

Evaluación de la calidad del agua servida por potabilizadora a Santiago de Cuba

Evaluation of the quality of the water served by potabilizadora to
Santiago from Cuba

Telvia Arias-Lafargue¹ <https://orcid.org/0000-0003-2610-1451>

Sara Arias-Zamora¹ <https://orcid.org/0000-0003-2970-0492>

Delis Portuondo-Savón² <https://orcid.org/0009-0002-0300-0228>

Emilio Álvarez-Monier¹ <https://orcid.org/0000-0001-7022-3240>

¹ Facultad Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

² Laboratorio Farmacéutico Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: tal@uo.edu.cu

RESUMEN

El trabajo analiza la calidad del agua que suministra la potabilizadora Altos de Quintero a la ciudad de Santiago de Cuba mediante el estudio de cinco consumidores. Al agua de los seis centros analizados se les determinó su calidad por la medición de los parámetros: pH, color, turbidez, cloro libre residual y determinación de coliformes totales y fecales, resultando La Colonia, La Cervecería Hatuey y el Combinado Lácteo las entidades en las cuales el cloro libre residual y la turbidez se encuentran fuera de norma en algunas ocasiones. Las afectaciones de la calidad del agua potable procedente de la potabilizadora se deben fundamentalmente al deterioro de la infraestructura de las redes de abastecimiento y a las malas condiciones de almacenamiento del líquido en las instituciones antes mencionadas. Se presentan opciones para garantizar que se mantenga la calidad del agua en los diferentes centros de consumo y se propone un modelo predictivo que posibilita determinar el tiempo máximo que garantiza el mínimo nivel de cloro residual libre permisible que debe disponer una fuente consumidora.

Palabras clave: calidad del agua; redes de abastecimiento; condiciones de almacenamiento.



ABSTRACT

The paper analyzes the quality of the water supplied by the potable water treatment plant Altos of Quintero to the city of Santiago de Cuba through the study of five consumers. The quality of the parameters analyzed was determined for pH, color, turbidity, residual free chlorine and determination of total and fecal coliforms, resulting in La Colonia, La Cervecería Hatuey and the Combined Milk, which residual free chlorine and turbidity are outside the norm in some occasions. The effects of the quality of drinking water coming from the potabilizer were mainly the deterioration of the infrastructure of the supply networks and poor storage conditions of the liquid in the above mentioned institutions. Options are presented to ensure that water quality is maintained in the different consumption centers and a predictable model is proposed that allows the maximum time that guarantees the minimum level of allowable residual chlorine that a consumer source should have.

Keywords: quality of the water; nets of supply; storage conditions

Recibido: 20/08/2023

Aceptado: 15/12/2023

Introducción

La disponibilidad del agua con calidad es una condición indispensable para la vida, más que cualquier otro factor, pues lo anterior condiciona la existencia de la propia vida. El control de la calidad del agua es de gran importancia económica y social para el abasto a la población, la industria, la agricultura y otros usos. Sin embargo, la situación que posee el sistema de redes de distribución acompañado de sus fuentes de almacenamiento de agua, no solo en Cuba sino en diversas partes del planeta, constituye una preocupación.

En Santiago de Cuba se comenzó una rehabilitación de las redes de distribución para un mejor manejo del recurso. Una de las entidades involucradas es la Planta Potabilizadora Altos de Quintero, la cual asume la labor de abastecer al 80% de la ciudad.

El tratamiento de potabilización del agua para consumo humano, debe ser llevado a cabo con las más estrictas normas de calidad de manera que se asegure y garantice su inocuidad. No obstante, constituye una preocupación el suministro de agua sin la calidad requerida, o al menos sin la calidad reportada por la planta potabilizadora, según criterios de consumidores, por la incidencia que puede esto representar para la salud, como es la transmisión de enfermedades entéricas, cuyos microorganismos responsables como virus, bacterias y parásitos son transmitidos por vía fecal-oral, constituyendo el agua un excelente transmisor de las mismas. Es por ello, que el presente trabajo tiene como objetivo, determinar los factores que influyen en el deterioro de la calidad del agua potable procedente de la potabilizadora “Altos de Quintero” y que recibe la ciudad de Santiago de Cuba, así como proponer un modelo predictivo que posibilita determinar el tiempo máximo que garantiza el mínimo nivel de cloro residual libre permisible que debe disponer una fuente consumidora.

Fundamentación Teórica

Existen diferentes tecnologías para potabilizar el agua, pero todas deben cumplir los mismos principios:

- ✓ combinación de barreras múltiples (diferentes etapas del proceso de potabilización) para alcanzar bajas condiciones de riesgo.
- ✓ tratamiento integrado para producir el efecto esperado
- ✓ tratamiento por objetivo (cada etapa del tratamiento tiene una meta específica relacionada con algún tipo de contaminante).

