

Evaluación del agua minero-medicinal de Presidencia Roque Sáenz Peña, provincia del Chaco, Argentina

Yanina P.D. Erceg, Néstor H. Dudik, Gerardo A. Sáez, Erica M. Soria, Cristian Herman, María B. Nuñez*

Departamento de Ciencias Básicas y Aplicadas, Carrera Farmacia, Universidad Nacional del Chaco Austral, Comandante Fernández N.º 755. (3700) Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco, Argentina.

*Autora correspondiente: mbnunez@uncaus.edu.ar

Recibido: 21 de diciembre de 2020

Revisado: 2 de febrero de 2021

Aceptado: 5 de febrero de 2021

RESUMEN

Introducción: el agua minero-medicinal estudiada procede del Complejo Termal de Presidencia Roque Sáenz Peña, provincia del Chaco, ubicado en el nordeste de Argentina. Las aguas de los acuíferos terciarios del norte argentino presentan un marcado gradiente de salinidad desde el sector oeste (subgrupo Jujuy) hasta el sector este (formación Chaco). Los acuíferos son procesos dinámicos y, en consecuencia, la composición del agua subterránea natural debe contemplarse con la perspectiva de su posible variación espacio-temporal. **Objetivos:** analizar y comparar la composición química y la calidad microbiológica del agua de las termas de la ciudad de Sáenz Peña en el período 2016-2018 y evaluar sus principales características fisicoquímicas que definen sus potenciales aplicaciones terapéuticas. **Resultados:** el agua termal por su temperatura se clasifica como agua hipotermal, con pH cercano a la neutralidad, conductividad elevada mostrando su relación directa con la alta salinidad. Por su porcentual equivalente se define como agua clorurada, con alto contenido del anión sulfato y los cationes sodio, potasio, calcio y magnesio. De acuerdo con la composición mayoritaria de cloruros, el uso terapéutico vía tópica sería recomendado para afecciones óseas y musculares, así como problemas dermatológicos y circulatorios.

Palabras clave: Complejo termal, composición fisico-química, análisis microbiológico, acción terapéutica.

SUMMARY

Evaluation of the mineral-medicinal water of Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco province, Argentina

Introduction: The mineral-medicinal water studied comes from the Presidencia Roque Sáenz Peña Thermal Complex, Chaco province, located in the northeast of Argentina. The waters of the tertiary aquifers of northern Argentina present a marked salinity gradient from the western sector (Jujuy subgroup) to the eastern sector (Chaco formation). Aquifers are dynamic processes and consequently, the composition of natural groundwater must be viewed from the perspective of its possible spatial-temporal variation. **Aims:** to analyse and to compare the chemical composition and microbiological quality of thermal water of the city of Sáenz Peña in the 2016-2018 period and to evaluate its main physicochemical characteristics that define its potential therapeutic applications. **Results:** Due to its temperature, the thermal water is classified as hypothermal water, with a pH close to neutrality, high conductivity, showing its direct relationship with high salinity. Its equivalent percentage defined as chlorinated water, with high content of the sulphate anion and the cations sodium, potassium, calcium and magnesium. According to the majority composition of chlorides, topical use is recommended for bone and muscle ailments, as well as dermatological and circulatory problems.

Keywords: Thermal complex, physical-chemical composition, microbiological analysis, therapeutic action.

RESUMO

Avaliação da água mineral-medicinal da Presidência Roque Sáenz Peña, província de Chaco, Argentina

Introdução: a água mineral-medicinal estudada provém do Complexo Térmico Presidencia Roque Sáenz Peña, província de Chaco, localizada no nordeste da Argentina. As águas dos aquíferos terciários do norte da Argentina apresentam um acentuado gradiente de salinidade do setor ocidental (subgrupo Jujuy) ao setor oriental (formação Chaco). Os aquíferos são processos dinâmicos e, conseqüentemente, a composição da água subterrânea natural deve ser vista sob a perspectiva de sua possível variação espaço-temporal. **Objetivos:** analisar e comparar a composição química e qualidade microbiológica das águas termais da cidade de Sáenz Peña

no período 2016-2018 e avaliar suas principais características físico-químicas que definem seus potenciais aplicações terapêuticas. **Resultados:** devido à sua temperatura, a água termal é classificada como água hipotérmica, com pH próximo da neutralidade, alta condutividade, mostrando sua relação direta com a alta salinidade. Seu percentual equivalente definido como água clorada, com alto teor do ânion sulfato e dos cátions sódio, potássio, cálcio e magnésio. De acordo com a composição majoritária dos cloretos, o uso tópico é recomendado para doenças ósseas e musculares, bem como para problemas dermatológicos e circulatórios.

Palavras-chave: Complexo térmico, composição físico-química, análise microbiológica, ação terapêutica.

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud define al agua termal como: “agua bacteriológicamente incontaminada que procedente de una fuente subterránea natural o perforada, contiene una determinada mineralización y puede inducir efectos favorables para la salud, debiendo estar así reconocido por la autoridad pertinente del país de origen” [1].

