

CAPÍTULO 6

CONTROL DE CALIDAD

Autora:

Ing. Victoria Pacheco Secades

Jefa del Laboratorio Físicoquímico de Control de Calidad del
Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA)
San José, Costa Rica

Revisado y actualizado por:

Ing. Lidia Canepa de Vargas

Asesora en Tratamiento de Agua para Consumo Humano, CEPIS/OPS

1. INTRODUCCIÓN

El agua, tal como se encuentra en la naturaleza, habitualmente no se puede usar en forma directa para consumo humano o para la industria, por no encontrarse suficientemente pura. A su paso por el suelo, el subsuelo o el aire, el agua recoge materia en suspensión o solución como arcillas, organismos vivos como plantas, bacterias, virus y huevos de parásitos, sales disueltas, materias orgánicas y gases.

La presencia de todas estas sustancias obliga a efectuar el tratamiento de las aguas antes de su empleo por los seres humanos.

Las plantas de potabilización del agua —en general, todo centro de producción de agua potable— deben cumplir con el objetivo primordial de suministrar agua segura para la salud de los seres humanos.

Con el fin de garantizar lo anterior, es necesario efectuar una serie de labores de supervisión de las diferentes fases de la producción del agua y del producto final de la planta de tratamiento.

Estas labores son conocidas por el nombre genérico de *control de calidad*, pero en su concepción más amplia, involucran los siguientes componentes principales:

1. Control de procesos
2. Control de calidad del agua
3. Vigilancia de la calidad del agua

El control de procesos y el control de calidad del agua se efectúan en forma sistemática, continua y de acuerdo con programas específicos que debe ejecutar la institución o empresa encargada de brindar el servicio.

La vigilancia de la calidad del agua usualmente debe ser ejercida por un ente superior o designado por ley como responsable de garantizar la potabilidad del agua. A diferencia de los programas de control que deben mantener las instituciones o empresas respectivas, la vigilancia no requiere necesariamente monitoreos continuos sino más bien una organización adecuada, estableciendo prioridades sobre la base de estudios de vulnerabilidad de los acueductos, inspecciones sanitarias, denuncias explícitas de contaminación y otros factores que permitan reducir los riesgos que implica suministrar agua de mala calidad a las diferentes poblaciones de un determinado país.

El presente manual está dedicado específicamente a los temas de control de procesos y de control de calidad en plantas de potabilización del agua.

2. CONTROL DE PROCESOS

2.1 Generalidades

El control de procesos es el conjunto de procedimientos empleados para determinar las características físicas y químicas del agua en una planta de tratamiento. De esta manera, se puede estudiar la magnitud de las transformaciones que sufre la calidad del agua durante los procesos de tratamiento.

Rutinariamente, solo deben efectuarse aquellos análisis que sirvan para estudiar tales transformaciones o para controlar la calidad del agua tratada de manera que se asegure una eficiencia máxima.

Por lo general, el control de procesos es efectuado directamente por los operadores (en su mayoría, funcionarios de nivel no profesional) y, por lo tanto, este tipo de control debe caracterizarse por su simplicidad y efectividad con el fin de reducir la posibilidad de errores.

El cuadro 6-1 contiene las pruebas usuales de control de procesos.

Cuadro 6-1. Parámetros de control de procesos

Ensayo	Entrada a la planta	Salida de decantadores	Salida de filtros
Temperatura	X		
Turbiedad	X	X	X
Color	X	X	X
Sabor y olor	X		
Alcalinidad	X	X	X
pH	X	X	X
Índice de saturación			X
Cloro residual			X
Prueba de jarras	X		

Los ensayos anteriores han sido sugeridos solamente como una guía buscando aquellos que permitan obtener la información básica requerida. En casos muy particulares de plantas de tratamiento de gran porte o de tecnología muy compleja y que disponen de un laboratorio muy bien equipado, manejado por un profesional autorizado, pueden efectuarse otros análisis más especializados, sobre todo si la planta lo requiere para un funcionamiento óptimo; por ejemplo, plantas de remoción de hierro y manganeso, ablandamiento y otros procesos especiales.

En el anexo 1 se incluye la lista de equipos y accesorios recomendados como elementos indispensables para instalar un laboratorio de control de procesos en una planta de tratamiento.

2.1.1 Descripción de pruebas típicas de control de procesos

- Prueba de jarras

Las plantas de filtración rápida requieren un aparato de prueba de jarras para poder controlar la dosificación de coagulantes.

Este aparato incluye un sistema de seis paletas agitadoras con velocidad variable de 0-100 revoluciones por minuto en los sistemas analógicos y de 0-300 revoluciones por minuto en los equipos digitales.

El operador, por medio de esta prueba, puede determinar con suficiente precisión la dosis de coagulante necesaria para tratar el agua, cada vez que ocurra un cambio de calidad que se mide sobre la base de la turbiedad y el color del agua (para la prueba, ver el cap. 11 de *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*).

Además del ensayo básico —denominado *dosis óptima*—, la prueba puede usarse para determinar el pH óptimo de coagulación y otros aspectos que no corresponden al control de procesos.

2.1.2 Turbiedad

Aunque este es un parámetro de tipo estético, es de gran utilidad en el control de los procesos. Se recomienda controlarlo en forma estricta y evaluarlo en las diferentes fases del tratamiento (agua cruda, sedimentada y filtrada, ver cuadro 6-1). El monitoreo de este parámetro debe efectuarse cada hora, o por periodos más cortos si se producen cambios bruscos que lo ameriten. A este respecto, es recomendable instalar turbidímetros de registro continuo para un control más exacto, especialmente en aquellas plantas cuya turbiedad varía en forma rápida.

Los límites de calidad recomendados se indican en el cuadro 6-2.

Cuadro 6-2. Límites recomendados para la turbiedad*

Lugar	Límite recomendable	Máximo aceptable
Antes de la filtración	5	15-20
Después de la filtración	1**	5

*En unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

**Para desinfección óptima.

2.1.3 Color

El color en el agua cruda puede deberse a la presencia de sustancias orgánicas coloreadas, usualmente ácidos húmicos; a metales como el hierro y el manganeso y a aguas de desechos provenientes de las industrias, como las fábricas de papel o textiles.

Al igual que la turbiedad, se recomienda la medición del color en varias fases del tratamiento, según se indicó en el cuadro 6-1.

Después de la filtración, la concentración máxima no debe sobrepasar las 5 U. C. (unidades de color en la escala de platino-cobalto).

2.1.4 Alcalinidad

La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos y se debe principalmente a la presencia de sales de ácidos débiles; a ella contribuyen también las bases débiles y fuertes.

