

Rev. Cienc. Technol.
Año 6 / N° 6 / 2004 / 5-11

ANÁLISIS DE VARIABLES DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA CIUDAD DE OBERÁ, MISIONES MEDIANTE GRÁFICOS DE CONTROL

Michalus, J. C. / Santander, P. R. / Rajczakowski, L.
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Juan Manuel de Rosas 325. (CP 3360)
Oberá, Misiones, Argentina. racha@fiobera.unam.edu.ar.

ABSTRACT

ANÁLISIS OF VARIABLES IN THE PROCESS OF WATER SANITATION IN OBERÁ MISIONES BY MEANS OF CONTROL CHARTS

This paper deals with the chlorination, turbidity, pH and the amount of fluorine in water at the sanitation water plant in Oberá, Misiones.

First, the process is described. Then the variables previously mentioned are measured when the water leaves the plant to see if they meet the standards required for human use. Control charts are written by measuring the variables over a specific period of time. Data is analysed and some recommendations are made for improving the process.

KEY WORDS: Clean water, Diagnosis, Control charts.

RESUMEN

Este trabajo estudia las características del agua relacionadas con Cloración, Turbidez, pH y contenido de Flúor en la planta de potabilización de agua de la ciudad de Oberá, provincia de Misiones. En primer lugar se describe el proceso y, en función de los resultados obtenidos mediante mediciones realizadas a la salida de la planta, se determina si las variables mencionadas se ajustan a los requerimientos de las normas que rigen para el agua de consumo humano. Se confeccionan gráficos de control, mediante un seguimiento en las mediciones de las variables durante un período determinado. Se realiza el análisis de datos y algunas recomendaciones para mejorar el proceso.

PALABRAS CLAVES: Agua potable, Diagnóstico, Gráficos de control.

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento básico indispensable para todos los seres vivos y, si bien la tierra tiene su superficie cubierta en alrededor de noventa por ciento por este elemento, solo el tres por ciento es dulce y un porcentaje aún menor es directamente potable.

Para el consumo humano es necesario que los niveles de concentración de elementos extraños presentes en la misma sea muy baja, de manera que no representen un peligro para la salud.

El agua obtenida en estado natural presenta niveles de sustancias extrañas relativamente altos.

El proceso mediante el cual es purificada para convertirla en agua bebible, asegurando que no dañe la salud, se denomina "proceso de potabilización". Se realiza generalmente a gran escala, en instalaciones que se denominan "plantas de potabilización".

Este trabajo tiene como objetivo realizar un control de proceso por diagnóstico de las características del agua relacionadas con cloración, turbidez, pH y contenido de flúor en la planta de potabilización de la ciudad de Oberá, provincia de Misiones, utilizando como herramienta los gráficos de control.

En primer lugar, se hará una breve descripción del proceso de potabilización a que es sometida el agua cruda.

POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Para abastecer de agua potable a la ciudad de Oberá, el agua cruda es obtenida del cauce del arroyo Ramón, desde donde se bombea hasta la planta de potabilización de la ciudad, ubicada a una distancia aproximada de 5.000 m de la toma de agua y a 109 m de altura manométrica respecto del cauce del arroyo.

La planta de potabilización está ubicada en la zona más elevada de la ciudad, a unos 4.500 m del centro de la misma. La distribución se realiza por gravedad y abastece a unas 8.500 conexiones.

Las etapas del proceso de potabilización que se realiza en la planta se esquematizan en la Figura 1.

Agregado de Cal y Sulfato de Aluminio

En esta etapa, al agua cruda proveniente del arroyo se le adiciona una solución acuosa de cal y sulfato de aluminio a efectos de iniciar el proceso de potabilización.

La cal es introducida con la finalidad de regular la condición ácida del agua, medida a través del indicador denominado: "pH"[1].

