

CALIDAD MICROBIOLÓGICA, FÍSICA Y QUÍMICA DEL AGUA EMPLEADA EN ESTABLECIMIENTOS LÁCTEOS ARTESANALES DE TANDIL, ARGENTINA

Microbiological, physical and chemical quality of water used in artisanal dairy factories from Tandil, Argentina

Anahí Elvira TABERA*, Nicolás Eloy CISNEROS-BASUALDO, Rosana CEPEDA, Claudia MARINELLI, Roberto LANDA, Corina Iris RODRÍGUEZ, Víctor Alejandro RUIZ DE GALARRETA y Alejandra KRÜGER

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Campus Universitario, Paraje Arroyo Seco s/n. Código Postal 7000, Tandil, Buenos Aires, Argentina.

*Autora para correspondencia: atabera@vet.unicen.edu.ar

(Recibido: julio 2022; aceptado: enero 2023)

Palabras clave: calidad del agua, productos lácteos, coliformes totales, bacterias patógenas.

RESUMEN

La elaboración de productos lácteos requiere agua de calidad potable, de tal manera que no comprometa la inocuidad del producto. El objetivo del presente trabajo fue investigar la calidad del agua en ocho establecimientos lácteos de elaboración artesanal del municipio de Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina, que utilizan el recurso subterráneo. Se recolectaron datos y se tomaron muestras de agua en diferentes visitas desde 2016 a 2020. Los análisis evidenciaron que un 41 % de las muestras obtenidas de las perforaciones no cumplieron con los criterios físicos y químicos establecidos por el Código Alimentario Argentino para agua potable, principalmente por excesos de nitratos o las sales causantes de la dureza; y un 41 % no fueron aptas según criterios microbiológicos, principalmente por alto recuento de coliformes totales (CT). Asimismo, se evidenciaron altos recuentos de CT, presencia de *Escherichia coli* y de *Pseudomonas aeruginosa* en muestras obtenidas de grifos en sala de ordeño (54 % de las muestras con CT, 19 % con *E. coli* y 12% con *P. aeruginosa*) y en queserías (33% de las muestras con CT, 7% con *E. coli* y 2% con *P. aeruginosa*). También se detectaron clostridios sulfito reductores, enterococos y *Salmonella* spp. en algunas muestras. Si bien la calidad del acuífero de la región es buena, estos resultados evidenciaron sitios con contaminación puntual que estaría relacionada con la infiltración de los efluentes vertidos y la disposición de excretas cercanas a las perforaciones. El empleo de agua con problemas de calidad microbiológica y/o física y química en establecimientos elaboradores, puede afectar negativamente la calidad de los productos y constituir un riesgo para la salud de los consumidores.

Key words: Water quality, artisanal dairy products, total coliforms, pathogenic bacteria.

ABSTRACT

Dairy production requires an abundant good-quality water supply. This research aimed to study water quality in eight artisanal dairies from Tandil, Buenos Aires province, Argentina, which use groundwater resource. Data were collected and water samples were taken in different visits from 2016 to 2020. The analysis showed that 41% of the samples

obtained from the perforations did not meet the physical and chemical criteria established by the Argentine Food Code for drinking water, mainly due to excess salts such as nitrates or salts that cause hardness, and 41 % were not suitable according to microbiological criteria, mainly due to a high total coliform count (TC). Likewise, high TC counts and the presence of *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa* were evidenced in water samples obtained from dairy farms (54 % CT, 19 % *E. coli* and 12 % *P. aeruginosa*) and factories (33% CT, 7% *E. coli* and 2% *P. aeruginosa*). Sulfite-reducing clostridia, enterococci, and *Salmonella* spp. were also detected in some samples. Despite the good quality of the aquifer in the region, these results evidenced sites with point contamination, which could be related to the infiltration of the discharged effluents and the disposal of excreta in the vicinity of the wells. The use of water with microbiological and/or physical and chemical quality problems in these establishments can negatively affect the quality of the products and constitute a risk to the health of consumers.

INTRODUCCIÓN

El agua es indispensable para la vida humana, animal y vegetal. Es un recurso trascendental para el funcionamiento de los ecosistemas naturales y empleado en casi todas las actividades humanas. Sin embargo, si la calidad del agua se deteriora, se incrementa el riesgo para la salud pública y animal, ya que el agua contaminada puede provocar enfermedades (ONU 2021).

