

Higiene y Sanidad Ambiental, **16** (1): 1381-1385 (2016)

Comportamiento de los parámetros físico-químicos del agua para hemodiálisis en diferentes plantas de tratamiento

BEHAVIOR OF THE PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS OF WATER FOR HEMODIALYSIS IN DIFFERENT TREATMENT PLANTS

Daniel PALACIO ESTRADA, Alina Ester MEZQUIA VALERA, Geominia MALDONADO CANTILLO, Nadiecha COTARELO GÓNGORA, Marta FERNÁNDEZ NOVO, Ricardo CANGAS RANCAÑO

Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM). Infanta 1158 e/Llinás y Clavel. Ciudad de La Habana, Cuba.

Correspondencia: Daniel Palacio Estrada. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM). Infanta 1158 e/Llinás y Clavel. La Habana, Cuba. Correo-e: palacio@infomed.sld.cu / palacio@inhe.m.sld.cu

RESUMEN

Introducción: La calidad de agua usada en hemodiálisis es de suma importancia ya que un paciente al que se efectúa este tratamiento se pone en contacto con 400 a 600 litros de agua por semana. *Objetivo:* Determinar el comportamiento de los parámetros físicos químicos del agua para hemodiálisis. *Material y métodos:* Se analizaron 54 muestras de aguas procedentes de diferentes Plantas de tratamiento; para analizar los parámetros se tomó como referencias del agua la norma NC 827: 2010: "Agua potable. Requisitos sanitarios" y para osmosis inversa la Guía Cubana para la Vigilancia de la Calidad Físico-Química y Microbiológica de Agua. Los datos primarios fueron introducidos, mediante MS EXCEL 2000 y posteriormente procesados mediante el programa SPSS 20. El análisis estadístico incluyó el cálculo de los valores de tendencia central (media aritmética y mediana) y el porcentaje de transgresión de la norma, así como correlaciones entre los parámetros estudiados. *Resultados:* En la salida del agua de osmosis no se detectó concentraciones de cloro libre residual ni cloraminas, se observa una asociación de moderada a fuerte entre conductividad (CE), sulfatos y nitratos. *Conclusiones:* El comportamiento de los parámetros evaluados del agua utilizada para la hemodiálisis fue adecuado.

Palabras clave: Agua para hemodiálisis, parámetros físico-químicos.

INTRODUCCIÓN

La calidad de agua usada en hemodiálisis es de suma importancia ya que un paciente al que se efectúa este tratamiento se pone en contacto con 400 a 600 litros de agua por semana, a través de una membrana no selectiva y dado que además tiene insuficiencia renal que impide eliminar los contaminantes acumulados. Una persona normal promedio puede consumir de 500 a 1000 litros de agua anualmente, mientras que un paciente con necesidad de hemodiálisis, a través de una membrana semipermeable, consume de 30 000 a 60 000 litros de

agua por año. La materia prima de las plantas de tratamiento es el agua y para lograr mayor eficiencia y mejor funcionamiento de estas se hace necesario analizar previamente el agua que les va a ser suministrada, con el fin de que sean contratadas con un diseño idóneo de acuerdo con la calidad del agua que van a tratar. Como el agua es un elemento esencial en los tratamientos de diálisis debe estar controlado en forma permanente para asegurar su calidad y pureza (OMS/UNICEF, 2015; García et al, 2013; Mariné y García, 2011).

Actualmente, la calidad microbiológica y físico-química del agua para hemodiálisis ha adquirido una

importancia sustancial en el tratamiento dialítico a tal punto de inferir en la morbi-mortalidad de pacientes en hemodiálisis crónica. Es decir, que el agua de hemodiálisis supone más del 96% del líquido de diálisis que se pone en contacto con el paciente a través del dializador, en una cantidad entre 90 y 240 litros por sesión aproximadamente. Algunos contaminantes del agua se pueden transferir al paciente y acumularse en grandes cantidades. A esto habría que sumar el hecho de que la insuficiencia renal le impide eliminar los contaminantes acumulados, pudiéndole ocasionar una verdadera intoxicación. Existen numerosas publicaciones en la literatura médica que mencionan intoxicaciones agudas y crónicas en pacientes en hemodiálisis producidas por contaminación del agua, que han condicionado importante morbi-mortalidad. Es por eso que el agua a utilizar en la hemodiálisis debe cumplir con requerimientos específicos, por lo que se somete a un tratamiento de ósmosis inversa, que se trata de un procedimiento muy costoso y que presenta el enorme reto de producir grandes cantidades de agua de alta pureza con un costo-efectividad aceptable. Con estos fines el Ministerio de Salud Pública ha venido desarrollando en los últimos años la ampliación y mejoramiento de los servicios de hemodiálisis del país, para lo cual se han contratado y comprado nuevas plantas de tratamiento de agua de alta tecnología automatizada de ósmosis inversa para asegurar una calidad óptima de agua que permita un mejor servicio de tratamiento y una mejor calidad de vida a los pacientes. Tenemos que tener en cuenta que no existe un tratamiento de agua igual para todas las unidades de diálisis, pues dependerá de la calidad química y bacteriológica del agua de aporte a tratar, su procedencia y posibles variaciones de los elementos disueltos en ella a lo largo del tiempo, limitaciones arquitectónicas, necesidades cuantitativas y cualitativas, presupuesto económico y perspectivas de evolución, tanto de los propios tratamientos de agua como de las nuevas técnicas de diálisis (Mariné, 2011; Trimarchi, 2008; Aguiar et al, 2008; Prieto et al, 2004). Por tal motivo, el propósito de este estudio fue que respondiera a la siguiente pregunta:

¿Cómo ha sido el comportamiento de los parámetros físico-químico de contaminación del agua para hemodiálisis de importancia sanitaria? El objetivo del estudio es determinar el comportamiento de los parámetros físicos químicos seleccionados del agua para hemodiálisis de diferentes plantas de tratamiento en el año 2014.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se analizaron 54 muestras de aguas procedentes de diferentes Plantas de tratamiento para hemodiálisis correspondientes a 15 hospitales de La Habana (Cuba), las cuales se recibieron en el Laboratorio de Química del Agua del Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología (INHEM), se les

aplicó como referencias del agua en el interior del hospital la norma NC 827: 2010: "Agua potable. Requisitos sanitarios", y para el agua tratada por ósmosis inversa se empleó la Guía Cubana para la Vigilancia de la Calidad Físico-Química y Microbiológica de Agua para Hemodiálisis. Se procedió a la toma de muestras según métodos normalizados con el fin de que sea representativa de la fuente de abasto de la red de distribución teniendo en cuenta los puntos clave siguientes: entrada de agua a la Planta de tratamiento y salida de agua osmosis inversa.

Las muestras de agua fueron preservadas, conservadas y analizadas de acuerdo con los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (21 ed., 2012), el Manual de Calidad y Procedimientos del INHEM (2014), y el Manual de Métodos de Análisis para Aguas de Hemodiálisis (INHEM, 2011).

Métodos de Análisis

Los datos primarios fueron introducidos, mediante MS EXCEL 2000 y posteriormente procesados mediante el programa SPSS 20. El análisis estadístico incluyó el cálculo de los valores de tendencia central (media aritmética y mediana), y el porcentaje de transgresión de la norma. Se tomó como límites máximos admisibles (LMA), lo establecido en la Norma Cubana NC:827:2012. Agua Potable. Requisitos Sanitarios. Esta norma establece los LMA siguientes: Sulfatos, 400 mg/L; dureza total como CaCO_3 , 400 mg/L; cloro libre, 2,0 mg/L; nitrato, 45 mg/L; en el caso de la conductividad la norma no establece LMA, pero tomamos como referencia la Comunidad Europea, con un valor guía en agua potable de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En el laboratorio con antelación se había realizado la validación de los métodos de análisis para que en el caso de que al analizar las muestras, estas dieran una señal no significativa en el rango lineal de la curva de calibración, se reportaba como $< \text{LCM}$ y para realizar el análisis estadístico, se asumió el valor del LCM de cada parámetro, como se expresa a continuación:

Sulfatos, 3.121 mg/L para el Método A (el cual se utiliza cuando la concentración de sulfato en la muestras sea mayor de 10 mg/L), y a la salida del agua osmosis inversa el Método B > 0.129 mg/L (se utiliza cuando la concentración de sulfato en la muestras sea menor de 10 mg/L); conductividad, > 2.94 $\mu\text{S}/\text{cm}$; nitrato, > 2.18 mg/L; cloraminas, ≥ 0.1 . Los siguientes valores de referencia para análisis físico-químico de agua tratada por osmosis inversa se establece en la Guía cubana (LMA): conductividad, ≥ 50 ; $\text{SO}_4 \geq 100$; $\text{NO}_3 \geq 8.86$; dureza total ≥ 21.57 ; cloro libre residual ≥ 0.5 ; y cloraminas ≥ 0.1 .

Se utilizó la Prueba de Kolmogorov-Smirnov, para evaluar la normalidad de la distribución de los resultados de los parámetros estudiados. Se hallaron media, máximo y mínimos para cada parámetro físico-químico, así como el porcentaje de muestras

Tabla 1. Parámetros físico-químicos en las entradas de agua a las Plantas de tratamiento y salidas de osmosis inversa.

