

CAPÍTULO 1
INSPECCIÓN INICIAL

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación de una planta de tratamiento de agua se inicia con una inspección inicial cuyo desarrollo debe satisfacer los siguientes objetivos:

- 1) Conocer el sistema e identificar los problemas más evidentes.
- 2) Establecer la capacidad potencial de la planta y sus limitaciones para alcanzar las metas de optimización de la producción. Concepto de múltiples barreras para la protección microbiológica.
- 3) Efectuar un diagnóstico previo que sirva para orientar los recursos necesarios para la posterior evaluación de los procesos más críticos.
- 4) Determinar los recursos disponibles para las siguientes etapas del proceso.

En el desarrollo de la metodología y organización que se propone para la inspección inicial, se ha aprovechado y adaptado la metodología de evaluación integral de la producción (EIP o CPE, por sus siglas en inglés), que emplea la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (1).

2. PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN INICIAL

Esta actividad comprende los siguientes pasos:

- 1) Recopilar información en el sitio.
- 2) Recorrer toda la planta y llenar la ficha de inspección.
- 3) Recopilar y procesar datos de producción.
- 4) Determinar la capacidad potencial de la planta.
- 5) Elaborar un diagnóstico previo.
- 6) Completar la ficha.

Paso 1. Recopilar información

La información que es necesario reunir es la siguiente:

- archivos de control de operación de la planta;
- planos de replanteo de obra de la planta;
- esquema de flujo de la planta;
- manuales de operación y mantenimiento;
- manuales de los equipos;
- presupuestos anteriores y el del año en curso;
- capacidad de la planta.

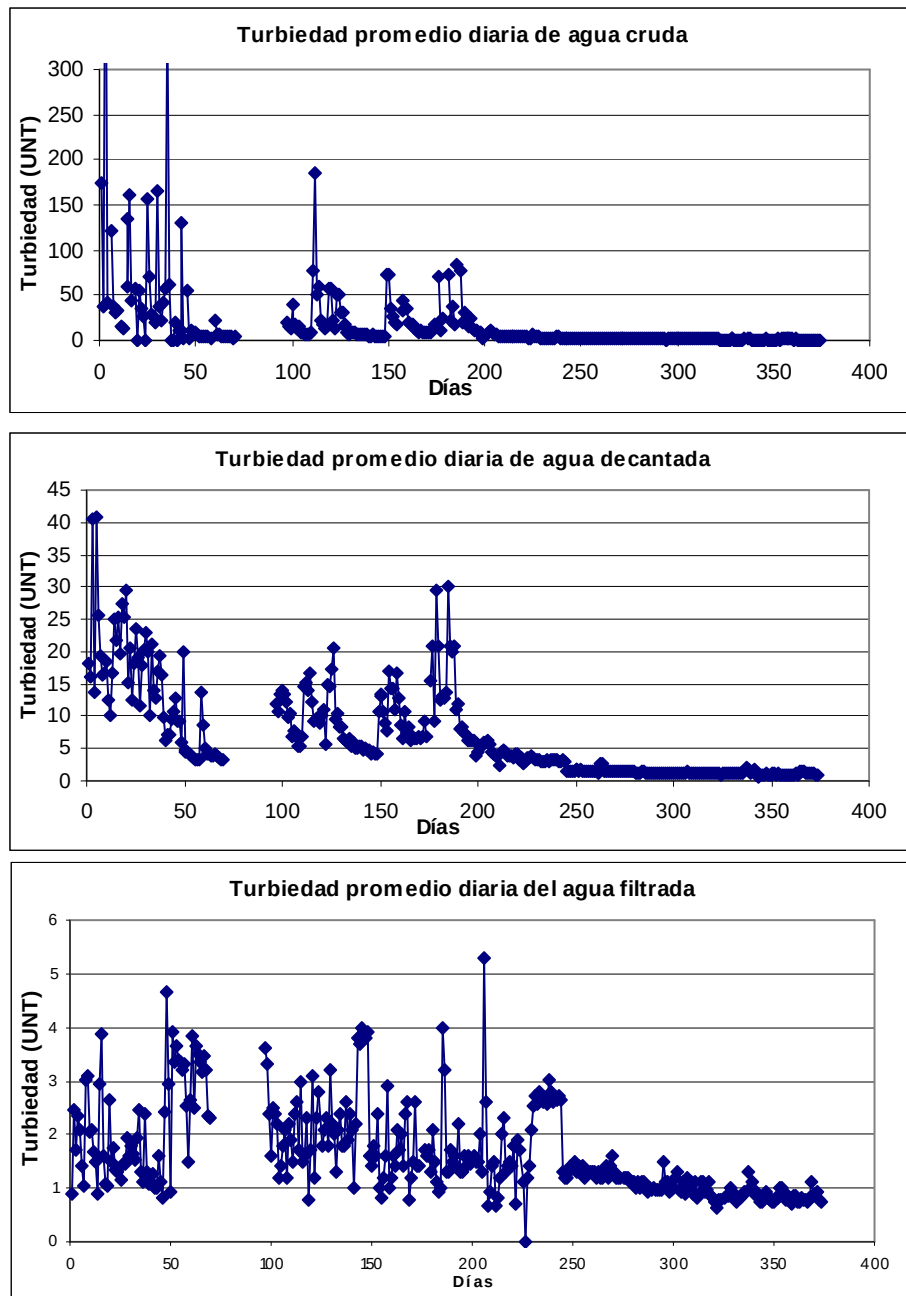
Paso 2. Recorrido por la planta

Se efectúa un recorrido por toda la planta, desde la captación, pasando por la dosificación de químicos y los procesos de tratamiento, y se va llenando la ficha de inspección que se adjunta en el anexo A. Durante este recorrido, se debe preguntar a los operadores acerca de cualquier factor que pueda estar limitando la producción.

Si no hay planos de replanteo de obra de la planta, se puede aprovechar el recorrido para ir tomando las dimensiones de las unidades de los procesos principales: flocculadores, decantadores, filtros, cámara de contacto, tanque de aguas claras o reservorio de salida de la planta.

Paso 3. Recopilación de datos de control de la operación

Se construirán gráficos a partir de la información histórica de turbiedad de los archivos, de tal modo que podamos identificar problemas de comportamiento (ver la figura 1-1).

**Figura 1-1.** Ejemplos de gráficos de tendencia (2)

Se puede apreciar que los picos de turbiedad que presenta la fuente se reproducen en el agua decantada y filtrada, lo que indica que los procesos respectivos no tienen capacidad para amortiguarlos.

Paso 4. Desarrollo del gráfico de potencial de producción

Este gráfico permitirá determinar cómo está siendo utilizada la capacidad física de la planta. Durante este proceso, asignaremos tasas de diseño aceptables para la floculación, la sedimentación y la filtración, y prepararemos un gráfico de barras para ayudarnos en la interpretación de los resultados (ver figura 1-2).