Los bicarbonatos representan la principal forma de alcalinidad. Estos se forman por la acción del bióxido de carbono (CO_2) sobre los materiales básicos presentes en el suelo. Otras sales de ácidos débiles, tales como boratos, silicatos y fosfatos, también pueden contribuir en pequeñas cantidades. Algunos ácidos orgánicos poco resistentes a la oxidación biológica forman sales que aumentan la alcalinidad de los cuerpos de agua.

La alcalinidad es un parámetro básico en el tratamiento del agua. En primer lugar, se necesita cierta concentración de alcalinidad para promover el proceso de coagulación con sales de aluminio o sales férricas. De no haber suficiente alcalinidad, habría que agregarla en forma de cal u otra sustancia alcalinizante (hidróxido de sodio, carbonato de sodio, etcétera) de acuerdo con los estudios de calidad del agua que se lleven a cabo. En segundo lugar, el agua debe contener una mínima concentración de alcalinidad para que no se presenten problemas de corrosión.

En general, deben efectuarse procesos de neutralización cuando el agua tiene carácter corrosivo de acuerdo con el índice de Langelier o ensayo de mármol.

2.1.5 Temperatura

En general, la velocidad de las reacciones químicas decrece cuando baja la temperatura. La concentración relativa de reactantes y productos en un equilibrio químico también puede cambiar con la temperatura.

La temperatura no es un factor importante en la potabilidad del agua. Sin embargo, puede influenciar los procesos de tratamiento como la coagulación y la

sedimentación. Además, el agua de temperatura muy baja o alta puede ser rechazada por el consumidor al no encontrarla agradable.

2.1.6 pH

El pH de una solución es el logaritmo negativo de la actividad de iones hidrógeno a_{h^+} .

$$pH = -\log_{10} (a_{h^+}) \quad (1)$$

En una solución diluida la actividad de iones hidrógeno es aproximadamente igual a la concentración de iones hidrógeno.

El pH de una muestra acuosa por lo general se mide electrométicamente con un electrodo de vidrio. La temperatura tiene un efecto significativo en el valor del pH.

El pH es un parámetro básico que debe medirse en toda agua. El agua tratada debe estar en un rango de 6,5 a 8,5 de acuerdo con las normas internacionales.

2.2 Puntos de recolección de muestras

Los puntos para la recolección de las muestras en la planta deben ser lo más representativos del proceso que sea posible y dependerán de cada planta en particular. Por ejemplo, si la planta consta de un canal de recolección de aguas sedimentadas, la muestra de agua sedimentada se recogerá en ese lugar, pero si cada sedimentador envía sus aguas a un filtro en particular, deberá recogerse una muestra en la salida de cada sedimentador y filtro.

Toda planta de tratamiento debe contar con un laboratorio básico (también denominado *laboratorio de planta*) en el cual se efectuarán los análisis de control de procesos. El personal que ejecute este control rutinario puede estar conformado por los mismos operadores de la planta, los cuales deben ser capacitados y supervisados en este aspecto por un profesional en química. Se tratará, hasta donde sea posible, que el nivel educativo de los operadores sea de instrucción secundaria completa y mucho mejor si se puede contar con técnicos de laboratorio.

2.3 Tratamiento de datos

La recolección de muestras para el control de procesos en una planta de tratamiento debe efectuarse cada hora si las condiciones del agua de entrada son estables o más frecuentemente si el caso lo amerita y si se presentan cambios bruscos en la calidad.

Es importante que, al efectuar los muestreos, se respeten siempre los tiempos de retención de los diferentes procesos. Estos tiempos deben haber sido suministrados ya sea por el diseñador de la planta o por otra autoridad competente que haya efectuado las pruebas necesarias para determinar esos tiempos. Si se dispone de un manual de operación, esta información debe estar incluida en él.

Como parte de sus obligaciones, el operador debe llenar su hoja de trabajo diario (ver cuadro B-1 en el anexo B), en la cual debe ir recopilando toda la información solicitada con el fin de sacar los máximos, mínimos y promedios de todas las variables. Lo anterior se hace diariamente y luego mensualmente (ver cuadro B-2, anexo B). De esta forma, se puede tener una visión más completa del comportamiento y los gastos de reactivos de la planta de tratamiento.

Para llevar un control más estricto del gasto del coagulante y de las dosis usadas, se deberá llenar un cuadro adicional (ver cuadro B-3, anexo B). En este se cuantificará el consumo real de la planta. Como complemento de esta información, se puede llevar un registro (ver cuadro B-4, anexo B) destinado al control de la dosificación y consumo de cloro. Esta hoja permite llevar un control cruzado del gasto de cloro, por medio de la lectura en el rotámetro del clorador y el cambio de peso del cilindro de cloro líquido, que se controla mediante la balanza.

3. CONTROL DE CALIDAD

3.1 Introducción

Para tener éxito en el control de calidad de las aguas, es necesario conocer las propiedades del agua susceptibles al cambio, en las diversas formas en que esta existe en la tierra y como la usa el hombre. Por lo tanto, se examina el agua para identificar sus propiedades sobresalientes y, en caso necesario, modificar sus características.

Esta no es una empresa rutinaria, aunque así lo parezca por el hecho de administrar diariamente una fuente de agua determinada y su utilización con o sin purificación para fines municipales o industriales.

Las propiedades de una fuente de agua varían:

1. Con su hidrología, longitudinalmente respecto al tiempo y la estación, así como con la distancia recorrida sobre el suelo y a través de este.
2. Respecto a su uso, longitudinalmente con el flujo a través de las obras de captación, conducción, purificación y distribución. Las variaciones de las propiedades del agua y de las aguas residuales son más marcadas durante la purificación, tratamiento y respuesta a los cambios. Según los objetivos del control de calidad, se puede obtener información por los siguientes medios:
 - a) Dispositivos automáticos, sensores o muestreadores y medidores.
 - b) Muestras tomadas en el campo y llevadas al laboratorio para su análisis.
 - c) Prueba funcional de los procedimientos operacionales existentes o bien de los proyectos.
 - d) Procedimientos de investigación mediante los cuales se adquiere algún nuevo conocimiento respecto al comportamiento del agua (tanto posible como probable) bajo condiciones apropiadas de administración y control de calidad.

Los diferentes procesos utilizados en el tratamiento del agua y las eficiencias que pueden obtenerse dependen principalmente de los constituyentes presentes en las aguas crudas y las concentraciones aceptables en los diferentes usos que esas aguas vayan a recibir. El grado específico de remoción de estos constituyentes es el necesario para corregir la calidad del agua cruda y alcanzar un producto final (agua tratada) que cumpla con los requisitos prefijados. Para llegar a la solución, es necesario disponer de metas sobre la calidad del agua en términos cuantitativos y precisos (norma de calidad).