La presencia de microorganismos patógenos y de contaminantes químicos en el agua se produce principalmente por cambios en el ambiente y en la población. En el ámbito rural, los microorganismos patógenos llegan al agua generalmente por contaminación fecal (Urseler et al. 2019). También las transformaciones relacionadas con algunas actividades antrópicas, tales como el uso de fertilizantes y la incorrecta disposición final de efluentes en la actividad agropecuaria, afectan directamente el recurso hídrico (Ríos-Tobón et al. 2017).

El agua tiene un rol fundamental en la producción de lácteos. Además de su empleo en procesos de limpieza y desinfección, el agua interviene en la elaboración de quesos de forma directa en la formación de la salmuera para la etapa del salado. La calidad microbiológica del agua representa uno de los puntos críticos de control más importantes, junto con la leche cruda, el estado higiénico de equipos, mesadas y el ambiente donde se producen los derivados lácteos, dado que si el agua empleada está contaminada con bacterias patógenas el producto obtenido no es seguro y constituye una amenaza para la salud de los consumidores (Argüello-Hernández et al. 2019).

En el sector lácteo argentino conviven grandes, medianas y pequeñas empresas, las cuales presentan amplias diferencias en estructuras edilicias y en la tecnología utilizada. Las pequeñas empresas,

también denominadas establecimientos lácteos de elaboración artesanal, son generalmente de tipo familiar y elaboran sus productos a partir de leche de vacunos obtenida de salas de ordeño propias (llamados “tambos”) o adquirida a partir de terceros (CAA 2021a).

En el caso particular de estas pequeñas producciones lácteas de tipo familiar, el agua se extrae principalmente del recurso hídrico subterráneo por medio de perforaciones al acuífero freático, el más vulnerable a la contaminación. Para disponer del recurso con calidad adecuada, los sitios de obtención y almacenamiento de agua deben localizarse y construirse a manera de estar protegidos de la contaminación (Herrero et al. 2009). Distintos factores asociados a la perforación (como mal diseño, fallas constructivas o de mantenimiento) así como la escasa distancia de posibles fuentes de contaminación (corrales de animales, lugares de vertidos de efluentes, pozos absorbentes de las viviendas y establecimientos) ponen en riesgo la calidad química y microbiológica del agua (Herrero et al. 2009, Rodríguez 2014, Córdoba et al. 2016).

El monitoreo de la calidad del recurso hídrico es necesario para garantizar la disponibilidad de agua apta para la alimentación animal, producción de alimentos, así como para el consumo de la población rural involucrada. Para esto, se requiere evaluar dicha calidad desde el punto de vista físico, químico y microbiológico. Asimismo, es necesario un análisis integral del uso del recurso que contemple también sus modos de gestión dentro del proceso productivo y la disposición final del efluente generado (Córdoba et al. 2016, Fernández-Cirelli y Volpedo 2016).

El municipio de Tandil, localizado en el sureste de la provincia de Buenos Aires (**Fig. 1**) presenta un importante desarrollo en la elaboración de productos lácteos de tipo artesanal. Con el fin de contribuir

