenada en el bordo. Se sometió también a estudio para definir a través de pruebas de jarras el efecto que sobre el proceso de coagulación-floculación tienen los factores: tipo de coagulante, dosis, sustancias ayuda de coagulación y floculación, pH y temperatura. Se evaluaron dos sales metálicas comunes, el sulfato de aluminio y el cloruro férrico, así como coagulantes orgánicos tanto industrializados como obtenidos a “nivel laboratorio”. Entre los comerciales se encontraron una amina clorada policuaternaria, el polihidroxiclورو de aluminio y la quitosana, los otros fueron almidón de papa y goma de nopal. Las dosis exploradas se encontraron entre 2 y 580×10^{-5} mol/L para los coagulantes metálicos y entre 0.5 mg/L y 1.34 g/L para los orgánicos. Las ayudas de coagulación-floculación fueron un floculador catiónico y un aniónico comerciales, almidón goma de nopal, quitosana y una zeolita. Los valores de pH ensayados se encontraron entre 3.5 y 8.5 y las temperaturas entre 3.5°C y 25°C. Luego se realizaron corridas en el sitio de la planta ajustando las dosis y modificando un poco la configuración del sistema. Una vez hechos los ajustes, se realizaron corridas con la finalidad de verificar la calidad del agua producida. Se obtuvo agua que cumple con los requisitos de potabilidad con un costo de \$0.15/m³.

Palabras Clave. Potabilización, coagulación-floculación,

Introducción

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Eugene, 1986), en América Latina los servicios de abastecimiento y saneamiento de agua son muy deficientes: sólo uno de cada cinco pobladores tiene acceso al abastecimiento de agua segura, lo que conduce a problemas serios de salud, principalmente en comunidades rurales. Para México, se reporta (INEGI, 1995) que el 84% de la población cuenta con el servicio de agua entubada, sin embargo, de la población rural que consta de 25.2 millones de habitantes, 9.9 millones carecen del servicio. Por otro lado, existen algunas entidades federativas que no llegan ni al 60% de cobertura del servicio, como Chiapas (51.4%), Guerrero (53.2%), Oaxaca (51.3%), Tabasco (56.7%) y Veracruz (56.5%). Por otra parte, cerca de 1 millón de habitantes son los que carecen de servicio de energía eléctrica y agua potable; esta población se localiza concentrada en comunidades con menos de 250 habitantes.

En la zona rural, el uso que recibe el agua depende de la cantidad de la misma en las fuentes disponibles de la zona. En las comunidades que no cuentan con el servicio tecnificado, el agua se emplea para beber, cocinar, aseo personal, lavado de ropa y trastos, así como para animales domésticos. En promedio, en estas comunidades se consumen entre 5 y 10 L para tomar y cocinar, y entre 30 y 50 para aseo personal, lavado de trastos y ropa (Medrano y Huacuz, 1999). El agua que se consume en comunidades que no cuentan con el servicio de suministro, a menudo es de calidad desconocida y muy probablemente deficiente.

En México, los efectos que causa el agua contaminada sobre la salud de la población es grave, se han reportado algunos tipos de enfermedades relacionadas con el consumo de agua que no cumple con los parámetros de calidad para consumo humano, como son cólera, disentería, fiebre tifoidea, hepatitis viral A, rotavirus, fiebre amarilla, diarreas infantiles, salmonelosis, absceso hepático amibiano y amibiasis intestinal. De acuerdo con las estadísticas que reporta la Secretaría de Salud, entre las cinco principales causas de muerte en el país se incluyen las infecciones gastrointestinales en menores de cinco años, en todas las entidades federativas (RIER-CYTED, 1999).

El diseño de instalaciones para el abasto de agua para comunidades rurales de países en desarrollo debe basarse en la aplicación de la tecnología adecuada a sus condiciones y necesidades (Schulz y Okun, 1990). Este criterio cobra importancia primordial al trabajar en comunidades rurales donde la población no rebasa los 250 habitantes, quienes, por lo general, se encuentran muy dispersos, y carecen de medios económicos para pagar el costo de sistemas tecnificados.

El Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA) participó en el proyecto “Agua limpia con energía limpia. Provisión de agua en regiones remotas con suministro de energía solar descentralizado”, auspiciado por la Comisión Europea, en el cual se proponen opciones de suministro de agua potable para comunidades rurales con poblaciones menores a 250 habitantes. El modelo de planta que desarrolló el CIRA consiste en un tren que comprende los procesos de coagulación-floculación, sedimentación, filtración y desinfección, para el tratamiento del agua de lluvia colectada en un bordo o *jagüey* (Díaz *et al*, 2000), siendo una característica importante que no requiere de energía eléctrica para su funcionamiento.

Sin duda, el uso de agentes químicos ocasiona que, de los procesos mencionados para la potabilización, el de coagulación-floculación represente el gasto de operación más relevante. Para que el diseño resulte apropiado es necesario encontrar las condiciones óptimas de operación del proceso, como son: los agentes de coagulación-floculación y los ayudantes de floculación más convenientes aplicados en dosis adecuadas; el pH; los sistemas de mezclado rápido y; para lograr una floculación eficiente, la evaluación de posibles opciones de agentes de coagulación naturales de bajo costo y disponibles en la región. De la revisión bibliográfica realizada, se encontraron datos de características para algunos ríos y lagos empleados como suministro, pero no para bordos, que pudieran servir como referencia.

El objetivo de este trabajo fue establecer la condición óptima de operación para el proceso de coagulación-floculación de una planta piloto compacta de potabilización de agua de lluvia (almacenada en un bordo) desarrollada para pequeñas comunidades rurales.

Metodología

En principio se determinó la variabilidad en las características que durante un año presentó el agua recogida y almacenada en el bordo, se colectaron manualmente las muestras en garrafones de plástico de 20 litros para los análisis fisicoquímicos y en frascos de vidrio con tapón esmerilado de 0.250 L previamente esterilizados, en el caso de los análisis bacteriológicos. Los parámetros determinados fueron: temperatura del agua en el sitio de muestreo, potencial de hidrógeno (pH), alcalinidad, sólidos totales y disueltos, cuenta estándar de microorganismos (bacterias vivas heterótrofas), número más probable de coliformes totales y fecales (NMP), demanda química de oxígeno (DQO), conductividad, turbidez, color, dureza, nitratos, nitritos, fosfatos y demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Los análisis de caracterización se realizaron con los métodos estandarizados de acuerdo con lo establecido por el “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (APHA, AWWA, WPCF, 1992) y las Normas Oficiales Mexicanas (DOF, 1980, 1981, 1982, 1984, 1986, 1987, 1994), que se fundamentan en forma general en los primeros. Las técnicas de análisis se realizaron a más tardar 10 horas después de la recolección de la muestra; al sobrepasar el límite de tiempo antes mencionado, fue necesario emplear el método de conservación, según las recomendaciones específicas para cada caso, por ejemplo refrigeración o acidificación. Las determinaciones de los 10 primeros parámetros se realizaron semanalmente, las últimas en forma quincenal.