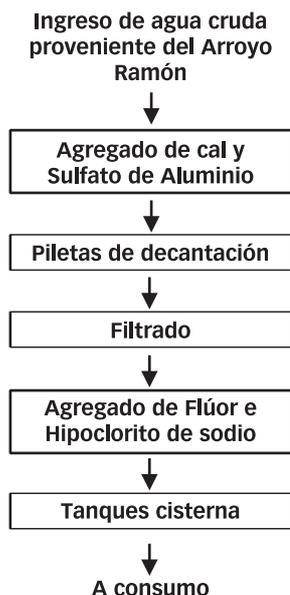


FIGURA 1: Etapas del proceso de potabilización de agua de la ciudad de Oberá.

El Sulfato de Aluminio actúa como coagulante de la materia sólida contenida en el agua, la que inicia un proceso de agregación (agrupamiento) en pequeñas entidades en suspensión denominadas "flóculos".

Decantación

En esta etapa, el agua es conducida a través de grandes piletas de decantación, donde una gran proporción de los flóculos formados por adición del sulfato de aluminio en la etapa anterior se depositan en el fondo. La velocidad de decantación depende del pH del agua, de la velocidad de agitación al inicio del proceso de floculación y decantación, y de la velocidad de desplazamiento horizontal del agua en las piletas.

Filtrado

El agua que sale de las piletas de decantación ingresa a la etapa de filtrado, donde se la hace pasar por filtros constituidos de arena y piedras, cuya función es retener los sólidos aún en suspensión en el agua, aumentando así la transparencia del líquido. Dicha transparencia se mide a través del parámetro denominado: "turbidez".

Agregado de Flúor y Cloro

Una vez realizado el filtrado se agrega al agua una solución de hipoclorito de sodio para lograr su desinfección, es decir, se busca destruir y/o evitar el desarrollo de los gérmenes nocivos que puedan causar enfermedades.

También se adiciona flúor (silicofluoruro de sodio), que supuestamente ayuda a la formación ósea y a la prevención de caries en la población en edad de crecimiento que consume el agua potable.

Depósito en tanques cisterna

El agua, potabilizada y tratada, es depositada en tanques cisterna de gran volumen (3.000.000 de litros), que actúan como reserva ante algún inconveniente que obligue a detener el proceso de potabilización en la planta (por ejemplo: desperfectos en las estaciones de bombeo que impulsan el agua hacia la planta), y ante incrementos de demanda (por ejemplo: variaciones de consumo durante las horas del día).

Parámetros a examinar

Los parámetros que se miden en la planta de potabilización de agua de la ciudad de Oberá son los siguientes:

- pH del agua
- Turbidez o turbiedad
- Contenido de cloro libre
- Contenido de flúor

Estos parámetros se miden en varios puntos del proceso. Para el análisis se ha tenido en cuenta las mediciones realizadas a la salida de los tanques cisterna, debido a que esto garantiza que las características de calidad medidas sean las que realmente entrega el proceso. En este punto los parámetros mencionados deben presentar valores que se encuentran en un cierto rango, y los valores máximos y mínimos están fijados tomando como base los establecidos por el Código Alimentario Argentino [2] (entre muchos otros valores que establece para el agua potable), tal como se muestra en la tabla 1.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron dos muestras diarias de agua en la salida de los tanques cisterna de la planta de tratamiento, coincidentes con las tomas rutinarias realizadas por el perso-

nal de la empresa (una por la mañana y otra por la tarde) con un recipiente limpio de un litro de capacidad, que se trasladó hasta el laboratorio donde se realizaron las mediciones.

El pH del agua se midió utilizando el método Rojo-Fenol, con un colorímetro digital marca HACH Pocket Colorimeter pH and Chlorine (c12); precisión: +/-0,1 unidades. El contenido de cloro se midió utilizando el mismo instrumento, con el método DPD, precisión: +/- 0,02 mg/l de cloro libre.

Para medir la Turbidez se utilizó un turbidímetro digital marca HACH, modelo 2100P, precisión: +/- 2% en escala 0-1000 NTU, +/- 5% en escala 1000-4000 NTU.

El contenido de flúor se midió utilizando el método SPADNS, con colorímetro digital marca HACH Fluoride Pocket Colorimeter; precisión: +/- 0,1 mg/l.

CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICOS DE CONTROL

Para indicar las variaciones que se producen en un proceso resulta útil construir gráficos que representan valores de un parámetro determinado registrados en el tiempo.

Particularmente, los "gráficos de control" permiten apreciar la variación temporal de las características medidas, determinando si el proceso se encuentra "bajo control estadístico", es decir, si los parámetros medidos presentan variaciones debido a causas aleatorias, dentro de los límites de control de proceso y, además, permiten conocer su tendencia.

Dentro de los diversos tipos de gráficos de control existentes [3] se utilizaron los gráficos de control de medidas individuales X y amplitud (rango) R, dado que es posible realizar una medición por lote de agua tratada, y los límites de control para medidas individuales pueden ser comparados directamente con los límites de tolerancia [4].

Los "límites de tolerancia" en este caso, son los valores máximos y mínimos fijados en base al Código Alimentario Argentino para el contenido de Cloro, Flúor y Turbidez del agua potabilizada.

Tabla 1: Valores establecidos para el pH, turbiedad, contenido de flúor y contenido de cloro del agua potable

Parámetro característico	Valor máximo	Valor mínimo
pH	8,5	6,5
Turbiedad	3 NTU*	-
Contenido de flúor	1,2 mg/l**	0,6 mg/l
Contenido de Cloro libre	2,8 mg/l	0,6 mg/l

* NTU = unidad de turbiedad nefelométrica. ** mg/l = miligramos por litro.

Para determinar el rango específicamente se utilizó el "método de los rangos móviles" [1], que consiste en agrupar "n" medidas individuales consecutivas para formar un grupo de datos que permita determinar un valor característico de la serie de mediciones. A continuación, se forma un nuevo grupo que es similar al anterior, con la diferencia que se desecha la medición más antigua y se incorpora una nueva.

Para el caso bajo análisis se adoptó $n = 3$, es decir, se agruparon los datos de tres mediciones consecutivas para formar el subgrupo a partir del cual se determinó el rango.

Los valores de las medidas individuales (X) se graficaron directamente.

Se determinaron los límites de control (Límite Superior de Control: LSC, Línea Central: LC y Límite Inferior de Control: LIC).

Si bien los datos en la planta se registran en forma periódica, para este trabajo se utilizaron valores correspondientes a un período de tiempo durante el cual el equipo participó supervisando las mediciones, comprendido entre Abril y Mayo de 2002.

Se procedió a medir los parámetros en la salida de la planta de potabilización (en la salida de las cisternas), obteniendo en total 30 mediciones, a partir de las cuales se construyeron los gráficos de control. En el caso del flúor, se realizaron únicamente 24 mediciones debido a problemas con la provisión del reactivo correspondiente.

Es importante destacar que, como lo plantean Juran y Gryna [4], la mayoría de los procesos industriales no están bajo control cuando se analizan por primera vez (como en este caso). Las razones para que ciertos valores estén fuera de los límites de control se deben a causas

atribuibles, las que deberán ser descubiertas y eliminadas. A medida que se realizan las correcciones, nuevos datos deberán ser recolectados, los límites de control recalculados, los datos graficados, obteniendo el control en forma gradual. Las causas atribuibles a todo proceso pueden ser económicamente descubiertas y eliminadas con un tenaz programa de diagnóstico. Las causas aleatorias no son posibles de descubrir, al menos de manera económica y no pueden ser removidas sin que se hagan cambios de fondo en el proceso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan en forma gráfica, indicando los valores medidos, los límites de control, y los valores máximos y mínimos establecidos.

Gráfico de control de X y R para el pH a la salida de la cisterna

El pH no se encuentra bajo control. La medición N° 23 está fuera de los límites de control, debido a un problema en la dosificación de cal (obturación de la salida) al inicio del proceso. En este caso, la solución definitiva de este problema requeriría un sistema de dosificación que pueda ser controlado en forma automática, con un sistema que evite la obturación.