La fuente termal de este estudio se localiza en la ciudad de Presidencia Roque Sáenz Peña, en la provincia del Chaco, Argentina. El complejo termal fue reinaugurado a finales del 2002 y sus instalaciones tienen fines turísticos y terapéuticos [2].

El clima que caracteriza a la ciudad de Sáenz Peña es propio de la árida llanura Chaco-Pampeana. Boujon *et al.* [3] describieron esta región hidrometeorológica indicando que el sector central de las provincias de Formosa y Chaco (donde se localiza la ciudad de Sáenz Peña) presenta un clima seco-subhúmedo. Las máximas precipitaciones se registran principalmente en primavera-verano y oscilan entre 500 y 800 milímetros. La evapotranspiración real es elevada (700-1000 milímetros). La temperatura media anual es 21 y 22 ° C. También puede señalarse que esta zona presenta valores mínimos puntuales de -5 ° C (invierno) y máximos de más de 40 ° C (verano).

El territorio de la región chacoparanaense (NE argentino) se encuentra en un sistema no volcánico, que es una cuenca sedimentaria terciaria [4]. Las aguas de los acuíferos terciarios del norte argentino presentan marcado gradiente de salinidad desde el sector oeste (depósitos del Mioceno Superior-Plioceno en el subgrupo Jujuy, formación India Muerta y Las Cañas) hasta el sector este (depósitos del Mioceno Superior-Plioceno en la formación Chaco). En los sectores pedemontanos del oeste presentan valores de conductividad eléctrica inferiores a los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En la zona de llanura se incrementa

la salinidad, con una conductividad eléctrica entre 1000 y 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (facies salina sulfatada sódica). Hacia el oeste de Santiago del Estero y centro de Chaco, la conductividad aumenta a más de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (facies salina clorurada sódica) [1].

El agua subterránea natural puede presentar variaciones debido a factores como la naturaleza geológica, la disposición espacial, solubilidad de los materiales en contacto con el agua, la superficie y tiempo del contacto, temperatura del acuífero, presión, existencia de gases, grado de saturación del agua en relación con las distintas sustancias incorporadas, etc. [5-7]. La composición media del agua subterránea suele considerarse invariable en un acuífero, pero no debe olvidarse las interacciones agua-medio, que determinan si son procesos dinámicos desarrollándose a ritmo diverso [8]. Por tanto, la composición química queda definida de modo apropiado si se describe en un lugar y momento determinado.

Los objetivos del trabajo fueron analizar y comparar la composición química y calidad microbiológica del agua de las termas de la ciudad de Sáenz Peña en el período 2016-2018 y definir sus principales características fisicoquímicas que definen sus potenciales aplicaciones terapéuticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestra

Se realizó siguiendo las recomendaciones del apartado 1060 [9] para la recolección, conservación y preservación de la muestra. La recolección de muestras se realizó en tres tiempos al año. El agua se extrajo en la fuente de bombeo de una perforación a 100 metros de profundidad, tomando cada muestra después de 30 minutos de flujo del agua.

En el lugar de muestreo se realizaron los análisis preliminares tomando la muestra en un frasco de vidrio boca ancha de 500 ml. Las muestras de agua para el análisis químico se colectaron en botellas plásticas blancas de alta densidad con tapa rosca de 500 ml, adicionando un preservante para algunos ensayos (dureza, oxígeno disuelto). Para el análisis microbiológico se usaron frascos plásticos estériles de 250 ml. Las muestras se conservaron en refrigeración desde la recolección del agua y hasta su uso en el laboratorio.

Determinación de las características fisicoquímicas del agua termal

Los ensayos preliminares se realizaron en el lugar de muestreo utilizando el equipo Hanna Hi 9828 para el control de temperatura del agua, pH, conductividad, mbar, ORP y salinidad.

En el laboratorio se siguieron las técnicas recomendadas en la literatura [9] y se cuantificó por volumetría la dureza total (método titulométrico) y alcalinidad total (método titulométrico con anaranjado de metilo). Los residuos sólidos totales se determinaron por el método gravimétrico por secado en estufa convencional (a 105 °C), los residuos sólidos fijos y residuos sólidos volátiles por ignición (500 °C).

Estudio de la composición química del agua termal

La evaluación se realizó por métodos convencionales, determinando el contenido de cloruro (método argentométrico), anión bicarbonato (método titulométrico), anión carbonato (método titulométrico con fenolftaleína), dióxido de carbono (método titulométrico con fenolftaleína, pH 8,3) y catión calcio (método titulométrico EDTA). Otras determinaciones realizadas fueron el contenido de sulfato (método gravimétrico), anión nitrato (espectrofotometría UV-visible, a 220 nm y 275 nm), fluoruro e hierro (colorimetría), contenido de sodio y potasio (fotometría de emisión de llama), y catión magnesio (por cálculo).

Evaluación microbiológica del agua termal

Las muestras fueron recolectadas en la fuente de agua y envasadas en recipientes estériles, luego trasladadas bajo refrigeración al laboratorio de microbiología.