En cuanto a la protección de la salud de los seres humanos, se necesita una base para evaluar los riesgos relativos a las concentraciones de las sustancias y organismos presentes en el agua. Si se dispone de suficiente información sobre la

concentración de un constituyente presente en el agua cruda y de la concentración final que sería aceptada en el agua en el sistema de distribución, puede usarse esa información para definir el tratamiento por aplicar. A menudo pueden establecerse correlaciones entre constituyentes presentes en las aguas y los riesgos de su presencia para la salud, ya sea por medio de estudios epidemiológicos o mediante investigación en animales. Sin embargo, con frecuencia se encuentran dificultades en ambos casos ya que es posible que solo después de un periodo de exposición prolongado aparezcan indicios de daños crónicos o genéticos.

Además, algunas veces es posible evaluar las condiciones mediante la medición directa de los constituyentes, a menudo por medio de técnicas analíticas complejas o sofisticadas. En otros casos, inclusive con esas técnicas complejas no es posible recolectar la información necesaria para efectuar una valoración precisa de los riesgos para la salud. En esos casos, podría ser necesario utilizar otros parámetros directos o indirectos para efectuar algún tipo de evaluación de los riesgos para la salud.

3.2 Puntos de recolección de las muestras

En el caso del control de calidad, los puntos de muestreo serán los mismos utilizados en el control de procesos, pero en este caso, se incluirá un punto más en el tanque de aguas claras a la salida de la planta, obviamente, respetando los periodos de retención correspondientes. En este tipo de control, varían sustancialmente los parámetros analizados y la frecuencia de muestreo.

Para empezar, enunciaremos algunas de las variables de rutina por analizar y otras que corresponden a casos especiales, o por sospecha de la presencia de contaminantes específicos (cuadros 6-3 y 6-4). Los criterios que se deben seguir son los siguientes:

3.2.1 Control de calidad fisicoquímica

- a) Plantas localizadas cerca de centros urbanos importantes y con fácil acceso: deben muestrearse con una frecuencia semanal.
- b) Plantas en zonas rurales: deben muestrearse al menos dos veces al mes.

3.2.2 Control de calidad bacteriológica

El control de calidad bacteriológica en las plantas de tratamiento en localidades urbanas también difiere del control en zonas rurales, sobre todo si el acceso y la distancia son importantes.

En el caso de las plantas ubicadas en zonas urbanas, usualmente se efectúan muestreos diarios cuando las aguas van a ingresar al sistema de distribución (salida del tanque de almacenamiento u otro punto que garantice un tiempo de contacto adecuado para la desinfección). A estas muestras se les practica la determinación de coliformes (principal indicador de contaminación de origen fecal) mediante la técnica de filtración en membrana o tubos múltiples.

La eficiencia de las etapas de tratamiento se evalúa al menos dos veces al mes, empleando la técnica de recuento en placa; además, se practica la determinación de coliformes totales y fecales mediante la técnica de tubos múltiples.

En el caso de las plantas en zonas urbanas, usualmente se efectúan muestreos diarios cuando las aguas van a ingresar al sistema de distribución (salida del tanque de almacenamiento u otro punto que garantice un tiempo de contacto adecuado para la desinfección). A estas muestras se les practica la determinación de coliformes (principal indicador de contaminación de origen fecal) mediante la técnica de filtración en membrana o tubos múltiples.

La eficiencia de las etapas del tratamiento se evalúa al menos dos veces al mes, empleando la técnica de recuento en placa; además, se practica la determinación de coliformes totales y fecales mediante la técnica de tubos múltiples.

En el caso de las plantas localizadas en zonas rurales, la frecuencia dependerá de la asignada al sistema que abastecen o a las normas locales aplicables. Por ejemplo:

- a) Para poblaciones de más de 10.000 habitantes, en las que se puede mantener una desinfección continua, se muestreará la planta quincenalmente alternando en un solo muestreo el agua clorada, y en el siguiente, todos los procesos.
- b) Para plantas (o sistemas abastecidos con aguas subterráneas) que abastecen a poblaciones de entre 5.000 y 10.000 habitantes y con desinfección

continua, se recomienda un muestreo mensual para análisis bacteriológico —coliformes fecales y totales¹— en todos los procesos.

- c) Se aplicará como mínimo un muestreo trimestral en sistemas rurales (poblaciones de menos de 5.000 habitantes) con o sin desinfección, abastecidos con aguas superficiales o subterráneas o tratamientos parciales.

Cuadro 6-3. Puntos de muestreo

Análisis	A. cruda	A. decantada	A. filtrada	Salida del reservorio
Turbiedad	X	X	X	X
Color	X	X	X	X
pH	X	X	X	X
Sabor, olor	X			X
Alcalinidad	X	X	X	X
Dióxido de carbono	X	X	X	
Dureza total	X	X	X	
Dureza de calcio	X	X	X	
Dureza de magnesio	X	X	X	
Calcio	X	X	X	
Magnesio	X	X	X	
pH de saturación	X			X
Cloro residual				X
Sulfatos	X	X	X	
Cloruros				X
Hierro total	X		X	
Manganeso	X		X	
Cobre				X
Aluminio	X			X
Constituyentes inorgánicos	X			X
Constituyentes orgánicos	X			X
Radiación	X			X

¹ Actualmente existe la tendencia a la simplificación del control de calidad bacteriológica eliminando el análisis de coliformes totales.

Cuadro 6-4. Frecuencia de análisis fisicoquímicos

Análisis	Frecuencia según ubicación de la planta	Una vez cada seis meses	Una vez al año
Turbiedad	X		
Color	X		
pH	X		
Sabor, olor	X		
Alcalinidad	X		
Dióxido de carbono	X		
Dureza total	X		
Dureza de calcio	X		
Dureza de magnesio	X		
Calcio	X		
Magnesio	X		
pH de saturación	X		
Cloro residual	X		
Sulfatos	X		
Cloruros		X	
Hierro total*		X	
Manganeso*		X	
Cobre*			X
Aluminio		X	
Constituyentes inorgánicos*			X
Constituyentes orgánicos*			X
Radiación*			X

* La frecuencia de muestreo de estas variables deberá ser mayor si se sospecha de la existencia de alguna fuente de contaminación que pueda introducirlas al abastecimiento de agua.

3.3 Tratamiento de los datos

Si observamos los cuatro exámenes que se utilizan a manera de ejemplo (anexo C), podemos deducir una gran cantidad de información acerca del funcionamiento de una planta cualquiera y de la calidad del agua que está produciendo.

Para empezar, se trabajará con los tres primeros análisis fisicoquímicos: agua cruda, sedimentada y filtrada.