Se sometió también a estudio para definir a través de pruebas de jarras convencionales el efecto que sobre el proceso de coagulación-floculación tienen los factores: Características iniciales del agua, tipo de coagulantes, dosis, sustancias ayuda de coagulación y floculación. Se evaluaron dos sales metálicas comunes, el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, así como coagulantes orgánicos tanto industrializados como obtenidos a “nivel laboratorio”. El estudio se realizó considerando el pH natural del agua, sin alterarlo, salvo con la adición del coagulante probado. Entre los primeros se encontraron una amina clorada policuaternaria, el polihidroxicloriguro de aluminio y la quitosana, los últimos fueron almidón de papa y goma de nopal. Las dosis exploradas se encontraron entre 2 y 580×10^{-5} mol/L para los coagulantes metálicos y entre 0.5 mg/L y 1.34 g/L para los orgánicos. Para determinar el efecto del pH, primero se ajustó este parámetro al valor correspondiente en intervalos que fluctuaron entre 3.5 y 8.5, empleando soluciones de ácido clorhídrico o hidróxido de sodio, según fue necesario. El efecto de la temperatura se determinó manteniendo las jarras dentro de un baño con agua y hielo para obtener la temperatura requerida constante. Luego se realizaron corridas en el sitio de la planta, en principio bajo las condiciones comunes de operación, identificando posibles modificaciones. Posteriormente se realizaron las modificaciones correspondientes en la configuración del sistema, ajustando las dosis a valores menores. La eficiencia del tren de tratamiento se evaluó a través de las características obtenidas para el agua tratada.

Resultados

El seguimiento de la calidad del agua colectada en el bordo “Tres Barrancas” mostró, como se esperaba, una gran variabilidad durante el período de estudio. En el lapso comprendido del mes de febrero a diciembre del año de 1999, los valores máximos, mínimos, medios, su variación como desviación típica y coeficiente de variación (relación en porcentaje entre la desviación típica y la media respectiva), pueden observarse en la *Tabla 1*.

Debido a que la influencia de la temperatura, pH, Turbiedad, color, alcalinidad y DQO es de gran importancia sobre la coagulación-floculación, estos parámetros fueron determinados también durante el año 2000 y hasta marzo del 2001M; los resultados se muestran en la *Tabla 2*.

Tabla 1. Características del agua almacenada en el Bordo del ejido “Tres Barrancas”, año 1999.

PARÁMETRO	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	% C.V.
T(°C)	19	13	17	1.6	10
pH	6.8	5.6	6.4	0.2	3
Conductividad (mS)	437	101	181	96.4	53
Turbiedad (FTU)	2600	140	779	685.7	88
Color (UPtCo)	9800	580	3350	2416.5	72
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	183	0	54	36.7	68
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	204	41	92	51.9	56
SDT (mg/L)	1620	4	658	570.9	87
SST (mg/L)	2792	658	252	378.6	150
Cuenta Estándar (UFC/mL)	15.6x10 ³	2.5x10 ³	29.9x10 ³	36.2x10 ³	121
Coliformes Totales (NMP/ 100mL)	110x10 ³	36	9.6x10 ³	26.6x10 ³	277
Coliformes Fecales (NMP/ 100mL)	4.3x10 ³	<30	818	1.1x10 ³	130
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	6.1	1.3	3.4	1.2	37
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	146.2	15.4	68.5	33.8	49
Nitratos (mg/L N-NO ₃)	4.6	0.2	2.0	1.2	60
Nitritos (mg/L N-NO ₂)	0.121	0.001	0.031	0.036	118
Fosfatos (mg de Fósforo/L)	0.046	no detectable	0.027	0.013	48

Tabla 2. Características del agua almacenada en el Bordo del ejido “Tres Barrancas”, evaluadas durante el año 2000 hasta marzo del 2001

PARÁMETRO	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	% C.V.
T°C	19	12	15.3	2.8	18
pH	6.99	5.96	6.62	0.27	4
Turbiedad	440	125	207	92.8	45
Color UPtCo	2410	630	1136	519.9	46
Alcalinidad mg CaCO ₃ /L	85.75	2.8	97.06	19.84	20
DQO mg/L	116.56	26	60.22	28.91	48

Entre los parámetros de mayor importancia se encontraron la turbidez y el color (*Figura 1a*), relacionados con los sólidos suspendidos. Es importante notar que además de la variación estacional se presenta una variabilidad muy importante que puede atribuirse a un proceso de estabilización del cuerpo de agua; al inicio del estudio se observan valores muy altos que inclusive en ese año disminuyen considerablemente. La cantidad de microorganismos (*Figura 1b*) tanto coliformes como termófilos saprófitos se presentan en un número muy elevado durante el período de mayo a septiembre de 2000. Aquí un factor que contribuyó a la disminución posterior de la cuenta microbiana fue la instalación de una malla ciclónica alrededor del bordo para evitar que los animales bajaran y contaminaran el agua con sus desechos.

El pH mostró variabilidad baja de tal forma que para fines prácticos puede ignorarse, la temperatura modificó su valor en un intervalo pequeño, de acuerdo con la estación (*Figura 1c*).