Gráfico de control de X y R para el contenido de cloro

En la Figura N° 3 se observa la variación del contenido de cloro libre disponible o cloro residual en el agua a la salida de la cisterna.

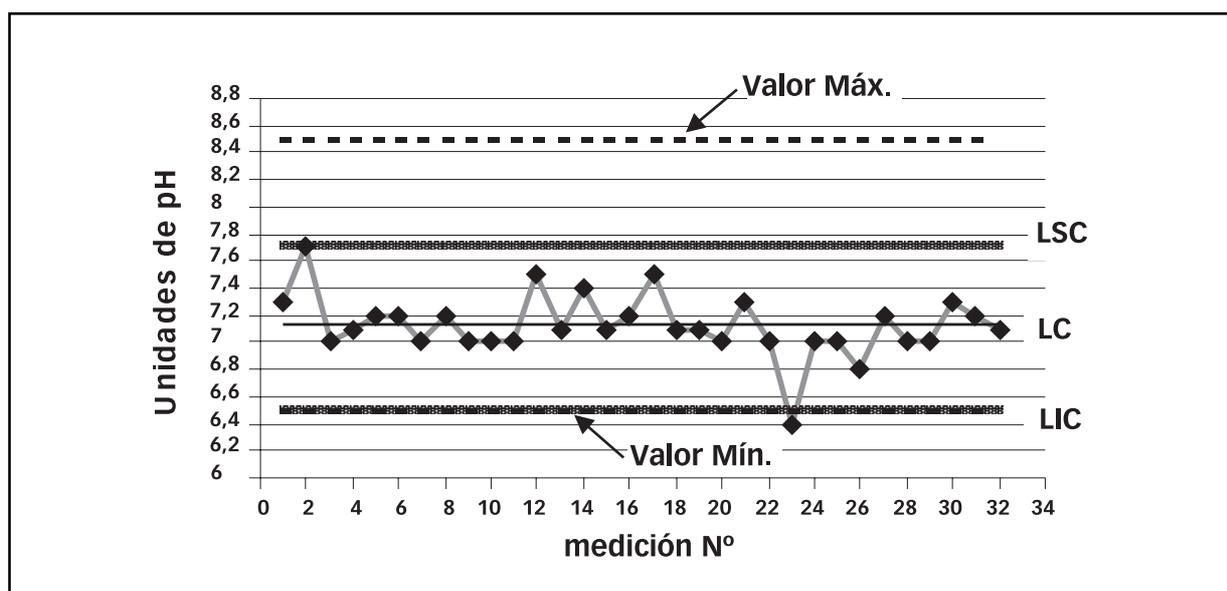


FIGURA 2A: Gráfico de control para la media y el rango del pH, a la salida de la cisterna.