El agua cruda entra a la planta con una turbiedad de 62,5 UNT, un color aparente de 27,5 UC y un color verdadero de 5 UC. Estos valores se reducen en el agua sedimentada y filtrada hasta valores que deben cumplir las normas vigentes para el agua potable. Además, para que los sistemas de filtración operen óptimamente, proporcionando carreras largas de operación y no se presenten huevos de parásitos en el efluente, el agua decantada debe tener turbiedades preferiblemente menores de 2 UNT.

Por otra parte, la alcalinidad del agua decantada y filtrada en una planta de filtros rápidos es menor que la del agua cruda, como resultado de las reacciones del sulfato de aluminio (u otro coagulante) agregado.

La dureza debe analizarse principalmente por su valor como parámetro estético y además porque se requiere conocer su concentración para calcular la cantidad de sulfatos, si se usa el método volumétrico recomendado por Degremont (1). La concentración de sulfatos es importante para deducir por cálculo la dosis de sulfato de aluminio agregada en el tratamiento, a fin de comparar este resultado con los reportes de los operadores de la planta. Con lo anterior se efectuará el siguiente control:

- a) Determinar si el dosificador está operando correctamente (si la concentración de sulfatos en ambos casos es similar) o si está desajustado y requiere una nueva calibración.
- b) Analizar la dosificación y efectuar correcciones en caso de que se esté produciendo sobredosificación.
- c) Dar seguimiento a las labores de operación y comprobar que se estén efectuando las pruebas de jarras. Esta información se puede obtener observando las curvas de dosificación del coagulante versus la turbiedad del agua cruda. Aunque el método no es exacto, permite aproximar la dosis empleada y, en conjunto con mediciones de aluminio residual al final del tratamiento, controlar que la operación de la planta sea lo más eficiente posible.

Nota: el aluminio debe analizarse periódicamente no porque sea un parámetro de significado para la salud sino por razones operacionales, al ser un constituyente del coagulante principal.

El método por el cual se calcula la cantidad de sulfato de aluminio agregado en la planta de tratamiento por medio del análisis de sulfatos es el siguiente:

El agua decantada contiene una concentración de sulfatos que es la suma de la concentración en el agua cruda y el aporte del coagulante. A este valor se le resta la concentración de sulfatos del agua cruda para encontrar lo aportado por el sulfato de aluminio agregado. El valor encontrado se multiplica por un factor gravimétrico (FG = 2) para convertirlo a concentración de sulfato de aluminio. El factor gravimétrico para sulfato de aluminio con 14 moléculas de agua es el siguiente:

$$FG = \frac{PM \text{ Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{ H}_2\text{O}}{PM \text{ 3 SO}_4} = \frac{593,8}{288} = 2,07$$

Donde: PM = peso molecular.

El sulfato de aluminio se presenta más frecuentemente con 14 y 16 moléculas de agua y para ambos casos, el factor gravimétrico es 2,0.

En el análisis del agua decantada, el resultado se reporta como la dosis teórica de sulfato de aluminio y se la compara luego con el reporte de la planta.

Con respecto al pH, en forma similar al caso de la alcalinidad, se produce un descenso luego de la aplicación del coagulante.

Si observamos el examen fisicoquímico de la muestra que se toma al final del tratamiento en el tanque de aguas claras o tanque de almacenamiento, puede observarse que la calidad se mantiene y, al comparar la calidad bacteriológica, se produce un descenso en la cantidad de organismos coliformes totales y fecales, conforme se avanza en los procesos de la planta de tratamiento hasta el tanque de aguas claras. En este último se obtiene una concentración de 1,2 mg/L de cloro residual y valores negativos en cuanto a bacterias coliformes (totales y fecales), con lo que el agua puede calificarse como de calidad potable.

Con respecto a los análisis fisicoquímicos, cada mes se deben procesar estadísticamente, calculando promedios, valores extremos (mínimos y máximos) para todos los parámetros, y efectuando una comparación con los reportes de la operación de la planta (control de procesos). Anualmente se efectúa un análisis similar, preparando un resumen que incluye conclusiones y recomendaciones sobre los problemas afrontados por la planta durante ese periodo y proponiendo posibles soluciones en caso necesario.

La información de control de calidad procesada debe presentarse en forma de gráficos, en los que se apreciará más objetivamente la eficiencia del sistema. Sobre todo las curvas de frecuencia acumulada permiten determinar el porcentaje de tiempo en que la planta cumplió los objetivos de calidad. El histograma de turbiedad de agua cruda de la figura 6-1 permite visualizar cómo varía la calidad de la fuente entre un año lluvioso (2000) y otro seco (2002).

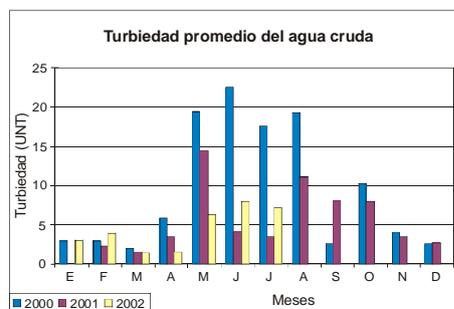


Figura 6-1. Histograma de turbiedad promedio del agua cruda

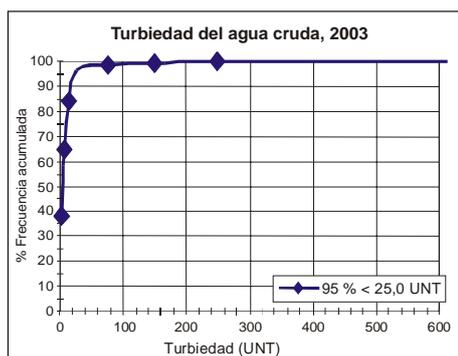


Figura 6-2. Frecuencia acumulada de turbiedad del agua cruda

La curva de frecuencia acumulada de turbiedad de agua cruda de la figura 6-2 indica que en 95% del periodo analizado la turbiedad fue menor de 25 UNT.

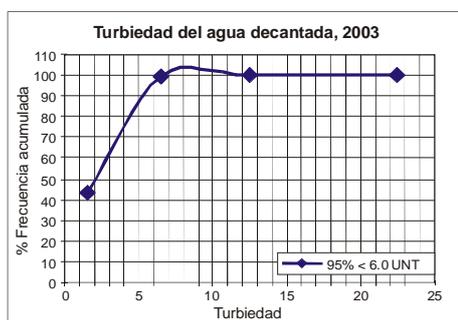


Figura 6-3. Frecuencia acumulada de turbiedad del agua decantada

La curva de frecuencia acumulada de turbiedad de agua decantada de la figura 6-3 permite determinar que el 95% del tiempo la turbiedad fue menor de 6 UNT, habiéndose obtenido una turbiedad menor de 2 UNT solo el 50% del tiempo.

