

Higiene y Sanidad Ambiental, **14** (2): 1207-1211 (2014)

Comportamiento de parámetros físico-químicos en diferentes aguas utilizadas para el consumo humano

BEHAVIOR OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS IN DIFFERENT DRINKING WATERS

Daniel PALACIO ESTRADA, Miriam MARTÍNEZ VARONA, Adisbel PÉREZ CABRERA, Nadiecha COTARELO GÓNGORA, Héctor Darío LLERA NAVARRO, Marta FERNÁNDEZ NOVO

Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Infanta 1158 e/ Llinás y Clavel. CP 10300. Ciudad de La Habana, Cuba. Correo-e: mmartinez@sinha.sld.cu

RESUMEN

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en el que vivimos. Debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación, es indispensable conocer las características físicas y químicas del agua antes de seleccionarla como fuente de agua cruda. Se seleccionó un universo de estudio de 64 muestras de aguas procedentes de diferentes fuentes las mismas fueron recibidas en el laboratorio de Química del Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología (INHEM). El análisis de las muestras para la determinación de la concentración de los parámetros de estudio, fue realizado en el Laboratorio de Química del INHEM conforme a los métodos estandarizados. Los datos primarios fueron procesados mediante MS EXCEL 2000 y posteriormente procesados mediante el sistema SPSS 11.5. El análisis estadístico incluyó el cálculo de los valores de tendencia central Se obtuvo una fuerte correlación entre la conductividad (CE), los STD y la dureza total, entre ésta con los cloruros y sulfatos, entre ésta última y los fluoruros, entre estos y los cloruros.

Palabras clave: Agua, parámetros físico-químicos.

INTRODUCCIÓN

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en el que vivimos. Tiene una gran influencia en los procesos bioquímicos que ocurren en la naturaleza. Esta influencia no solo se debe a sus propiedades fisicoquímicas como molécula bipolar sino también a los constituyentes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en ella.

Se considera que el agua es un solvente universal, debido a que es capaz de disolver o dispersar la mayoría de sustancias con las que tiene contacto, sean estas sólidas, líquidas o gaseosas, y de formar con ellas iones, complejos solubles e insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferente tamaño y peso¹.

Desde el punto de vista de la salud humana, el agua ayuda a eliminar las sustancias resultantes de los procesos bioquímicos que se desarrollan en el organismo humano, a través de los órganos excreto-

res, en especial la orina y el sudor. Sin embargo, por esta misma propiedad, puede transportar una serie de tóxicos al organismo que pueden afectar a diferentes órganos, de manera reversible o irreversible.

Por otro lado, la contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que se estos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales, sobre todo en las áreas urbanas e incluso en numerosas ciudades importantes del continente. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales, que en algunos casos llegan a estar tan contaminadas que su potabilización resulta muy difícil y costosa^{2,3}.

Debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación, así como a la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el cuerpo de agua, es indispensable conocer las caracte-

rísticas físicas, químicas y biológicas del agua antes de seleccionarla como fuente de agua cruda.

La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico define su composición física y química^{4,5,6}.

Dentro de esta perspectiva, la calidad del agua podrá definirse no solamente por los parámetros cuantitativos de sus características físico-químicas u organolépticas sino por las posibilidades intrínsecas de contar con un recurso óptimo en condiciones actuales con perspectivas futuras^{6,7}.

El objetivo de este trabajo fue determinar las características físico-químicas en agua de consumo, correspondiente a diversas fuentes de agua de consumo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionó un universo de estudio de 64 muestras de aguas procedentes de diferentes fuentes, las mismas fueron recibidas en el laboratorio de Química de agua del Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología (INHEM). De todas las muestras que se recibieron en el año 2013 se analizaron: 5 muestras de Control Sanitario Internacional (CSI), 13 muestras de la Zona de desarrollo del Mariel (ZDM) y 46 muestras de diferentes orígenes, todas son aguas de consumo.

Toma de muestras de agua, preservación y conservación

Previo a la extracción de las muestras de agua, se procedió a dejar que el agua circule por la cañería con el fin de que la misma sea representativa del abasto.

Las muestras de agua fueron preservadas y conservadas de acuerdo con "Toma de Muestras de Agua y Líquidos Residuales" (Standard methods for the examination of water and wastewater, 1998). El empleo de este método garantizó la no degradación de las muestras de agua extraídas, su apropiada conservación y un análisis de las mismas dentro del período de tiempo establecido.

Métodos de análisis

El análisis de las muestras de agua para la determinación de la concentración de nitratos, nitritos y amonio, fue realizado en el Laboratorio de Química del INHEM conforme a los métodos Standard methods for the examination of water and wastewater, 1998, Manual de Métodos de Análisis para la Determinación de Parámetros Físico Químicos. INHEM 2011.

Los datos primarios fueron procesados mediante MS EXCEL 2000 y posteriormente procesados mediante el sistema SPSS 11.5. El análisis estadístico incluyó el cálculo de los valores de tendencia central (media aritmética y mediana), el porcentaje de trasgresión de la norma. Se tomó como *Límites máximos admisibles* (LMA) de acuerdo a la NC:827:

2012. *Agua Potable. Requisitos Sanitarios*⁸. Esta norma establece los LMA siguientes: Sulfatos, 400 mg/L; sólidos totales disueltos, 1000 mg/L; cloruros, 250 mg/L; pH, 6.5-8.5; fluoruros, 1.5 mg/L; dureza total (como CaCO₃), 400 mg/L; turbiedad: < 5, cloro libre, 2.0 mg/L; y para la conductividad la norma NC.827 no establece valores LMA, pero tomamos como referencia valores de la Comunidad Europea (CE) que establece un valor guía en agua potable de 400 µS/cm. El Código Alimentario Argentino (2008) no establece valor guía de la conductividad en agua potable, sin embargo en los controles operativos realizados por la empresa SAMEEP arrojaron los siguientes valores: 384-600 con picos de más de 800 µS/cm.

En el laboratorio con anterioridad se había realizado la validación de estos métodos, en el caso que al analizar las muestras estas daban un valor menor que el Límite de Cuantificación del Método (LQM) reportábamos el valor como <LQM, para realizar el análisis estadístico asumimos según el parámetro el LQM en cada caso y se sustituye por ese valor.

Planteándose en cada caso para realizar el análisis estadístico que fuera > que: LQM.

LQM 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 para el método B >0.129 mg/L, (el cual se utiliza cuando la concentración de sulfato en la muestras sea menor de 10 mg/L); LQM pH: >0.04; LQM Fluoruros: 0.02 mg/L, LQM Turbiedad: >1.71 mg/L, LQM Conductividad, > 2.94 y Sólidos Totales Disueltos (STD) >3,02 mg/L

Se empleó la prueba de Kolmogorov para evaluar la normalidad de la distribución de los parámetros estudiados. Para evaluar la relación entre estos se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman debido a la distribución no normal que mostraron los parámetros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de los análisis químicos de los parámetros estudiados sulfatos, STD, cloruros, pH, fluoruros, dureza total como CaCO₃, turbiedad, cloro libre y conductividad, se presentan a continuación. Los resultados se presentan de forma general en la tabla 1 y en la tabla 2 se plantean en forma desglosada según el origen de las aguas.

En la tabla 1 se puede apreciar que de las 64 muestras analizadas un 28% superaron los LMA para la conductividad si tomamos como referencia los valores de la CE, aunque se debe recordar que la NC: 827:2012 no establece valor guía de la conductividad en agua potable. El resto de los parámetros son valores muy bajos en los que transgreden los LMA.

La OMS en 1996 planteaba valores para Sulfatos de 250 mg/L en agua de consumo, para el cloro libre valores de 5 mg/L, aunque plantean que a concen-

Tabla 1. Valores resúmenes de los parámetros físico-químicos estudiados en las 64 muestras.

Parámetros	Mín.	Media	Máx.	Porcentaje que supera los LMA (%)
pH	6.50	7.6750	8.72	1.6
Cond.(µs/cm)	22.1	327.788	973.0	28.1
SO4 (mg/L)	9.55	26.7378	56.60	-
S.T.D(mg/L)	10.3	161.546	580.0	-
Turb. (U.T)	1.71	1.7100	1.71	-
D.T(mg/L)	192	350.93	512	6.7
Cl ⁻ (mg/L)	19.99	60.7723	424.87	3.3
Fl ⁻ (mg/L)	.02	.2685	.95	-
Cl. Libre (mg/L)	0	.70	3	1.7

Fuente: Registros laboratorio de química de agua INHEM.

son inferiores a los nuestros y en el caso del cloro libre el valor guía de la OMS es superior al LMA de la NC:827:2012.

En la tabla 2 se observa que las muestras recibidas del CSI cumplen todos los parámetros de la N:C827:2012, sin embargo en las muestras analizadas de la ZDM se aprecia un máximo de pH que transgreden los LMA, el resto de las aguas analizadas de otras fuentes cumplen con los LMA NC827:2012.

Se procedió a determinar la bondad de ajuste de cada

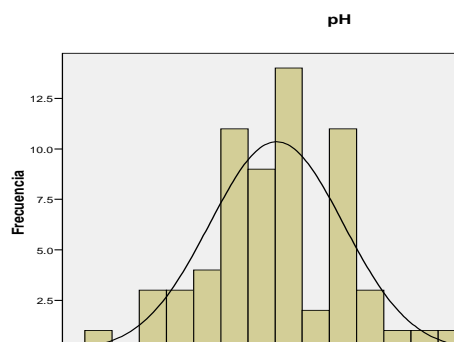
Tabla 2. Valores resúmenes de los parámetros estudiados, según orígenes de las muestras.

Parámetros	Procedencia de las aguas								
	Agua ZDM			Agua CSI			Agua otras fuentes		
	mín.	media	máx.	mín.	media	máx.	mín.	media	máx.
pH	6.95	7.9246	8.72	7.30	7.4040	7.48	6.50	7.6339	8.32
Cond.(µs/cm)	123.2	148.385	161.6	116.6	428.760	894.0	22.1	335.515	973.0
SO4 (mg/L)	19.27	31.3538	35.77	16.03	18.0400	20.47	9.55	27.3161	56.60
S.T.D(mg/L)	58.7	70.915	77.1	55.4	198.020	422.0	3.0	159.068	580.0
Turb. (U.T)	1.71	1.71	1.7100	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.7100
D.T(mg/L)	300	372.00	420	308	322.40	328	192	343.13	512
Cl ⁻ (mg/L)	38.49	56.9062	67.98	43.49	50.5840	58.48	19.99	60.8715	424.87
Fl ⁻ (mg/L)	.11	.3885	.65	.16	.5820	.95	.02	.1789	.67
Cl. Libre (mg/L)	0	.43	1	0	0	.00	0	.83	3

Fuente: Registros laboratorio de química de agua INHEM

tracciones mayores^{9,10,11}, se pueden ver afectados el sabor, el olor y la apariencia del agua en estos parámetros, difieren de los LMA de la NC:827:2012, en el caso de los sulfatos los valores guías de la OMS

Figura 1. Histograma del comportamiento de la normalidad del pH.

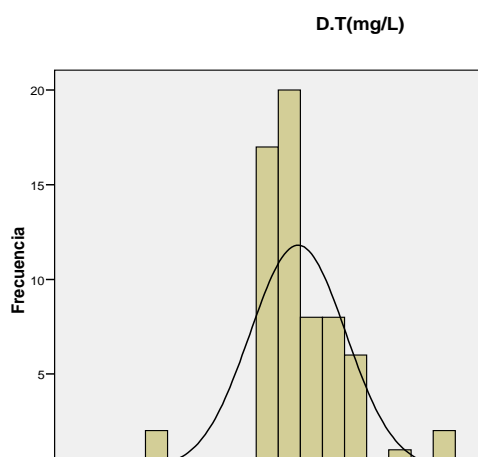


parámetro, se realizó la distribución de frecuencias de los parámetros evaluados y al analizar la significación se apreció que en la mayoría de los parámetros estudiados la $P < 0.05$ es decir no existe una distribución normal y rechazamos la hipótesis nula lo que se corroboró con la prueba de Kolmogorov – Smirnov ($p > 0.05$). El pH y la dureza si presentaron un comportamiento normal siendo la $P > 0.05$ como se muestra en las figuras 1 y 2.

Se procedió a realizar la matriz de correlación entre los parámetros estudiados mediante el empleo del coeficiente de correlación (ρ) de Spearman debido que los contaminantes mostraron una distribución no normal. Tal como muestra la Tabla 3, se analizaron la significación y posteriormente la correlación. Se aprecia existe una asociación lineal entre la conductividad (CE), los STD y la dureza total, entre esta con los cloruro y sulfatos, entre esta última y los fluoruro, una correlación fuerte entre fluoruros y los cloruros.

La correlación entre CE, dureza total, cloruros y STD se explica ya que el agua es más o menos conductora de la electricidad dependiendo de las

Figura 2. Histograma del comportamiento de la normalidad de la dureza total.



sales que contenga en disolución, aumentando con su concentración y temperatura. Por lo tanto es un valor bastante utilizado junto con el TDS para la medida del total de las sales en disolución del agua^{12, 13, 14, 15}.

En general, a medida que los SDT y la CE se incrementan, aumenta la salinidad y también se incrementa la corrosividad del agua. El total de sólidos disueltos (TSD) en el agua comprende sales inorgánicas (principalmente de cloruros y sulfatos)^{16, 17, 18, 19}.

Debemos señalar que en ninguna de las muestras estudiadas el valor de la turbiedad fue superior al LQM a pesar que la turbiedad es el parámetro que evalúa la materia orgánica e inorgánica suspendida presente en el agua.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron valores de pH, DT y cloruros que superan a los máximos permitidos por las normas vigentes en nuestro país.

Según estos resultados, las aguas que no cumplan con todos los parámetros de la NC:827:2012 se considera no apta para el consumo humano.

Se obtuvieron valores máximos de la conductividad referidos a los valores guías de la OMS, ya que la NC:827:2012 no establece valor guía de la conductividad en agua potable.

Se observó una fuerte correlación lineal entre conductividad (CE), los STD y la dureza total

Se observó una fuerte correlación lineal entre la dureza total con los cloruros y sulfatos.

Se observó una fuerte correlación lineal entre los sulfatos y los Fluoruro y entre este y los cloruros.

BIBLIOGRAFÍA

1. Conrado del Puerto, Roberto Hernández Elías, Carlos Martínez Rodríguez, Antonio Granda Ibarra, Pedro Rodríguez Álvarez, Juan L. Radelat Olivé, Enrique Caparó González, Luis V. Grimaldi Anfuso, Ramón Carreño de Celis, José García Álvarez. *Higiene del Medio*. Editorial Pueblo y Educación. Tomo 1. 1982.
2. Guía de Coleta e Preservacao de Amostras de água. Secretaria Especial do Meio Ambiente do Ministerio da Habitacao, Urbanismo e Meio Ambiente. 1ra Edicao. ISBN85-7128-001-0. Sao Paulo Brasil. 1988.
3. La Revista del Agua No 1 volumen 1 Abril-Mayo 1997. ISSN0123-126X. Colombia. Dirección General de Promoción y Prevención. Ministerio de Salud. pág 11.
4. PAHO/CEPIS Advisor Rojas Ricardo. Guidelines for the Surveillance and Control of Drinking Water Quality. OPS/CEPIS/PUB/02.80. Lima 2002.
5. Leandro Marcó, Ricardo Azario, Celia Metzler, María del CARMEN García. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la Ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos Argentina). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 4: 72-82 (2004)
6. APHA, AWWA, WPCF. *Standar Methods for Examination of Water and Wastewater*, 20 Edition
7. Pablo Héctor Aguiar Prieto, Mayra Aguiar Acosta, Mayra Martí Pérez. ABC de la Higiene. MINSAP 2006.
8. NC: 827: 2012. Agua Potable-Requisitos Sanitarios. ICS:13.060.20 2da Edición. 2012
9. Castro de Esparza, María Luisa. Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua. Lima, CEPIS, 1987.
10. Health and Welfare Canada. *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality*. Supply and Services. Canadá: Hull, 1978.
11. OMS. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Volume 2. Health criteria and other supporting information. Segunda edición. Ginebra, 1996.
12. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos-EPA. *Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable*. EPA 815-F-00-007, 2000.
13. Krause, T. L. y Stover, E. L. Evaluating water treatment techniques for barium removal. *Journal of the American Water Works Association* 74, 1982, pp. 478-485.
14. Sorg, T. J. Treatment technology to meet the interim primary drinking water regulation for organics. *Journal of the American Water Works Association* 70, 1978, pp. 105-112.
15. NAS. *Drinking water and health*. Safe drinking-water committee, National Academy of Sciences, U. S. National Research Council, Washington, D.

- C., 1977. Aspectos físico-químicos de la calidad del agua 55
16. White, G. C. Handbook of chlorination for potable water, wastewater, cooling water, industrial processes, and swimming pools. Van Nostrand Reinhold Co., Cincinnati, Ohio, 1972.
17. Leduc, G.; Pierce, R. C. y McCracken I. R. The effects of cyanides on aquatic organisms with emphasis upon freshwater fishes. Ottawa: Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality, National Research Council of Canada, NRCC 19246, 1982.
18. Agencia de Protección Ambiental de las Naciones Unidas-EPA. In-depth Studies on Health and Environmental Impacts of Selected Water Pollutants. EPA Contract 68-01-4646, 1978.
19. NAS. Drinking Water and Health. Vol. 4. National Academy of Sciences, Washington, D. C., U. S. National Research Council, 1982.