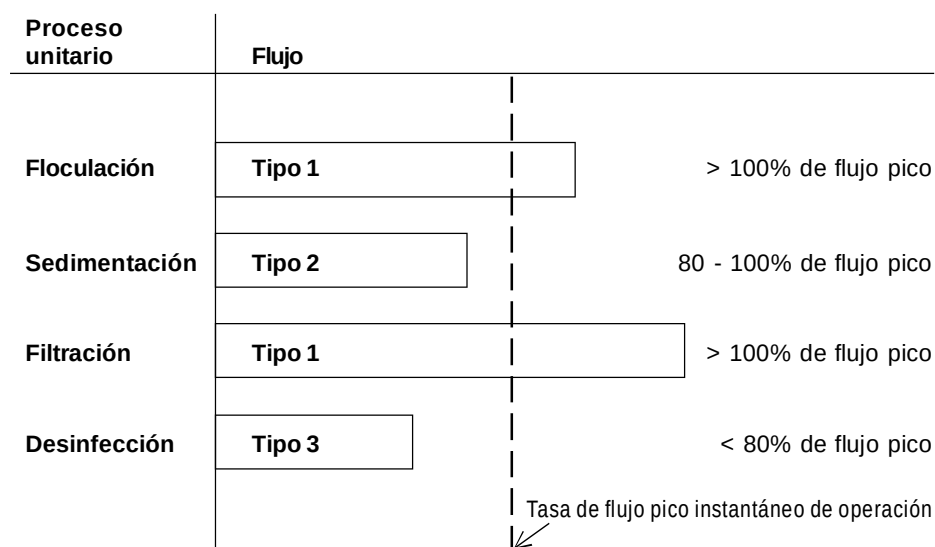


Figura 1-2. Gráfico de potencial de producción (1)

Paso 5. Elaboración de un diagnóstico previo

Analizando toda la información obtenida, podemos efectuar un diagnóstico previo que nos permita orientar la evaluación, profundizando en los procesos más críticos.

Toda la información procesada se incluirá en la ficha de inspección, que, a su vez, servirá de base para preparar la ficha de evaluación (ver un estudio de caso en el anexo B).

3. PAUTAS PARA EL DESARROLLO DEL GRÁFICO DE POTENCIAL DE PRODUCCIÓN

Se determina la capacidad máxima de tratamiento que tienen las unidades de la planta, así como la capacidad de las estructuras principales como floculadores, decantadores, filtros y cámara de contacto y/o reservorio de la planta. No importa si estas unidades presentan problemas de diseño u operación. Se supone que estos pueden ser superados mediante un proyecto de optimización.

3.1 Floculadores

Determinar el caudal máximo que pueden tratar estas unidades en función del volumen que presentan, del número de cámaras o tramos compartimentalizados y del tiempo de floculación requerido de acuerdo con la temperatura del agua (ver cuadro 1-1).

Cuadro 1-1. Criterios para evaluar el floculador. Tiempo base: 20 minutos (1)

Características de la unidad	Temperatura del agua (°C)	Tiempo de retención hidráulica (min)
Una sola etapa*	<0,5	+ 10
	>0,5	+ 5
Múltiples etapas	<0,5	+ 0
	>0,5	– 5

* Cuando no existen deflectores ni compartimientos.

Si consideramos que el agua tiene una temperatura de 15 grados y una sola etapa (por ejemplo, un decantador mecánico de una sola cámara), sobre el tiempo base de 20 minutos, consideraremos un adicional de 5 minutos para determinar el tiempo de retención que debe tener la unidad ($20 + 5 = 25$). En cambio, si la unidad tiene un floculador de pantallas de varios tramos bien compartimentalizados, el tiempo de retención para evaluar la unidad será de $20 - 5 = 15$ minutos.

Procedimiento:

- Definir el tiempo de retención adecuado.
- Calcular el volumen de la unidad.
- Calcular el caudal que esta unidad puede tratar en forma satisfactoria:

Estimación de caudal (Q) = Volumen / tiempo de retención.

3.2 Decantadores

La decantación es una de las barreras que se usan para reducir el potencial de quistes de parásitos que pasan a través de la planta, excepto para aguas de turbiedad baja y uniforme.

El proceso de decantación se evalúa de acuerdo con un valor de turbiedad final del agua decantada de $< 1,0$ UNT en 95% del tiempo, cuando la turbiedad promedio del agua cruda es $= 10$ UNT y < 2 UNT cuando la turbiedad del agua cruda excede de 10 UNT.

El potencial de producción de la decantación se estima principalmente a partir de la tasa de decantación (qs) teniendo en cuenta la profundidad de la unidad y el uso de accesorios de sedimentación más modernos; por ejemplo, módulos tubulares y mecanismos de remoción de lodos. Generalmente, cuando la profundidad es mayor, la actividad es mínima, lo que permite utilizar altas tasas de decantación (véase el cuadro 1-2).

Los mecanismos de remoción de lodos también se deben considerar cuando se establece la tasa (qs) para estimar la capacidad del decantador.

Si el lodo se remueve manualmente, se requiere una mayor profundidad para almacenarlo. En estos casos se debe disminuir la tasa (qs) seleccionada.

La capacidad de los decantadores puede estar restringida a ciertos valores máximos, debido a criterios de tiempo de retención hidráulica establecidos por los organismos reguladores. En estos casos, los criterios establecidos se pueden usar para estimar la capacidad de producción de los decantadores. Sin embargo, si la información de producción existente indica que los tanques de decantación tienen una eficiencia adecuada con tasas superiores a la indicada por las reglamentaciones, los criterios se pueden modificar.

Como se muestra en el cuadro 1-2, se pueden usar módulos tubulares o de placas para mejorar el potencial de producción de la decantación (se pueden adoptar qs más altas).

Cuadro 1-2. Sedimentación del agua fría = 5 °C (1)

Unidades convencionales (circular y rectangular) y de contacto de sólidos				
Unidad convencional, profundidad (m)	Unidad de contacto de sólidos, profundidad (m)	Modalidad de operación		
		Remoción de turbiedad qs (m ³ /m ² .d)	Ablandamiento qs (m ³ /m ² .d)	Remoción de color qs (m ³ /m ² .d)
3,0	3,60 – 4,20	29,0	29,0	18,0
3,60 – 4,20	4,20 – 4,80	35,0	44,0	24,0
> 4,20	> 4,80	41,0	59,0	29,0
Unidades convencionales (circular y rectangular) y de contacto de sólidos con módulos de decantación tubulares (> 45 °C)				
Profundidad (m)	Modalidad de operación			
	Remoción de turbiedad qs (m ³ /m ² .d)	Ablandamiento qs (m ³ /m ² .d)	Remoción de color qs (m ³ /m ² .d)	
3,0	59,0	88,0	29,0	
3,60 – 4,20	88,0	117	44,0	
> 4,20	117	147	59,0	
Otros tipos de módulos			Tasa superficial (m ³ /m ² .d)	
Sedimentadores tubulares horizontales (< 45 °C)			120,0	
Clarificador por contacto o absorción			527,0	
Laminares de placas paralelas			235,0	
Súper Pulsator			88,0	
Con tubos			100,0	
Módulos Claricone para turbiedad			59,0	
Módulos Claricone para ablandamiento			88,0	

Los clarificadores de contacto de sólidos de flujo ascendente presentan una configuración de sedimentación única, ya que contienen procesos de floculación y decantación diseñados como una sola unidad. Esas unidades se pueden medir usando el volumen central para evaluar la capacidad de floculación y el área superficial del clarificador para estimar la capacidad de decantación.