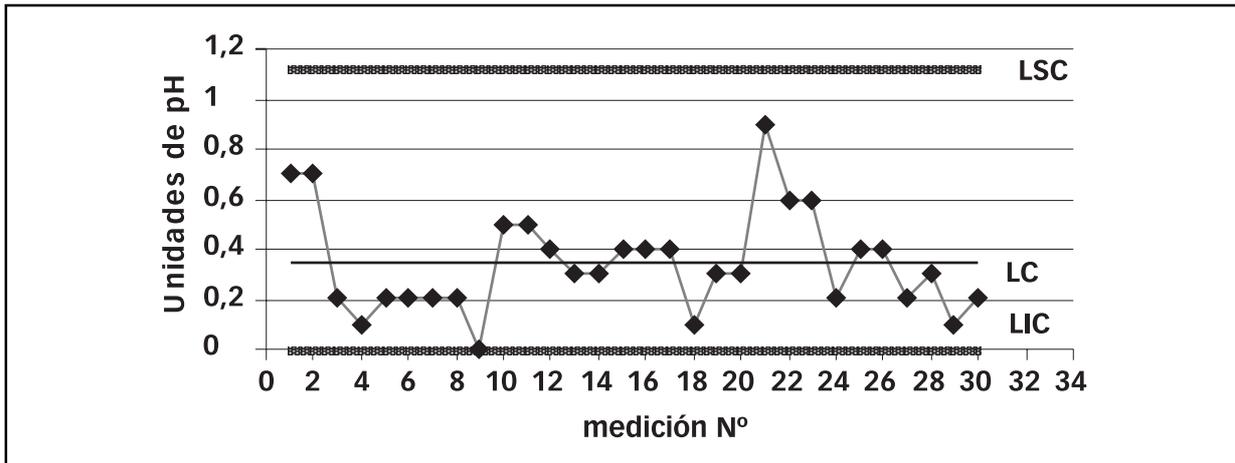


FIGURA 2B: Gráfico de control para la media y el rango del pH, a la salida de la cisterna.

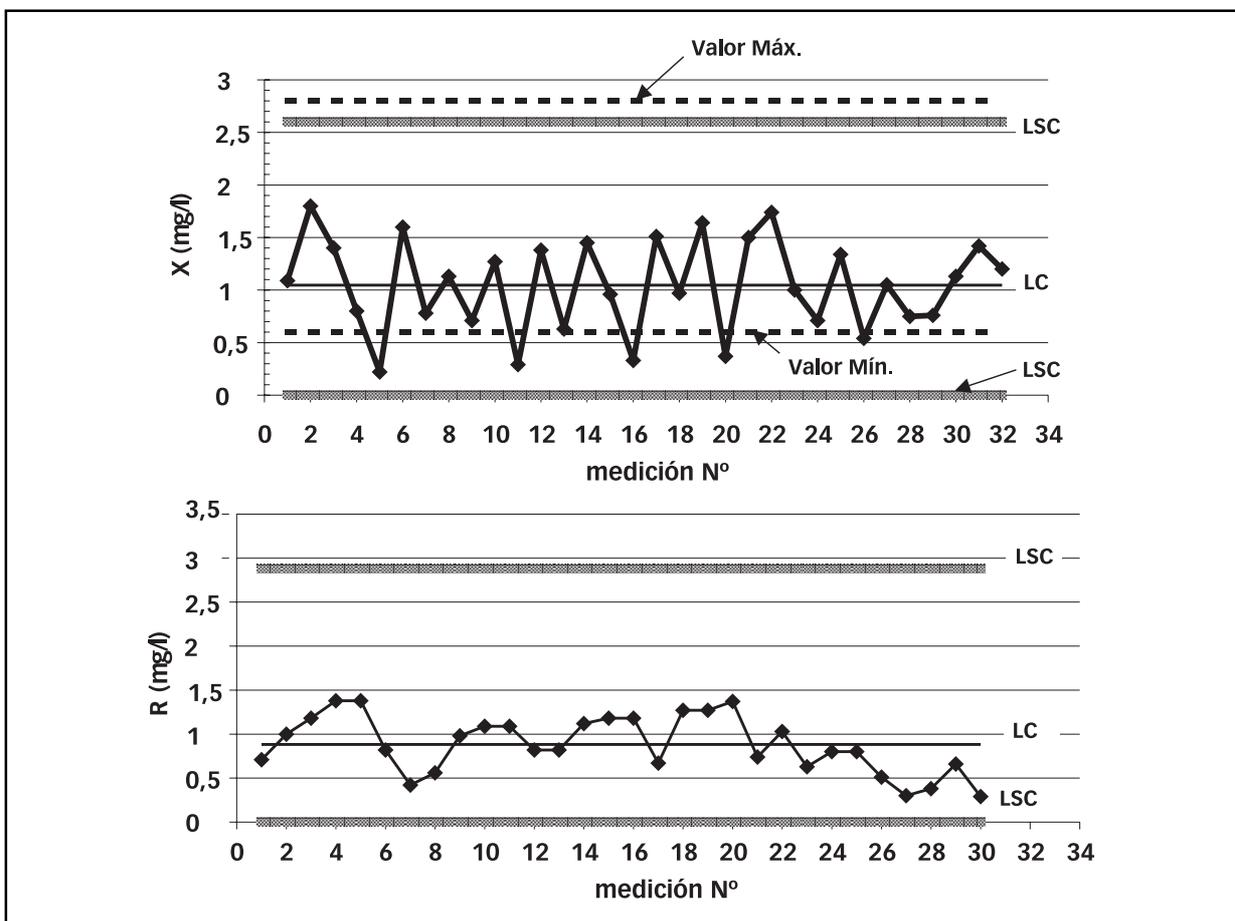


FIGURA 3: Gráfico de control para la media y el rango del contenido de cloro, a la salida de la cisterna.