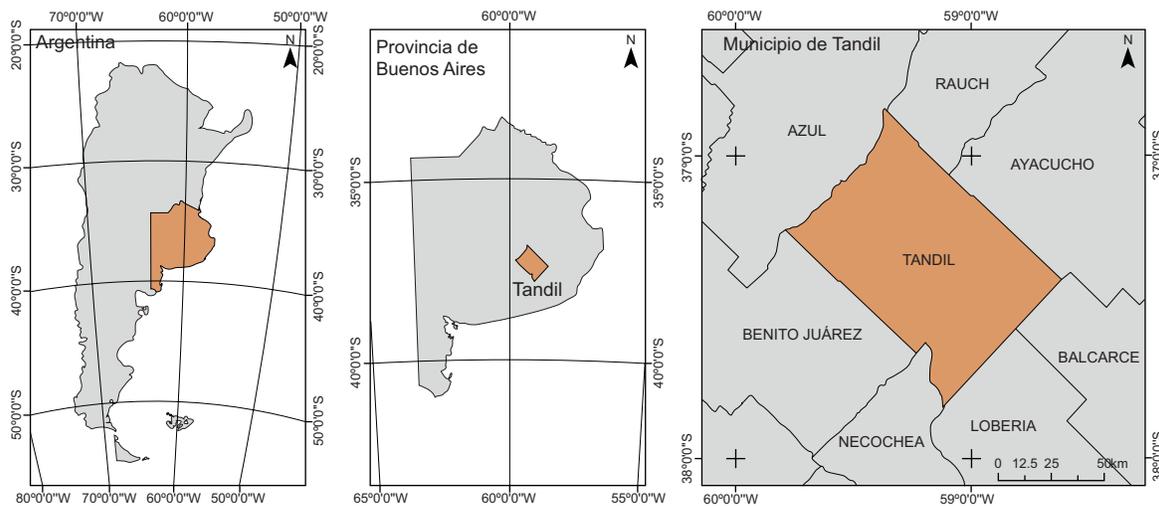


Fig. 1. Ubicación de la zona muestreada: municipio de Tandil, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

al conocimiento del uso del recurso hídrico y a la identificación de posibles peligros en este tipo de producciones, el objetivo del presente trabajo fue investigar la calidad del agua empleada por establecimientos elaboradores de productos lácteos de tipo familiar, que utilizan el recurso subterráneo para la elaboración de quesos, en la región de Tandil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvo acceso a ocho establecimientos lecheros, que incluyeron queserías de tipo artesanal y salas de ordeño asociadas, ubicados dentro del municipio de Tandil. Seis de los sitios se encuentran ubicados en la cuenca del arroyo Langueyú, y los otros dos se localizan en la zona de cabecera de la cuenca del arroyo Chapaleofú (Fig. 2). Todos se abastecen de agua subterránea por medio de perforaciones que acceden al acuífero libre, realizadas hace más de 10 años, con bombas sumergibles para la extracción del agua.

Para obtener información de los establecimientos y de la gestión del agua, se llevó a cabo una investigación, a través de consultas, observaciones, mediciones sobre el terreno y el uso de sistemas de información geográfica (SIG). Se recolectaron datos de las perforaciones (ubicación, protección superficial, profundidad, diseño), se midió la profundidad del nivel freático por medio de una sonda hidrométrica, y se registraron las características principales del sistema de distribución de agua dentro del establecimiento.

Según la disponibilidad de cada establecimiento, se realizaron de cuatro a siete visitas (excepto la quesería 8 que se visitó una sola vez), que incluyeron muestreos en diferentes épocas del año (invierno-verano) en el periodo 2016-2020. Se obtuvieron muestras de agua desde las perforaciones (directamente a la salida en cinco establecimientos y del grifo más cercano en tres establecimientos que tenían sellada la salida de la perforación), y del sistema de distribución (de grifos en salas de ordeño y queserías).

Para las determinaciones microbiológicas se tomaron 27 muestras de agua desde los puntos de captación, 26 desde grifos en salas de ordeño y 43 en queserías. Las muestras se recolectaron en recipientes estériles de 500 mL de capacidad, rotulados y mantenidos en refrigeración hasta su llegada al laboratorio para su procesamiento. Las muestras que presentaron cloro residual fueron tratadas con una solución de tiosulfato de sodio al 0.1 % de la muestra total. Se realizaron las determinaciones microbiológicas que exige la normativa para el agua potable en el Código Alimentario Argentino (CAA 2021b) que incluye la detección de bacterias mesófilas viables (BMV), coliformes totales (CT), *E. coli* y *P. aeruginosa*. Además, se amplió la investigación bacteriológica buscando la presencia de esporas de clostridios sulfito reductores (CSR), *Enterococcus* spp., *Salmonella* spp. y *Shigella* spp. Para las determinaciones establecidas por el CAA para agua potable se utilizaron los siguientes criterios: recuento de bacterias mesófilas: < 500 UFC en 1 mL, bacterias coliformes: NMP en 100 mL: < 1.1, *E. coli*: ausencia en 100 mL, *P. aeruginosa*: ausencia en 100 mL y para el resto de las determinaciones microbio-