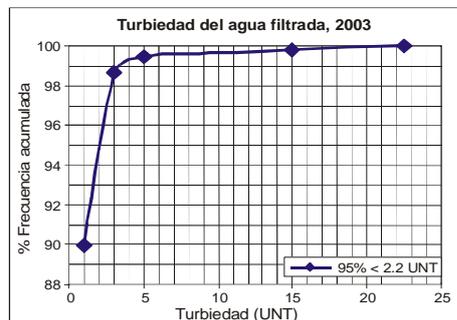


Figura 6-4. Frecuencia acumulada de turbiedad del agua filtrada

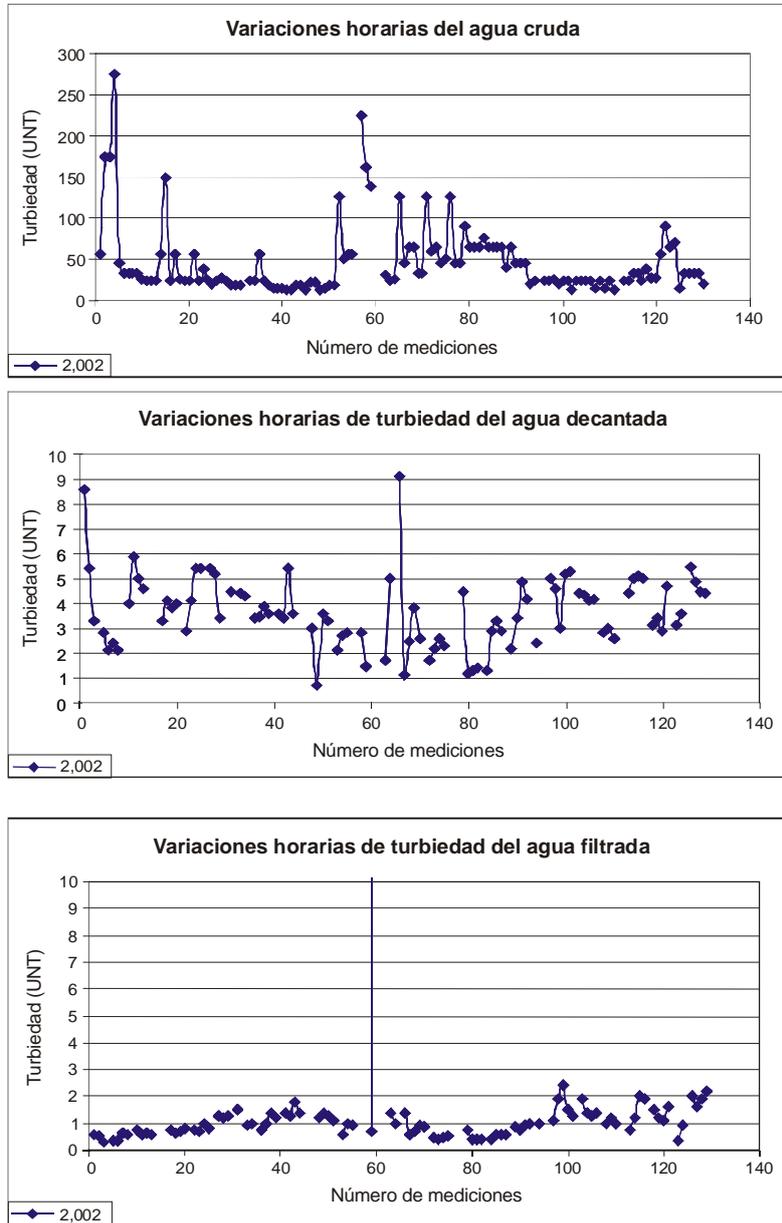


Figura 6-5. Variaciones horarias de turbiedad del agua cruda, decantada y filtrada

La curva de frecuencia acumulada de turbiedad del agua filtrada de la figura 6-4 indica que el 95% del periodo en estudio los filtros produjeron un efluente con 2,2 UNT.

Los datos de turbiedad del agua cruda, decantada y filtrada, procesados como lo indica la figura 6-5, ponen de manifiesto la capacidad de los procesos principales de remoción para absorber los picos de turbiedad que presenta la fuente. Se puede apreciar que los decantadores reproducen los picos, lo que indica que este proceso presenta problemas. Los filtros muestran menos picos; el comportamiento es mejor que el de los decantadores, pero tampoco es óptimo, porque no llegan a obtener un efluente que asegure un agua libre de huevos de parásitos (0,10 UNT).

El histograma de turbiedad de agua tratada de la figura 6-7 está indicando las variaciones del efluente año a año y mes a mes. Se puede apreciar que los procesos no son constantes en relación con la eficiencia que deben presentar.

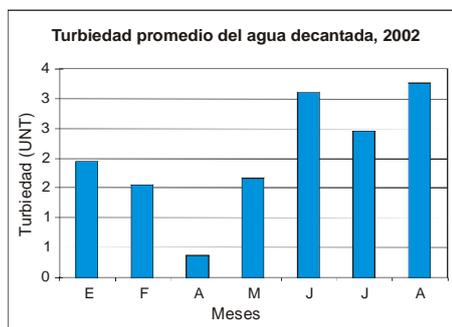


Figura 6-6. Histograma de turbiedad promedio del agua decantada

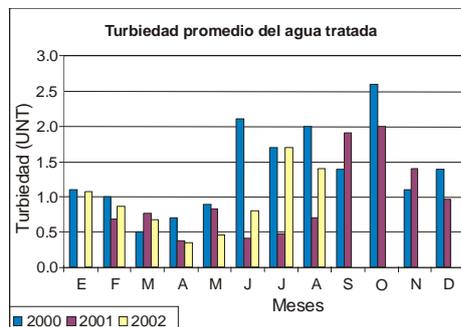


Figura 6-7. Histograma de turbiedad del agua tratada

También se puede apreciar que a pesar de que en los primeros meses del año la turbiedad fue igual y hasta menor de 2 UNT, los filtros no alcanzaron la meta de 0,1 UNT.

Si la fuente tiene problemas de color, este parámetro también deberá ser analizado.

El histograma de la figura 6-8 indica que se presentan máximos de color en el agua cruda de hasta 450 UC en el año 2000 y que este año fue mucho más lluvioso que los siguientes.

El histograma de la figura 6-9 indica que los promedios mensuales llegaron a 70 UNT y comparativamente con el histograma de turbiedad promedio de la figura 6-1, se puede apreciar que los valores de color que se presentan son más altos que los de turbiedad y, por lo tanto, este es el parámetro que debe tenerse más en cuenta para controlar el comportamiento de los procesos y decidir la dosificación.