Determinación de aerobios viables. Se inoculó en profundidad 1 ml de la muestra sin diluir en placas con Plate Count Agar (PCA) y se incubó por 24 a 48 h a 37 °C. Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml).

Determinación de coliformes totales y fecales. Para la determinación de coliformes totales se utilizó el método de recuento por dilución en tubo y se hizo la determinación del número más probable. Se inocularon 10, 1,0 y 0,1 ml de muestra en tres tubos por cada dilución en caldo MacConkey con campana de Durham para determinar la producción de gas. El caldo MacConkey fue preparado a doble concentración. Los tubos fueron incubados por 24 a 48 h a 37 °C. La presencia de turbidez y producción de gas será indicativo de presencia de bacterias coliformes. Los resultados se determinaron utilizando la tabla de Hoskins. Para coliformes fecales, de los tubos con caldo MacConkey que dieron crecimiento positivo en el ensayo de coliformes totales, se tomaron muestras con anza y se inocularon en 10 ml de caldo Brila (con campana de Durham) y en 10 ml de caldo peptonado y se incubaron a 44,5 °C por 48 h. La presencia de turbidez en ambos medios, con la formación de gas en caldo Brila, confirma la presencia de coliformes fecales.

Determinación de Escherichia coli. Para determinar la presencia de la bacteria en la muestra se utilizaron los tubos con caldo Brila que dieron positivo en el ensayo de

determinación de coliformes fecales. A partir de estos tubos se tomaron 50 μ l y se inocularon en caldo EC y se incubaron a 44 °C durante 24 h. La presencia de turbidez será confirmativa de la presencia de *E. coli* en la muestra.

Determinación de *Staphylococcus aureus*. Para determinar la presencia de esta bacteria se realizó una siembra en superficie de 0,1 ml de muestra en placas conteniendo agar Baird-Parker. Las placas fueron incubadas a 37 °C durante 48 h. Colonias brillantes de color de gris oscuro a negro y halos transparentes alrededor de las colonias son indicativos de la presencia de *S. aureus*.

Determinación de hongos y levaduras. La presencia de hongos y levaduras se determinó sembrando en profundidad 1 ml de muestra en Sabouraud dextrosa e incubando a 25 °C durante 72 h.

Determinación de enterobacterias. Se inoculó en profundidad un 1 ml de la muestra sin diluir en placas con violeta rojo bilis glucosa (VRBG) y se incubó por 24 h a 37 °C. Todos los ensayos microbiológicos se realizaron por duplicado.

Clasificación del agua mineromedicinal y descripción de su potencial uso

De acuerdo con los valores obtenidos en los análisis químicos se confirmará la clasificación del tipo de agua termal disponible en este complejo termal. Según la composición química se definirá los usos medicinales recomendados en la bibliografía relacionada a la temática.

Análisis estadístico

En cada análisis se evaluaron los valores usando planilla Microsoft® Excel para definir valores promedio y desviación estándar. El programa de estadística Statgraphics XVII (versión gratuita en español) se usó para el análisis multivariante, utilizando Anova, pruebas de rangos múltiples y pruebas de Kruskal-Wallis. Esto permitió determinar diferencias significativas en la composición química entre cada medición mensual de los tres años evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización físico-química del agua termal

El agua obtenida en el punto de extracción se observó con una turbiedad de color pardo dado al material en suspensión inicial. Luego de 24 a 48 h se decantó un fino sedimento y el agua parecía transparente. El sabor fue salobre y con un olor que recuerda al salitre.

Tabla 1. Características físico-químicas del agua termal de Sáenz Peña (Argentina).

Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Temperatura (°C)	26,55 ± 0,05*	26,60 ± 0,10*	26,78 ± 0,03	27,50 ± 0,10*	27,61 ± 0,10*	27,00 ± 0,10*	27,00 ± 0,1	27,43 ± 0,06	26,37 ± 0,25*
pH	6,98 ± 0,08*	6,95 ± 0,05	7,04 ± 0,03*	6,85 ± 0,05	7,39 ± 0,01*	7,10 ± 0,10	5,82 ± 0,01*	6,47 ± 0,06*	6,73 ± 0,01*
Conductividad (µS/cm)	44 928,33 ± 7,64	44 571,7 ± 2,89	47 048,33 ± 2,89	45 520 ± 10*	44 671,67 ± 18,93*	44 405 ± 5	44 405 ± 5	44 525 ± 5	38 148 ± 2,89
mbar	1015,60 ± 0,1*	1008,17 ± 0,06	1001,20 ± 0,10*	1014,70 ± 0,20	1004,20 ± 0,10*	1007,30 ± 0,10*	1012,33 ± 0,58*	1011,23 ± 0,06*	1003,17 ± 0,15
ORP	-175,12 ± 0,08*	-119,80 ± 0,10	-74,40 ± 0,10*	-14,38 ± 0,08	-47,70 ± 0,10	-48,45 ± 0,05	169,20 ± 0,1*	-75,20 ± 0,10	40,13 ± 0,06*
Salinidad (ppt)	28,50 ± 0,10	28,13 ± 0,03	29,41 ± 0,04*	28,45 ± 0,05	27,29 ± 0,04*	28,62 ± 0,02	28,23 ± 0,03	28,75 ± 0,05*	25,41 ± 0,12*

Referencias: los valores son expresados como media ± desviación estándar, n = 3 por grupo experimental. *: Indica diferencia significativa (p<0,05) para el parámetro entre muestras en el mismo mes del período 2016 - 2018: marzo (M1, M4 y M7), agosto (M2, M5 y M8) y octubre (M3, M6 y M9). No hubo diferencias significativas en las demás comparaciones.