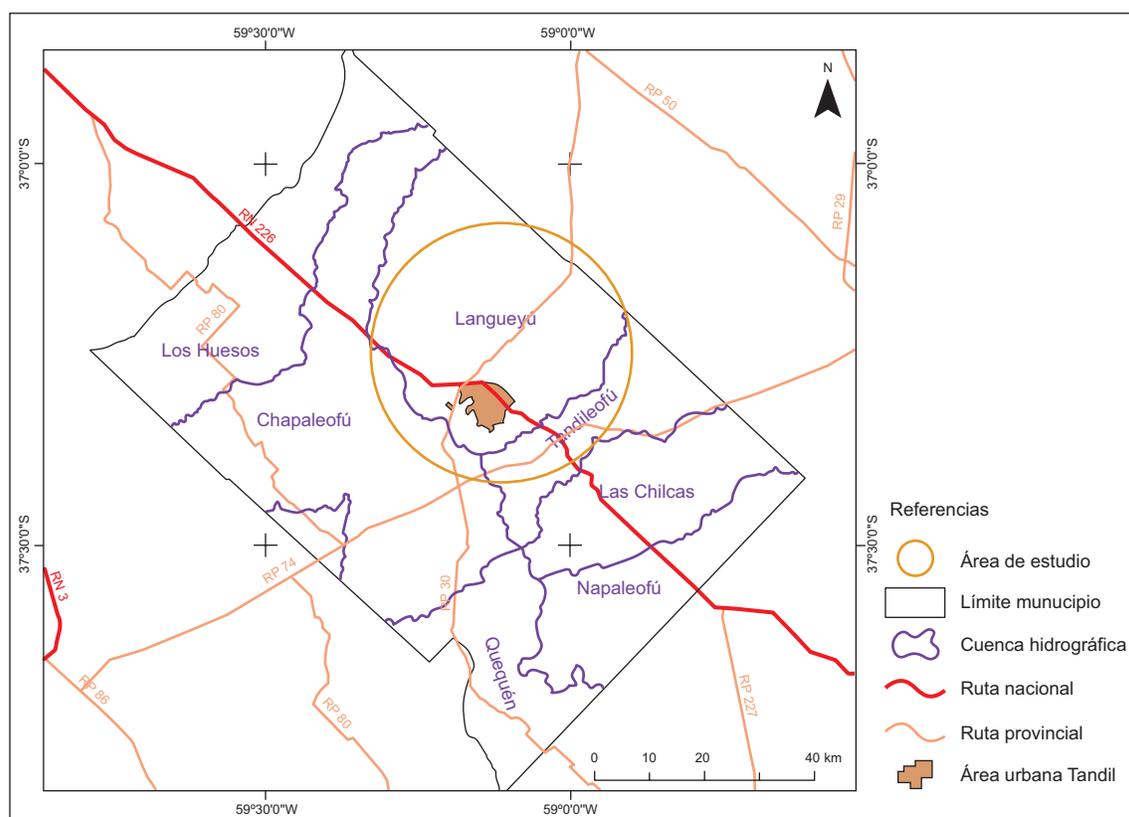


Fig. 2. Área de muestreo en el municipio de Tandil.

lógicas se tomó como criterio ausencia en 100 mL. Se consideró aptitud microbiológica cuando se cumplían los criterios del CAA y la ausencia del resto de los microorganismos investigados.

Para las determinaciones físicas y químicas se recolectaron 27 muestras en los puntos de captación (19 muestras se tomaron directamente a la salida de la perforación, cuatro desde el grifo más cercano en el la sala de ordeño y cuatro en la quesería). Se utilizaron recipientes colectores de 500 mL de capacidad. En el momento de la toma de muestra se midió la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica (CE). Los recipientes colectores fueron rotulados y transportados en condiciones de refrigeración hasta el laboratorio, donde se efectuaron las determinaciones de sólidos disueltos totales (SDT), aniones (bicarbonatos y carbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos) y cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+). Los resultados se contrastaron con los valores establecidos por el CAA para agua potable (CAA 2021b): pH: 6.5-8.5; cloruro (Cl^-) máx.: 350 mg/L; dureza total (CaCO_3) máx.: 400 mg/L; nitrato (NO_3^-) máx.: 45 mg/L; sólidos disueltos totales (SDT) máx.: 1500 mg/L; sulfatos (SO_4^{2-}) máx.: 400 mg/L. Para

las determinaciones que no presentan límites en el CAA, los criterios fueron obtenidos de bibliografía internacional (OMS 2018). En el caso de la conductividad eléctrica, para la que existen datos variables para consumo humano y animal, se determinó un criterio de máximo de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (APCD 2000). Se consideraron los valores que la Organización Mundial de la Salud (OMS 2018) presenta como guía para Na^+ : 200 mg/L (valor guía organoléptico), y para Ca^{2+} : umbral gustativo entre 100 y 300 mg/L.