Si no se cuenta con un volumen de almacenamiento de agua potabilizada, la capacidad de la planta debe ser mayor que la demanda máxima diaria en el periodo de diseño. Además, una planta de tratamiento debe operar continuamente, aún con alguno de sus componentes en mantenimiento; por eso es necesario como mínimo dos unidades para cada proceso de la planta. ⁽¹⁾

La filtración y la desinfección con cloro del agua potable han sido responsables de gran parte del 50% de aumento de la expectativa de vida en los países desarrollados durante el siglo XX. Este hecho motivó a la revista *Life* a citar a la

filtración y la cloración del agua potable como probablemente el más significativo avance en salud pública del milenio.⁽¹⁾

Los sistemas de abastecimiento de agua potable sin tratar, o con un tratamiento inadecuado, siguen siendo la mayor amenaza para la salud pública, especialmente en los países en desarrollo, donde casi la mitad de la población consume agua contaminada. Los más recientes avances en el tratamiento del agua han sido las mejoras alcanzadas en el desarrollo de membranas para osmosis inversa y otras técnicas como la ozonización y otras relativas a la eliminación de los cada vez mayor número y cantidad de contaminantes encontrados en el agua potable.⁽²⁾

El tratamiento del agua es el proceso de naturaleza físico-química y biológica, mediante el cual se eliminan una serie de sustancias y microorganismos que implican riesgo para el consumo o le comunican un aspecto o cualidad organoléptica indeseable y la transforma en un agua apta para consumir. Todo sistema de abastecimiento de aguas que no esté provisto de medios de potabilización, no merece el calificativo sanitario de abastecimiento de aguas.

Las aguas superficiales destinadas al consumo humano se clasifican según el grado de tratamiento al que se deben someter para su potabilización, en los grupos siguientes:⁽³⁾

TIPO A1: Tratamiento físico simple y desinfección

TIPO A2: Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección

TIPO A3: Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección

Breve reseña histórica y caracterización del acueducto de Santiago de Cuba

La ciudad de Santiago de Cuba, por su ubicación geográfica, lo accidentado de su topografía, las condiciones climatológicas desfavorables, los escasos recursos hídricos y la alta densidad de población, ha presentado desde su fundación, serias dificultades con el suministro de agua. Esto motivó que en 1818, el gobierno colonial designara una comisión que determinara como traer agua a la ciudad. En 1836 se comienza la construcción del primer acueducto

santiaguero, uno de los primeros de la isla, el cual con los intensos y frecuentes periodos de sequía y el desarrollo demográfico, en poco tiempo fue insuficiente. No fue hasta después de constituida la República, en el año 1905, que se decide ejecutar un nuevo acueducto, formado por el Embalse Chalón al norte de la ciudad. En 1913, se resolvió explotar la cuenca subterránea San Juan a sólo 2 km al sudeste de la misma. En 1921, a iniciativa de Don Emilio Bacardí Moreau, procedió a ampliarlo, comenzándose la construcción de obras en la provincia, que aumentaron con el Triunfo de la Revolución, con el objetivo de mejorar el sistema de acueducto y alcantarillado de la misma.⁽⁴⁾

Desde el año 2005, la ciudad se encuentra atravesando un proceso de remodelación de las redes hidráulicas debido al deterioro de las mismas por los años de explotación.⁽⁴⁾

El acueducto de Santiago de Cuba está compuesto por 946,7 km de redes de distribución interiores y 91,9 km de conductoras internas y exteriores. Tiene más de 100 obras de infraestructura (estaciones de bombeo, tanques apoyados y elevados, grupos electrógenos, pozos, entre otros). Para su explotación se divide en:

- El denominado sistema Parada, que abastece a algo más de 26 mil habitantes, el cual tiene como fuente de abasto fundamental a la Presa Parada, que tiene la posibilidad de suministrar al acueducto de la ciudad unos 270 litros por segundo.
- El sistema llamado San Juan que brinda servicios a algo más de 55 mil habitantes, y que tiene como fuente 44 pozos ubicados en la cuenca con el mismo nombre, los cuales aportan en su conjunto un promedio de 380 litros por segundo al acueducto de la ciudad.
- El Sistema Quintero, que abastece a alrededor de 399 mil habitantes, y que tiene como fuente todas las presas de la parte noroeste de Santiago de Cuba (Céspedes, Gilbert, Charco Mono, Gota Blanca y Chalons), las que se interconectan a partir de conductoras que llevan el agua hasta las Plantas Potabilizadoras denominadas como Quintero I y Quintero II. Estas plantas entregarán 1500 litros por segundo y 900 litros por segundo de agua potable respectivamente.