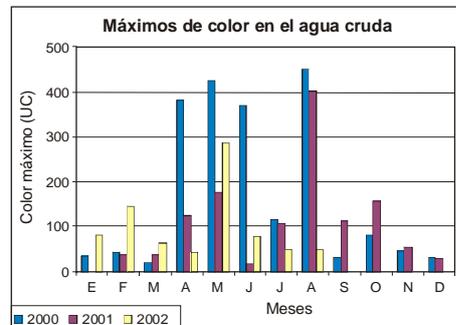


Figura 6-8. Histograma de máximos de color en la fuente

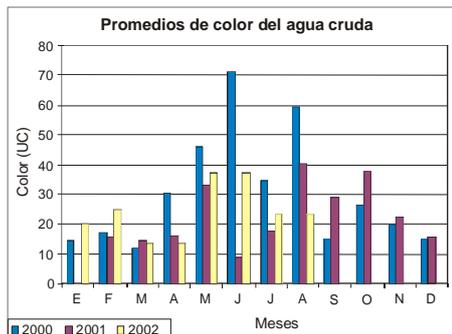


Figura 6-9. Histograma de promedios de color en la fuente

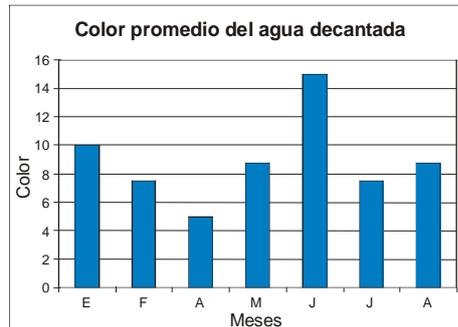


Figura 6-10. Histograma de promedios de color en el agua decantada

Por su parte, el histograma de la figura 6-10 muestra que el color en el agua decantada presentó promedios mensuales de hasta 14 UC.

El histograma de la figura 6-11 está indicando que los filtros reducen el color a menos de 5,50 UC en promedio, habiéndose presentado promedios máximos de hasta 11 UC en un periodo de 3 años.

El histograma de coliformes termotolerantes de la figura 6-12 indica que los principales procesos de la planta no presentan una remoción completa de este parámetro. En casos como este, se debe determinar coliformes termotolerantes en el agua decantada, filtrada y tratada para precisar dónde se encuentra el problema. La decantación y filtración deberían estar removiendo totalmente el contenido microbiológico, sobre todo porque la concentración medida en la fuente no es muy alta. Este resultado también está indicando descuidos o irregularidades en la operación de la cloración.

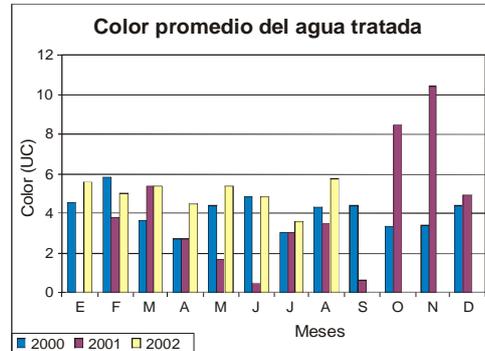


Figura 6-11. Histograma de promedios de color en el agua tratada

En este caso, también debería programarse una evaluación de la planta para determinar cuáles son los factores que están limitando la obtención de los objetivos de calidad, de modo de ir superándolos gradualmente hasta alcanzar la meta propuesta.

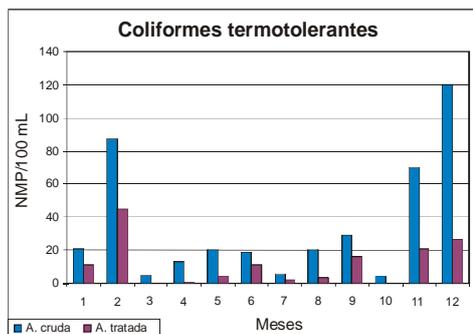


Figura 6-12. Histograma de coliformes termotolerantes

La evaluación de la eficiencia en la remoción de microorganismos en los procesos de una planta de potabilización se realiza utilizando resultados de densidades bacterianas, Número Más Probable (NMP) de coliformes y recuento total en placa. Es importante considerar que, para que estos datos sean un reflejo de lo que sucede en los procesos de tratamiento, se deben respetar los tiempos de retención en la planta, al efectuar la toma de las muestras.

La evaluación se efectúa mediante:

- a) análisis puntuales;
- b) evaluación anual.

Para lo anterior, es necesario calcular el porcentaje de eficiencia para la remoción de microorganismos de un proceso determinado de la planta (porcentaje de eficiencia parcial) o del proceso de tratamiento total (porcentaje de eficiencia total).

Los porcentajes de eficiencia se calculan de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ eficiencia parcial} = \frac{H_2O_S - H_sO_F}{H_sO_S} \times 100 \quad (3)$$

$$\% \text{ eficiencia total} = \frac{H_2O_{CR} - H_sO_F}{H_sO_{CR}} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

H_2O_{CR} = número de bacterias en el agua cruda
 H_2O_S = número de bacterias en el agua sedimentada
 H_2O_F = número de bacterias en el agua filtrada

El número de bacterias puede corresponder al Número Más Probable (NMP) de coliformes totales o fecales o a la cantidad total de bacterias. Este último dato proviene de la técnica del recuento total en placa y es, por lo tanto, el más recomendado para evaluar la eficacia de los procesos de tratamiento.

Para evaluar la calidad del agua que entra en la red de distribución, se determina la densidad de coliformes totales y fecales.

3.4 Normas

El análisis de la información recolectada en los diferentes muestreos que se hagan en las plantas de tratamiento y la calidad del agua tratada deben ajustarse a las normas vigentes en el país respectivo.

En resumen, los criterios de calidad del agua de consumo dados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) incluyen los siguientes grupos de parámetros:

- a) calidad bacteriológica;
- b) calidad estética;
- c) parámetros químicos inorgánicos de significado para la salud;
- d) sustancias químicas orgánicas de significado para la salud, y
- e) calidad radiológica.

Para más detalles, se debe consultar el capítulo “Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua”, en *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría*, tomo 1.

4. VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA

Como se indicó al principio de este manual, el tema principal es el control del proceso y el control de calidad del agua para consumo humano. A pesar de lo anterior y como complemento, se incluye a continuación un resumen del tema de vigilancia de la calidad del agua de acuerdo con la OMS (2).