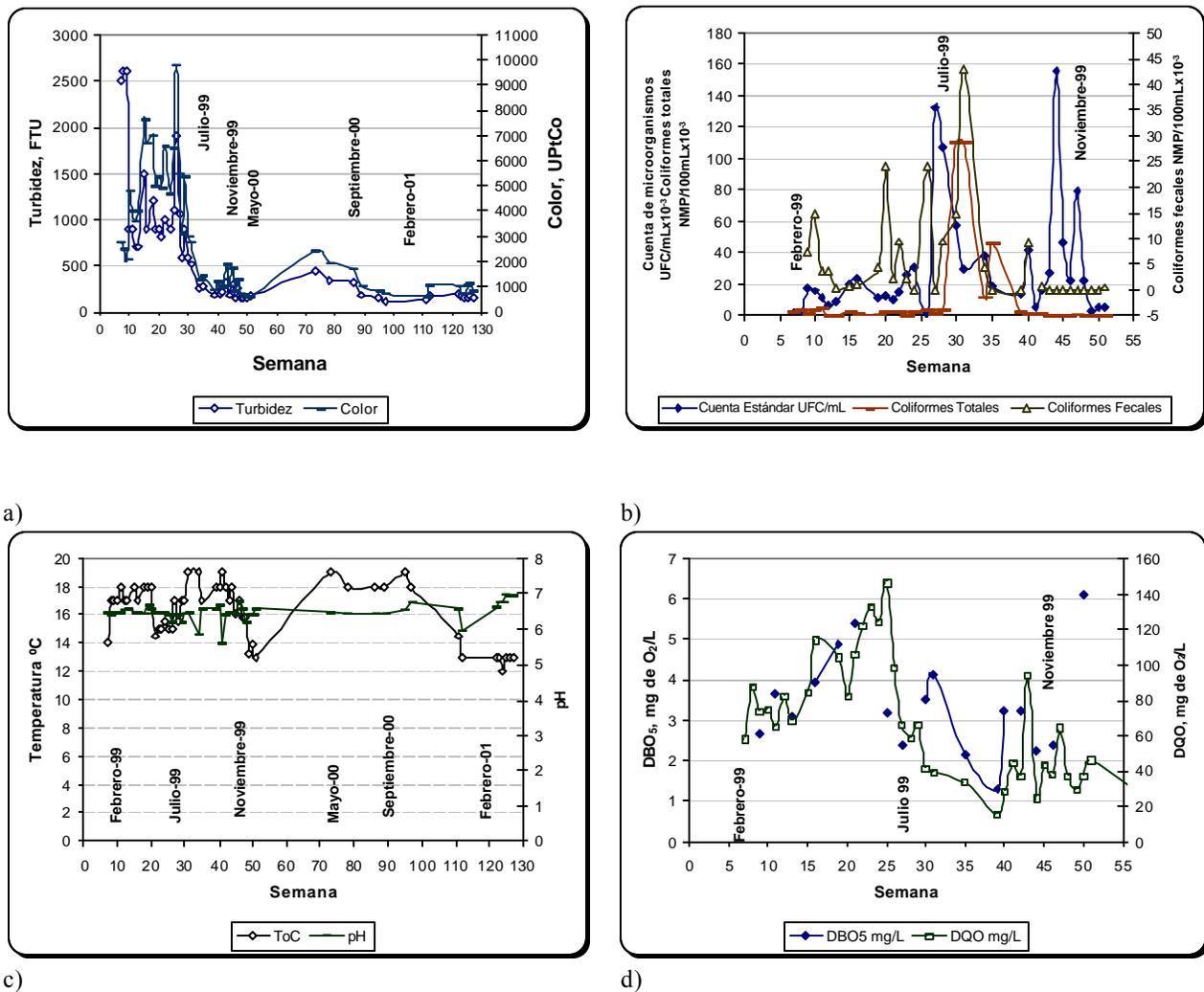


Figura 1. Variación de la turbidez, color, temperatura, pH, parámetros microbiológicos, DBO y DQO para el agua almacenada en el bordo del ejido “Tres Barrancas”.

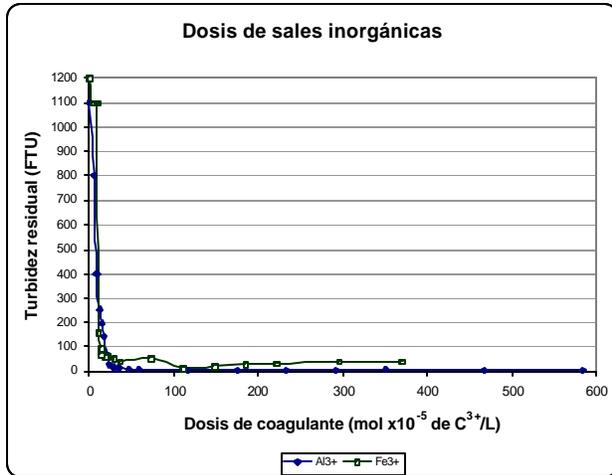
Las demandas bioquímica y química de oxígeno (Figura 1d) presentaron un patrón de variación en el tiempo que fue semejante, siendo la relación entre estos parámetros alrededor de veinte veces mayor para la DQO respecto a la DBO₅, lo que podría ser un indicativo de que una parte considerable de la materia oxidable en el agua es de naturaleza no biodegradable.

La respuesta a la variación de dosis del coagulante adicionado al agua se analizó también a las condiciones de turbidez inicial variable dadas en el bordo, Las Figuras 2a y 2b muestran que los perfiles de eliminación de turbidez tienen cierta similitud de comportamiento al suministrar sulfato de aluminio y cloruro férrico para valores de turbidez inicial de 2100 y 2200 respectivamente, sin embargo para el cloruro férrico se observa cierta reestabilización del floc con dosis superiores a 110×10^{-5} mol/L, siendo mayor la cantidad de cloruro férrico necesaria para alcanzar valores semejantes de turbidez residual. Para una turbidez inicial de 500 FTU (Figura 2c) la disminución en la turbidez residual presentada por el sulfato férrico es brusca al acercarse a la dosis óptima, mientras que para el sulfato de aluminio es paulatina, prevalece la necesidad de dosis más altas de la sal de hierro.

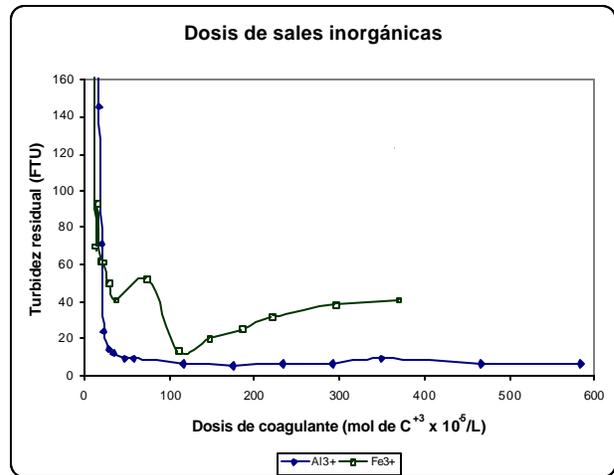
Al trabajar con una turbidez inicial de 390 FTU (Figura 2d) se acentúa el descenso súbito en la turbidez con el aumento de cloruro férrico en la proximidad de la dosis óptima de coagulante. Para valores de turbidez inicial entre 100 y 200

FTU, los perfiles de eliminación presentan comportamientos semejantes a los de las sales metálicas, como se observa en la *Figura 2e*.