- La planta potabilizadora El Cobre, un sistema diseñado para la potabilización de las aguas que se suministran al poblado El Cobre y al hospital Ambrosio Grillo, brindando un servicio para alrededor de 13 000 personas.⁽⁴⁾

A medida que se incrementa la demanda de agua, y la búsqueda de nuevos recursos hídricos, pueden aparecer problemas relacionados con la calidad del agua, generalmente producidos por la contaminación. Esta puede producir un cambio en la composición física, química o biológica del agua por la introducción de sustancias o microorganismos indeseables capaces de suponer, bajo determinadas circunstancias, un riesgo para la salud de las personas a corto o a largo plazo.⁽¹⁾

Proceso de potabilización de la planta Altos de Quintero

Toda el agua cruda que llega a la Potabilizadora Quintero, se totaliza en un registro de entrada existente, el cual cumple la función de distribuir los caudales a tratar.

Debido a que las fuentes de agua a tratar en la planta, provienen de varios embalses, existen datos que muestran una gran variabilidad en la calidad del agua de entrada a esta. Durante etapas de intensas lluvias, se han muestreado históricamente valores de turbiedad alta, por más de dos meses consecutivos, también pueden presentar importantes contenidos de color, y presencia de hierro y manganeso, en cantidades que sobrepasan los valores admisibles.

De acuerdo con las características de las fuentes de abasto, la planta dispone de una línea de tratamiento convencional completo que permite, con el empleo de productos químicos de procedencia nacional, realizar los procesos generales de potabilización.

1. Pre-cloración con cloro gas.
2. Medición de caudal, en canal tipo "Parshall", el cual cumple con la doble función de realizar la medición del caudal de entrada y crear la turbulencia necesaria para la mezcla rápida y adición de los reactivos químicos a usar.
3. Coagulación con la dosificación de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$).

4. Mezclado rápido, con agitadores de alta velocidad, de eje vertical.
5. Floculación mecánica, en depósitos rectangulares, con mezclador lento de paletas, de eje giratorio horizontal.
6. Sedimentación simple de flujo horizontal, en depósitos rectangulares, con el empleo de puentes raspadores de lodos.
7. Alcalinización con hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).
8. Filtración rápida, en seis filtros abiertos convencionales, de tasa y nivel constantes, en lecho bicapa de arena-antracita, para la precipitación del hierro y el manganeso; así como para la remoción de la turbiedad remanente.
9. Post-cloración para asegurar la presencia de cloro libre residual en el agua tratada a la salida de la planta.

La correcta operación de los diferentes procesos, permitirá lograr continuidad y eficiencia durante el proceso de tratamiento, ya que de lo contrario, se corre el riesgo de poner fuera de servicio uno o más elementos así como repercutir en los volúmenes y en la calidad del agua producida.⁽⁵⁾

Materiales y métodos

En el laboratorio del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) se realizaron los análisis microbiológicos y color real, mientras que las determinaciones de pH, cloro residual y turbidez se efectuaron en los laboratorios de la propia potabilizadora.

Procedimiento para el análisis del agua de los consumidores

En el estudio se incluyó el análisis físico-químico y microbiológico del agua tratada mediante procesos físicos y químicos en la planta de potabilización Altos de Quintero (agua tratada), así como una muestra etaria de instituciones abastecidas por la planta (agua de inmuebles).

El muestreo se realizó en base a considerar parámetros como:

- Ser representativos de la zona de abastecimiento de agua.
- Estar uniformemente distribuido en toda la zona de abastecimiento de agua.

- Puntos críticos en la red de distribución, considerándose:
 - Puntos con riesgo o problemas de contaminación.
 - Puntos con fugas frecuentes.
 - Puntos alejados del sistema.

De esta manera se garantizó la determinación precisa de la calidad microbiológica y físico-química del agua; teniendo en cuenta la cantidad poblacional a la que va destinado el suministro.

Selección de puntos de muestreo

Para la viabilidad del registro de datos, se dividió el sistema de abastecimiento en 4 sectores ubicados geográficamente en diferentes localidades de la ciudad de Santiago de Cuba. El mapa que se presenta en la figura 1 tiene identificados los consumidores a estudiar.

- a) Planta de Tratamiento Altos de Quintero (Agua Tratada (AT)).
- b) Fábrica de cerveza “Hatuey”
- c) Combinado Lácteo Santiago
- d) Ciudad Escolar 26 de Julio
- e) Fábrica de sueros parenterales
- f) Hospital Infantil Sur “La Colonia”.



Fig. 1- Distribución geográfica de los consumidores a estudiar

Metodología para la toma de muestras ^(6,7)

La metodología implementada para la toma de muestras de agua comprende la recolección de muestras de agua en la planta y consumidores, su traslado al laboratorio para realizar sus análisis físicos, químicos y microbiológicos, la obtención de los resultados respectivos y posterior evaluación de los resultados.

La caracterización de las instituciones seleccionadas se realizó a partir de los siguientes indicadores:

1. Objeto social
2. Fuente de almacenamiento de agua (en este caso todas las instituciones poseen cisternas).
3. Estado Técnico de las fuentes de almacenamiento de agua.
4. Hermeticidad.
5. Mantenimientos frecuentes (ciclo de limpieza)

Los objetivos sociales que tienen las entidades seleccionadas respecto al uso del agua son diferentes, en el caso de las entidades vinculadas a salud pública se priorizan los indicadores sustantivos como la esterilización, fabricación de insumos médicos, así como la elaboración de alimentos, todos estos determinan un servicio de salud con calidad.