El agua termal surgió en el momento del bombeo a temperatura entre 26,5 y 27,6 °C, por lo que se clasificó como agua hipotermal (< 35 °C). El pH del agua termal presentó valores cercanos a la neutralidad (pH entre 5,8 y 7,4), valores compatibles con lo tolerado por la piel (pH de la piel 5,5). La conductividad presentó valores elevados (tabla 1), esto mostró su relación directa con la salinidad. Estos datos coinciden con lo reportado por Boujon *et al.* [3], que indicaron que en el oeste de Santiago del Estero y centro de Chaco la conductividad aumenta a más de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mostrando facies salina clorurada sódica que coincide con lo presentado en la tabla 4.

El potencial redox (ORP) mide la energía química de oxidación-reducción en el sistema, en este caso predominan valores negativos indicando procesos de reducción, aunque algunas mediciones positivas indicaron procesos de oxidación en distintos períodos en los tres años observados.

Las principales diferencias estadísticas ($p < 0,05$) estuvieron en las muestras de marzo de 2016 y 2018 en lo que respecta a pH, mBar y ORP, posiblemente porque el 2016 fue más lluvioso en comparación al 2018 [10-13]. En las muestras de agosto se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre 2017 y 2018 para los valores de pH, conductividad, mBar y salinidad, donde se observó mayor cantidad de precipitación en 2018 [10-13]. En las muestras de noviembre se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre 2016 y 2018 respecto de la conductividad, ORP y salinidad. Nuevamente se observó que los últimos meses del 2016 fueron más lluvioso en comparación con 2018 [10-13].

Los valores de alcalinidad se determinaron por titulación con fenolftaleína y no presentó cambio de color, lo cual indicó ausencia de iones carbonato e hidroxilos. La titulación con anaranjado de metilo presentó un color amarillo brillante, lo que significa presencia de iones bicarbonato en las muestras. Esto puede relacionarse con la dinámica del “equilibrio carbónico”, donde la presencia de CO_2 libre (ver en tabla 3) y valores de pH entre 6 a 8,5 justificaría el predominio de iones bicarbonatos en las muestras de agua en estudio [14]. Los valores más altos de dureza en comparación con la alcalinidad total indicarían que tenemos otros aniones que aportan calcio en la muestra.

La mineralización global del agua puede definirse según el residuo seco a 110 °C y clasificarlas en aguas oligometálicas cuando el residuo seco es inferior a 100 mg/l; de mineralización muy débil: con residuo seco comprendido entre 100 y 250 mg/l; mineralización débil: con residuo seco entre 250 y 500 mg/l; mineralización media: con residuo seco entre 500 y 1000 mg/l y mineralización fuerte: con residuo seco superior a 1000 mg/l [15]. En el caso del agua termal del Complejo de las Termas de Sáenz Peña se puede definir como aguas de mineralización fuerte.

Tabla 2. Alcalinidad, dureza y sólidos del agua termal de Sáenz Peña (Argentina).

Parámetros	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Alcalinidad (mg/l)	672 ± 28*	606,67 ± 16,17	616,01 ± 7,00	609 ± 7,01	569,33 ± 8,08	620,66 ± 16,17	591,67 ± 7,64*	596,67 ± 11,55	599,66 ± 14,572
Dureza Total (mg/l)	4992,5 ± 49,92*	5059,07 ± 11,53*	5004,55 ± 22,54	4779,51 ± 64,19	4812,80 ± 79,88	4992,53 ± 19,97	3808,08 ± 85,75*	3916,11 ± 9,36*	3969,80 ± 29,82
Sólidos torales (g/l)	20,06 ± 0,03*	19,49 ± 0,74*	40,59 ± 0,116	35,52 ± 0,23*	51,52 ± 3,45*	38,94 ± 1,68	37,86 ± 0,65*	43,2 ± 2,16*	40,59 ± 0,156
Sólidos fijos (g/l)	18,31 ± 0,05*	17,97 ± 0,61*	37,19 ± 0,15	32,52 ± 0,13*	49,43 ± 3,34*	35,47 ± 1,49	34,97 ± 0,65*	38,45 ± 0,33*	40,59 ± 0,156
Sólidos volátiles (g/l)	1,73 ± 0,02	1,33 ± 0,18	3,41 ± 0,09	3,01 ± 0,12	2,09 ± 0,28	3,46 ± 0,19	3,02 ± 0,08	3,68 ± 0,33	3,41 ± 0,098
Sólidos disueltos ^a (mg/l)	22 917,6	23 080,5	23 084,4	19 572,6	18 705,9	18 636,9	22 517,3	22 517,3	22 495,1

Referencias: los valores son expresados como media ± desviación estándar, n = 3 por grupo experimental.