Parámetro físico-químico	Mínimo	Máximo	Media	% de transgresión
Entrada a la planta de tratamiento				
Cond.	250	617	516.14	92.9
DT	260	376	314.86	0.00
Cl ₂ L	0.30	1.50	1.000	0.00
SO ₄	7.61	30.90	15.05	0.00
Cloraminas	0.00	0.00	0.00	0.00
NO ₃	5.78	34.40	18.84	0.00
Salida de osmosis inversa				
Cond.	2.4	98.0	21.93	14.3
DT	1.00	24	5.00	7.10
Cl ₂ L	0.00	0	0.00	0.00
SO ₄	0.13	4.46	1.00	0.00
Cloraminas	0.00	0.00	0.00	0.00
NO ₃	0.93	8.76	3.15	0.00

Tabla 2 Coeficiente de correlación (rho) de Spearman entre los parámetros. Entrada del agua a la planta de tratamiento.

Parámetros	Cond. ($\mu\text{s/cm}$)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	D.T (mg/L)	Cl ₂ L (mg/L)
Cond.($\mu\text{s/cm}$)	-----	C= -.054 p=.754	C=.003 p=.988	C=.163 p=.341	C=.047 p=.788
SO ₄ (mg/L)	C=-.054 p=.754	-----	C=-.147 p=.386	C=.004 p=.979	C=.195 p=.262
NO ₃ (mg/L)	C=.003 p=.988	C=-.147 p=.386	-----	C=-.017 p=.922	C=.192 p=.270
D.T(mg/L)	C=.163 p=.341	C=.004 p=.979	C=-.017 p=.922	-----	C=.333 p=.050
Cl ₂ L(mg/L)	C=.047 p=.788	C=.195 p=.262	C=.192 p=.270	C=.333 p=.050	-----

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral). C = Correlación.

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). p = significación.

que transgredían el LMA según Norma Cubana y Guía cubana para la vigilancia de la calidad físico-química y microbiológica para hemodiálisis. Para identificar la relación entre estos se aplica el coeficiente de correlación de Spearman, debido a la distribución no normal que revelara los mismos.

Se realizó comparación de los parámetros físico-químico a la entrada del agua y a la salida de la ósmosis inversa mediante la prueba de comparación de medias para muestras pareadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se aprecia que generalmente la conductividad del agua potable de entrada a las Plantas de tratamiento supera los valores LMA, tomando como referencia la Comunidad Europea,

que establece un nivel guía en agua potable de 400 $\mu\text{S/cm}$. La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas así como de la temperatura de medición. En las aguas continentales los iones que son directamente responsables de los valores de conductividad son entre otros el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloratos. Dichos resultados coinciden con otros autores (Palacio et al, 2014; Pissano et al, 2014; González, 2013; OMS, 2008). Sin embargo se observa en el proceso de tratamiento a la salida de la osmosis inversa los valores de la media de la conductividad y dureza total son bajos y solamente transgreden la guía cubana el 14.3 % y 7.1% de las muestras respectivamente. Estos resultados son inferiores a los reportados por otros autores como en la provincia Bayamo. Granma (Pedreira y Calderius, 2010). En el estudio los casos en que se transgreda el valor Guía de forma periódica y no sea atribuible a un funcionamiento inadecuado de la planta de tratamiento, se verifica

con un análisis químico para evaluar las concentraciones de contaminantes que ocasionan la alta conductividad. También la media del cloro libre residual en la entrada de agua es aceptable y en la salida de la osmosis inversa no se detectó valores de cloro libre residual ni de las cloraminas, lo cual sería preocupante porque pueden provocar auténticas epidemias de anemización por hemólisis. También se encontró concentraciones de sulfatos y nitratos por debajo del LMA, sabemos que la presencia de nitrógeno en el agua a tratar es un indicador de una posible contaminación por bacterias.

Al realizar la bondad de ajuste a la distribución normal mediante la prueba de Kolmogorov – Smirnov y confección de histogramas se observa que no todos los parámetros, tanto a la entrada a la planta

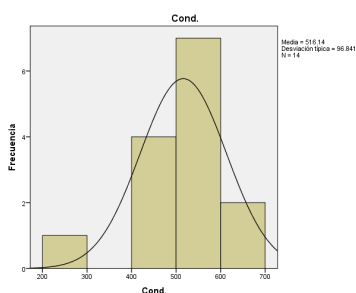


Figura 1 ($p = 0.632$)

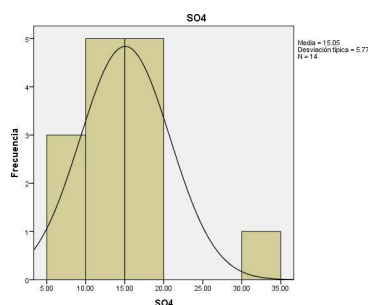


Figura 5 ($p = 0.732$)

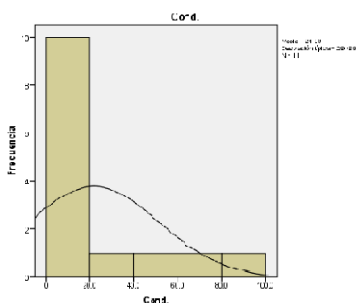


Figura 2 ($p = 0.173$)

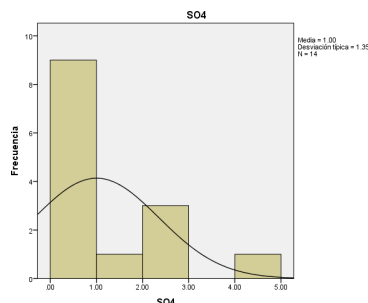


Figura 6 ($p = 0.032$)

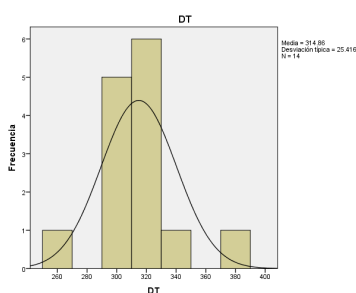


Figura 3 ($p = 0.763$)

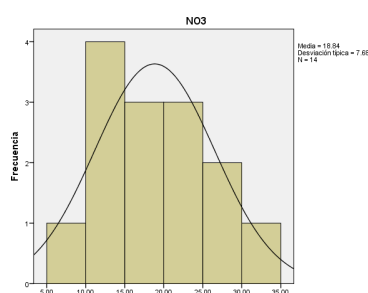


Figura 7 ($p = 0.998$)

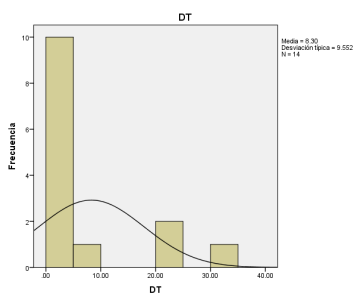


Figura 4 ($p = 0.030$)

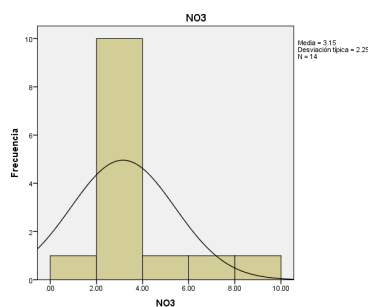


Figura 8 ($p = 0.007$)

de tratamiento y salida de ósmosis, presentan una distribución normal (figuras 1 - 8).

En la tabla 2, se encontró que no hubo asociación entre los parámetros físico químico en las aguas de entrada a las plantas de tratamiento ya que los valores siempre han estado dentro de las indicaciones de la norma cubana. Únicamente la conductividad tuvo variaciones pero no resultó significativa con los demás parámetros en el período estudiado lo cual

coincide con otros autores (Martínez et al, 2014; Sobrino, 2009).

En la tabla 3, se muestra una asociación inversamente proporcional de moderada a fuerte entre la conductividad y los sulfatos así como una asociación directamente proporcional de moderada a fuerte entre la conductividad y nitratos. En este sentido se corrobora con lo anterior planteado sobre la conductividad, es decir, cuanto mayor sea la concentración de algunos iones mayor será la misma.

Al analizar la comparación de los parámetros físico químico de las muestras de agua de entrada y salida de osmosis inversa se observa notables diferencias significativas como se muestra en la tabla 4. Esto se debe fundamentalmente al pretratamiento que se realiza mediante filtros de partículas, descalcificadores y microfiltros para garantizar la protección de las membranas y en consecuencia aumente la eficiencia de la osmosis inversa que se revierte con el mejoramiento de la calidad del agua.

CONCLUSIONES

En el proceso de tratamiento de las aguas en las salidas de la osmosis inversa los valores de la media de la conductividad y dureza total están por debajo de los límites máximos admisibles.

Se observó una asociación entre la conductividad (CE), los sulfatos y nitratos en la salida del agua de osmosis.

Se encontró que las concentraciones de sulfatos y nitratos de las aguas de entrada de las Plantas de tratamiento están por debajo del límite máximo admisible de acuerdo a la Norma Cubana y a la salida de la osmosis inversa muy por debajo con respecto a la Guía Cubana de referencia.

Los parámetros físico químico seleccionados muestran la calidad de las aguas para la prevención y control adecuado en la seguridad del agua para hemodiálisis.

Tabla 3. Coeficiente de correlación (rho) de Spearman entre los parámetros. Salida del agua osmosis inversa de la planta de tratamiento.

Parámetros	Cond. (μ S/cm)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	D.T (mg/L)
Cond.(μ s/cm)	----- .	C=-.587* p=.027	C=.551* p=.041	C=-.128 p=.662
SO ₄ (mg/L)	C=-.587* p=.027	-----	C=-.225 p=.440	C=.040 p=.892
NO ₃ (mg/L)	C=.551* p=.041	C=-.225 p=.440	-----	C=-.178 p=.542
D.T(mg/L)	C=-.128 p=.662	C=.040 p=.892	C=-.178 p=.542	-----

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral). C= Correlación
 ** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). p= significación

Tabla 4. Prueba para muestras pareadas (entrada de agua a la planta de tratamiento y salida agua osmosis inversa).

Diferencias relacionadas			t	gl	Sig. bilateral
Parámetros	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
	Inferior	Superior			
Cond.(μ s/cm)	382.65	525.86	13.40	26	.00
SO ₄ (mg/L)	8.91	13.74	9.55	33	.00
NO ₃ (mg/L)	7.63	14.16	6.79	33	.00
D.T(mg/L)	183.35	270.59	10.80	33	.00
Cl ₂ .L(mg/L)	.33	.79	4.99	33	.00

BIBLIOGRAFÍA

Aguiar Prieto P, Aguiar Acosta M, Martí Pérez M. ABC de la Higiene. MINSAP. 1 ed. La Habana: Ed Ciencias Médicas, 2008.

García M, González MI, Mariné MA. Criterios para la vigilancia de la calidad química y microbiológica del agua para hemodiálisis. *Rev. Cubana Hig Epidemiol* 2013 Ago.; 51(2):192-202.

González González M I. Un futuro a favor de la protección del agua. *Rev. Cubana Hig Epidemiol* 2013; 51(2):10-15.

Informe Marca el 25 Aniversario del Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo (PCM). 2015.

Mariné Alonso M A. Guías de Gestión de Calidad del Agua para Diálisis. Fondo Nacional de Recursos

Medicina Altamente Especializada. 2011. [Internet].

Mariné Alonso M A; García Melián M. Protocolos para la contratación y puesta en marcha de plantas de tratamiento de agua para hemodiálisis. 2011. [Internet].

Trimarchi H. Calidad del agua para hemodialisis. 2008. [Internet]. [Citado 9 noviembre del 2014].

Martínez Varona M, Palacio Estrada D, Cangas Rancano R, Fernández Novo M, Cotarelo Góngora N. Determinación del ciclo del nitrógeno en diferentes aguas utilizadas para el consumo humano. *Hig Sanid Ambient* 2014; 14 (3): 1213-1217.

Organización Mundial de la Salud. Guía para la calidad del agua potable. 3ª ed. Ginebra: OMS; 2008.

Palacio E, Martínez V M, Pérez C A, et al. Comportamiento de parámetros físico-químicos en diferentes aguas utilizadas para el consumo humano. *Hig Sanid Ambient* 2014; 14(2): 1207-1211.

Pedreira Fonseca E M, Calderius Espinosa I. Calidad sanitaria del agua para hemodiálisis en el Hospital Carlos Manuel de Céspedes de Bayamo. *Multimed* 2010; 14(2): Abril-Junio.

Pissano M, Lavorato Díaz W, E, Grinberg, N, Lercari J. et al. Calidad del Agua para hemodialisis. Confederación de Asociaciones de Diálisis de la Republica Argentina INQUIMAE. [Internet]. Universidad Nacional de Buenos Aires. Argentina.

Prieto Díaz VI, González MI., García Melián M, Cepero Martín JA. Terry. Water Supply Division. Drinking Water Standards: Governing Drinking Water Quality and Reporting Requirements for Public Water Systems 30 TAC Chapter 290 Subchapter F. Texas, 2004.

Sobrinho Pérez PE, Barril Cuadrado G, Sánchez Tomero JA, Del Rey Roman C. Monitorización de la calidad del agua tratada y del líquido de diálisis (LD). Nov 2009. Servicio de Nefrología. Hospital Universitario de la Princesa. Madrid. España.