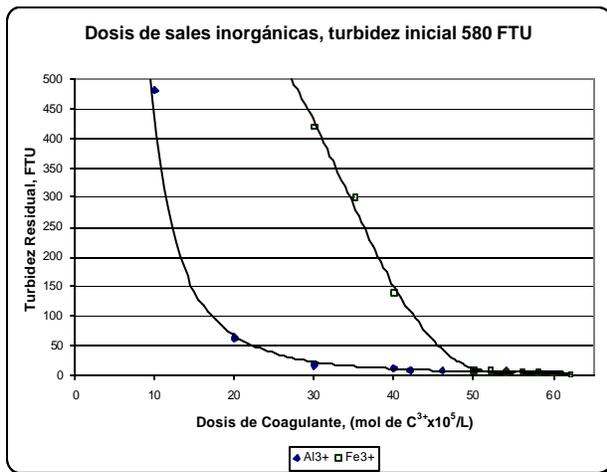
De las pruebas de jarras se encontraron dos intervalos para las dosis óptimas: para agua con turbidez inicial comprendida entre 400 y 1200 FTU, se encontró un intervalo entre 40 y 50 $\times 10^{-5}$ mol/L de alumbre y de 50 y 60 $\times 10^{-5}$ mol/L en el caso del cloruro férrico; mientras que para el agua que presenta valores de turbidez inicial comprendidos entre 100 y 390 FTU se requirieron entre 10 y 20 $\times 10^{-5}$ mol/L de alumbre y entre 20 y 30 $\times 10^{-5}$ mol/L de cloruro férrico. En general las dosis necesarias de cloruro férrico fueron superiores con respecto a las de sulfato de aluminio. En la *Figura 2f* se observan las gráficas que resumen este comportamiento.



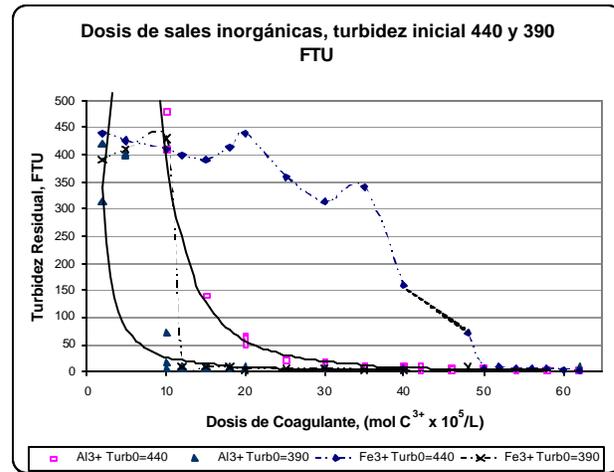
a)



b)



c)



d)

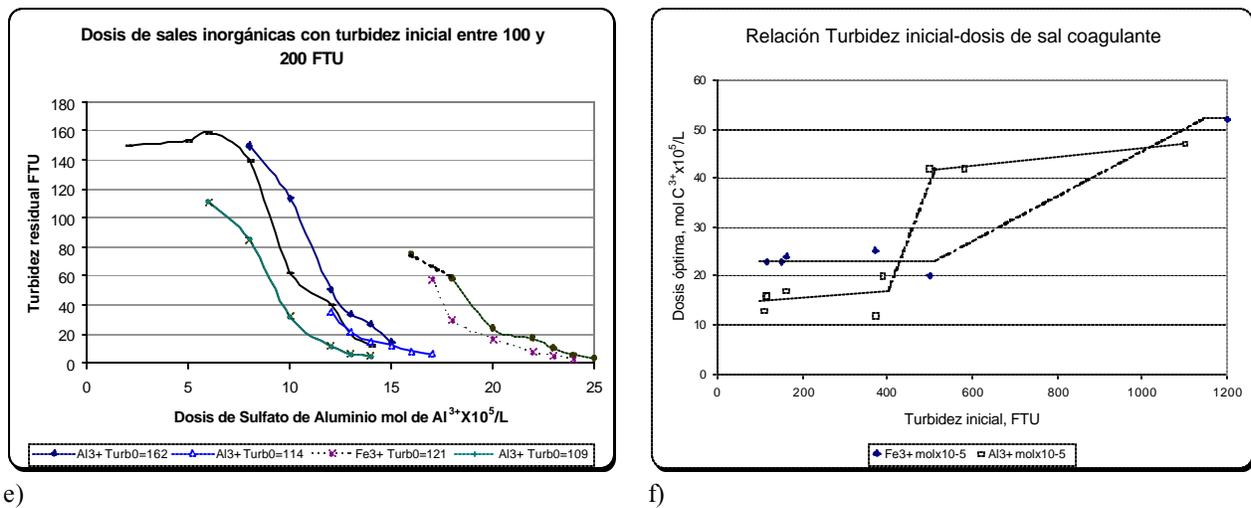


Figura 2. Turbidez residual obtenida con las pruebas de Jarras para sales metálicas.