*: Indica diferencia significativa (p<0,05) para el parámetro entre muestras en el mismo mes del período 2016 - 2018: marzo (M1, M4 y M7), agosto (M2, M5 y M8) y octubre (M3, M6 y M9). No hubo diferencias significativas en las demás comparaciones. (±) Sumatoria de los valores de aniones y cationes determinados en cada muestra del estudio.

Respecto a las diferencias significativas, los valores de alcalinidad solamente fueron diferentes en la primera medición anual entre 2016 y 2018. Los valores más altos de alcalinidad se observaron en 2016. De igual modo se encontró diferencia significativa entre los valores de dureza de la primera y segunda medición anual de 2016 y 2018. Para este parámetro se observaron los valores más altos en 2016. Los meses de la primera y segunda medición en 2016 presentaron mayor cantidad de lluvias que en 2018 [10-13].

En lo que se refiere a residuos sólidos, se observó diferencia significativa ($p < 0,05$) entre la primera y segunda medida anual de residuos totales y residuos fijos en 2016 respecto de los valores del 2017 y 2018. En este caso, los valores resultaron relativamente más bajos en 2016. Los sólidos disueltos totales (SDT) incluyen principalmente a los componentes aniónicos y catiónicos de sales inorgánicas disueltos en el agua. En este caso se observó el contenido SDT más bajo que en 2017, lo que coincide con el periodo de menor cantidad de lluvia anual del trienio analizado.

Composición química del agua termal

Cuando las aguas tengan una alta mineralización global, con 1 g/l o más, la clasificación de las aguas se hará según el contenido iónico mayoritario, y se considerarán como cloruradas, sulfatadas, bicarbonatadas, sódicas, cálcicas o magnésicas. Cuando la mineralización no supere el gramo de residuo se indicarán solo como iones predominantes [15].

De acuerdo con los valores obtenidos en la tabla 3 para el período 2016-2018, el agua termal presentó dos componentes aniónicos mayoritarios (>1 g/l), a saber, cloruros y sulfatos. También se encontró un alto contenido de sodio en su composición catiónica (>1 g/l), acompañado de magnesio, potasio, calcio, pero con valores menores a 1 g/l.

La concentración de calcio alrededor de 600 mg/l (tabla 3) indicaría presencia de terrenos yesíferos en las napas subterráneas que recorren las aguas mineromedicinales [16]. Los valores altos de magnesio (tabla 3) indicarían la posible presencia de terrenos evaporíticos, ya que alcanza valores cercanos a 1000 mg/l [16].

Entre los elementos traza se encontraron a los iones hierro (en un rango de 0,66 a 2,24 mg/l), fluoruro (0,54 a 1,45 mg/l) y nitrato (0,56 a 0,99 mg/l), así como gas dióxido de carbono (145,2 a 243,5 mg/l).

Las diferencias estadísticas ($p < 0,05$) más notorias estuvieron entre las muestras de los iones calcio, sodio, potasio, hierro, fluoruro, nitrato y gas dióxido de carbono (tabla 3). En cambio los iones cloruro, bicarbonatos y sulfato presentaron variaciones menos frecuentes en este período de tiempo estudiado. Respecto de los iones fluoruro, calcio, hierro y gas dióxido de carbono hubo diferencias en la primera medición (marzo) de

Tabla 3. Composición química del agua termal de Sáenz Peña (Argentina).