Las técnicas de laboratorio para los análisis microbiológicos, físicos y químicos realizados se basaron en los métodos internacionales estandarizados según la American Public Health Association (APHA 2017).

Para evaluar la condición hidroquímica de los distintos puntos de muestreo en conjunto, se utilizó el programa informático Easy-Quim.5 (Vázquez-Suñé y Serrano-Juan 2012).

Se aplicó el análisis de componentes principales para describir las muestras de agua en función de sus características físicas y químicas (Cuadras 2014). Se consideraron en este análisis las variables cuantitativas: pH, CE, STD, dureza, nitratos, sulfatos y cloruros.

RESULTADOS

Los resultados a nivel hidroquímico de las muestras de agua obtenida de las perforaciones mostraron que la mayoría son aguas bicarbonatadas, a excepción de las muestras del sitio 7 que fueron cloruradas cálcico-magnésicas. En el **cuadro I** se muestra la profundidad del nivel freático y se resumen los resultados de los análisis físicos y químicos, expresados como porcentaje (%) de muestras aptas de acuerdo con los parámetros evaluados por establecimiento. Se observó que sólo tres establecimientos presentaron todas las muestras de agua aptas desde el punto de vista de los parámetros físicos y químicos, mientras que dos establecimientos tuvieron siempre muestras con algún valor por fuera de los límites esperados.

Los principales problemas químicos encontrados se relacionaron con excesos de nitratos o altos valores de la dureza del agua. Respecto a los nitratos, sólo tres sitios presentaron valores menores al límite esperado de 45 mg/L. Por otro lado, la mayoría de los establecimientos presentaron valores de dureza -medida en sales de calcio- por debajo de 300 mg/L, dos sitios dieron valores entre 300 y 400 mg/L, mientras que el sitio 7 presentó un valor medio de 760 mg/L.

La representación en gráficas bidimensionales ("biplot") de análisis de componentes principales (**Fig. 3**) muestra que los puntos de muestreo se encuentran en el centro de las coordenadas, indicando un comportamiento promedio, a excepción del establecimiento 7. El primer plano principal explica el 80 % de la variación total de los datos. Las variables CE, SDT, dureza, nitratos y cloruros aportan a la primera

dirección (64.9 %), mientras que el pH y los sulfatos definen el segundo eje principal (20.7 %). El sitio 7 que muestra un valor alto de la primera componente principal, se caracteriza por valores altos de todas las variables excepto de las que definen el segundo componente en las que toma valores promedio.

Los análisis microbiológicos identificaron muestras de agua no aptas para consumo en gran parte de los establecimientos (**Cuadro II**). La realización de muestreos periódicos de las perforaciones evidenciaron características particulares de los distintos establecimientos en los sucesivos muestreos. Sólo dos establecimientos presentaron muestras de agua obtenida de las perforaciones que eran aptas para consumo en todos los muestreos realizados. Asimismo, los resultados fueron variables entre los distintos puntos de muestreo (perforación, sala de ordeño o quesería) en cada establecimiento (**Cuadro III**).

El análisis de los microorganismos indicadores de calidad de agua potable establecidos por el CAA identificó que el mayor problema fue el recuento de coliformes totales (CT), principalmente en las muestras de salas de ordeño (**Cuadro III**). También se detectó la presencia de *E. coli* y *P. aeruginosa* con mayor frecuencia en las muestras de agua de los las salas de ordeño (**Cuadro III**).

En algunas muestras, además de los microorganismos indicadores, se hallaron otras bacterias a partir de la investigación de *Salmonella* spp.-*Shigella* spp., (*Salmonella*, *Hafnia*, *Proteus*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Providencia*), enterococos fecales y CSR (**Cuadro II**). Por otra parte, se detectó presencia de CSR y/o *Enterococcus* spp. en muestras que cumplían

CUADRO I. RESULTADOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE LAS MUESTRAS DE AGUA EN LOS DISTINTOS SITIOS DE MUESTREO.