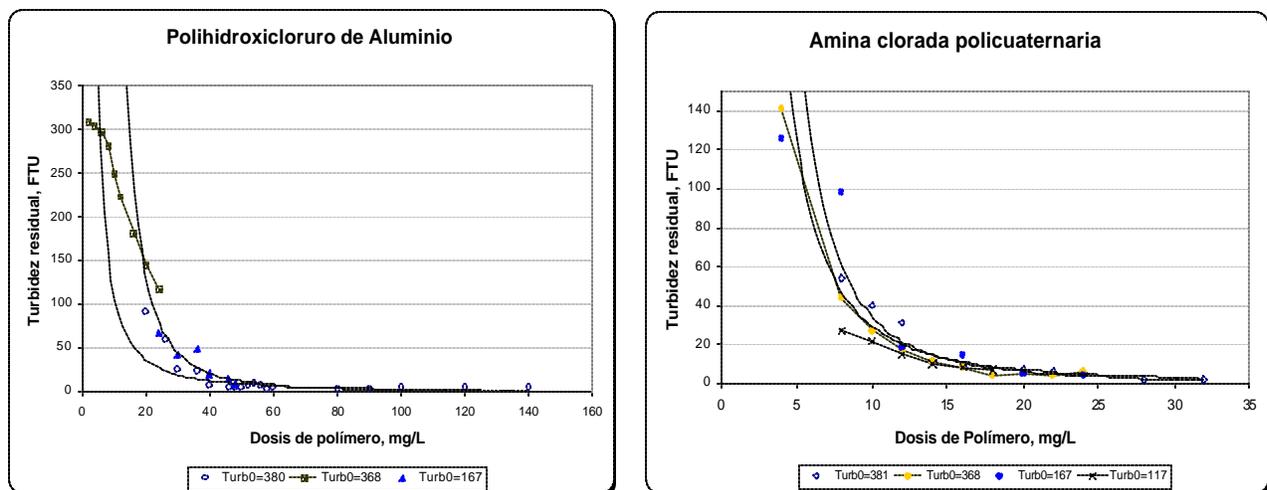


Figura 3. Variación de la turbidez residual obtenida con la aplicación de coagulantes comerciales.

Los polímeros comerciales presentaron un comportamiento similar al del sulfato de aluminio con niveles bajos de turbidez inicial (Figura 3). Esto es una disminución de la turbidez residual con el aumento en la dosis suministrada de coagulante que tiende a un comportamiento asintótico, con dosis óptimas entre 40 y 48 mg/L para el polihidroxiclورو de aluminio y de 16 mg/L para la amina clorada policuaternaria, con valores de turbidez inicial del agua entre 117 y 380 FTU.

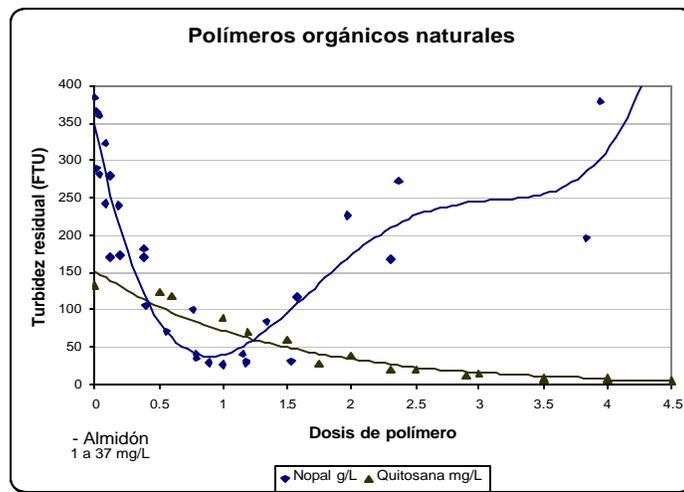


Figura 4. Turbidez residual obtenida con las pruebas de Jarras para los polímeros naturales.

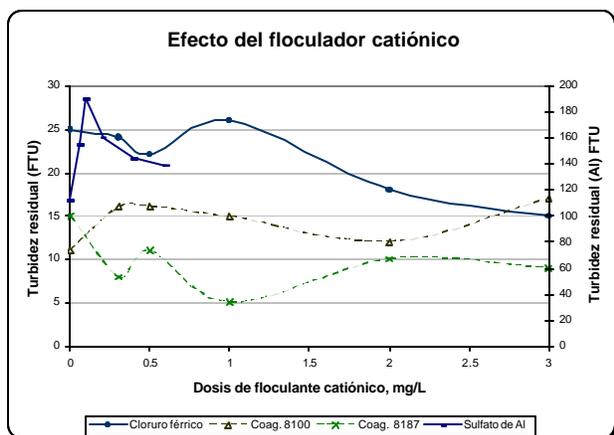
Por otro lado, los polímeros naturales presentaron perfiles distintos tanto en las sales inorgánicas como entre sí; la quitosana muestra una disminución gradual en la turbidez al aumentar la dosis aplicada tendiendo a hacerse asintótico con dosis superiores a 4 mg/L. Es importante señalar que las dosis requeridas en este caso son superiores a las definidas por Kawamura (1991) para agua de río con valores de turbidez inicial semejantes. Al utilizar goma de nopal como coagulante primario es notoria la reestabilización del floc alcanzada a concentraciones mayores a 1 g/L (Figura 4).

Las sustancias empleadas como ayudas de coagulación fueron: almidón, goma de nopal, quitosana, floculante aniónico y catiónico comerciales derivados de poliácridamida y una zeolita. Los coagulantes primarios probados fueron el sulfato de aluminio y cloruro férrico, la adición de estas sustancias en general no presentó beneficios significativos, como se puede observar en las Figuras 5a y 5b, donde se observa que tanto con el floculador catiónico como para el aniónico, se dio un aumento inicial de la turbidez residual y después una disminución poco significativa al aplicar dosis más altas.

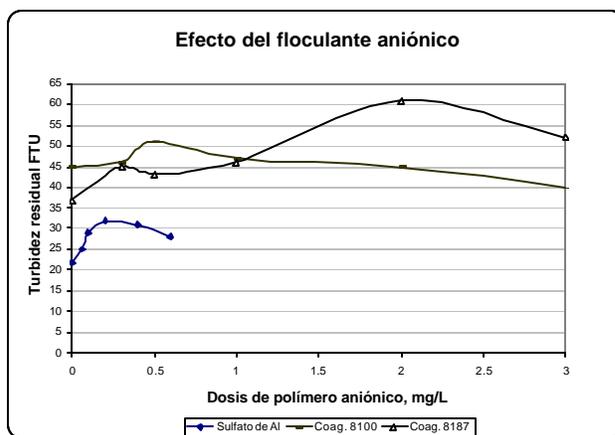
El efecto de la goma de nopal se muestra en la Figura 5c; para este polímero el comportamiento fue semejante al presentado por los agentes floculantes comerciales, sólo que el aumento fue más marcado en la turbidez; para la zeolita se encontró una situación semejante (Figura 5d).

La excepción se observó para el caso de la quitosana con cloruro férrico, en donde de una turbidez residual de 20 FTU con el coagulante primario solo, se redujo a 4.5 FTU cuando se adicionaron además, 0.14 mg/L de quitosana, siendo patente la reducción de turbidez con dosis mayores a 0.05 mg/L de quitosana para todas las dosis de cloruro férrico probadas (Figura 5e).