Se proponen las siguientes guías para seleccionar una tasa de decantación que incremente la capacidad del proceso de decantación:

- En el cuadro 1-2 se muestran q_s para estimar el potencial de producción de las unidades de contacto de sólidos rectangulares y circulares que operan en un clima templado con agua fría ($< 5\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- En el cuadro 1-2 se muestran q_s para estimar el potencial de producción de las unidades con módulos tubulares verticales ($> 45\text{ }^{\circ}\text{C}$) que operan en un clima templado con agua fría ($< 5\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Las q_s para estimar la producción potencial de los decantadores son:

- Decantador de placas tipo Lamella
 - a) placas de 3,0 m de largo y 5 cm de espaciamiento con inclinación de 55° .
 - b) tasa superficial de $235\text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$.
- Clarificadores de contacto por absorción:

Tasa superficial de $350\text{ a }470\text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$.

Se pueden utilizar q_s superiores a las mostradas en el cuadro 1-2 para estimar la capacidad potencial de los decantadores, cuando los datos de producción de la planta muestran que la unidad cumple con las metas de producción deseadas con cargas superficiales mayores.

Procedimiento para estimar la capacidad de los decantadores:

- a) Determinar el número de unidades, el área superficial de la zona de decantación y calcular el área superficial total:

$\text{Área superficial total} = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{número de unidades.}$

- b) Seleccionar en el cuadro 1-2 la tasa de decantación que corresponde al tipo de unidad que se está evaluando.
- c) Calcular la capacidad estimada:

$\text{Capacidad (m}^3/\text{d)} = \text{Área superficial total (m}^2) \times \text{tasa de decantación (m}^3/\text{m}^2.\text{d)}$

3.3 Filtros

Generalmente constituyen el último proceso de remoción física y de organismos patógenos y, por ende, se espera que cada unidad de filtración presente altos niveles de eficiencia en forma constante.

Los filtros se evalúan mediante su capacidad para lograr una calidad de agua tratada menor o igual a 0,10 UNT el 95% del tiempo (sin considerar el periodo de 15 minutos luego del retrolavado) sobre la base de un control de producción efectuado con una frecuencia mínima de 4 horas. Las metas adicionales incluyen una turbiedad máxima de agua filtrada después del retrolavado menor o igual a 0,30 UNT, con una recuperación equivalente a 0,10 en menos de 15 minutos.

Cuadro 1-3. Criterios de evaluación para los filtros (1)

Tipo de lecho filtrante	Taponamiento por aire	Tasa superficial (m ³ /m ² .d)
Arena sola	Ninguno	117,0
	Moderado	88,0
	Alto	59,0
Doble o mixto	Ninguno	234,0
	Moderado	176,0
	Alto	117,0
Profundo, > 1,50 m, generalmente de antracita	Ninguno	351,0
	Moderado	264,0
	Alto	176,0

Como se muestra en el cuadro 1-3, la producción potencial del proceso de filtración se estima a partir de una tasa de filtración en m³/m².día, que varía según el tipo de medio filtrante. Para la filtración con medios simples de arena, se usa una tasa máxima de filtración de 117 m³/m².d debido a la tendencia de este tipo de medio filtrante de colmatar rápidamente la superficie al remover las partículas en la parte superior.

Con los medios dobles o mixtos se usa una tasa de filtración de 234 m³/m².día debido a su capacidad de remover partículas en toda la profundidad de la capa de antracita. El uso de la capa de antracita permite alcanzar mayores tasas de filtración y mantener una excelente calidad de agua filtrada. Si se dispo-

ne de información que indique que los filtros mantienen la calidad de producción deseada con tasas de filtración mayores, se puede adoptar esta tasa para estimar el potencial de producción.

Las limitaciones causadas por el taponamiento de aire también pueden tener impacto en la tasa de carga seleccionada para estimar el potencial de producción de un filtro y pueden influir en los valores de la tasa (ver cuadro 1-3). El taponamiento de aire ocurre en los filtros cuando este sale de la suspensión por disminución de la presión o el aumento de la temperatura del agua (el agua se calienta a medida que pasa a través del filtro). El aire colmata los vacíos entre los poros del medio filtrante, lo cual hace que el filtro actúe como si estuviera colmatado y requiriera retrolavado. El resultado consiste en carreras de filtración más cortas y limitaciones en la capacidad hidráulica.

Las instalaciones inadecuadas de retrolavado o lavado superficial, los sistemas de control de velocidad y la integridad de los medios filtrantes y drenajes son áreas que pueden presentar modificaciones mínimas. Estos aspectos se deben evaluar como factores que en el presente están limitando la producción, pero no reducen la capacidad de las estructuras, por lo que no influyen en la tasa de filtración seleccionada.

Procedimiento para estimar la capacidad de los filtros:

- a) Determinar el área que ocupa el lecho filtrante de un filtro (descontando el área del canal de recolección de agua de lavado) y el número de filtros.
- b) Calcular el área filtrante total:

$$\text{Área filtrante total (m}^2\text{)} = \text{Área de cada filtro (m}^2\text{)} \times \text{número de filtros}$$

- c) En el cuadro 1-3 seleccionar la tasa de filtración de acuerdo con el tipo de lecho filtrante.
- d) Calcular la capacidad estimada:

$$\text{Capacidad (m}^3\text{/d)} = \text{Área filtrante total} \times \text{tasa de filtración seleccionada (m}^3\text{/m}^2\text{.día)}$$

3.4 Desinfección

Es la barrera final de la planta de tratamiento, responsable de inactivar cualquier patógeno remanente de los procesos unitarios anteriores.

Este procedimiento se basa en las normas de los Estados Unidos de Norteamérica (8). La norma exige un mínimo de 99,9% de inactivación o remoción (3 log) de huevos de *Giardia lamblia* y al menos 99,99% de inactivación o remoción (4 log) de virus. A partir de esta norma, cada Estado debe elaborar sus propios reglamentos que aseguren esos niveles de desinfección.

La EPA propone un enfoque para asegurar que se cumplan los niveles de desinfección necesarios planteados por las normas (9). Este enfoque emplea el concepto de concentración o dosis del desinfectante (C) multiplicado por el tiempo real (T) durante el cual el agua tratada está en contacto con el desinfectante. Los valores de TC se pueden emplear para estimar los diversos niveles de remoción logarítmica que se pueden obtener por diversos desinfectantes en condiciones específicas de operación (temperatura, pH y desinfectante residual). Se indica también que si bien la inactivación o la remoción de 3 y 4 niveles logarítmicos es la mínima requerida, se puede aumentar si la fuente de agua cruda está sujeta a una contaminación excesiva de quistes o virus.

Los procedimientos que se presentan a continuación se basan en el enfoque de la EPA y tienen como objetivo estimar la capacidad de una planta para cumplir con los requisitos de desinfección a partir de los valores de TC; esto es, en función del grado de contaminación presente en el agua cruda, del tiempo de contacto que permiten las instalaciones existentes y de la dosis de cloro aplicada.