Del análisis de las gráficas se desprende que el proceso se encuentra bajo control estadístico.

El Límite de Control Superior LSC está ubicado por debajo del límite de tolerancia máximo establecido (ver Tabla 1). En cambio, el Límite de Control Inferior está por debajo del límite de tolerancia mínimo, y se observa que el contenido de cloro en las muestras N° 5, 11, 16, 20 y 26, está por debajo de los valores establecidos.

Para que el proceso se ubique dentro de las especificaciones, se podría aumentar el contenido de cloro (de manera que aumente la media) lo que traería aparejado inconvenientes relacionados al excesivo contenido que recibiría el usuario. Otra alternativa es reducir la variabilidad del proceso, lo que implicaría realizar cambios fundamentales en el mismo, como por ejemplo, implementar un sistema de regulación automática del ingreso de cloro,

en función del caudal de agua. Esta regulación se hace actualmente en forma manual, a través del cierre o apertura de válvulas que regulan el ingreso de cloro a la cisterna

Gráfico de X y R para la Turbiedad a la salida de la cisterna

En la Figura N° 4 se representa la variación de la turbiedad, medida en la salida de los tanques cisterna de la planta de potabilización.

El gráfico de control indica que la turbiedad en la salida de cisterna no se encuentra bajo control y además, en la medición N° 6 supera el límite establecido por el Código Alimentario Argentino. Los puntos fuera de los límites de control (6 y 14) se deben a causas atribuibles, las que pueden ser detectadas y eliminadas.

En el gráfico del rango, se pueden apreciar variaciones bruscas de este parámetro, lo que indica un cambio en la uniformidad del proceso.

El punto 6 se debe a que las cisternas estaban muy sucias y se produjo un aumento en la demanda de agua.

El punto 14 se debe a la rotura de un agitador, en una de las piletas de decantación.

Gráfico de control de X y R para el contenido de flúor

En la Figura 5 se observa que la variación de flúor no se encuentra bajo control, la medición N° 9 cae fuera de los límites de control. En lo que refiere a los valores establecidos como Límite de Tolerancia (Tabla I), se observa que varios puntos se encuentran por debajo de la línea que representa al valor considerado mínimo.

El gráfico indica que la variable sale fuera de control en el punto número 9, lo que se puede corroborar en la gráfica de R, ya que a partir de la medición número 6 se produce un aumento brusco del rango, debido a la existencia de una causa atribuible. Un error en la dosificación de flúor produjo la salida de control observada.

CONCLUSIONES

Los procesos correspondientes al pH Turbiedad y Flúor están fuera de control estadístico y todos presentan valores fuera de especificación. El análisis realizado permite inferir que se podría mejorar esta situación en forma sustancial mediante sistemas de dosificación automática, que operen en función del caudal de agua tratada.