Aniones	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Cloruro (mg/l)	13 187,41 ± 85,1	13 258,30 ± 419,7	13 059,78 ± 85,1	9 737,41 ± 59,6*	8 844,07 ± 29,8	9 171,62 ± 59,6	13 612,80 ± 112,5*	13 201,58 ± 88,5	13 031,42 ± 64,9
Sulfato (mg/l)	4 752,26 ± 9,58	4 777,81 ± 14,63*	4 800,17 ± 9,58*	4 860,84 ± 213,45	4 985,40 ± 94,52	4 685,19 ± 9,58	4 442,47 ± 29,27	4 471,21 ± 19,94*	4 608,54 ± 9,58*
Bicarbonato (mg/l)	6 77,68 ± 17,26	7 32,49 ± 14,95	7 27,51 ± 22,83	6 82,67 ± 17,26	6 97,62 ± 17,26*	8 37,14 ± 29,90	6 42,80 ± 14,95	5 92,56 ± 7,92*	6 57,75 ± 29,89
Fluoruro (mg/l)	1,37 ± 0,025*	0,784 ± 0,005*	1,45 ± 0,005*	1,17 ± 0,025	0,66 ± 0,02	1,20 ± 0,015*	1,06 ± 0,025*	0,54 ± 0,015*	1,41 ± 0,021
Nitrato (mg/l)	0,81 ± 0,002	0,73 ± 0,013*	0,78 ± 0,007*	0,56 ± 0,003*	0,99 ± 0,007*	0,99 ± 0,007*	0,91 ± 0,005*	0,98 ± 0,004	0,907 ± 0,002
Dióxido de carbono (mg/l)	145,2 ± 8,80*	229,53 ± 3,36	231,00 ± 6,60*	243,47 ± 5,08	178,64 ± 0,44	202,4 ± 13,20	180,40 ± 4,41*	165,01 ± 13,74	170,13 ± 9,16*
Cationes									
Potasio (mg/l)	5 95,45 ± 0,51*	6 21,66 ± 0,58*	7 31,33 ± 1,53*	6 48,16 ± 1,61*	6 26,66 ± 0,76	5 71,66 ± 7,67*	6 14,96 ± 0,25	6 35,1 ± 0,36*	6 87,5 ± 0,71
Sodio (mg/l)	1 125,73 ± 0,25*	1 102,16 ± 0,76*	1 216 ± 2,65	1 238,17 ± 1,04*	1 168,5 ± 0,10	1 032,3 ± 2,52*	1 154,07 ± 0,40	1 186,17 ± 0,29*	1 228,5 ± 0,50*
Calcio (mg/l)	6 07,08 ± 7,98*	6 16,41 ± 8,31*	5 83,12 ± 15,97*	5 94,82 ± 2,25	5 67,48 ± 4,51	5 09,90 ± 3,74*	4 75,33 ± 13,49*	4 77,49 ± 9,90*	5 61,82 ± 4,61
Magnesio (mg/l)	9 70,52 ± 9,34	9 91,99 ± 7,79*	9 76,65 ± 8,69	9 53,87 ± 18,09	9 62,47 ± 22,83	1 016,89 ± 7,38*	7 17,82 ± 22,89	6 18,88 ± 12,81*	7 23,73 ± 11,57*
Hierro (II) (mg/l)	0,66 ± 0,01*	1,31 ± 0,01*	2,21 ± 0,01	0,86 ± 0,01	1,75 ± 0,08*	2,24 ± 0,006*	0,95 ± 0,01*	1,42 ± 0,01	2,01 ± 0,04*

Referencias: los valores son expresados como media ± desviación estándar, N = 3 por grupo experimental. *: Indica diferencia significativa (p<0,05) para el parámetro entre muestras en el mismo mes del período 2016 - 2018: marzo (M1, M4 y M7), agosto (M2, M5 y M8) y octubre (M3, M6 y M9). No hubo diferencias significativas en las demás comparaciones.

2016 y 2018; coincidiendo con la finalización de la época estival de mayor cantidad de lluvias, 2018 resultó más lluvioso en este período estudiado [10-13].

También se observaron variaciones del contenido de sodio, potasio, calcio, magnesio, sulfato y fluoruro en la segunda medición (agosto) de 2016 y 2018, coincidiendo con la época invernal que es un período de menor cantidad de lluvias en el año. Los iones fluoruro, nitrato, potasio y calcio mostraron diferencias significativas en la tercera medición (noviembre) de 2016 y 2017, mientras que los iones hierro y magnesio mostraron diferencia en esta medición entre 2017 y 2018. Este mes coincide con el inicio del período de lluvias al comenzar la época del verano, donde la cantidad de lluvias fue menor en 2017.

En la tabla 4 se presentan los valores porcentuales respecto de los miliequivalentes por litro del promedio de los valores de 2018. Ahí se observa que predominan los iones cloruro (85,9%) y sodio (47,3%). Similar predominio de estos iones se observó en 2016 y 2017 (datos no presentados en el trabajo).

Tabla 4. Componentes iónicos y equivalente porcentual del agua termal de Sáenz Peña.

Iones presentes	mg/l*	meq/l	% meq
Cloruros	13 281,93	374,67	85,94
Sulfatos	4507,40	46,95	10,77
Bicarbonatos	631,04	10,34	2,37
Dióxido de carbono	171,85	3,91	0,90
Fluoruro	1,03	0,05	0,01
Nitratos	0,95	0,02	0,00
Suma aniones	18 594,20	435,94	100,00
Sodio	1189,58	51,72	47,34
Potasio	645,85	16,56	15,16
Calcio	504,87	12,62	11,55
Magnesio	686,81	28,26	25,87
Hierro	4,38	0,08	0,07
Suma cationes	3031,49	109,25	100,00

Referencia: (mg/l*) valor promedio de las 3 mediciones realizadas en 2018.

Evaluación microbiológica del agua termal

El recuento de bacterias aerobias mesófilas viables en este período de tiempo estuvo en el rango de menos de 10 y hasta 70 UFC/ml. Estas variaciones fueron más notorias

cuando se realizaba menor bombeo de agua y aumentaba el recuento de bacterias. De igual modo, esta concentración está dentro del rango aceptado por las directrices de calidad turística para termas de Argentina [17], el límite es hasta 100 UFC/ml para aguas termales usadas en balneoterapia.