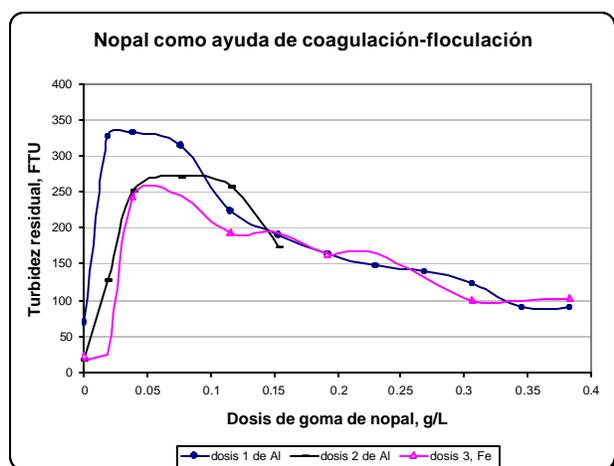
Para el sulfato de aluminio no se observó una tendencia bien definida. Con dosis del coagulante primario cercanas a la óptima, se presentó una ligera tendencia a disminuir la turbidez con el aumento en la dosis de polímero adicionado, sin embargo no se logra una reducción significativa.



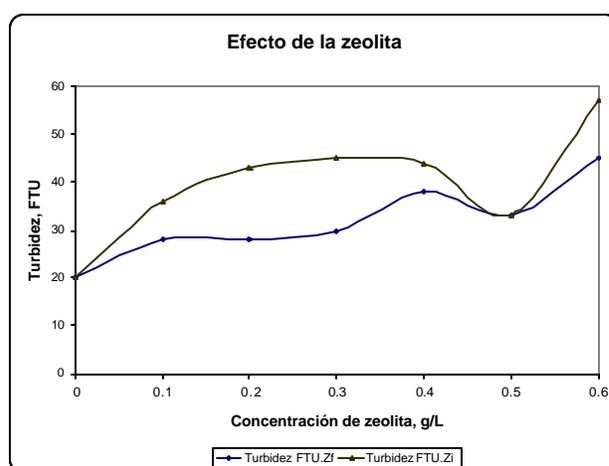
a)



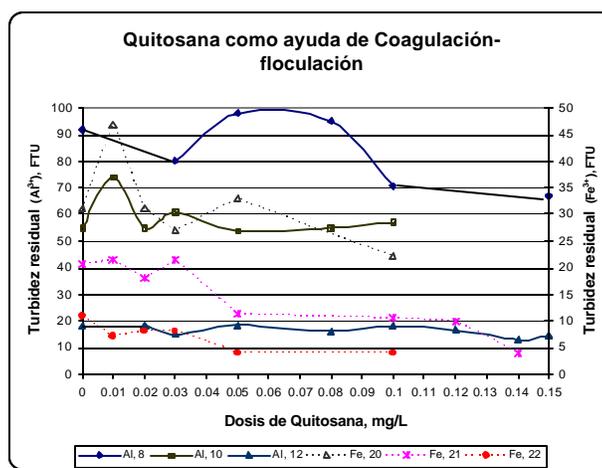
b)



c)



d)



e)

Figura 5. Efecto de las sustancias empleadas como ayuda de coagulación-floculación.

Debido a que en plantas potabilizadoras es común el uso de cal con sulfato de aluminio, tanto para ayuda de floculación, como neutralizador de pH, en este trabajo se probó su efecto, encontrando que a mayor cantidad de cal adicionada, la turbidez residual aumentó respecto a la obtenida en ausencia de cal; el valor del pH también aumentó en forma proporcional, sin llegar a alcanzar la neutralidad con 19 mg/L de cal adicionada (Figura 6a). En la Figura 6b, se observa que la adición simultánea de cal con el sulfato de aluminio resulta nefasta; este efecto negativo disminuye si se adiciona 60 segundos después.

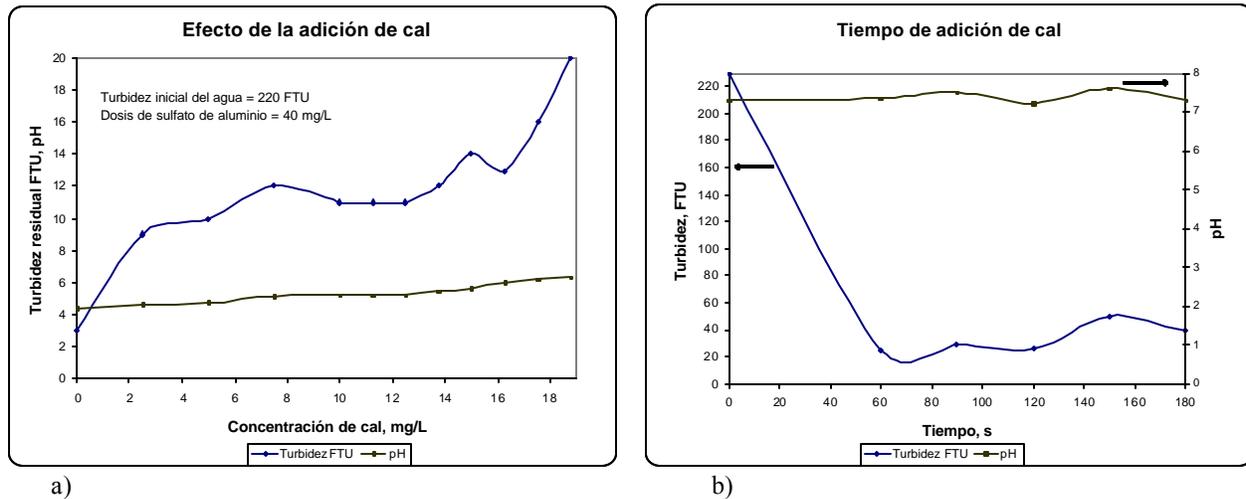


Figura 6. Efecto de la adición de cal y tiempo de suministro.

Habiendo encontrado que la cal utilizada con el sulfato de aluminio tuvo el efecto indeseable de aumentar la turbidez residual en el agua, se probó su eliminación del proceso, encontrándose el comportamiento mostrado en las gráficas de la Figura 7, donde se observa que la modificación del pH final para el agua es poco significativa, mientras que la dosis requerida para llevar el agua a una turbidez de 10 FTU aumentó significativamente de 46 mg/L a 58 mg/L.