Sitio	Profundidad del nivel freático (m)	Muestras de agua subterránea		
		n	% de muestras aptas según parámetros físicos y químicos*	Principales problemas hallados
Nº 1	3.20	5	80	nitratos
Nº 2	5.7	4	100	-
Nº 3	2.85	4	50	nitratos, dureza
Nº 4	3.95	4	100	-
Nº 5	2.4	2	50	nitratos
Nº 6	S/D	4	0	nitratos
Nº 7	S/D	3	0	nitratos, dureza, sulfatos, CE, SDT
Nº 8	S/D	1	100	-

S/D: sin datos debido a que la estructura de la construcción no permitió medir nivel freático.

*Parámetros evaluados: temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), dureza total, aniones (sulfatos, cloruros y nitratos) y cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+).

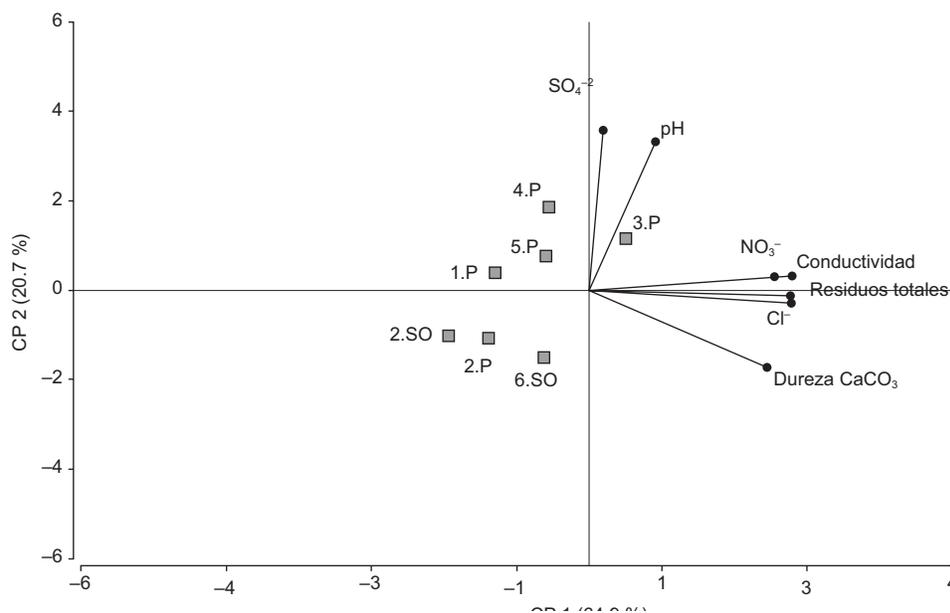


Fig. 3. Análisis de componentes principales (CP) de las variables físicas y químicas.

con los criterios de agua potable por el CAA, o tenían altos recuentos de CT, pero ausencia de *E. coli* como indicador de contaminación fecal, lo que aumentó el número de muestras no aptas.

DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta la importancia de la elaboración artesanal de quesos en el municipio de Tandil, el presente trabajo aporta información detallada de la calidad del agua en este tipo de producciones. Asimismo, identifica los puntos críticos en el uso del agua, que sirven de base para la generación de estrategias de manejo tendientes a la preservación de la calidad del recurso y del producto elaborado y para la prevención de impactos sobre la salud humana.

Los análisis físicos y químicos de muestras de agua obtenidas de las perforaciones mostraron que la mayoría son bicarbonatadas, a excepción de las muestras del establecimiento 7 que fue clorurada cálcico-magnésica. Específicamente, en los sitios 2 y 3 pertenecientes a cabecera de cuenca dada su ubicación en la zona serrana, las aguas resultaron bicarbonatadas cálcicas-magnésicas. En los sitios 1, 4 y 5 fueron bicarbonatadas sódicas. Esta diferenciación en la composición química de las aguas subterráneas se debe a su evolución hidroquímica natural. A medida que las aguas se mueven por el acuífero, desde la zona de cabeceras hacia la llanura

distal, transcurre un mayor tiempo de contacto del agua con el material sedimentario, se incrementa el contenido salino y se modifica su composición química mayoritaria. Estos resultados coinciden con las características hidroquímicas investigadas por otros autores (Ruiz de Galarreta y Banda-Noriega, 2005, Rodríguez 2014, Saraceno-Palmieri 2018) que clasifican las aguas subterráneas de Tandil como aguas jóvenes, de baja salinidad, con predominio de bicarbonatos en la cabecera de las cuencas.