La vigilancia de la calidad del agua puede definirse como la evaluación e inspección sanitarias de la inocuidad y aceptabilidad del suministro de agua potable. La protección sanitaria del abastecimiento de agua potable debe conseguir que cada elemento del sistema (fuente, tratamiento, almacenamiento y distribución) funcione con mínima probabilidad de fallo. Un tratamiento eficiente no sirve de nada si el sistema de distribución permite la contaminación a causa de instalaciones defectuosas o de interconexiones; un excelente sistema de distribución no protegerá la salud pública si el agua distribuida está insuficientemente tratada. Por otra parte, la capacidad de tratamiento puede no bastar si la fuente está contaminada. Finalmente, aunque el tratamiento y la red sean adecuados, la salud pública estará amenazada si la dotación de agua es insuficiente, intermitente y si no llega a la mayoría de la población.

Los elementos de un programa de vigilancia comprenden el examen técnico, físico, biológico, químico e institucional del abastecimiento de agua. El examen

técnico o *encuesta sanitaria* consiste en la inspección y la evaluación directas, por una persona calificada por la autoridad de vigilancia competente, de todos los dispositivos, las condiciones y las prácticas del sistema de abastecimiento que puedan presentar riesgos para la salud del consumidor. El examen físico, biológico (generalmente bacteriológico) y químico comprende análisis directos en el laboratorio de muestras de agua. El examen institucional se aplica a los factores de gestión y de funcionamiento que puedan entrañar un riesgo para la salud del consumidor; por ejemplo, la incompetencia del personal.

La evaluación completa de los riesgos sanitarios en un sistema importante de abastecimiento de agua comprende como mínimo el examen crítico de los siguientes puntos:

- Calidad de la fuente.
- Producción de la fuente.
- Sistema de distribución (calidad, presión y continuidad).
- Control de la calidad (registros, toma de muestras, análisis).
- Eliminación de interconexiones y conexiones ilícitas.
- Cloro residual en el sistema de distribución cuando se aplica.
- Protección de la fuente.
- Suficiencia y seguridad del tratamiento.
- Prácticas de construcción y reparación, incluida la desinfección después de la reparación de daños.
- Métodos de conservación.
- Calidad del servicio.

Usualmente, la vigilancia de la calidad del agua debe ser ejecutada por un organismo o institución con poder legal para ello. En la mayoría de los países de América Latina, esta labor corresponde a los ministerios de Salud Pública o instituciones equivalentes.

REFERENCIAS

- (1) Degremont. *Manual técnico del agua*.
- (2) OMS. *Vigilancia de la calidad del agua*. Ginebra, 1977.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Castro de Esparza, M. L. *Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua*. Lima, CEPIS, 1983.
- CEPIS. *Manual II. Criterios de selección*. Lima, 1992.
- Fair, G.; Geyer, J. *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. México D. F., Limusa-Wiley, 1971.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. *Manual de muestreo*. Laboratorio Central, 1990.
- McJunckin, F. E. *Agua y salud humana*. México, D. F., OPS/OMS-Limusa, 1982.
- OMS. *Guidelines for drinking water quality*. Ginebra, 1984.
- Pérez Carrión, J.; Méndez, G. *El agua. Calidad y tratamiento para consumo humano*. Lima, CEPIS, 1990.

ANEXO A**Equipo básico de laboratorio para efectuar control de procesos en una planta de potabilización**

La siguiente lista contiene el equipo mínimo recomendado para efectuar las labores de control de procesos en una planta de potabilización del agua.

1. Equipo de medición de color por comparación (*aqua tester*):

Debe incluir dos tubos Nessler, dos tapones de vidrio óptico, lámpara de 120 ó 229 voltios y los discos de comparación con los siguientes rangos:

- a) 0 a 25 UC.
- b) 0 a 50 UC.
- c) 5 a 100 UC.

2. Turbidímetro nefelométrico:

Debe incluir el respectivo juego de patrones de calibración y al menos cuatro cubetas para muestra.

3. Plantilla eléctrica de porcelana con agitador.
4. Una caja de agitadores magnéticos y su barra de recuperación.
5. Solución *buffer* de pH = 7.
6. Solución *buffer* de pH = 4.
7. Equipo medidor de pH con sus respectivos electrodos.
8. Un agitador magnético con base de porcelana.
9. Soporte con base de porcelana y prensa de buretas para titulación.
10. Una centrífuga.
11. Un recipiente de polipropileno de 10 litros con tapa y llave para almacenar agua destilada.

12. Un destilador de agua pequeño.
13. Tres recolectores de muestra de polietileno con un brazo de 3,7 metros de largo.
14. Dos bulbos esféricos de 3 onzas para llenar pipetas.
15. Una balanza granataria de hasta 2.000 gramos con 2 decimales de precisión.
16. Un comparador de cloro con dos discos.
17. Un agitador múltiple (6 paletas) para prueba de jarras con velocidad máxima de 100 rpm en los tipos analógicos y 300 rpm en los modelos digitales, incluida una base iluminada y juegos de jarras de 2 litros.
18. Dos descartadores de pipetas.
19. Dos frascos lavadores de 500 mililitros.
20. Dos buretas de 50 mililitros.
21. Una docena de erlenmeyers de vidrio de 125 mililitros.
22. Una docena de erlenmeyers de vidrio de 250 mililitros.
23. Una docena de *beakers* de vidrio de 50 mililitros.
24. Una docena de *beakers* de vidrio de 125 mililitros.
25. Una docena de *beakers* de vidrio de 250 mililitros.
26. Dos *beakers* plásticos de 4 litros.
27. Dos pipetas volumétricas de 100 mililitros.
28. Dos pipetas volumétricas de 50 mililitros.
29. Dos pipetas volumétricas de 25 mililitros.
30. Dos pipetas volumétricas de 10 mililitros.
31. Dos pipetas volumétricas de 5 mililitros.
32. Cuatro pipetas de Mohr de 10 mililitros.
33. Cuatro pipetas de Mohr de 5 mililitros.

34. Cuatro pipetas de Mohr de 2 mililitros.
35. Dos frascos volumétricos de 1.000 mililitros.
36. Dos frascos volumétricos de 500 mililitros.
38. Dos conos Imhoff con sus soportes.