En las muestras del agua termal se determinó ausencia de enterobacterias, coliformes totales y coliformes fecales, salvo en dos muestreos que dio positivo para coliformes totales presentando valores de 23 y 95 UFC/ml y dio positivo para *Escherichia coli*. La presencia de coliformes totales no siempre resulta indicativo de una contaminación, debido a que este tipo de microorganismos están presentes en el suelo [18] y desde ahí pueden pasar al flujo de agua por infiltración en el terreno. En cambio, la presencia de coliformes fecales y de *E. coli* representa contaminación, la que podría provenir de las napas freáticas contaminadas o a través de las cañerías que presentan fugas [18]. Esta situación se revirtió en las siguientes determinaciones, hubo ausencia en los resultados obtenidos.

Para las determinaciones de hongos y levaduras no hubo crecimiento microbiano en todas las muestras. La presencia de hongos y levaduras es poco frecuente en aguas minerales, aunque pueden encontrarse en sitios como las piletas donde frecuentan los bañistas [19].

También se determinó ausencia de *Staphylococcus aureus*. Este tipo de bacteria se encuentra en el ambiente y llegan a los manantiales o cuerpos de agua a través del aire, el suelo y la lluvia, el hombre es su reservorio [19], por lo que es menos frecuente en aguas subterráneas.

Clasificación y potencial uso terapéutico del agua termal

Las aguas mineromedicinales se clasifican según los iones predominantes en la composición química y se definen con el nombre de los iones mayoritarios si las aguas contienen más de 1 g/l de esos componentes [15].

En el caso de las termas del complejo de la ciudad de Sáenz Peña, Chaco, Argentina, podemos decir que las aguas son clorosulfatadas. El anión cloruro y sulfato se encuentran con una concentración de más de 1 g/l y están acompañados de los cationes sodio, potasio, calcio y magnesio (entre los componentes mayoritarios), lo cual condice con la descripción conocida de este agua termal. El alto contenido de cloruro y de sodio refleja un origen profundo y la presencia de mares pretéritos [20], y se considera según su concentración como fuerte (si contiene más de 50 g/l), mediana (entre 10 y 50 g/l) y débil (menos de 10 g/l). En este caso sería un agua clorurada de concentración mediana.

Las aguas cloruradas por vía tópica son consideradas estimulantes sobre las funciones orgánicas y metabólicas, mejoradoras del trofismo celular y de los procesos de cicatrización y reparación tisular, y favorecedoras de la circulación sanguínea y linfática [21]. Estas recomendaciones coinciden con las recomendaciones actuales de uso: para dolencias

óseas, dermatológicas, musculares y circulatorias [22, 23]. Estas indicaciones son compatibles con la modalidad de uso en el complejo termal, donde el paciente dispone de baños privados para la inmersión durante un tiempo estipulado, la pileta general con chorros de agua y el uso para aplicación en tratamientos cosméticos faciales y corporales [24]. Las recomendaciones por la presencia de iones sulfato son para la vía oral, sin embargo, en este caso no es oportuno por el sabor muy salobre y su fuerte mineralización.

CONCLUSIONES

El agua termal de la ciudad de Sáenz Peña, Chaco, Argentina, por su temperatura puede clasificarse como agua hipotermal, pH cercano a la neutralidad, por lo que es compatible con la piel. La conductividad presentó valores elevados mostrando su relación directa con la alta salinidad. El agua termal por su porcentual equivalente se define como agua clorosulfatada, acompañada por los cationes sodio, potasio, calcio y magnesio. Las diferencias estadísticas más frecuentes fueron las de los iones calcio, sodio, potasio, hierro, fluoruro, nitrato y gas dióxido de carbono; esto podría estar en relación con las variaciones en cantidad de lluvias ocurridas durante los tres años observados. De acuerdo con la composición mayoritaria de cloruros, el uso terapéutico vía tópica sería recomendado para afecciones óseas y musculares, así como problemas dermatológicos y circulatorios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la Secretaría de Investigación, Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Chaco Austral y al Sistema de Becas EVC-CIN de Argentina.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de interés en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

1. P.L. Branco-Bonfada, M.R.H. Bonfada, M.E.A. González, J.M. Gonçalves-Gândara, El turismo de salud y el uso terapéutico del agua, *Estudios y Perspectivas en Turismo*, **20**(2), 462-477 (2011).