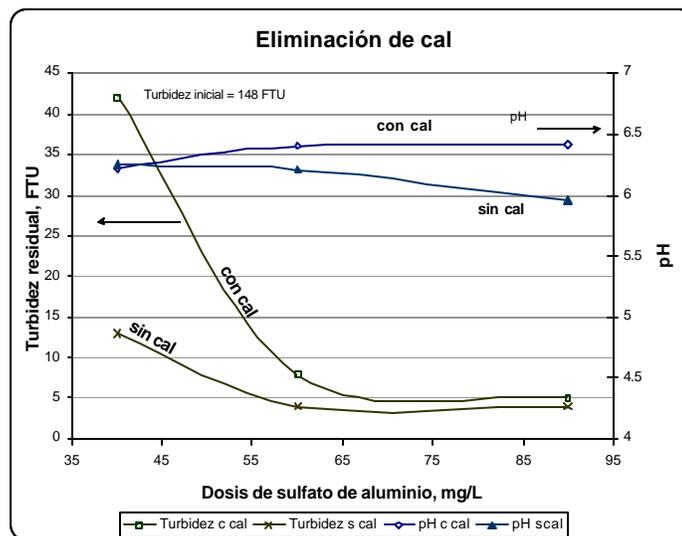


Figura 7. Eliminación de Cal.

Se estudió el efecto que sobre el pH del agua tuvo la adición de sales metálicas para la coagulación floculación. En la Figura 8a en donde se muestra la variación del pH final en función del pH inicial del agua, se observa que la reducción

del pH se puede aproximar a un comportamiento lineal tanto para la dosis óptima (42×10^{-5} mol de Al^{3+}/L y 52×10^{-5} mol de Fe^{3+}/L), como para una menor.

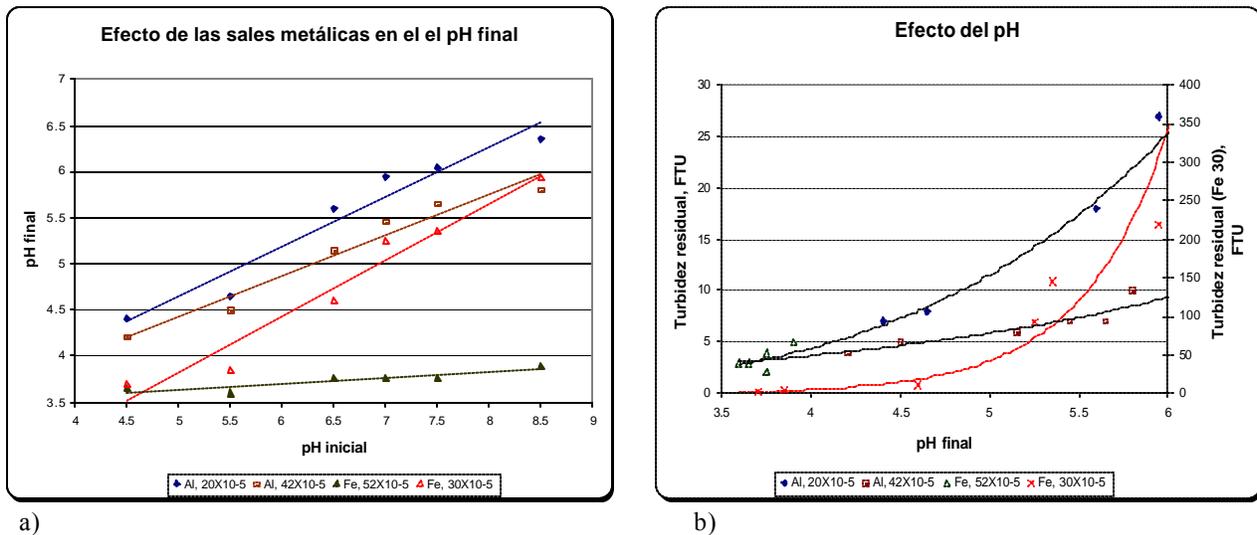


Figura 8. Efecto del pH

En la Figura 8b se observa que la turbidez residual es menor conforme el pH es más ácido, inclusive se observó que con valores menores de 3.5 se precipitan los sólidos suspendidos sin la adición de coagulante, probablemente por llegar al punto isoeléctrico de los coloides.

Con respecto a la temperatura, se observó que las dosis óptimas tanto para el sulfato de aluminio, como para el cloruro férrico, disminuyen al bajar la temperatura en el intervalo de 3.5° C a 25° C, lo que se muestra en las gráficas de la Figura 9.

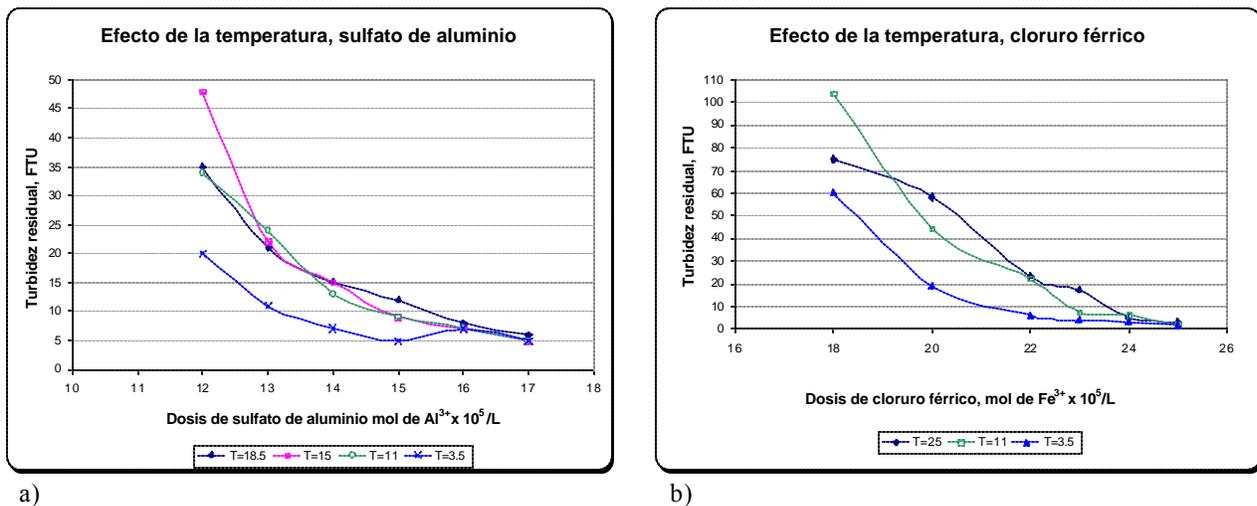


Figura 9. Efecto de la temperatura a) sulfato de aluminio, b) cloruro férrico.