Las aguas en la zona de Tandil se consideran duras principalmente por el alto contenido de calcio, con valores de dureza cercanos al límite permitido por la legislación (400 mg/L). Los resultados de este estudio coinciden con lo observado por Nicora et al. (2021) en sitios de las mismas cuencas (de los arroyos Langueyú y Chapaleofú), quienes detectaron un valor promedio de dureza de 200 mg/L. Sin embargo, el establecimiento 7 mostró un valor medio que excede ampliamente el valor límite admitido. El principal problema que se produce por el exceso de estas sales como incrustaciones en cañerías, etc., es que pueden favorecer el estancamiento y multiplicación de microorganismos patógenos productores de biopelículas, como por ejemplo, *P. aeruginosa*, entre otros. Estas bacterias pueden quedar protegidas sobre diversos materiales inertes debido a que las biopelículas les otorgan una mayor resistencia a desinfectantes comúnmente utilizados en la industria (Farinati 2016, Trujillo-García 2017).

CUADRO II. RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DE LAS MUESTRAS DE AGUA EN LOS DISTINTOS SITIOS DE MUESTREO.

Sitio	Origen	Nro. de muestras	% de muestras que cumplen con criterio microbiológico s/ CAA			Otras determinaciones				% de muestras aptas*	
			BMV	CT	<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	CSR	<i>Enterococcus</i> spp.	<i>Salmonella</i> spp.		<i>Shigella</i> spp.
N°1	Perforación	6	100	100	100	100	A	A	A	A	100
	Sala Ordeño	4	100	100	100	100	A	A	A	A	100
	Quesería	4	100	75	100	100	A	A	A	A	75
N°2	Perforación	4	100	0	75	100	P (25 %)	A	P (25 %)	A	0
	Sala Ordeño	5	100	80	100	80	P (20 %)	A	A	A	40
	Quesería	7	100	86	100	100	A	P (14 %)	A	A	86
N°3	Perforación	6	100	50	100	100	P (17 %)	A	A	A	83
	Sala Ordeño	3	83	33	100	100	P (33 %)	A	A	A	0
	Quesería	8	100	63	75	100	P (13 %)	P (38 %)	A	A	13
N°4	Perforación	4	100	100	100	100	A	A	A	A	100
	Sala Ordeño	4	100	50	75	100	P (25 %)	A	A	A	25
	Quesería	4	100	75	75	100	A	A	A	A	75
N°5	Perforación	7	100	43	100	100	A	A	A	A	43
	Sala Ordeño	3	67	33	100	100	A	A	A	A	33
	Quesería	8	100	63	100	100	A	A	A	A	63
N°6	Sala Ordeño	7	67	0	43	71	P (29 %)	P (14 %)	A	A	0
	Quesería	11	100	64	100	91	P (9 %)	P (9 %)	A	A	45
	Quesería	1	100	0	100	100	A	A	A	A	0

* La aptitud se estableció considerando la totalidad de las determinaciones.

CAA: Código Alimentario Argentino A: Ausencia P: Presencia. BMV: bacterias mesófilas viables. CT: coliformes totales. CSR: clostridios sulfito reductores.

CUADRO III. MUESTRAS MICROBIOLÓGICAMENTE NO APTAS SEGÚN CRITERIOS DEL CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO.

Determinación	Muestras de agua no aptas					
	Perforación		Sala de ordeño		Quesería	
	n	%	n	%	n	%
BMV	0	0	2	8	0	0
CT	11	41	14	54	14	33
<i>E. coli</i>	1	4	5	19	3	7
<i>P. aeruginosa</i>	0	0	3	12	1	2

n: número de muestras BMV: bacterias mesófilas viables. CT: coliformes totales.