La Colonia Española con un almacenamiento de 90m³ de capacidad no presenta un estado técnico óptimo ya que sus tuberías están oxidadas, y aunque su tapado es bueno y el ciclo de limpieza es inestable.

En la fábrica de Sueros Parenterales con 80m³ de capacidad su estado técnico es óptimo, presentando todos sus accesorios en buen estado y un ciclo de limpieza cada cuatro meses.

En el caso de las industrias el objetivo social se define en la elaboración de alimentos y bebidas que son consumidas por la población y que tienen como resultado garantizar que el agua que se utiliza cumpla con los requisitos que establece la norma vigente de calidad, en estas también se utiliza el agua en la elaboración de los alimentos para los trabajadores.

La Pasteurizadora con un almacenamiento de 115 m³ de capacidad, presenta un estado técnico desfavorable a raíz de múltiples salideros y deterioro en las infraestructuras, una hermeticidad variable y un ciclo de limpieza no definido.

La fábrica de Cerveza “Hatuey” cuenta con 120m³ de capacidad, un estado técnico regular a partir del deterioro en su fuente de almacenamiento mostrando grietas en sus paredes y un ciclo de limpieza eventual.

En el centro educacional que se toma como muestra el uso del agua constituye un imperativo para satisfacer las demandas y necesidades máximas de estudiantes, docentes y no docentes. La ciudad escolar 26 de Julio con un almacenamiento de 50 m³ de capacidad, muestra un estado técnico óptimo, con buena hermeticidad y un ciclo de limpieza cada seis meses.

Teniendo en cuenta la ubicación geográfica se puede apreciar que su distribución es en todas las direcciones abarcando todas las redes de distribución existentes desde la potabilizadora.

Resultados y su discusión

Las muestras de agua tomadas se analizaron en cuanto al comportamiento de los parámetros siguientes: cloro libre; turbidez; pH; color y análisis microbiológico de coliformes totales y fecales.

Los parámetros fueron escogidos teniendo en cuenta la importancia que revisten estos en cuanto a la calidad del agua potable, partiendo del criterio de que la modificación de algunos de ellos contribuye a una afectación organoléptica, que puede apreciarse fácilmente resultando desagradable para su aceptación como agua potable. Otros de ellos pueden incidir negativamente en la salud de la población que consumirá el agua. De una u otra manera todos son parámetros que su fluctuación puede modificarse por una mala manipulación o almacenamiento del recurso.

Los valores correspondientes al análisis del cloro libre residual se graficaron tal como muestra la figura 2. Como se puede apreciar en esta la planta de Sueros

Parenterales y la Ciudad Escolar 26 de Julio son los consumidores que mejores niveles de cloro residual mantienen en sus aguas de consumo, encontrándose muy cerca del valor óptimo de conservación. En los otros tres casos se presentan momentos en los que el cloro residual se encuentra por debajo del límite permisible inferior.

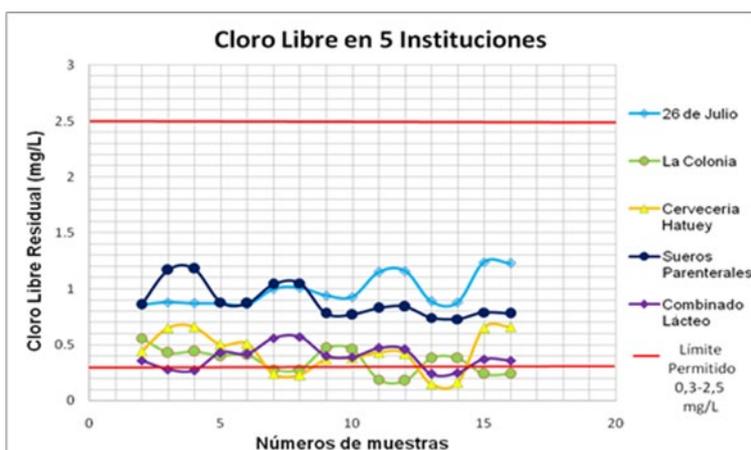


Fig. 2- Resultados Cloro Libre Residual para cada consumidor analizado

El cloro es el agente más utilizado en el mundo como desinfectante en el agua de consumo humano, debido principalmente a su carácter fuertemente oxidante lo que lo hace responsable de la destrucción de los agentes patógenos (en especial bacterias) y numerosos compuestos causantes de malos sabores; es más que comprobada su inocuidad a las concentraciones utilizadas; así como la facilidad de controlar y comprobar sus niveles adecuados. La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que no se ha observado ningún efecto adverso en humanos expuestos a concentraciones de cloro libre en agua potable. No obstante, establece un valor guía máximo de cinco miligramos por litro, y afirma explícitamente que se trata de un valor conservador.⁽⁸⁾