Se brindan procedimientos para la predesinfección y posdesinfección. La predesinfección consiste en agregar el desinfectante antes de la filtración, y la posdesinfección, en hacerlo después de la filtración.

De acuerdo con las normas internacionales, la predesinfección debe aplicarse cuando el NMP de coliformes termotolerantes presentes en la fuente de agua cruda sobrepasa en forma continua de $6 (10)^2$ por 100 mL de muestra.

3.4.1 Posdesinfección

El siguiente procedimiento se emplea para evaluar la capacidad de desinfección de la planta cuando solo se emplea desinfección.

- 1) Estimar el nivel total de reducción e inactivación logarítmica total de *Giardia*, requerido por los procesos de tratamiento de agua, a partir de la calidad del agua cruda o de las características de la unidad.

Generalmente, los requerimientos de inactivación de *Giardia* son más difíciles de alcanzar que los requerimientos para virus; en consecuencia, la inactivación de *Giardia* es la base para este procedimiento. El requerimiento estándar para una planta con buena eficiencia de remoción de partículas es de 3 niveles logarítmicos de inactivación. Se puede requerir considerar 4 niveles logarítmicos o más de inactivación/reducción para un sistema sin protección de la fuente, expuesto a efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales o, lo que es todavía habitual en los países de América Latina, a descargas domésticas sin tratamiento.

- 2) Estimar la capacidad de reducción logarítmica de la planta de tratamiento. En el cuadro 1-4 se presenta la remoción esperada de *Giardia* y virus mediante los diversos tipos de plantas de filtración, en condiciones óptimas.

Cuadro 1-4. Remoción esperada de quistes de *Giardia* y virus mediante filtración (1)

Filtración	Remoción logarítmica	
	<i>Giardia</i>	Virus
Convencional	2,5	2,0
Directa	2,0	1,0
Lenta en arena	2,0	2,0
Tierra de diatomeas	2,0	1,0

- 3) Seleccionar un valor de TC (ver “Valores de TC para la inactivación de *Giardia* y virus mediante Cl_2 libre y otros desinfectantes”, anexo B), a partir de la capacidad de reducción logarítmica necesaria, el pH máximo, la temperatura mínima del agua tratada y el residual máximo de desinfectante estimado. El pH máximo y la temperatura mínima del agua tratada se con-

sideran para asegurar la capacidad del sistema en las condiciones más desfavorables. Cuando se usa cloro como desinfectante, el residual máximo considerado es de 2,5 mg/L (10). Este límite se basa en una investigación que sostiene que el tiempo de retención es más importante que la dosis de desinfectante con cloro residual libre cuando la dosis es superior a 2,5 mg/L. El cloro residual máximo también puede estar afectado por la tolerancia del consumidor a residuales mayores.

- 4) Calcular el tiempo de retención requerido para el TC seleccionado. La ecuación de cálculo es la siguiente:

$$T_{req} \text{ (min)} = TC \text{ (mg/L - min)} / \text{desinfectante residual (mg/L)} \quad (1)$$

Donde:

T_{req} = tiempo de retención requerido.

T_{Creq} = requisitos de TC a partir de los cuadros del anexo 2, para condiciones de posdesinfección.

Desinfectante residual = residual de desinfectante mantenido en el punto de salida de la cámara de contacto o tanque de aguas claras existente.

- 5) Seleccionar un volumen efectivo de los tanques de agua tratada y tuberías de distribución hasta el primer usuario. El volumen efectivo se refiere al volumen de una unidad o tubería que está disponible para proporcionar el tiempo de contacto con el desinfectante. En el caso de reservorios existentes, calcular el tiempo de contacto disponible en las condiciones más desfavorables de operación con la profundidad mínima disponible. El procedimiento más adecuado consiste en determinar el tiempo de contacto real del reservorio en las condiciones más desfavorables, mediante pruebas de trazadores (ver el capítulo 3 de este mismo manual). Si no se dispone de esa información, el volumen efectivo se podrá obtener multiplicando el volumen total del reservorio por los factores indicados en el cuadro 1-5. Se debe tener mucho cuidado para aplicar un factor mayor de 0,10 a un tanque sin compartimientos.

Cuadro 1-5. Factores para determinar el tiempo de contacto efectivo (1)

Existencia de pantallas	Factor	Características del tanque o reservorio de agua tratada
No tiene	0,1	Presenta turbulencia en el interior, alta velocidad de entrada y salida y nivel de agua variable.
Muy pocos	0,3	Entrada y salida simple o múltiple, directa y sin pantallas. Sin compartimientos internos.
Promedio	0,5	Entrada y salida con pantallas y algunos compartimientos internos
Superior	0,7	Entrada con pantalla perforada, pantallas interiores en forma de serpentín (similar a un floculador de flujo horizontal) o perforadas, vertedero en la salida.
Excelente	0,9	Compartimientos en forma de serpentín a lo largo de toda la unidad.
Perfecta	1,0	Flujo de pistón, como de tubería.

- 6) Calcular el caudal con el cual la planta alcanzará los valores de TC requeridos para la posdesinfección. La siguiente ecuación se aplica para el cálculo:

$$Q \text{ (m}^3\text{/d)} = V_{\text{pos}} \text{ (m}^3\text{)} / T_{\text{req}} \text{ (min)} \quad (2)$$

Donde:

Q = caudal con el que se puede alcanzar el TC requerido
 V_{pos} = volumen efectivo para unidades de posdesinfección.

3.4.2 Desinfección previa o predesinfección

El siguiente procedimiento se usa para evaluar la predesinfección cuando se aplica conjuntamente con la posdesinfección. El enfoque supone que ambas pueden cumplir de manera independiente los requisitos de desinfección y, por ende, esas capacidades se suman para estimar la capacidad del proceso de desinfección de la planta. El procedimiento se emplea para determinar la capacidad adicional de desinfección si se practica la predesinfección de la unidad que se está evaluando. Si se practica la predesinfección y la planta tiene problemas con los subproductos de la desinfección, se debe elaborar un gráfico de potencial de producción con dos barras: una que incluya la pre- y la posdesinfección y otra solo la capacidad de

posdesinfección. Eso permitirá a los evaluadores y al personal de la planta determinar la capacidad en el caso de que no se practicara la resedimentación.

Procedimiento:

- Estimar la reducción e inactivación logarítmica total de *Giardia* requerida por los procesos de tratamiento de agua de acuerdo con la calidad de agua cruda o las características de la unidad, tal como se presenta en el procedimiento de posdesinfección.
- Calcular la capacidad de reducción logarítmica de la planta de tratamiento, según se presenta en el procedimiento de posdesinfección.
- Seleccionar el valor de TC requerido para la predesinfección a partir de los cuadros del anexo B. Este valor se debe basar en la reducción logarítmica de la planta, el pH máximo, la temperatura mínima del agua tratada y el desinfectante residual máximo estimado. El valor de TC requerido para la predesinfección puede ser diferente de las condiciones de posdesinfección si existen temperaturas, pH y residuales distintos para las dos condiciones (por ejemplo, la adición de cal o ceniza de soda para aumentar el pH del agua tratada cambiaría el valor de TC requerido para la posdesinfección, en relación con el valor de predesinfección). En el anexo B se presentan los valores de TC para la inactivación de quistes de *Giardia* y virus. Los quistes de *Cryptosporidium* se eliminan con más facilidad que los de *Giardia*, por lo que si estos últimos se eliminan, los otros también.