Tabla B-4. Control de consumo de cloro

Planta potabilizadora de:			Fecha:		
Horas	Caudal (L/s)	Lectura del rotámetro (kg/d)	Dosis de cloro (mg/L)	Consumo de cloro por peso (kg)	Consumo de cloro por cilindro (kg)
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
09					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					

ANEXO C

Ejemplos de exámenes de control de calidad

Laboratorio central		
Identificación de la muestra		
Muestra n.º	549	Origen: Cruda
Fecha	Recolección:	10-12-92
	Recibo:	10-12-92
	Reporte:	16-12-92
Examen fisicoquímico n.º:	02735	Localización: San José
Recogido por:	Marco A. Guerrero	Solicitado por: Producción
Datos de campo		
pH:		Cloro residual:
Temperatura del agua:	°C	Estado del tiempo:
Temperatura ambiente:	°C	Aspecto del agua:
Olor:		Caudal: L/s
Hora de recolección:	5:50 a. m.	Elevación: m.s.n.m.
Determinaciones fisicoquímicas		
Color verdadero:	5 U.Pt/Co	mg L ⁻¹
Turbiedad:	62,5 UNT	Calcio:
Sólidos en suspensión sedimentables	mL/hora	Dureza de magnesio:
Sedimento		Magnesio:
Olor a:	Negativo	Hierro total:
pH:	7,30	Sulfatos: 9
pH de saturación:		Acidez:
Índice de saturación:		Cloruros:
Índice de agresividad:		Fluoruros:
	mg L ⁻¹	Sílice:
Alcalinidad a la fenolftaleína:	0	Nitratos:
Carbonatos:	0	Zinc:
Alcalinidad total:	59	Cobre:
Bicarbonatos:	72	Manganeso:
Dióxido de carbono:	6	Plomo:
Dureza total:	56	Conductividad:
Dureza de carbonatos:	56	
Dureza de no carbonatos:	0	
Dureza de calcio:		
Observaciones:	Color aparente 27,5 U.Pt/Co.	
Profesional responsable:	Jefe de sección:	Jefe del laboratorio:

Laboratorio central		
Identificación de la muestra		
Muestra n.º	579	Origen: Sedimentada
Fecha	Recolección:	10-12-92
	Recibo:	10-12-92
	Reporte:	16-12-92
Examen fisicoquímico n.º:	02736	Localización: San José
Recogido por:	Marco A. Guerrero	Solicitado por: Producción
Datos de campo		
pH:		Cloro residual:
Temperatura del agua:	°C	Estado del tiempo:
Temperatura ambiente:	°C	Aspecto del agua:
Olor:		Caudal: L/s
Hora de recolección:	5:50 a. m.	Elevación: m.s.n.m.
Determinaciones fisicoquímicas		
Color verdadero:	1,3 U.Pt/Co	mg L ⁻¹
Turbiedad:	1,6 UNT	Calcio:
Sólidos en suspensión sedimentables	mL/hora	Dureza de magnesio:
Sedimento		Magnesio:
Olor a:	Negativo	Hierro total:
pH:	6,75	Sulfatos: 19
pH de saturación:		Acidez:
Índice de saturación:		Cloruros:
Índice de agresividad:		Fluoruros:
	mg L ⁻¹	Sílice:
Alcalinidad a la fenolftaleína:	0	Nitratos:
Carbonatos:	0	Zinc:
Alcalinidad total:	49	Cobre:
Bicarbonatos:	60	Manganeso:
Dióxido de carbono:	15	Plomo:
Dureza total:	49	Conductividad:
Dureza de carbonatos:	6	
Dureza de no carbonatos:		
Dureza de calcio:		
Observaciones:	Dosis teórica de alumbre = 20 mg/L Dosificador de la planta = 18 mg/L	
Profesional responsable:	Jefe de sección:	Jefe del laboratorio:

Laboratorio central		
Identificación de la muestra		
Muestra n.º	594	Origen: Filtrada
Fecha	Recolección: 10-12-92 Recibo: 10-12-92 Reporte: 16-12-92	Punto de recolección: Planta Los Cuadros
Examen fisicoquímico n.º:	02737	Localización: San José
Recogido por:	Marco A. Guerrero	Solicitado por: Producción
Datos de campo		
pH:		Cloro residual: mg L ⁻¹
Temperatura del agua:	°C	Estado del tiempo:
Temperatura ambiente:	°C	Aspecto del agua:
Olor:		Caudal: L/s
Hora de recolección: 6:00 a. m.		Elevación: m.s.n.m.
Determinaciones fisicoquímicas		
Color verdadero:	0 U.Pt/Co	mg L ⁻¹
Turbiedad:	0,80 UNT	Calcio:
Sólidos en suspensión sedimentables	mL/hora	Dureza de magnesio:
Sedimento		Magnesio:
Olor a:	Negativo	Hierro total:
pH:	6,90	Sulfatos: 19
pH de saturación:	7,80	Acidez:
Índice de saturación:	-0,90	Cloruros:
Índice de agresividad:		Fluoruros:
	mg L ⁻¹	Sílice:
Alcalinidad a la fenolftaleína:	0	Nitratos:
Carbonatos:	0	Zinc:
Alcalinidad total:	48	Cobre:
Bicarbonatos:	59	Manganeso:
Dióxido de carbono:	12	Plomo:
Dureza total:	55	Conductividad:
Dureza de carbonatos:	48	
Dureza de no carbonatos:	7	
Dureza de calcio:		
Observaciones:	Color aparente 7,5 U.Pt/Co. Las variables fisicoquímicas determinadas cumplen con las normas establecidas para aguas con tratamiento.	
Profesional responsable:	Jefe de sección:	Jefe del laboratorio:

Laboratorio central		
Identificación de la muestra		
Muestra n.º	491	Origen: Filtrada
Fecha	Recolección:	29-04-92
	Recibo:	30-04-92
	Reporte:	19-05-92
Examen fisicoquímico n.º:	0597	Localización: San José
Recogido por:	Alf Castillo	Solicitado por: Producción
Datos de campo		
pH:		Cloro residual: mg L ⁻¹
Temperatura del agua:	°C	Estado del tiempo:
Temperatura ambiente:	°C	Aspecto del agua:
Olor:		Caudal: L/s
Hora de recolección:	7:00 a. m.	Elevación: m.s.n.m.
Determinaciones fisicoquímicas		
Color verdadero:	0 U.Pt/Co	mg L ⁻¹
Turbiedad:	0,61 UNT	Calcio:
Sólidos en suspensión sedimentables:	0,0 mL/hora	Dureza de magnesio:
Sedimento	No hay	Magnesio:
Olor a:	Cloro	Hierro total: 0,0
pH:	6,85	Sulfatos: 9
pH de saturación:	7,75	Acidez: 0,20
Índice de saturación:	-0,90	Cloruros:
Índice de agresividad:		Fluoruros:
	mg L ⁻¹	Sílice:
Alcalinidad a la fenolftaleína:	0	Nitratos: 4,0
Carbonatos:	0	Zinc: 0,005
Alcalinidad total:	50	Cobre: 0,000
Bicarbonatos:		Manganeso: 0,005
Dióxido de carbono:		Plomo: 0,008
Dureza total:	60	Conductividad: 0,30
Dureza de carbonatos:	58	
Dureza de no carbonatos:	3	
Dureza de calcio:		
Observaciones: El contenido de aluminio supera en 0,10 mg/L el nivel recomendado para abastecimiento doméstico.		
Profesional responsable:	Jefe de sección:	Jefe del laboratorio: