

Distribución espacial de los fluoruros en fuentes de abasto de aguas subterráneas en cuatro provincias de Cuba

Spatial distribution of fluoride supply sources of groundwater in four provinces of Cuba

MSc. Liliam Cuéllar Luna,¹ MSc. Enrique Molina Esquivel,¹ MSc. Asela del Puerto Rodríguez,¹ MSc. Geominia Maldonado Cantillo, MSc. Ivonne González Aguilar,¹ MSc. Maritza Sosa Rosales¹¹

¹ Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM). La Habana, Cuba.

¹¹ Dirección Nacional de Estomatología (DNE). La Habana, Cuba.

RESUMEN

Introducción: las concentraciones altas de fluoruros en aguas de consumo pueden provocar efectos adversos a la salud; sin embargo, las concentraciones óptimas ejercen una acción protectora ante las caries dentales.

Objetivos: describir la distribución espacial de las concentraciones de fluoruros en aguas de fuentes de abasto subterráneas de cuatro provincias del país, sus posibles variaciones estacionales y asociaciones con algunos elementos químicos.

Métodos: se realizaron determinaciones de fluoruros y otros compuestos químicos en fuentes de abasto subterráneas públicas en ambas épocas del año, y el análisis de la correlación con otros compuestos químicos. Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS y para el análisis espacial se empleó el Sistema de Información Geográfica MapInfo Professional.

Resultados: se realizaron mapas de la distribución espacial de las concentraciones de fluoruros a nivel de localidades y municipios, y se identificaron 16 localidades con concentraciones de fluoruros superiores a 0,7 mg/L en al menos una de las dos determinaciones realizadas; las concentraciones de fluoruros revelaron diferencias significativas en lluvia y seca, y mostraron correlaciones con la temperatura, la dureza total, los cloruros, el calcio y el sodio.

Conclusiones: En la gran mayoría de las fuentes los valores medios de las concentraciones de fluoruros fueron evaluados como bajos, lo que apoya la pertinencia de mantener el Programa de Fluoruración de la Sal de Consumo en Cuba. Por otra parte, el hallazgo de concentraciones de fluoruros consideradas altas en algunas fuentes aisladas, fundamentan la necesidad de incorporar el monitoreo de las concentraciones de fluoruros en el Sistema de Vigilancia de Calidad del Agua de Consumo.

Palabras clave: fluoruros, aguas subterráneas, distribución espacial, compuestos químicos.

ABSTRACT

Introduction: high concentrations of fluoride in drinking water can cause adverse health effects, however, optimal concentrations exert a protective effect against dental caries. To describe the spatial distribution of the concentrations of fluoride in water supply from underground sources of four provinces, possible seasonal variations and associations with some chemical elements.

Methods: we measured fluoride and other chemicals in public groundwater supply sources in both seasons, analyzing the correlation with other chemical compounds. Statistical analysis was performed using SPSS for spatial analysis and was used GIS MapInfo Professional.

Results: there were maps of the spatial distribution of fluoride concentrations at the level of towns and municipalities, identified 16 locations with fluoride levels above 0.7 mg / L in at least one of the two determinations; fluoride concentrations revealed differences significant wet and dry, showing correlations with temperature, total hardness, chlorides, calcium and sodium.

Conclusions: in the vast majority of the sources the mean fluoride concentrations were assessed as low, supporting the relevance of maintaining the fluoridation program Salt Consumption in Cuba. Moreover, the finding of high concentrations of fluoride in some sources considered isolated, underlying the need to incorporate monitoring of fluoride levels in the Surveillance System Drinking Water Quality.

Key words: fluoride, groundwater, spatial distribution, chemical compounds.

INTRODUCCIÓN

El agua subterránea constituye la mayor reserva de agua potable en el mundo. Sin embargo, la composición geomorfológica en diferentes regiones del planeta determina la presencia en el agua subterránea de elementos y compuestos químicos que pueden ser potencialmente nocivos para el humano, como es el caso del fluoruro en concentraciones elevadas.¹

Es conocido que el fluoruro en condiciones óptimas puede ejercer un efecto protector frente a la caries dental (0,7 1,49 mg/L), pero cuando excede el límite máximo admisible ($\geq 1,5$ mg/L), según los valores guías recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), puede provocar efectos adversos a la salud que van desde una fluorosis dental débil hasta una fluorosis esquelética invalidante.^{2,3}

El fluoruro aportado en altas concentraciones a lo largo del período de desarrollo del diente provoca un defecto en la estructura y mineralización de la superficie y ofrece un aspecto poroso, lo cual se denomina fluorosis dental.⁴

También la exposición por largo tiempo a altos niveles de fluoruro puede producir una severa enfermedad llamada fluorosis esquelética, en la cual el fluoruro ocasiona depósitos irregulares en los huesos, que pueden producir dolores severos en las articulaciones y una eventual invalidez.⁵

Se ha demostrado que el incremento del riesgo de fluorosis dental no solo está vinculado a la ingestión de altas concentraciones de fluoruros en el agua, sino también a la ingestión adicional de estos en dentríficos, sal y alimentos como jugos, frutas, pescado y te.⁶

Estudios realizados por el Ministerio de Salud Pública (MINSAP) han demostrado que las concentraciones de fluoruros en diversas fuentes de abasto de agua a nivel nacional son fundamentalmente bajas, y se reportan concentraciones altas de fluoruros solo en algunos pozos de la región oriental del país.^{7,8}

En Cuba surgió la necesidad de estudiar el contenido de fluoruro en las aguas de consumo en 1958. Se reportó que el 90 % de las fuentes de abastecimiento de agua del país tenían concentraciones bajas de fluoruro.⁹ En 1975 se inició, en Cuba, un programa limitado de fluoruración del agua con la colaboración de la Fondo Internacional de Emergencia de Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) y la OMS para beneficiar a nueve comunidades, de la región occidental del país, lo que tuvo un impacto positivo en la población intervenida, pero no se continuó dicho proyecto por falta de recursos.⁹

A partir de 1998 la Dirección Nacional de Estomatología (DNE) y el Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM) del MINSAP, iniciaron los estudios relacionados con el programa de fluoruración de la sal de consumo en Cuba. Primeramente se muestrearon a nivel nacional todas las fuentes de abastecimiento de agua en las localidades de 1 000 o más habitantes para determinar las concentraciones de fluoruros, y posteriormente clasificarlas tomando como base los valores guías establecidos por la OMS.² Los resultados de este estudio demostraron una baja incidencia de fluorosis dental, ya que el 92,63 % de las fuentes de abasto de agua se ubican en la clasificación de baja y media (0,0 0,69 mg/L), lo cual no constituye un riesgo para la salud, y justifica la realización del referido programa.¹⁰

En otro de los estudios realizados dentro del marco de dicho proyecto se corroboró que la región oriental del país es la que presenta los niveles más elevados de fluoruro en las aguas de consumo, donde se destacan las provincias de Camagüey, Las Tunas, Holguín, Granma y Santiago de Cuba, así como Villa Clara en la región central.¹¹

El presente trabajo tuvo como objetivo describir la distribución espacial de las concentraciones de fluoruros en aguas de fuentes de abasto subterráneas de cuatro provincias del país, sus posibles variaciones estacionales y las asociaciones con algunos elementos químicos.

MÉTODOS

Se realizó un estudio descriptivo de las concentraciones de fluoruros en fuentes de abasto de agua subterránea públicas. Se seleccionaron cuatro de las provincias del país donde se detectaron, en estudios previos, localidades con concentraciones de fluoruros superiores a 0,7 mg/L. Las provincias seleccionadas fueron: Villa Clara, Camagüey, Las Tunas y Granma.

En cada una de las provincias seleccionadas se identificaron las fuentes de abasto de agua subterránea de sistemas públicos que abastecen a poblaciones de 1 000 y más habitantes. Hubo municipios que no fueron muestreados porque su principal fuente de abasto de agua era superficial; además se presentaron problemas con la accesibilidad a algunas fuentes, lo que impidió incluirlas en el estudio.

El muestreo se realizó en ambas épocas del año, durante el período 2007-2009; se colectaron en cada fuente de abasto de agua seleccionada dos muestras, una en época de lluvia (mayo-octubre) y la otra en época de seca (noviembre-abril).¹²

Se muestrearon 134 fuentes de abasto de agua subterráneas y se colectaron en total 258 muestras en ambas épocas del año. Hubo una pérdida de 10 muestras (3,7 %), por limitaciones con el acceso a algunas fuentes de abasto de agua como consecuencia de inundaciones y la presencia de pozos secos o con roturas.

Cada muestra fue tomada en el punto de captación del sistema de abasto de la fuente; *in situ* se midió la temperatura del agua con un termómetro de mercurio y se determinó el pH con un equipo portátil de campo marca Hach, ambos previamente calibrados.

Para la determinación de las concentraciones de fluoruro se empleó el método potenciométrico con electrodo combinado de fluoruro, con el uso de un equipo portátil Orión modelo 94 - 96, previamente calibrado. Se empleó como solución el TISAB II y la medición se realizó en mg/L.¹³

Las concentraciones de fluoruros se clasificaron según los valores guías establecidos por la OMS² en: bajas (de 0,00 a 0,39 mg/L), medias (de 0,40 a 0,69 mg/L), óptimas (de 0,70 a 1,49 mg/L) y altas (de 1,50 mg/L o más).

Se determinó la dureza total mediante el método titulométrico con EDTA y la alcalinidad bicarbonatada mediante el método potenciométrico.¹³ El cloruro se determinó con el método argentométrico. Para las determinaciones de nitratos y nitritos se emplearon los métodos espectrofotométrico ultravioleta y visible, respectivamente.¹³

Del total de fuentes de abasto se seleccionó una submuestra, por criterio de experto, representativa de cada una de las localidades estudiadas. En ellas se realizaron las determinaciones de calcio, magnesio, zinc, sodio y potasio mediante la técnica de absorción atómica utilizando el método directo de llama aire-acetileno. Además se determinaron las concentraciones de plomo y cadmio con el empleo de la técnica de absorción atómica por el método de extracción de llama aire-acetileno.¹³

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el programa SPSS versión 15. Se determinó el comportamiento de las concentraciones de fluoruro general y por provincias, con el uso de los estadísticos descriptivos: mínimo, máximo, media, mediana y desviación típica, así como el histograma de frecuencia. También se empleó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la distribución de las concentraciones de fluoruros.

Se usaron pruebas no paramétricas, como Kruskal, Wallis para identificar si existen diferencias estadísticamente significativas al comparar las medias de las concentraciones de fluoruro entre las provincias, así como en las épocas de lluvia y seca.

Se comprobó, mediante la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon, si las diferencias de las concentraciones de fluoruro entre las épocas de lluvia y seca eran estadísticamente significativas.

Se realizaron otras pruebas no paramétricas, que incluyeron el análisis de correlaciones bivariadas mediante el coeficiente de correlación Rho de Spearman, para analizar la posible relación entre las concentraciones de fluoruro y algunas de las variables físico-químicas estudiadas. Se fijó el nivel de significación a 0,05 y se evaluó la fuerza de intensidad en dependencia del valor del coeficiente de correlación: relación escasa o nula (de 0,00 a 0,25), relación débil (de 0,26 a 0,50), relación entre moderada y fuerte (de 0,51 a 0,75) y relación entre fuerte y perfecta (de 0,76 a 1,00).

Para la distribución espacial de las concentraciones de fluoruros a nivel de localidad y por municipios se empleó el sistema de información geográfica, MapInfo Professional.

Se realizó el mapa de las concentraciones de fluoruro en las épocas de lluvia y seca a nivel de localidad en las cuatro provincias estudiadas, con el empleo del mapa digital de puntos poblados a escala 1: 250 000, confeccionado por la Agencia de Cartografía Digital de GEOCUBA. Para esto se tomó como indicador de la localidad el valor más alto de las concentraciones de fluoruros obtenidas en las fuentes de abasto de agua muestreadas en cada época del año.

Por otra parte, se confeccionó el mapa de las concentraciones de fluoruro a nivel municipal, mediante el mapa de la división político administrativa a nivel provincial y municipal de la Agencia de Cartografía Digital de GEOCUBA, tomándose como indicador el valor más elevado de las concentraciones de fluoruros en cada uno de los municipios, tanto en la época de lluvia como de seca.

RESULTADOS

Las determinaciones de las concentraciones de fluoruros en fuentes de agua de consumo de tipo subterránea, realizadas en cuatro provincias del país (Villa Clara, Camagüey, Las Tunas y Granma), presentó una media de 0,36 mg/L y una desviación típica de 0,24 mg/L. Mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov se pudo constatar que las concentraciones de fluoruros no presentaron una distribución normal.

Al analizar la distribución de frecuencia de las concentraciones de fluoruro en fuentes de abasto de agua por provincias, se observaron diferencias significativas, que fueron corroboradas con la prueba de Kruskal-Wallis. En la provincia Villa Clara las concentraciones de fluoruros no superaron la categoría media (0,4 mg/L 0,69 mg/L) y en la provincia de Camagüey no transgredieron los valores óptimos (0,7 mg/L 1,49 mg/L). Sin embargo, en las provincias de Las Tunas y Granma se registraron valores de fluoruros superiores a 1,5 mg/L (tabla 1).

El comportamiento de las concentraciones de fluoruros por provincias en las épocas de lluvia y seca, reveló diferencias estadísticamente significativas en cada una de ellas, corroborado por la prueba de Kruskal-Wallis. En las provincias Villa Clara, Las Tunas y Granma la mediana de las concentraciones de fluoruros fueron mayores en la época de seca, mientras sucedió lo contrario en Camagüey, donde la mediana fue superior en la época de lluvia (tablas 2 y 3).

Tabla 1. Concentraciones de fluoruros (mg/L) en aguas de fuentes de abasto subterráneas, según provincias, durante el período 2007- 2009

Provincia	n	Concentraciones de fluoruros (mg/L)				
		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación típica
Villa Clara	61	0,01	0,69	0,21	0,20	0,12
Camagüey	72	0,14	1,16	0,36	0,24	0,25
Las Tunas	68	0,07	1,67	0,45	0,41	0,22
Granma	57	0,03	1,73	0,41	0,42	0,29

Prueba de Kruskal-Wallis.
Significación asintótica: 0,000.

Tabla 2. Concentraciones de fluoruros (mg/L) en aguas de fuentes de abasto subterráneas según provincias en la época de lluvia, 2007-2009

Provincia	n	Concentraciones de fluoruros (mg/L)				
		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación típica
Villa Clara	32	0,01	0,69	0,17	0,15	0,14
Camagüey	37	0,19	1,15	0,40	0,29	0,24
Las Tunas	35	0,7	1,67	0,47	0,40	0,28
Granma	27	0,03	1,73	0,39	0,37	0,35

Prueba de Kruskal-Wallis.
Significación asintótica: 0,000.

Tabla 3. Concentraciones de fluoruro mg/L) en aguas de fuentes de abasto subterráneas según provincias en la época de seca, 2007- 2009

Provincia	n	Concentraciones de fluoruros (mg/L)				
		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación típica
Villa Clara	29	0,11	0,41	0,25	0,24	0,07
Camagüey	35	0,14	1,16	0,33	0,20	0,26
Las Tunas	33	0,21	0,69	0,43	0,41	0,13
Granma	30	0,07	1,10	0,44	0,43	0,23

Prueba de Kruskal-Wallis.
Significación asintótica: 0,000.

Se compararon las concentraciones de fluoruros de cada una de las fuentes de abasto de agua subterráneas entre las épocas de lluvia y seca, que se comprobó mediante la prueba de comparación de medias para dos muestras relacionadas (prueba de los rangos con signo de Wilcoxon) y existieron diferencias estadísticamente significativas entre ambas épocas del año (tabla 4).

Tabla 4. Comparación de las concentraciones de fluoruro entre épocas, 2007-2009. INHEM, Ciudad de La Habana

Época del año	n	Concentraciones de fluoruros (mg/L)	
		Media	Desviación típica
Seca	127	0,36	0,20
Lluvia	127	0,36	0,28

Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon.
Significación asintótica (bilateral): 0,000.

Se confeccionaron un conjunto de mapas que representan la distribución espacial de las concentraciones de fluoruros en fuentes de abasto de aguas subterráneas a nivel de localidad en las cuatro provincias objeto de estudio, tanto en la época de lluvia como de seca.

La provincia Villa Clara fue la que presentó los valores más bajos de fluoruros, ya que ninguna localidad sobrepasó los valores medios (0,40 a 0,69 mg/L). En la provincia Camagüey las concentraciones de fluoruros más elevadas se reportaron en las localidades de Camagüey, Sibanicú y Nuevo Palo Viejo, que clasificaron en la categoría de óptima. En Las Tunas la localidad de Puerto Padre presentó una concentración alta de fluoruros en la época de lluvia y la provincia de Granma se destacó por presentar el valor más alto de fluoruros de las cuatro provincias estudiadas, con una concentración de 1,73 mg/L en la época de lluvia.

En la provincia Villa Clara, de un total de 13 municipios se muestrearon ocho, lo cual representó el 61 % de la provincia. Es importante destacar que en ambas épocas del año las concentraciones de fluoruros se comportaron bajas, a excepción de los municipios Cifuentes y Sagua la Grande, que clasificaron en la categoría de media.

Camagüey también está compuesto por 13 municipios; fueron muestreados nueve de ellos, lo cual representó un 69 % del área de estudio. En las dos épocas analizadas se destacaron tres municipios en la categoría de óptima (0,7 mg/L a 1,49 mg/L), y coincidieron en ambas épocas los municipios Camagüey y Sibanicú. Se pudo apreciar cierta regularidad espacial en los municipios con concentraciones de fluoruros óptimas.

La provincia Las Tunas cuenta con ocho municipios y se muestrearon seis de ellos, para el 75 % del total. Es importante destacar que contradictoriamente en la época de lluvia se registraron los valores más elevados de fluoruros en aguas de fuentes de abasto subterráneas de consumo, y se destacó el municipio Puerto Padre en la categoría de alta ($\geq 1,5$ mg/L).

Granma, la cuarta provincia estudiada, está constituida por 13 municipios. Se muestrearon seis de estos, lo cual representó el 46 % del área total. Aquí se destacó el municipio Manzanillo con valores de fluoruros altos ($\geq 1,5$ mg/L).

Para determinar la asociación que pudiera existir entre las concentraciones de fluoruro y algunos indicadores físico-químicos presentes en el agua, se empleó el coeficiente de correlación Rho de Spearman.

De acuerdo con el coeficiente de correlación Rho de Spearman (tabla 5), las concentraciones de fluoruros presentaron asociación con algunos de los indicadores físico-químicos analizados, tales como: temperatura, dureza total, cloruros, calcio y sodio. Es importante destacar que no se evidenció asociación con el pH, la alcalinidad bicarbonatada, nitritos y nitratos, así como con ninguno de los metales estudiados.

Tabla 5. Coeficiente de correlación Rho de Spearman entre las concentraciones de fluoruro y variables de interés en aguas de fuentes de abasto subterráneas, según provincias, durante el período 2007-2009

Variables	n	Coeficiente de correlación	Significación bilateral
Temperatura	257	-0,170**	0,006
Dureza total	257	0,146*	0,019
Cloruros	256	0,396**	0,000
Calcio	113	0,186*	0,049
Sodio	114	0,295**	0,001
pH	258	-0,042	0,5
alcalinidad bicarbonatada	257	-,004	0,955
Nitrito	258	-0,085	0,174
Nitrato	184	0,083	0,262
Magnesio	113	0,124	0,190
Potasio	100	-0,073	0,471
Zinc	117	0,169	0,068
Plomo	100	0,005	0,961
Cadmio	100	0,177	0,078

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

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

La relación que se evidenció entre la temperatura y las concentraciones de fluoruros fue inversa. Esta variable presentó una distribución normal con una media de 28 °C y una desviación típica de 2,59 °C.

La dureza total del agua de las fuentes de abasto subterráneas mostró una relación directa con las concentraciones de fluoruro, que presentó una media de 374,32 mg/L con una desviación típica de 181 mg/L. Según las Norma Cubana de Agua Potable,¹⁴ se estima como LMA 400 mg/L; sin embargo, las aguas subterráneas estudiadas presentaron una media de 374 mg/L muy próxima a dicho límite, por tanto un número considerable de los pozos muestreados sobrepasaron este valor, que se clasificaron en aguas ligeramente duras a muy duras.

Los cloruros mostraron una relación directa con las concentraciones de fluoruros, y presentaron una media de 168,4 mg/L y una desviación típica de 170,66 mg/L. El LMA para el ión cloruro, según la Norma Cubana de Agua Potable,¹⁵ es de 250 mg/L. Se

detectaron concentraciones altas de cloruros en algunos de los pozos muestreados, y resultó el valor más elevado 834 mg/L.

El calcio es otro de los elementos químicos analizados, que tienen relación directa con las concentraciones de fluoruros, y exhibió una media de 94,29 mg/L y una desviación típica de 55,70 mg/L. La concentración máxima detectada fue de 285,01 mg/L.

Por último, y no menos importante, se encuentra el sodio, que también presentó una relación directa con las concentraciones de fluoruros, y mostró una media de 48,66 mg/L y una desviación típica de 28,84 mg/L. Según la Norma Cubana de Agua Potable,¹⁵ el LMA es de 200 mg/L y en ninguno de los pozos analizados se sobrepasó este valor.

DISCUSIÓN

Las concentraciones de fluoruros en aguas de fuentes de abasto subterráneas en las cuatro provincias estudiadas, tanto en la época de lluvia como de seca, mostró que predominan las concentraciones de fluoruros inferiores a 0,7 mg/L; solo 16 de las 258 muestras presentaron valores contemplados en las categorías de óptimas y altas ($\geq 0,7$ mg/L).

Al comparar los resultados de este trabajo con los obtenidos en el estudio realizado por la Dirección Nacional de Estomatología y el INHEM durante el período 1998-1999, se aprecia que a pesar de no incluir los pozos individuales, los resultados obtenidos mostraron cierta correspondencia con los anteriores, a excepción de la provincia Villa Clara, donde en esta ocasión no se detectaron concentraciones de fluoruro superiores a 0,7 mg/L.

Teniendo en cuenta el comportamiento de las precipitaciones durante el período de muestreo (2007-2009) en las épocas de lluvia y seca en Cuba, según el porcentaje de la precipitación normal, que realiza el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), se puede plantear que en ambos muestreos de la provincia Villa Clara el comportamiento pluvial en estos meses clasificó como fuertemente seco, tanto en la época de lluvia como de seca, y se comportó la mediana de las concentraciones de fluoruros mayor en la época de seca.^{15,16} De acuerdo con estos hallazgos, las concentraciones de fluoruros en las fuentes de abasto de aguas subterráneas estudiadas no constituyen un peligro de fluorosis aun en los períodos de seca, donde las sales están más concentradas y, sin embargo, las concentraciones de fluoruros no sobrepasaron el rango de las concentraciones óptimas (0,71,49 mg/L).

En Camagüey, los muestreos se realizaron en meses que resultaron muy húmedos, así octubre, en la época de lluvia, clasificó como intensamente húmedo, en tanto que el mes de marzo de 2008, teóricamente enmarcado en el período seco, se comportó como moderadamente húmedo.^{17,18} A pesar de ser meses húmedos, se detectaron concentraciones óptimas de fluoruros (0,71,49 mg/L) en algunas de las fuentes de abasto estudiadas, y resultó la mediana de las concentraciones de este ión más elevada en la época de lluvia.

En la provincia Las Tunas el muestreo se realizó en mayo (época de lluvia) del 2007, el cual se caracterizó por una pluviosidad fuertemente húmeda y en el mes de abril (época de seca) de 2008, que se caracterizó por un comportamiento pluvial cercano a lo normal.^{19,20} La mediana de las concentraciones de fluoruros fue mayor en la época de seca respecto a la época de lluvia; sin embargo, se detectaron

concentraciones de fluoruro superiores a 1,5 mg/L en una de las fuentes de abasto de agua estudiadas en esta última época. Llama la atención que en la época de seca no se detectaron concentraciones de fluoruro superiores a 0,7 mg/L.

Durante los meses de febrero y octubre (períodos de seca y lluvia respectivamente) de 2008 se efectuó el muestreo en la provincia Granma. Estos meses se caracterizaron por presentar un comportamiento pluvial normal en ambas épocas de año,^{21,22} con concentraciones de fluoruros óptimas y altas. La mediana de las concentraciones de fluoruro fue mayor en la época de seca, aunque el valor absoluto de fluoruro más elevado se obtuvo en la época de lluvia.

Es importante destacar que en la época de lluvia es donde aparecen las concentraciones de fluoruros superiores al valor máximo admisible ($\geq 1,5$ mg/L), lo cual podría estar condicionado por el comportamiento pluvial en el período de estudio.

El análisis de la comparación de medias de las concentraciones de fluoruro durante las épocas de lluvia y seca en el conjunto de fuentes de abasto de agua, demostraron diferencias significativas entre ambas épocas del año. La mayor dispersión se mostró en la época de lluvia, lo cual se podría justificar por un incremento del arrastre y disolución de los diversos componentes químicos presentes en el agua influyendo en la variabilidad de los niveles de fluoruros en las aguas subterráneas de consumo.

Atendiendo al comportamiento de las concentraciones de fluoruros en las fuentes de abasto de agua subterráneas en las épocas de lluvia y seca durante el periodo de muestreo se plantea la necesidad de continuar la vigilancia de las concentraciones de fluoruros en estas provincias, pues en algunos casos la mediana de las concentraciones de este elemento fue mayor en la época de lluvia, lo que sugiere realizar más de una determinación en cada época del año, para precisar la variabilidad del fluoruro entre ambas épocas.

Al analizar la correlación entre las concentraciones de fluoruros, con algunos indicadores físico -químicos del agua, se pudo constatar que las concentraciones de fluoruros en las aguas subterráneas de consumo tuvieron una relación débil con los cloruros y el sodio, así como una relación escasa con la temperatura, la dureza total y el calcio.

La temperatura del agua presentó una relación inversa respecto a las concentraciones de fluoruros en las fuentes de abasto de aguas subterráneas muestreadas, aunque se debe insistir en que las variaciones de temperatura no fueron tan marcadas. En otros estudios realizados se ha puesto en evidencia una relación directa entre la temperatura y los fluoruros, pero no se debe pasar por alto que la distribución espacial de la temperatura en un acuífero; depende de la conductividad térmica e hidráulica del medio, de la relación longitud/profundidad de la cuenca, de la configuración del nivel freático y de la distribución de la temperatura ambiente respecto a las zonas de recarga y descarga, entre otros parámetros.²³

La dureza total se corresponde con la cantidad de carbonato de calcio que contiene el agua, y se destaca por presentar una relación directa con las concentraciones de fluoruros. En este trabajo un número importante de pozos presentaron aguas ligeramente duras a muy duras, pero esto no constituye un riesgo para la salud.

Los cloruros presentaron una relación directa con la presencia de fluoruros en las aguas subterráneas de consumo. El ión cloruro es uno de los más difundidos en las

aguas naturales, y su concentración es muy variable porque está en dependencia de las características de los terrenos que atraviesan. Las rocas de origen marino y las evaporitas presentan una elevada concentración de cloruros; ocurre lo contrario en el resto de las rocas; sin embargo, dada la elevada solubilidad de sus sales, los cloruros pueden pasar rápidamente a la fase acuosa y alcanzar concentraciones muy altas. El agua de lluvia puede ser una fuente importante de ión cloruro, especialmente en zonas próximas a la costa, y disminuir rápidamente tierra adentro.²⁴ En estudio realizado en la cuenca Independencia de México, por OrtegaGuerrero 2009, se evidenció una relación directa entre las concentraciones de fluoruros y los cloruros.²⁴

El calcio presentó una relación directa con la aparición del fluoruro en las aguas subterráneas de consumo. El ión calcio suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales por su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En rocas sedimentarias aparece fundamentalmente en forma de carbonatos (calcita, aragonito y dolomita) o sulfatos (yeso y anhidrita).²⁴

En un trabajo realizado por *Martín-Loeches, Sastre y Almeida* en 1995, se evidenció que las concentraciones elevadas de fluoruros de los manantiales analizados en ese estudio, estuvieron relacionadas con el ión Ca^{2+} , puesto que el intercambio iónico incrementa la solubilidad de las fluoritas por la disminución del Ca^{2+} libre.²⁵

El sodio fue el otro elemento químico que evidenció una relación directa con las concentraciones de fluoruros en las aguas subterráneas de consumo, lo que coincidió con los resultados obtenidos en la cuenca de Independencia México, donde los cationes de sodio y calcio son dominantes en los pozos con concentraciones altas de fluoruros y arsénico.²⁵

Es importante destacar que el sodio es liberado por la meteorización de silicatos tipo albita y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos en que se presenta fundamentalmente como NaCl. Las sales de sodio son altamente solubles y tienden a permanecer en solución, ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación, como ocurre en el caso del calcio. Sin embargo, el sodio puede ser adsorbido en arcillas de elevada capacidad de cambio catiónico y puede ser intercambiado con calcio, provocando una disminución de la dureza de las aguas.²⁴

Los demás compuestos químicos analizados no evidenciaron relación con los fluoruros en aguas subterráneas de consumo; sin embargo, en el presente trabajo solo se analizó una submuestra del total de fuentes de abasto de agua incluidas en el estudio para el análisis del calcio, sodio, magnesio, zinc, potasio, plomo y cadmio, lo cual pudo influir en los resultados de este análisis. En el estudio realizado por *OrtegaGuerrero* 2009, no se encontró relación entre los fluoruros y los metales como el plomo, el cadmio y el zinc; sin embargo, sí se evidenció una relación inversa entre el potasio y el magnesio.²⁵

El análisis de la correlación del fluoruro con otros elementos químicos evidenció que la presencia del fluoruro en fuentes de abasto subterráneas puede estar condicionada por la dureza, los cloruros, el calcio y el sodio, así como por la temperatura del agua, lo cual está en correspondencia con lo que plantea la literatura internacional.

Los resultados obtenidos en este trabajo corroboran los hallazgos de los anteriores estudios realizados por el MINSAP y por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, los cuales han demostrado que las concentraciones de fluoruros en diversas fuentes de abasto de agua a nivel nacional son fundamentalmente bajas,

con concentraciones altas de fluoruros solo en algunos pozos de la región oriental del país.^{8,10,11}

Los valores guías para agua potable emitidos por la OMS en 1958 y 1963 hicieron referencia al fluoruro, afirmando que concentraciones de flúor en el agua de consumo mayores que 1,01,5 mg/L pueden provocar fluorosis dental en algunos niños y que concentraciones mucho mayores pueden producir, a largo plazo, daños óseos en niños y adultos. En 1971 recomendaron el establecimiento de límites de control de los fluoruros en el agua de consumo, considerando diversos intervalos de acuerdo con el promedio anual de temperaturas máximas diarias del aire; los límites oscilaron entre 0,6 y 0,8 mg/L para temperaturas de 26,3 a 32,6 °C y de 0,9 1,7 mg/L para temperaturas entre 10 y 12 °C. La edición de los valores guías OMS para la calidad del agua potable, publicada en 1984, estableció un valor límite de 1,5 mg/L para el fluoruro y posteriormente las guías de 1993 concluyeron que no había pruebas que sugirieran la necesidad de revisar dicho valor de referencia, el cual se ha mantenido vigente hasta la actualidad; sin embargo, se señala que, a la hora de establecer normas nacionales para el fluoruro, es especialmente importante tener en cuenta las condiciones climáticas, el volumen de agua ingerida y la ingesta de fluoruro procedente de otras fuentes.^{2,26}

Recientemente, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos decidieron reducir los niveles de fluoruros recomendados a 0,7 mg/L, la menor cantidad dentro del rango establecido por esta entidad: 0,7 a 1,2 mg/L. El Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) indicó que la EPA realizó un estudio que demostró que los niños menores de ocho años están expuestos a cantidades excesivas de la sustancia, pues la reciben de diversas fuentes.²⁷

En Cuba el valor de referencia para el fluoruro establecido por la Norma Cubana de Agua Potable es de 1,5 mg/L,¹⁵ la temperatura media anual del territorio cubano es de 25 °C, la media en invierno es de 20 °C y la de verano es de 26 27 °C. Con estos promedios de temperaturas la ingesta diaria de agua es mayor si se compara con otros países donde predominan temperaturas más bajas, lo que pudiera contribuir a la incorporación de mayores dosis diarias de fluoruros al organismo en poblaciones expuestas a concentraciones de fluoruros actualmente consideradas como óptimas, pudiendo aparecer daños a la salud, por lo que debiera considerarse la posibilidad de la reducción de este, de acuerdo con la evidencia epidemiológica aportada por otros países de la región.²⁸⁻³⁰

Se concluye que en la gran mayoría de las fuentes los valores medios de las concentraciones de fluoruros fueron evaluados como bajos, lo que apoya la pertinencia de mantener el actual Programa de Fluoruración de la Sal de Consumo en Cuba. Por otra parte, el hallazgo de concentraciones de fluoruros consideradas altas en algunas fuentes aisladas, así como la variabilidad estacional de estas, fundamentan la necesidad de incorporar el monitoreo de las concentraciones de fluoruros en el Sistema de Vigilancia de Calidad del Agua de Consumo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Indermitte E, Saava A, Karro E. Exposure to high fluoride drinking water and risk of dental fluorosis in Estonia. *Int J Environ Res Public Health*. 2009;6(2): 710- 21.

2. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality [Internet]. Geneva:WHO; 2011 [cited 24 September 2011]. Available from: http://www.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf
3. Fewtrell L, Smith S, Kay D y Bartram J. An attempt to estimate the global burden of disease due to fluoride in drinking water. *Journal of Water and Health*. 2006;04(4):533-42.
4. Azpeitia ML, Rodríguez M y Sánchez MA. Prevalencia de fluorosis dental en escolares de 6 a 15 años de edad. *Rev Med Inst Mex Seg Soc*. 2008;46(1):67-72.
5. Kaseva ME. Optimization of regenerated bone char for fluoride removal in drinking water: a case study in Tanzania. *Journal of Water and Health*. 2006;4(1):139-47.
6. Shomar B, Müller G, Yahya A, Askar S, Sansur R. Fluorides in groundwater, soil and infused black tea and the occurrence of dental fluorosis among school children of the Gaza Strip. *Journal of Water and Health*. 2004;02(1):23-35.
7. Beato O, Surí A. Calidad de las aguas de las principales fuentes de abastecimiento para el consumo humano de la República de Cuba. En: *Memorias del XXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*; 22-28 de noviembre de 1992. La Habana: AIDIS; 1992. Tl. p. 503-17.
8. García García Melián M, Sosa M, Cuéllar L, Rodríguez L, Cangas Rancaño R. Sistema de vigilancia de fluoruro en aguas de consumo en Cuba. *Rev Cubana Hig Epidemiol* [Internet]. 2002 [citado 12 octubre 2011];40(2):136-42. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032002000200009&lng=es
9. Díez P, Bacallao J, Martínez C, Cruz M. Evaluación del programa de fluoruración del agua en 3 comunidades de provincia Habana. *Rev Cubana Hig Epidemiol*. 1993;31(2):84-93.
10. Sosa Rosales MC, García Melián M, Gómez A, Cuéllar Luna L, Mojáiber de la Peña A. Factibilidad del Programa de Fluoruración de la Sal de Consumo Humano en Cuba. *Rev Cubana Sal Públ* [Internet]. 2004 [citado 11 julio 2011];30(1). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662004000100007&lng=es
11. Cuéllar Luna L, García Melián M. El fluoruro en aguas de consumo y su asociación con variables geológicas y geográficas de Cuba. *Rev Panam Salud Pública* [Internet]. 2003 [citado 12 octubre 2011];14(5):341-9. Disponible en: http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892003001000009&lng
12. Oficina Nacional de Estadísticas. Primer Compendio de Estadísticas del Medio Ambiente de Cuba. 1990-2004 [Internet]. La Habana: ONE; 2006 [citado 7 septiembre 2010]. Disponible en: <http://www.one.cu/publicaciones/.../compendioestmamb/compendiomamb>
13. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, DC: APHA-AWWA-WEF, 2005.

14. Oficina Nacional de Normalización. Norma Cubana Agua Potable - Requisitos Sanitarios: NC 827; 2010 ICS: 13.060.20. La Habana: ONN; 2010.

15. Análisis de lluvias, embalses y acuíferos. Boletín hidrogeológico del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos [Internet]. 2008 [citado 24 noviembre 2010];5(5). Disponible en:

<http://www2.hidro.cu/documentos/boletines/Bolmay08.pdf>

16. Análisis de lluvias, embalses y acuíferos. Boletín hidrogeológico del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos [Internet]. 2009 [citado 10 marzo 2011];6(1). Disponible en: <http://www2.hidro.cu/documentos/boletines/Bolene09.pdf>

17. Análisis de lluvias, embalses y acuíferos. Boletín hidrogeológico del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos [Internet]. 2007 [citado 12 septiembre 2010];4(10). Disponible en:

<http://www2.hidro.cu/documentos/boletines/Boloct07.pdf>

18. Análisis de lluvias, embalses y acuíferos. Boletín hidrogeológico del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos [Internet]. 2008 [citado 4 junio 2011];5(3). Disponible en: <http://www2.hidro.cu/documentos/boletines/Bolmar08.pdf>

19. Análisis de lluvias, embalses y acuíferos. Boletín hidrogeológico del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos [Internet]. 2007 [citado 7 octubre 2010];4(5). Disponible en: <http://www2.hidro.cu/documentos/boletines/Bolmay07.pdf>

20. Análisis de lluvias, embalses y acuíferos. Boletín hidrogeológico del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos [Internet]. 2008 [citado 28 enero 2011];5(4). Disponible en: <http://www2.hidro.cu/documentos/boletines/Bolmay07.pdf>

21. Análisis de lluvias, embalses y acuíferos. Boletín hidrogeológico del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos [Internet]. 2008 [citado 2 mayo 2010];5(2). Disponible en: <http://www2.hidro.cu/documentos/boletines/Bolfeb08.pdf>

22. Análisis de lluvias, embalses y acuíferos. Boletín hidrogeológico del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos [Internet]. 2008 [citado 9 diciembre 2011];5(10). Disponible en: <http://www2.hidro.cu/documentos/boletines/Boloct08.pdf>

23. Hidroquímica: Generación de la composición química del agua. Relación composición química-litología. Fenómenos modificadores. En: Docencia. Hidrogeoquímica. Lecciones: Hidroquímica básica [Internet]. Grupo de Gestión de Recursos Hídricos. Castelló de la Plana, España: Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas. Universidad Jaume I de Castellón; 2011 [citado 2 mayo 2011]. Disponible en: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH17.pdf>

24. OrtegaGuerrero A. Presencia, distribución, hidrogeoquímica y origen de arsénico, fluoruro y otros elementos traza disueltos en agua subterránea, a escala de cuenca hidrológica tributaria de LermaChapala, México. Rev Mex Cienc Geol [Internet]. 2009 [citado 4 mayo 2010]; 26(1).Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1026-87742009000100012&script=sci_arttext

25. Martín-Loeches M, Sastre A, Almeida C. Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sector suroccidental de la cuenca paleozoica del río Alberche. En: VI Simposio de Hidrogeología, Hidrografía y Recursos Hidráulicos, 23-27 octubre 1995 [Internet]. Sevilla: Asociación Española de Hidrología Subterránea; 1995 [citado 4 junio 2010]. p. 133-17. Disponible en: <http://www.lneg.pt/download/3211/tp045.pdf>
26. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable [Internet]. Primer apéndice. vol.1. Ginebra: OMS; 2006 [citado 15 enero 2010]. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/.../gdwq3_es_full1_lowres.pdf
27. Centers for Disease Control and Prevention. Community Water Fluoridation: Questions and Answers [Internet]. Atlanta, GA: CDC; 2011 [cited 12 February 2011]. Available in: http://www.cdc.gov/fluoridation/fact_sheets/cwf_ga.htm
28. Rodríguez S, Alarcón M, Cifuentes E, Barraza A, Loyola JP, Sanind LH. Dental fluorosis in rural communities of Chihuahua, Mexico. Rev Fluoride. 2005; 38(2): 14350.
29. Grijalva MI, Barba ME, Laborín A. Ingestión y excreción de fluoruros en niños de Hermosillo, Sonora, México. Sal Públ Mex [Internet]. 2001 [citado 4 mayo 2010]; 43(2): 127-34. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0036-36342001000200008&script=sci_abstract
30. Paredes G, Suárez L, Nayhua L, Maguiña E. Prevalencia de Fluorosis Dental en el Perú. En: I-Congreso Internacional de Científicos Peruanos del 2 al 5 de enero de 2003 [Internet]. Lima, Perú: RMCP. 2003 [citado 25 julio 2010]. Disponible en: <http://socios.spc.org.pe/ecuadros/papers/ICICP.pdf>

Recibido: 9 de marzo de 2012.

Aprobado: 20 de julio de 2012.

MSc. *Liliam Cuéllar Luna*. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM). La Habana, Cuba. tania@inhem.sld.cu