Nota: Si se usa cloro, para el cálculo se puede adoptar un valor de 1,5 mg/L de cloro residual libre a menos que los registros de la planta especifiquen un residual diferente.

- Estimar el *Treq* (por ejemplo, el valor de TC dividido entre el residual de desinfección estimado) como se presenta en el procedimiento de posdesinfección.
- Calcular el volumen efectivo disponible para proporcionar un tiempo de contacto adecuado para la predesinfección. Evalúe qué unidades y tuberías proporcionarán tiempo de contacto. Generalmente son los floculadores y decantadores, pero podrían incluir tuberías de agua cruda si se inyecta el desinfectante en la captación. Los filtros no se han incluido, porque

generalmente los tiempos de retención de estas unidades son muy breves y por la reducción de cloro residual que a menudo ocurre a través de ellos. Sin embargo, cada vez es más frecuente que las plantas añadan cloro libre antes de la filtración y amoníaco después de la filtración para mejorar la remoción de partículas y minimizar la formación de subproductos de la desinfección (SPD).

Es común encontrar un residual libre de 2 mg/L en el efluente del filtro. Este residual, con un tiempo de contacto de 10 a 15 minutos, puede cumplir con la mayoría de los requisitos del TC. Los volúmenes reales se deben convertir en volúmenes efectivos al aplicar los criterios del cuadro 1-5. Sume los volúmenes parciales para obtener el volumen efectivo total para la predesinfección.

- Calcular con la siguiente fórmula el caudal con el que la planta puede cumplir con los valores de TC requeridos para la predesinfección y la posdesinfección. Utilizar este caudal para estimar la capacidad del sistema de predesinfección y posdesinfección en el gráfico de potencial de producción.

$$Q (m^3/s) = [V_{pre} (m^3) / T_{req pre} (min)] + [V_{pos} (m^3) / T_{req pos} (min)] \quad (3)$$

Donde:

Q = caudal que cumple con el TC requerido
 V_{pre} = volumen efectivo para la predesinfección
 V_{pos} = volumen efectivo para la posdesinfección.

3.5 Ejemplo de aplicación

Se ha efectuado la inspección inicial de una planta de tratamiento, del tipo de filtración rápida, mediante el llenado de la ficha del anexo A durante el recorrido por la planta. Utilizando las dimensiones anotadas de cada unidad y la información de la operación de la planta, se efectuaron los cálculos para determinar el potencial de producción. El caudal pico de esta planta, o máximo caudal con el cual suele operar, es de 70 L/s.

a) Presedimentador

$$\begin{aligned}\text{Área total} &= 294,0 \text{ m}^2 \\ \text{Profundidad} &= 4,0 \text{ m} \\ \text{Tasa de sedimentación seleccionada} &= 10,0 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}\end{aligned}$$

Cálculos:

$$\text{Caudal } Q = [294 (\text{m}^2) \times 10 (\text{m}^3/\text{m}^2.\text{día}) \times 1.000 (\text{L}/\text{m}^3)] / 86.400 (\text{s}/\text{d}) = 34 \text{ L/s}$$

Donde:

Q = caudal estimado que se puede tratar adecuadamente.

Nota: la tasa del presedimentador se obtiene en el laboratorio trabajando con una muestra de agua cruda que se deja en reposo. Se toman muestras cada media hora durante un lapso de tres horas.

b) Floculador

$$\begin{aligned}\text{Volumen total} &= 99,7 \text{ m}^3 \\ \text{Tiempo de retención total} &= 20,0 \text{ min}\end{aligned}$$

Cálculos:

$$\text{Caudal } (Q) = (99,7 \text{ m}^3 \times 1.000 \text{ L}/\text{m}^3) / (20 \text{ min} \times 60 \text{ s}/\text{min}) = 83,0 \text{ L/s}$$

c) Decantadores convencionales

$$\begin{aligned}\text{Área total de las unidades} &= 96,0 \text{ m}^2 \\ \text{Profundidad} &= 4,20 \text{ m} \\ \text{Tasa de decantación seleccionada} &= 35,0 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d} \text{ (ver cuadro 1-2)}\end{aligned}$$

Cálculos:

$$Q (\text{L/s}) = [35 (\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}) \times 1.000 (\text{L}/\text{m}^3) \times 96 (\text{m}^2)] / 86.400 (\text{s}/\text{d}) = 38,9 \text{ L/s}$$

d) Batería de filtros autolavable

Área filtrante total	= 25,2 m ²
Tasa promedio de filtración	= 240 m ³ /m ² .d (antracita y arena)

Cálculos:

$$Q = [25,2 \text{ (m}^2\text{)} \times 240 \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{.d)} \times 1.000 \text{ (L/m}^3\text{)}] / 86.400 \text{ (s/d)} = 70 \text{ L/s}$$

e) Cloración

Datos:

Temperatura	= 20 °C
Cloro residual actual	= 1,3 mg/L
Volumen del reservorio	= 50 m ³

Procedimiento:

- Seleccionamos 3 niveles logarítmicos.
- La planta es de tipo convencional y los principales procesos optimizados podrían llegar a remover 2 niveles logarítmicos, por lo que la desinfección deberá inactivar o reducir 1 nivel logarítmico.
- Entramos a los cuadros del anexo C con los valores de temperatura mínima (20 °C), el pH máximo del agua cruda (7,5) y un residual de cloro optimizado de 2 mg/L y obtenemos un valor de CT de 25,5.

Cálculo:

$$T_{req} = 25,5 \text{ (mg/L} \cdot \text{min)} / 2,0 \text{ (mg/L)} = 13 \text{ min.}$$

- La capacidad de almacenamiento de agua tratada en la planta es de 50 m³ y la planta se encuentra dentro de los límites de la ciudad, por lo que el tiempo de retención en la tubería de aducción es prácticamente despreciable.

Cálculo:

$$Q = [50 \text{ (m}^3\text{)} \times 1.000 \text{ (L/s)}] / [13 \text{ (min)} \times 60 \text{ (s/min)}] = 64 \text{ L/s}$$

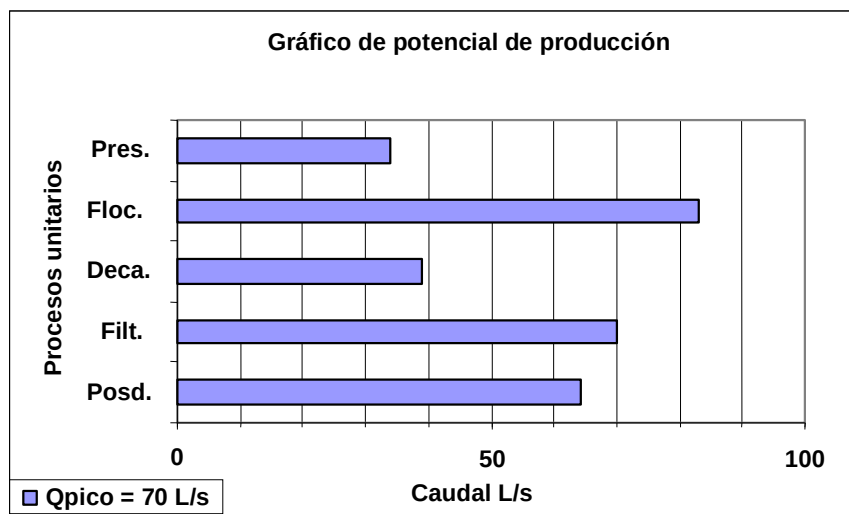


Figura 1-3. Gráfico de capacidad potencial de producción (2)