Los valores de turbiedad, tal como refleja la figura 3, en los diferentes consumidores se desplazan por encima de 2,8 mg/L siempre. En el caso del 26 de Julio y Sueros Parenterales se mantiene siempre por debajo de 4 mg/L, sin embargo, en los casos de La Colonia, Combinado Lácteo y la Cervecería Hatuey en varias oportunidades los valores obtenidos superan los límites máximos permitidos según la norma NC 827:2012 de calidad de agua potable.⁽⁹⁾

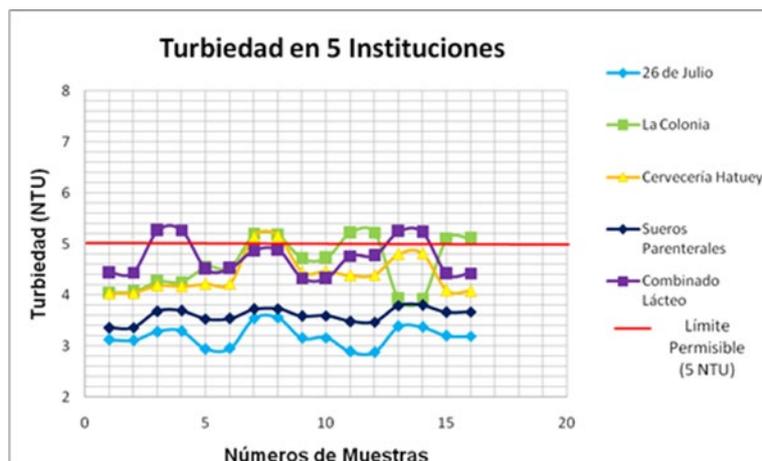


Fig. 3- Resultados turbiedad para cada consumidor analizado

El aspecto del agua, al igual que con el sabor o el olor, es una de las características que los consumidores toman como referencia para valorar las garantías sanitarias del agua que reciben en sus hogares, procedente de la red de suministro. Cualquier incidencia en este sentido puede ser un motivo de alarma entre la población abastecida, que podría interpretar que el agua no es segura a nivel sanitario.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) asume que, en general, la apariencia del agua con una turbidez inferior a 5 unidades nefelométricas (NTU) es aceptable para los consumidores. Sin embargo, dado que muchos microorganismos se adsorben o aglomeran en las partículas en suspensión en el agua, los agentes desinfectantes no siempre pueden acceder a ellos para destruirlos, de modo que la eficacia del proceso de desinfección pasa por conseguir un agua con la mínima turbidez posible.⁽⁸⁾

La efectividad del cloro también se ve afectada por el pH (acidez) del agua. La cloración no es efectiva si el pH es mayor de 8,5 o menor de 6,5.⁽⁸⁾ La figura 4 presenta los resultados y se demuestra que el pH se mantiene siempre según lo establecido en la norma NC 827:2012 para agua potable⁽¹⁰⁾ con valores entre 6,8 y 8.



Fig. 4- Resultados de pH para cada consumidor analizado

El color, junto con la turbidez, el olor y el sabor, son los parámetros que usa el consumidor para establecer si un agua es saludable y apta para el consumo humano. En la figura 5 se muestran los resultados de los análisis demostrando que el color se mantiene siempre según lo establecido en la norma NC 827:2012 para agua potable ⁽⁹⁾ con valores muy por debajo de las 15 unidades establecidas.

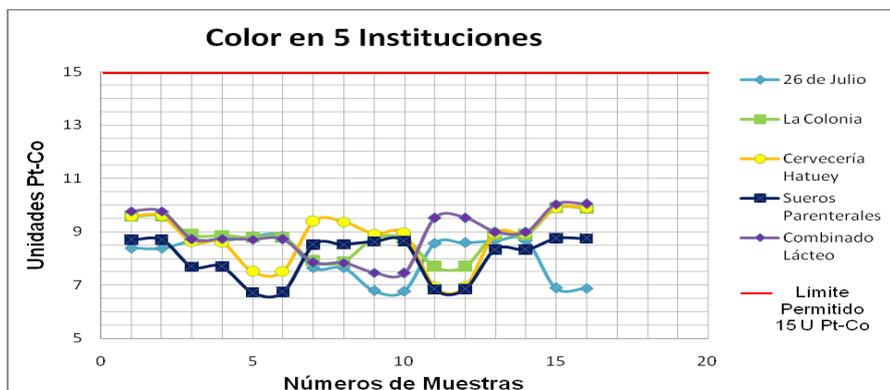


Fig. 5- Resultados del análisis de color aparente para cada consumidor analizado

La apreciación de color en el agua de bebida, normalmente en la gama del marrón pardo, el rojo y/o el amarillo, es causada, generalmente, por la presencia de materias orgánicas coloreadas relacionadas con el humus de la tierra por donde discurre el agua a potabilizar. En determinadas circunstancias, aparecen coloraciones más intensas debidas a la presencia de precipitaciones de sales de hierro y manganeso, que puede a llegar a teñir la ropa en el proceso de lavado. Puede también apreciarse como una alteración del color el emblanquecimiento que el agua puede adquirir, al producirse alteraciones en la

presión de distribución, por incorporación de microburbujas de aire en su interior.⁽⁸⁾