De la operación de la planta en las condiciones fijadas inicialmente, se encontró que se trabajaba con flujos entre 0.26 y 0.29 litros por segundo. Las sustancias empleadas eran sulfato de aluminio en solución con concentración de 1.67 g/L y cal en suspensión de 1.25 g/L. De acuerdo con estas concentraciones y las velocidades de flujo de los reactivos y el agua hacia la caja de mezcla, las dosis de sulfato de aluminio se encontraron entre 60 y 92 mg/L, con una relación cal/sulfato de aluminio que fluctuaba entre 0.48 y 0.87.

Se encontraron algunos inconvenientes en la operación de la planta en las condiciones mencionadas como son: una operación inestable después de 3 horas continuas, variación en las dosis suministradas tanto de sulfato de aluminio como de cal, formación de coágulos con una distribución de tamaños muy heterogénea y dosis de 1.4 a 2.1 veces mayores a las determinadas en pruebas de jarras, además de el efecto negativo de la cal sobre el gasto de sulfato de aluminio. Esto llevó a introducir algunas modificaciones en la operación de la planta.

Las modificaciones realizadas fueron: ajuste del gasto de alimentación entre 0.25 y 0.20 L/s para obtener una operación estable, selección del coagulante sulfato de aluminio por su efectividad, costo, disponibilidad facilidad de preparación y aplicación, se eliminó la cal, ya que su suministro tiene efecto negativo en el consumo de coagulante, disminución de la dosis de sulfato de aluminio y su alimentación en dosis constantes.

La planta se operó con las modificaciones mencionadas, se evaluaron las características obtenidas para el agua tratada, observando que en general el agua obtenida cumple con las características señaladas en la Norma Oficial Mexicana para agua potable NOM-127-SSA1-1994, “Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano - Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua para su Potabilización”, como se muestra en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Resultados para agua tratada y valores límite para agua potable.

Parámetro	Sin Tratamiento	Tratada	Clorada	Valores Límite Nom-127-Ssa1-1994
pH	6.96	6.81	7.02	6.5-8.5
Turbiedad (UNT)	164.7	1.1	2.4	5.0
Color (U PtCo)	1015	13	7	20
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	90.28	65.65	67.35	500.00
SDT (mg/L)	435.2	101.4	104.7	1000.0
Coliformes Totales (NMP/ 100mL)	27	5	<2	2
Coliformes Fecales (NMP/ 100mL)	<2	<2	<2	no detectable
Nitratos (mg/L N-NO ₃)	0.387	0.260	0.080	10.000
Nitritos (mg/L N-NO ₂)	0.020	0.013	0.011	0.050
N-amoniaco (mg/L N-NH ₃)	0.34	0.14	0.36	0.5
Aluminio (mg/L)		no detectado		0.2
Cadmio (mg/L)	<0.02	<0.02	<0.02	0.005
Cobre (mg/L)	<0.03	<0.03	<0.03	2.00
Cromo (mg/L)	<0.06	<0.06	<0.06	0.05
Trihalometanos totales	0.056 x 10 ⁻⁶	46.35 x 10 ⁻⁶	1.36x10 ⁻⁶	0.2
Cloro residual libre (mg/L)			0.18	0.20-1.5

Conclusiones

Se lograron establecer las características de variación en el agua almacenada en el bordo que alimenta a la planta potabilizadora, además de algunas que afectan al proceso coagulación floculación para el agua problema y en la planta de tratamiento. Esto es, de dosis aplicadas en la planta que fluctúan entre 60 y 90 mg/L, en el laboratorio se encontró que para condiciones de turbidez inicial en un intervalo semejante, las dosis necesarias se encuentran entre 30 y 60 mg/L. Con la eliminación de la cal, fue posible reducir los valores mencionados a una dosis media de 50 mg/L en la planta. Se sugirió introducir un sistema de alimentación que aun cuando funciona por gravedad, permite mantener el flujo de solución coagulante prácticamente constante. De las características del flóculo formado y las dosis encontradas con las pruebas de jarras, se consideró que aún se encuentra sobredosificado el sulfato de aluminio, debido a una mezcla rápida deficiente, por lo que se propuso una modificación de ésta para lograr abatir más la cantidad del coagulante y una eficiencia mayor. Aunque el pH ácido favorece la coagulación, el trabajar en estas condiciones requeriría un ajuste

posterior de este parámetro, lo que complicaría la operación, por lo que al respecto no hubo modificación. Además, se sugiere operar la planta durante las primeras horas de la mañana para trabajar con las temperaturas más bajas.

Finalmente, de la operación de la miniplanta potabilizadora, en las condiciones definidas mediante este trabajo, se obtuvo agua que cumple con las características señaladas por la Normatividad Mexicana vigente para consumo humano, a través de un proceso limpio y de costo accesible, siendo el costo de \$0.15/m³.

Bibliografía

- DÍAZ, D. C., GARCÍA, P. D. Y SOLÍS, M. C. (2000) “Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales por medio de un sistema de colección de lluvia-planta potabilizadora”. *Ciencia Ergo Sum*, UAEM: México, 7 (2): 129- 134.
- DOF (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de enero de 1996.
- EUGENE, F. (1986). “Agua y Salud Humana”. Limusa. OMS. México.
- INEGI (1995). “Censo de población de 1995”. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.
- KAWUAMURA, S. (1991). “Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment” *Jour. AWWA*. October: 88-91.
- MEDRANO, V. M. C. Y HUACUZ, V. J. M. (1999). “Problemática del suministro del agua potable en las comunidades rurales de Latinoamérica”. Reporte del Proyecto “Agua limpia con energía limpia” IC18-CT96-0104 (DG12-MUYS) Comisión Europea DG XII.
- RIER-CYTED (1999). “Problemática del suministro del agua potable en las comunidades rurales de Latinoamérica. Síntesis Regional”. Reporte del Proyecto “Agua limpia con energía limpia” IC18-CT96-0104 (DG12-MUYS) Comisión Europea DG XII.
- SCHULZ, C. R Y OKUN D. A. (1990). “Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo”. LIMUSA. México.