Los cálculos efectuados se han graficado y así se ha obtenido el histograma de la figura 1-3. Este gráfico está mostrando la capacidad estimada de las unidades de tratamiento y se puede apreciar que el floculador y la batería de filtros tienen capacidad para producir adecuadamente el caudal pico (tipo 1), la capacidad de las instalaciones de posdesinfección se encuentra entre el 80 y el 100% del caudal pico (tipo 2) y la capacidad del presedimentador y de los decantadores es menos del 80% del caudal pico (tipo 3).

En el anexo B se presenta un modelo de la ficha llena después de efectuada la inspección inicial y analizada la información obtenida. Se puede apreciar que la información permite efectuar un diagnóstico de la situación de la planta y determinar cuáles son los procesos críticos que están limitando la obtención de las metas de producción.

El mismo ejemplo, después de la evaluación de la planta, se muestra en la ficha de evaluación anexa al capítulo 3.

REFERENCIAS

- (1) Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. *Optimizing Water Treatment Plant Performance Using the Composite Correction Program*. Cincinnati, Ohio, 1998.
- (2) Vargas, L. Proyectos, fotos y gráficos de archivos personales. Lima, CEPIS/OPS, 2004.

ANEXO A
Ficha técnica para la inspección inicial (2)

Fecha

A. UBICACIÓN

1. País:
2. Nombre de la planta
3. Localidades abastecidas
4. Localización:
Departamento: Provincia: Distrito:
5. Dirección de la planta:
Distancia de la capital: km Altitud: m. s. n. m.
6. Institución propietaria o administradora:

B. FUENTE DE ABASTECIMIENTO, CAPTACIÓN, CONDUCCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO PREVIO

7. Fuente de abastecimiento:
 - a) Quebrada
 - b) Río
 - c) Lago o embalse
- 7.1 Tipo de toma
- 7.2 Conducción de agua cruda:
 - a) Por gravedad
 - b) Por bombeo
- 7.3 Desarenador
- 7.4 Presedimentador
 - a) Largo: m
 - b) Ancho: m
 - c) Área: m²
 - d) Carga superficial: m³/m².d

C. CALIDAD DE LA FUENTE

Solicitar información de calidad del agua cruda de los archivos de la planta de por lo menos un año. Básicamente, promedios mensuales de turbiedad, color,

pH, alcalinidad, número más probable (NMP) de coliformes termotolerantes y también promedios diarios de turbiedad del mes más lluvioso y del mes más seco del año.

D. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

8. Caudal de la planta
 - 8.1 Caudal de proyecto: L/s
 - 8.2 Caudal máximo con el que opera la planta: L/s
Indique los meses del año o situaciones en que se da esta condición:
 - 8.3 Caudal mínimo con el que opera la planta L/s
Indique los meses del año o las situaciones en que se da esta condición:
9. Tipo de planta: filtración rápida
 - a) Patente:
 - b) Convencional clásica:
 - c) Tipo CEPIS/OPS:
 - Año en que se diseñó:
 - Año en que se remodeló/amplió/optimizó:
10. Descripción:
 - 10.1 Medidor de caudal Tipo:
 - 10.2 Mezcla rápida: Tipo: Punto de aplicación:
 - 10.3 Floculadores
 - a) Tipo:
 - b) Número de unidades:
 - c) Número de tramos:
 - d) Profundidad útil: m
 - e) Largo: m
 - f) Ancho: m
 - 10.4 Decantadores
 - Tipo 1
 - a) Tipo:
 - b) Número de unidades:
 - c) Área de cada unidad: m²

Tipo 2

- a) Tipo
- b) N.º de unidades
- c) Área de cada unidad m²

10.5 Filtros

- a) Tipo de filtro: tasa constante Tasa declinante
- b) N.º de unidades
- c) Tipo de lecho filtrante: simple doble
- d) Área de cada filtro m²

10.6 Dosificación

- a) Coagulante: Tipo de dosificador Número
- b) Polímero: Tipo de dosificador Número
- c) Cal: Tipo de dosificador Número
- d) Cloro: Tipo de dosificador Número

E. OBSERVACIONES

Indicar aquí cualquier situación extraordinaria observada en la planta.

F. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR

Se efectuará sobre la base de todo lo observado y la información procesada y se indicará cuáles son los procesos más críticos cuyas unidades requieren ser evaluadas con profundidad para determinar el origen de los problemas.

ANEXO B

Ficha técnica de la planta de filtración rápida (2)

Fecha:

A. UBICACIÓN

1. País:
2. Nombre de la planta:
3. Localidades abastecidas: Capital de la provincia.
4. Localización:
 - a) Departamento:
 - b) Provincia:
 - c) Distrito:
 - d) Distancia de la capital: 24 km
 - e) Altura: 882 m. s. n. m.
5. Institución propietaria o administradora:

B. FUENTE DE ABASTECIMIENTO

6. Fuente de abastecimiento:

- a) Quebradas de los ríos: 1 y 2
- b) Conducción de agua cruda: por gravedad del Río 2 y por bombeo del Río 1. El 80% del tiempo la planta recibe las aguas mezcladas de las dos fuentes; el resto del tiempo solo se abastece a partir de la Quebrada del Río 2.

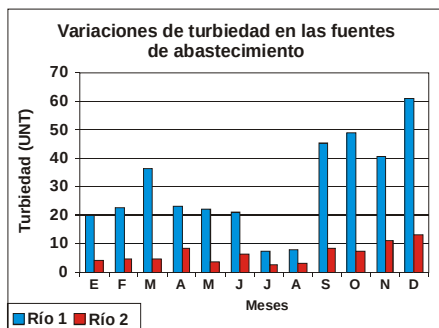


Figura B-1. Variaciones de turbiedad en las fuentes de abastecimiento (2)

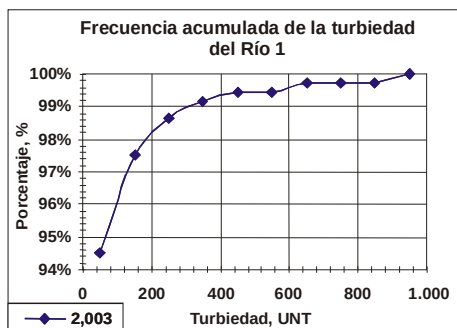


Figura B-2. Frecuencia acumulada de la turbiedad del Río 1 (2)

C. CALIDAD DE LA FUENTE

a) Turbiedad

El gráfico de la figura B-1 permite apreciar que las aguas de la quebrada del Río 2 son de mejor calidad que las del Río 1.

Durante el año 2003, la turbiedad de las aguas del Río 1 varió entre 7,4 y 61,0 UNT; mientras que durante el mismo intervalo, las aguas de la quebrada del Río 2 variaron entre 2,5 y 13,0 UNT.

El gráfico de la figura B-2 permite apreciar que el 95% del tiempo la turbiedad del agua cruda en el Río 1 fue menor de 600 UNT.

b) Color

Las fuentes tienen problemas de color pero no se dispone de información, ya que no se controla por falta de instrumental.

c) NMP de coliformes

Los histogramas de las figuras B-3 y B-4 muestran que el Río 1 está más contaminado que el Río 2.

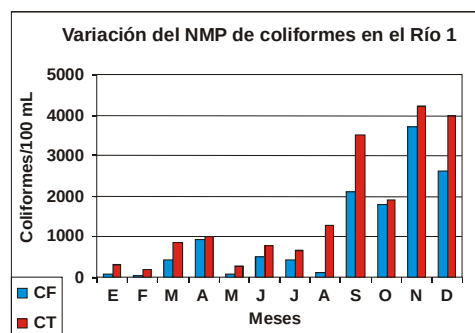


Figura B-3. Variación del NMP de coliformes en el Río 1 (2)

En las aguas del Río 1 el NMP de coliformes fecales o termotolerantes varía entre 4,6 (10) y 3,7 (10)³. En las aguas de la quebrada del Río 2 el NMP de estos coliformes varía entre 0 y 5,75 (10)².

D. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

7. Caudal de la planta

- a) Caudal de diseño: 66 Lps
- b) Caudal de operación: 60 L/s

8. Tipo de planta

Filtración rápida completa.

- a) La planta es mixta: de tecnología apropiada con decantadores convencionales.
- b) Año en que se diseñó: 1987.

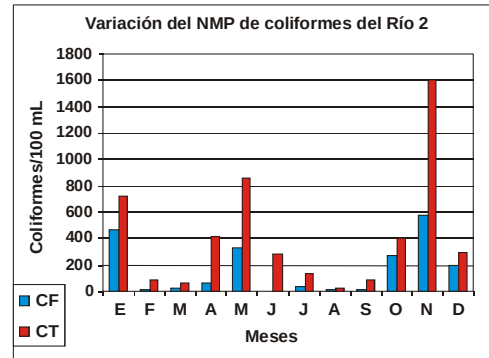


Figura B-4. Variación del NMP de coliformes del Río 2 (2)

9. Descripción

9.1 Medidor de caudal

Macromedidor

9.2 Mezcla rápida

Tipo: Hidráulico, vertedero rectangular. Punto de aplicación: resalto hidráulico.

9.3 Floculadores

Tipo: hidráulico de pantallas de flujo horizontal

- a) Número de unidades: 1
- b) Número de tramos: 3
- c) Ancho de la unidad: 5,17 m
- d) Profundidad útil: 0,80 m
- e) Largo de cada tramo:
 - Tramo 1 = 5,08 m
 - Tramo 2 = 5,20 m
 - Tramo 3 = 5,02 m
- f) Tiempo de retención del proyecto: 16 min
- g) Tiempo de retención de operación: 17,5 min



Figura B-5. Vista panorámica de la planta de agua (2)

9.4 Decantadores

- a) Tipo: convencional
- b) Número de unidades: 2
- c) Área de cada unidad: 78 m² por unidad
- d) Tasa superficial del proyecto: 32 m³/m².día
- e) Tasa superficial de operación: 29 m³/m².día

9.5 Filtros

- a) Tipo de filtro: es una batería de 4 filtros de tasa declinante
- b) Tipo de lecho filtrante: doble
- c) Área de cada filtro: 5,76 m²
- d) Tasa de filtración promedio de diseño: 247,50 m³/m².día
- e) Tasa de filtración promedio de operación: 225,0

Nota: Actualmente hay inconvenientes con la batería de filtros (deterioro de la calidad del agua filtrada).

9.6 Dosificación

Coagulación

- a) sulfato de aluminio;
- b) tipo de dosificador: en solución por gravedad;
- c) número: 1.

Modificador de pH

- a) cal;
- b) tipo de dosificador: en solución por gravedad;
- c) número: 1.

Cloración

- a) tipo de dosificador: de inyección al vacío;
- b) número: 1.

E. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

1. Capacidad potencial de producción de la planta

El gráfico de la figura B-6 permite apreciar que las capacidades de las diferentes unidades de la planta no son uniformes y no tienen la capacidad para tratar conjuntamente el caudal de proyecto.

El floculador tiene un volumen útil de 63 m^3 y, considerando un tiempo de retención de 15 minutos (mínimo adecuado para aguas tropicales), tiene capacidad para tratar 70 L/s.

Los decantadores tienen una superficie de decantación total de 156 m^2 y considerando una tasa de $25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ —una tasa alta, considerando que el flóculo que se forma es de color—, estas unidades podrían tratar como máximo 45 L/s.

Los 4 filtros de la batería tienen un área total de 23 m^2 . Como tienen lecho doble de antracita y arena, estamos considerando una tasa de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{día}$ y en estas condiciones pueden tratar un caudal de 64 L/s. Si el lecho fuera de arena sola, podrían tratar como máximo 45 L/s y estarían en concordancia con la capacidad de los decantadores.

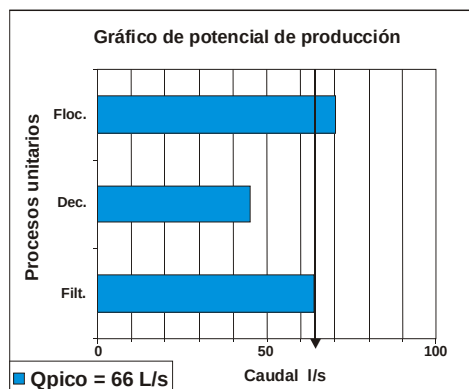


Figura B-6. Gráfico de potencial de producción (2)

2. Evaluación de la producción

a) Turbiedad

El histograma de la figura B-7 muestra la eficiencia de remoción de turbiedad de la planta y se puede apreciar que a pesar de que el agua de las fuentes es relativamente clara (en promedio no sobrepasó de 61 UNT durante

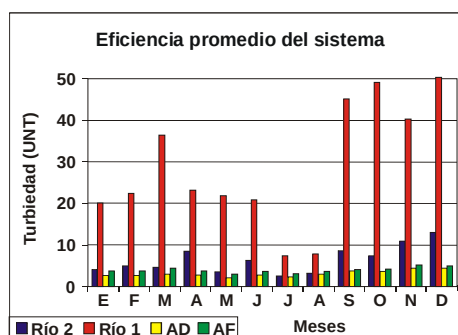


Figura B-7. Eficiencia promedio del sistema (2)

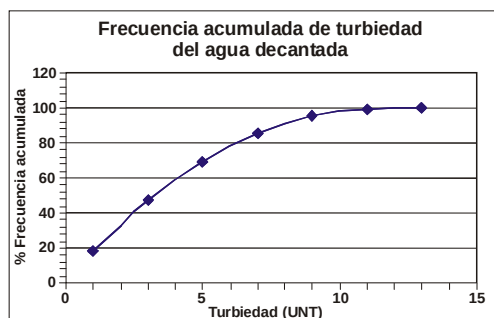


Figura B-8. Frecuencia acumulada de la turbiedad del agua decantada (2)

te el 2003), la planta no alcanzó una buena eficiencia, el agua decantada varió entre 2,1 y 4,4 UNT y el agua filtrada entre 3,0 y 5,2 UNT.

El 95% del tiempo la turbiedad del agua decantada fue menor de 4,70 UNT (véase la figura B-8).

El agua filtrada presentó el 95% del tiempo menos de 4,7 UNT (véase la figura B-9). La información analizada está indicando que la eficiencia de los filtros es nula.

ción analizada está indicando que la eficiencia de los filtros es nula.

El agua filtrada presentó el 95% del tiempo menos de 4,7 UNT (véase la figura B-9). La información analizada está indicando que la eficiencia de los filtros es nula.

b) Capacidad de los procesos de amortiguar los picos de turbiedad y color

El gráfico de la figura B-10 reproduce la variación diaria de turbiedad en las fuentes y en el agua decantada y filtrada, durante el mes diciembre, mes en el se registraron las turbiedades promedio más altas.

También aquí se puede apreciar que la turbiedad del agua decantada es menor que la filtrada; es decir que el agua se deteriora al pasar por los filtros.

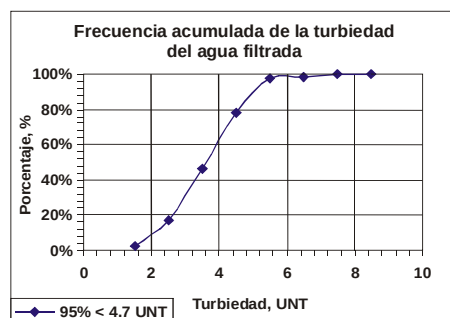


Figura B-9. Frecuencia acumulada de la turbiedad del agua filtrada (2)

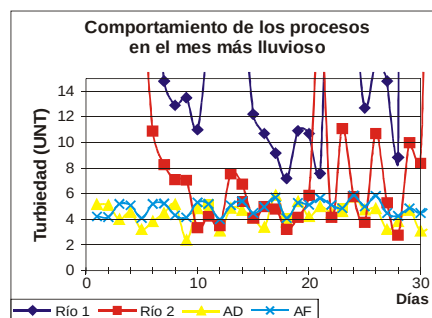


Figura B-10. Comportamiento de los procesos en el mes más lluvioso (2)

También se puede apreciar que hay días en que las aguas del Río 2 son más claras que el agua decantada y que el agua filtrada.

El gráfico de la figura B-11 corresponde al mes de junio, uno de los más secos, y nuevamente se puede apreciar el mismo comportamiento: el agua decantada es más clara que la filtrada. A partir del día 22 se puede apreciar que la fuente del Río 2 tiene menos turbiedad que el agua filtrada y decantada.

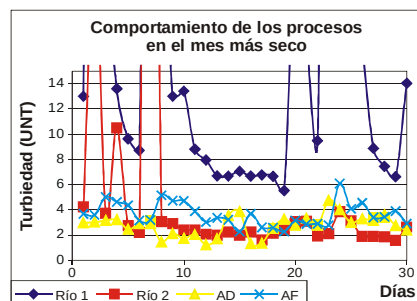


Figura B-11. Comportamiento de los procesos en el mes más seco (2)

El gráfico de la figura B-12 permite apreciar que el pH promedio a la salida de la planta se encuentra siempre alrededor de 7,0 o algo más.

El gráfico de la figura B-13 está indicando que durante el 2003 el NMP de coliformes fecales o termotolerantes en el agua tratada varió entre 0 y 575/100 mL de muestra.

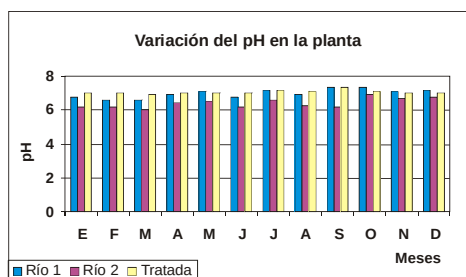


Figura B-12. Variación del pH en la planta

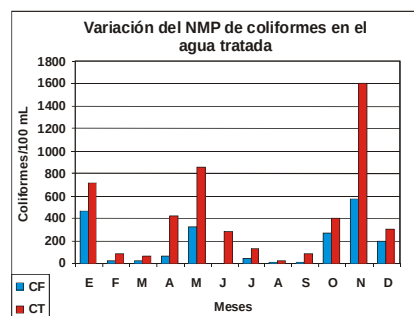


Figura B-13. Variación del NMP de coliformes en el agua tratada

F. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR

La planta no está alcanzando las metas de producción.

Las unidades de decantación no tienen capacidad para producir el caudal pico de operación.

Los parámetros de calidad problemáticos en la fuente son la contaminación fecal, el color y la turbiedad. Se conoce que el color presenta valores superiores a la turbiedad, pero este parámetro no se está controlando por falta de equipos de laboratorio adecuados.

El NMP de coliformes fecales o termotolerantes es muy alto (3,7 (10)³); tiene tres niveles logarítmicos. Con NMP de coliformes fecales superiores a 600/100 mL de muestra, es necesario preclorar.

Teniendo en cuenta que la concentración de color en el agua cruda es mayor que la turbiedad, el flóculo que se está formando en planta debe ser pequeño y liviano y las condiciones de coagulación deben ser más críticas en la época de seca, cuando la turbiedad es muy baja. Este tipo de agua normalmente requiere tasas muy bajas de decantación (15 a 20 m³/m².d) y de recolección (1,5 a 1,8 L/s.m).

No hay dosificadores alternos para el coagulante, cal y cloro, lo que hace muy vulnerable la dosificación.

Es necesario efectuar las pruebas de jarras para definir la velocidad óptima de decantación que requiere el flóculo para producir un agua decantada con una turbiedad igual o menor de 2 UNT.

La eficiencia de los filtros en la remoción de turbiedad y bacterias es nula. Es posible que el lecho filtrante se encuentre en mal estado o que la antracita se haya perdido y solo quede una capa de arena de 0,25 a 0,30 m de espesor. En ese caso, la velocidad con la que está operando la batería es muy alta para un lecho de arena sola.

Los niveles de NMP de coliformes fecales o termotolerantes en el agua filtrada son muy altos. Más aun, si tenemos en cuenta que la planta está ubicada en una zona tropical, de parasitosis endémica.

En resumen, es necesario dedicar mayores esfuerzos a:

- a) Determinar la velocidad óptima de decantación para optimizar las unidades de decantación convirtiéndolas en decantadores de placas.

b) Evaluar a fondo:

- *Coagulación*: dosificación, punto y forma de aplicación del coagulante y tipo de resalto hidráulico.
- *Características del floculador*.
- *Características de la estructura de distribución a los decantadores*.
- *Batería de filtros*: sistema de lavado, altura y estado de los medios filtrantes, carga hidráulica para el proceso, duración de las carreras.
- Determinar si la batería está operando con tasa declinante.