Por otra parte las enfermedades de origen hídrico de tipo microbiano son causadas por aguas contaminadas con excretas de seres humanos y animales. La forma de controlar la existencia de este tipo de contaminación es el análisis de la potabilidad microbiológica. Los análisis de este parámetro reportados arrojaron que en todos los casos se encontraban cumpliendo la norma que establece que los niveles de coliformes deben ser inferiores al 2,2 NMP/100mL. Es por ello que se puede afirmar que este es un parámetro muy controlado, tal como se refleja en la figura 6.

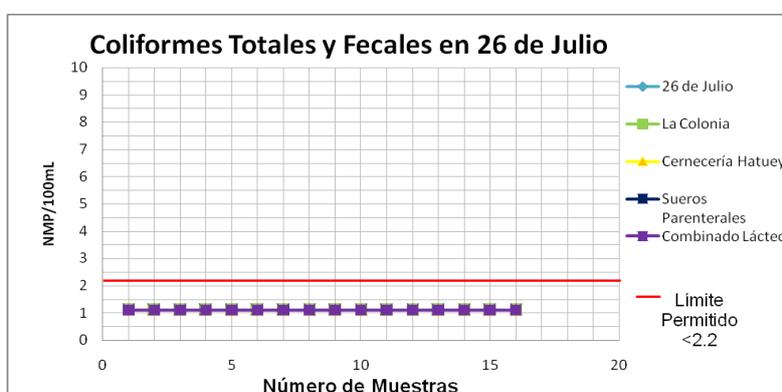


Fig. 6- Resultados Coliformes totales y fecales para cada consumidor analizado

El que este parámetro se mantenga en el rango normado resulta imprescindible, pues como parámetro madre, su modificación según lo establecido por la norma, indica la presencia de contaminantes que afectan seriamente la salud de la población y cuya modificación implica el empleo de métodos de tratamiento para su eliminación. Este parámetro fuera de norma anula el empleo del agua como potable.

Como se pudo apreciar, los parámetros de pH, color y coliformes se encuentran siempre según lo establecido en la norma NC 827:2012 para agua potable.⁽⁹⁾ Por consiguiente se puede afirmar, que estos son parámetros muy controlados.

En el caso del cloro libre residual, La Colonia, Combinado Lácteo y la Cervecería Hatuey son los consumidores en los cuales los valores de conservación presentan momentos por debajo del límite permisible inferior.

Para la turbiedad, La Colonia, Combinado Lácteo y la Cervecería Hatuey, en varias oportunidades, los valores obtenidos superan los límites máximos permitidos según la norma NC 827:2012 de calidad de agua potable.⁽⁹⁾

Se puede resumir que los consumidores cuyas aguas conservadas no cumplen en todo momento los parámetros establecidos por las normas son: La Colonia, Combinado Lácteo y la Cervecería Hatuey. En estos casos tiene una gran importancia las condiciones de almacenamiento en esas instituciones.

Debe señalarse que los centros objetos de estudio están distribuidos en toda la ciudad lo que indica que las afectaciones, en caso de que se deban solamente a las redes de distribución, están dadas por el deterioro de la infraestructura. Esto se plantea porque a pesar de que el gobierno ha invertido cuantiosos recursos en la modernización del sistema de redes de abastecimiento, hay lugares donde aún permanecen las instalaciones antiguas y hay zonas en las que las nuevas acometidas presentan salideros que o no han sido solucionados o la solución dada no fue eficiente.

Si a toda esta situación se adiciona el periodo de intensa sequía por el que ha atravesado la ciudad en los últimos tiempos, se podrá comprender que la situación de los sólidos que son arrastrados se incrementa contribuyendo a los niveles de turbidez elevados.

La figura 7 muestra la situación de una de las presas que abastece la potabilizadora.



Fig. 7- Situación de sequía en la ciudad

Cuando se añade cloro, éste purifica el agua al destruir la estructura celular de los organismos, lo cual los elimina. Sin embargo, este proceso sólo funciona si el cloro entra en contacto directo con los organismos. Si el agua contiene lodo, las bacterias se pueden esconder dentro del mismo y no son alcanzadas por el cloro.⁽¹⁰⁾

No hay razón para clorar el agua en la red de tuberías si el suministro es intermitente. Todos los sistemas de tubería tienen fugas y, cuando se detiene el suministro de agua, la presión baja y entra agua contaminada en los tubos a través de las grietas en las paredes de estos. Ningún nivel aceptable de cloro residual para los consumidores puede neutralizar niveles tan altos de contaminación. Se debe asumir que todos los suministros intermitentes de agua están contaminados y se deben tomar las medidas necesarias para desinfectarla en el punto de uso (sistema de almacenamiento). Teniendo en consideración lo que expresa la figura 8.⁽⁸⁾