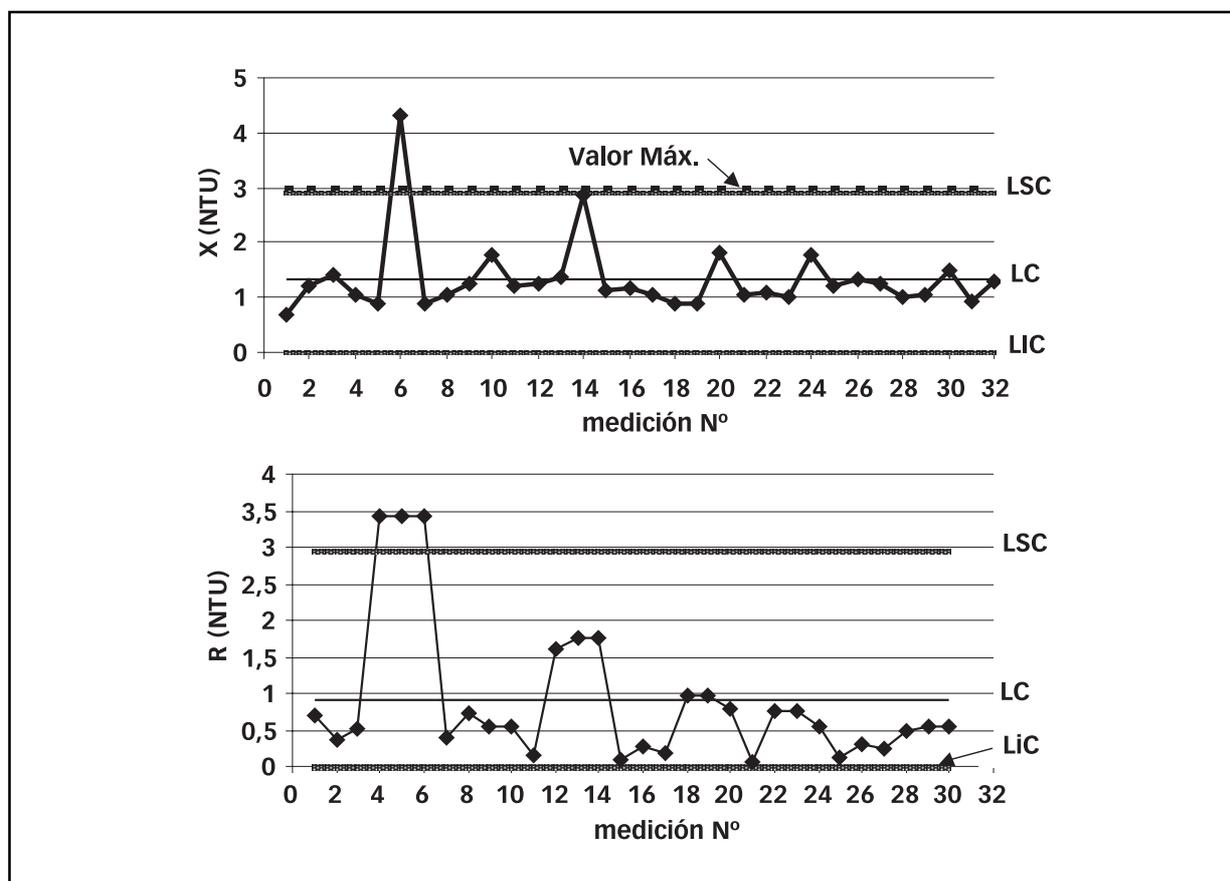


FIGURA 4: Gráfico de control para la media y el rango de la turbiedad del agua, a la salida de la cisterna.