2. J.A. Alberto, *Aguas termales y minerales*, Diario Norte (2019), URL: <https://www.diarionorte.com/185214-aguas-termales-y-minerales>, consultado en julio de 2020.
3. P. Boujon, D.S. Fernández, D.S. Trevisiol, F.X. Pereyra, L. Gambandé, *Hidrogeología de la región chaqueña de la República Argentina*, IX Congreso Argentino de Hidrogeología y VII Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología Subterránea, Catamarca, Argentina, 2016.
4. A.H. Pesce, La geotermia y su importancia en el desarrollo económico, Departamento de Geotermia (Segemar), Argentina, comunicación personal, 2012.
5. I. Delgado-Outeirino, P. Araujo-Nespereira, J.A. Cid-Fernandez, J.C. Mejuto, E. Martínez-Carballo, J. Simal-Gandara, Hydrogeothermal modelling vs. inorganic chemical composition of thermal waters from the area of Carballino (NW Spain). *Hydrology and Earth System Sciences*, **16**, 157-166 (2012).
6. D.L. López, J. Bundschuh, G.J. Soto, J.F. Fernández, G.E. Alvarado, Chemical evolution of thermal springs at Arenal Volcano, Costa Rica: Effect of volcanic activity, precipitation, seismic activity, and Earth tides, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **157**, 166-181 (2006).
7. J. Olivier, J.S. Venter, C.Z. Jonker, Thermal and chemical characteristics of hot water springs in the northern part of the Limpopo Province, South Africa, *Water SA*, **37**(4), 427-436 (2011).
8. Instituto Geológico y Minero de España, Capítulo 1. La composición química de las aguas subterráneas naturales, pp. 16-33, URL: https://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf
9. American Public Health Association, American Water Works Association, *Water Environment Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Ed., Washington, 2017.
10. APA (Administración Provincial de Agua), *Precipitaciones. Año hidrológico 2015-2016*, URL: <http://apachaco.gob.ar/site/images/prec15-16.pdf>, consultado en septiembre de 2020.
11. APA (Administración Provincial de Agua), *Precipitaciones. Año hidrológico 2016-2017*, URL: <http://apachaco.gob.ar/site/images/prec16-17.pdf>, consultado en septiembre de 2020.

12. APA (Administración Provincial de Agua), *Precipitaciones. Año hidrológico 2017-2018*, URL: <http://apachaco.gob.ar/site/images/precipitaciones/PREC%2017-18.pdf>, consulta setiembre 2020.
13. APA (Administración Provincial de Agua), *Precipitaciones. Año hidrológico 2018-2019*, URL: <http://apachaco.gob.ar/site/images/prec18-19.pdf>, consultado en septiembre de 2020.
14. E.A. Bustamante-Ibáñez, *Identificación de procesos hidrogeoquímicos aplicando modelación inversa en el acuífero Soconusco, Chiapas*, Tesis de Maestría en Geociencias Aplicadas, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. San Luis Potosí, México, 2017.
15. F. Armijo, D. De Michele, M. Giacomino, *et al.*, Análisis de las aguas minerales de la provincia de Entre Ríos, Argentina, *Balnea*, **61**(4), 55-84 (2008).
16. E.E. Mariño, R.F. García, *Apuntes sobre aplicaciones ambientales de la hidrogeoquímica*, *Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica*, Universidad Nacional de La Pampa, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, 2018, URL: <https://www.cohife.org/advf/documentos/2019/09/5d6eebe415ac8.pdf>, consultado en abril de 2020.
17. Secretaría de Turismo de la Nación, *Directrices de calidad turística para termas. Manual de Aplicación*, pp. 24-25. Argentina, (s.f.), URL: <https://eco.mdp.edu.ar/cendocu/repositorio/00582.pdf>, consultado en diciembre de 2020.
18. S.V. Núñez-Almeida, *Estudio microbiológico de las aguas termomineromedicinales del Balneario "El Salado" de baños de Agua Santa-Tungurahua*, Trabajo de Titulación, Escuela de Bioquímica y Farmacia, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2015, 129 p.
19. J.A. Larrea-Murrell, M.M. Rojas-Badia, B. Romeu-Álvarez, N.M. Rojas-Hernández, M. Heydrich-Pérez, Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura, *Revista Cenic, (Ciencias Biológicas)*, **44**(3), 24-34 (2013), URL: <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181229302004.pdf>, consultado en octubre de 2020.
20. J.R. Fagundo, A. Cima, P. González, *Revisión bibliográfica sobre clasificación de las aguas minerales y mineromedicinales*, Centro Nacional de Termalismo "Victor Santamarina", 27 p., URL: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-bal/clasificacion_aguas_minerales.pdf, consultado en septiembre de 2018.

21. F. Armijo, J. Ejeda, J. Maraver, *et al.*, *Vademécum de las aguas mineromedicinales de Galicia*, Universidad de Santiago de Compostela, Vía Láctea Comunicación, S.L., España, 2017.
22. R. Sánchez, Complejo termal de Sáenz Peña, Chaco, *Argentina Termal*, 2018, URL: <https://argentinatermal.com.ar/?p=2325>, consultado en diciembre de 2020.
23. J.C. San José-Rodríguez, Aguas mineromedicinales argentinas, *Balnea*, **4**, 13-34 (2008).
24. Argentina Turismo, Termas y Spa de Roque Sáenz Peña, *Portal Turístico Nacional* (s.f.), URL: <https://www.argentinaturismo.com.ar/roquesaenzpena/termas.php>, consultado en diciembre de 2019.

COMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Y.P.D. Erceg, N.H. Dudik, G.A. Sáez, E.M. Soria, C. Herman, M.B. Nuñez, Evaluación del agua minero-medicinal de Presidencia Roque Sáenz Peña, provincia del Chaco, Argentina, *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, **50**(2), 406-422 (2021).