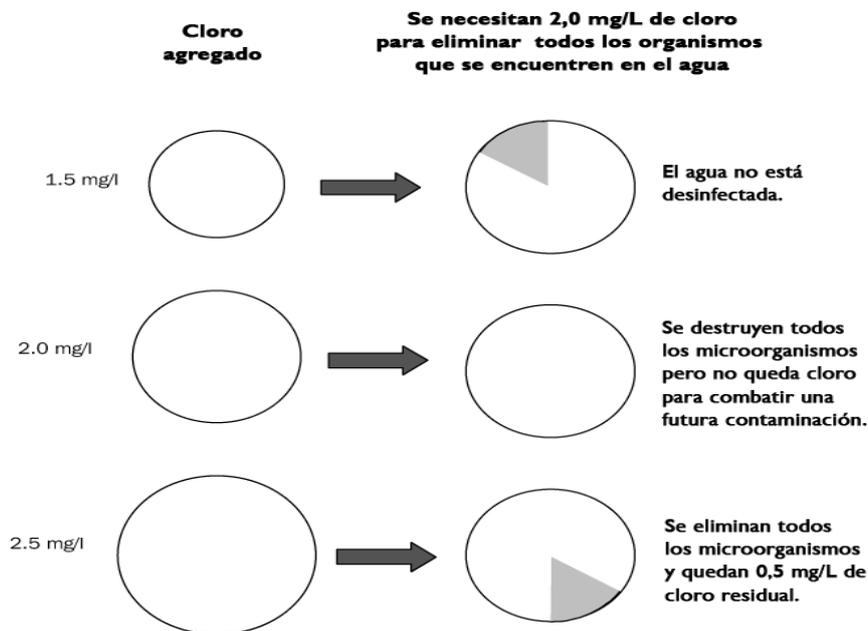


Fig. 8- Necesidades de cloro en el agua ⁽⁸⁾

Además, resulta imprescindible lavar y desinfectar las piscinas o tanques de almacenamiento antes de suministrar nueva agua al sistema, colocar mallas

protectoras para impedir la incorporación de materiales ajenos como los procedentes de árboles, y cercas perimetrales para impedir el acceso de animales que se encuentren en las cercanías.

Propuesta de un modelo predictivo

La propuesta de un modelo predictivo se realiza para estimar el tiempo máximo que garantiza el mínimo nivel de cloro residual libre permisible que debe disponer una fuente consumidora. En este caso se utiliza como ejemplo el Combinado Lácteo de Santiago de Cuba.

Para desarrollar el modelo, se parte de que la fuente consumidora recibe de la potabilizadora el agua con un nivel de cloro residual libre (X2) en un tiempo inicial, ese valor de cloro no necesariamente puede coincidir con el determinado por el laboratorio dentro de la potabilizadora y que cumple con la Norma Cubana 827-2012.⁽⁹⁾ A partir de ese momento no se alimenta más agua y los niveles de cloro residual en los puntos de almacenamiento comienzan a modificarse hasta alcanzar un valor determinado (Y) al cabo de un tiempo (X1). El tiempo puede modificarse atendiendo a los niveles de agua que disponga la potabilizadora para suministrar y cuyos valores se han visto afectados por la disponibilidad de agua en las presas; implicando por tanto que en ocasiones la demora del suministro haga que los consumidores se encuentren utilizando un agua cuyos valores de cloro residual no se acercan a los establecidos para agua potable. Es por ello que resultaría importante conocer la disponibilidad de cloro en el agua que se tiene almacenada al cabo de un tiempo dado.

La propuesta del modelo predictor fue en base a una regresión no lineal para el modelo de la Caja Box Wilson para dos factores, usando el Statgraphics 5.1, porque era el que estaba disponible, con los valores predeterminados para esta gestión. Como los datos experimentales fueron recolectados considerando a los mg/L de Cl libre en la fuente consumidora como la variable de respuesta para el ajuste fue conveniente considerar lo siguiente:

Variable dependiente: X1

Variables independientes: Y y X2

La forma del modelo ajustado brinda una gran ventaja con relación a los propósitos del trabajo, ya que si se hubiera ajustado un modelo considerando a Y como la variable dependiente, entonces se tendría que llevar a cabo toda una serie de artificios para lograr obtener el valor de X1 por despeje incluyendo técnicas iterativas, lo cual es a veces un problema.

Como lo que se quiere es que el nivel de cloro libre residual en la fuente consumidora (Combinado Lácteo) no esté fuera de la norma, por debajo del límite inferior (0,3 mg/L), el valor de Y en el modelo ajustado se fijará en ese límite. El valor de X1 sólo estará en función de X2, así se podrá estimar el tiempo máximo para alcanzar los 0,3 mg/L de cloro libre residual a partir del suministro de agua de la planta.

$$X1 = 231,5344 - 231,3654 * X2 + 58,413 * X2 ^ 2 \dots\dots\dots (1)$$

Ejemplo:

Si el valor de X2 = 2,4, entonces X1 = 12,72 días, que es el estimado del tiempo que debe transcurrir a partir de la fecha del suministro para que el valor de Y este lo más cercano posible a 0,3 mg/L.

Este mismo cálculo se muestra en la figura 9, usando el mismo Statgraphics.

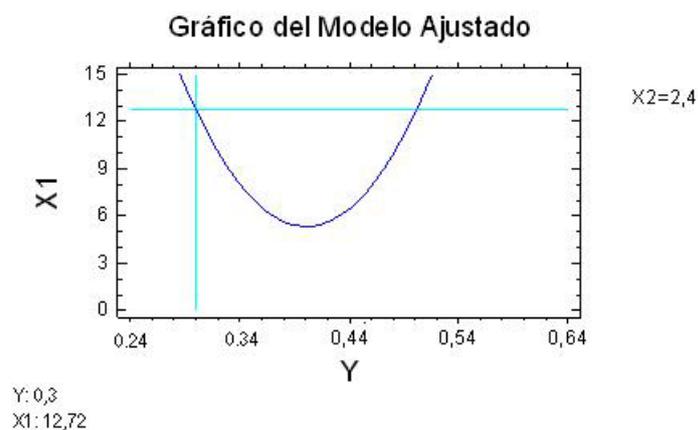


Fig.9- Gráfico del modelo ajustado usando el Statgraphics

De los datos obtenidos por el ajuste, se infiere que el error estándar es de 1,47 lo que se traduce que la estimación tiene un margen de $\pm 1,5$ días. El estadístico Durbin – Watson garantiza un rango de confiabilidad de $\pm 2,54$ días.

Conclusiones

1. La calidad del agua en la potabilizadora y los cinco consumidores de estudio fue determinada por la medición de los parámetros pH, color, turbidez, cloro libre residual y determinación de coliformes totales y fecales, resultando La Colonia, La Cervecería Hatuey y el Combinado Lácteo las entidades en las cuales el cloro libre residual y la turbidez se encuentran fuera de norma en algunas ocasiones.
2. Las afectaciones de la calidad del agua potable que recibe la ciudad se deben fundamentalmente al deterioro de la infraestructura de las redes de abastecimiento y a las malas condiciones de almacenamiento del líquido en las instituciones antes mencionadas.
3. Se propone un modelo predictivo que posibilita determinar el tiempo máximo que garantiza el mínimo nivel de cloro residual libre permisible que debe disponer una fuente consumidora.

Referencias bibliográficas

1. PÉREZ LÓPEZ, JHEAN ELEISON. Caracterización de la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable y en las redes de distribución en la ciudad de Yopal. Trabajo de Grado (Ingeniería Química). Universidad de Santander. Bucaramanga. 2010. p.14.
2. MARIN, RAFAEL, “Físico-Química y Microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas”, Madrid, Ediciones Días de Santos S.A, 2003.

3. SPELLMAN, FRANK R. "The Science of Water Concepts Applications. Second Edition. 2006 p. 289-323.
4. TORRES, NORMA MARÍA, Determinación del costo de procesamiento de un metro cúbico de agua en la Planta Potabilizadora Quintero. Tesis en opción al título de licenciada en Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Oriente, 2015. p. 14.
5. DIRECCIÓN DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO. Manual de Operación. Plantas Potabilizadoras de agua con tecnologías convencionales, simplificadas, importadas. Editorial: INRH. 2014.
6. CÁMARA, C., FERNÁNDEZ P. "Toma y Tratamiento de muestras". Colección Biblioteca de Química, 3. Ed. Síntesis. 2002. p. 16-21.
7. VIJAY P. SINGAHAD AND A. GHOSH GOBOA. "Advanced in Water Science Methodologies". Edited by U. Aswata Narayona Taylor and Francis. 2005. p. 8. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/19/6874>
8. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2004). Guidelines for drinking water quality, 3RD ED., OMS, Ginebra.
9. NORMA CUBANA NC 827:2012 "Agua Potable - requisitos sanitarios." 2da Edición.
10. DÍAZ B. R. "Tratamiento de aguas y aguas residuales". Editorial ISJAE, Ciudad de La Habana, 1987. Publicación interna.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses

Contribución de los autores

Telvia Arias Lafargue: identificación de los puntos de muestreo, evaluación de la calidad del agua, preparación del informe.

Sara Arias Zamora: toma de muestras, procesamiento de los datos experimentales, evaluación de la calidad del agua, preparación del informe.

Delis Portuondo Savón: toma de muestras, procesamiento de los datos experimentales, evaluación de la calidad del agua.

Emilio Álvarez Monier: propuesta y desarrollo del modelo predictivo.