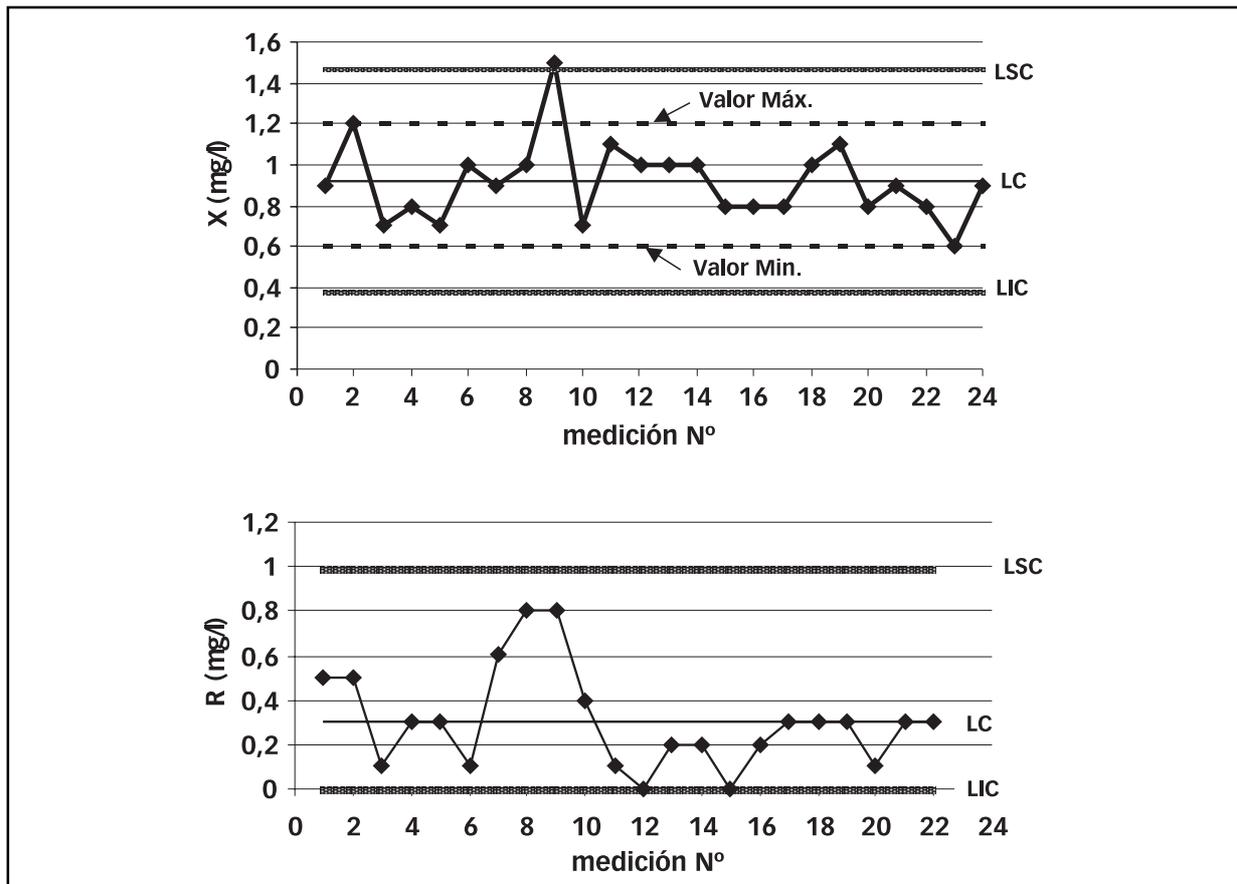


FIGURA 4: Gráfico de control para la media y el rango del contenido de flúor del agua, a la salida de la cisterna.

Los gráficos presentados deben ser considerados como el inicio del monitoreo del proceso, y su implementación futura, asociada a la capacitación del personal en el uso de esta herramienta, permitiría chequear continuamente la estabilidad del proceso y adoptar las acciones correctivas necesarias para asegurar las características de calidad exigidas.

Se recalca que a medida que se realizan las correcciones, nuevos datos deberán ser recolectados, los límites de control recalculados, los datos graficados, obteniendo el control en forma gradual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Romero Rojas, J. A.**
Calidad del Agua, 2º ed. Alfaomega, México, 1999.
2. **Código Alimentario Argentino**
Actualizado - I.S.B.N. Soporte CD N°: 950-9407-62-3 - publicado por De La Canal y Asociados SRL, Bs. As., Argentina, 2000.
3. **Juran, J. M.**
Manual De Control de Calidad, Tr. José María Vallhonrat, Barcelona, España, 1990.
4. **Juran, j. M; Gryna, F. M.**
Controle da Qualidade. Métodos estatísticos clássicos aplicados à Qualidade, Tr. María Claudia de Oliveira Santos (coordinadora), Sao Paulo: Makron books, 1992.
5. **Alonso, C. V.**
Control Estadístico de la Calidad, Alfaomega Grupo Editor S.A. de CV, México, 2001.

Recibido: 18 de Febrero de 2004.
Aprobado: 25 de Octubre de 2004.