Otra observación importante fue la detección en gran parte de los establecimientos (5/8) de concentraciones de nitratos en muestras de agua subterránea por encima del límite de 45 mg/L establecido en el CAA. El porcentaje de muestras con valores medios de nitratos por encima del límite admitido detectado en este estudio (38 %) fue mayor al observado (15 %) por Saraceno-Palmieri (2018) en la misma zona. Estos resultados evidencian una problemática de contaminación antrópica en los establecimientos muestreados, dado que la presencia de niveles altos de nitratos se relacionaría con contaminaciones con materia orgánica proveniente de excretas de animales y/o de las personas a través de las aguas residuales, como así también a partir de los fertilizantes nitrogenados aplicados en la actividad agropecuaria (Vega-Oliva 2017). Es importante destacar que en los sitios donde se pudo medir la profundidad del nivel freático se corroboró que se trata de acuíferos someros, cuyo nivel se encuentra entre 2.4 y 5.7 m, lo cual contribuye a una mayor vulnerabilidad del acuífero a la contaminación.

Los análisis realizados también detectaron serios problemas de contaminación microbiológica en muestras de agua obtenidas de perforaciones en tres de los cinco establecimientos que permitieron muestreo directo. Uno de esos sitios presentó altos recuentos de CT en todos los muestreos y en ocasiones también *E. coli* u otras bacterias. Los otros dos puntos sobrepasaron los límites de CT en algunos de los muestreos. Asimismo, la variación de resultados observada a lo largo de los muestreos destacó la importancia de efectuar controles periódicos de la calidad microbiológica del agua para identificar posibles riesgos de contaminación.

Si bien existe limitada información de la calidad de agua empleada en establecimientos lácteos de

elaboración artesanal en Argentina, nuestros resultados coinciden con los descritos en un reciente informe de evaluación de riesgos de quesos artesanales que concluye que el agua empleada en su elaboración presenta alta carga de microorganismos coliformes y debe ser considerada como una fuente de contaminación (RSA-CONICET 2019).

El establecimiento 7, como identificó el análisis de componentes principales, mostró características diferenciales al resto de los establecimientos. Las muestras de agua obtenidas de la perforación fueron cloruradas cálcico-magnésicas y presentaron un valor medio de dureza alto, valores de nitratos cercanos al triple del límite establecido, altos niveles de CT y presencia de bacterias patógenas en las muestras de agua, lo cual evidencia la contaminación puntual del acuífero. Se infiere que las fuentes de contaminación podrían ser la ubicación de la quesería, en terrenos bajos e inundables y además cercanos a fuentes de contaminación por las industrias aledañas.

El análisis de agua del sistema de distribución en salas de ordeño y queserías indicó que, aunque la mayoría de los establecimientos disponían de clorador en las instalaciones, sólo el 46 % de las muestras eran aptas según criterios microbiológicos. El resto de las muestras sobrepasaron los límites de indicadores de calidad higiénica (BMV y CT) y/o presentaron *E. coli*, *P. aeruginosa*, CSR, *Enterococcus* spp., *Proteus* spp., *Citrobacter* spp.

La búsqueda de patógenos no exigidos por el CAA dio información significativa (18 % más de muestras no aptas), ya que evidenció la presencia de CSR y/o *Enterococcus* spp. en varios de los establecimientos, incluso en muestras que cumplían con los criterios de agua potable por el CAA, o tenían altos recuentos de CT, pero ausencia de *E. coli* como indicador de contaminación fecal. Los *Enterococcus* spp. son considerados eficientes indicadores de contaminación fecal ya que presentan mayor resistencia que *E. coli* en condiciones adversas, y su investigación está cobrando mayor relevancia (Estupiñán-Torres et al. 2020, González 2021). Los microorganismos esporulados también presentan mayor resistencia a condiciones desfavorables y su detección denota problemas ambientales, de higiene, etc. (Cabrera-Oleurre 2019).

CONCLUSIONES

Los análisis físicos, químicos y microbiológicos evidenciaron problemas respecto a la calidad del

agua requerida para consumo y para su empleo en la actividad lechera en varios de los establecimientos lácteos de elaboración artesanal evaluados en este estudio. Si bien la calidad del acuífero de la región es buena, se detectaron sitios con contaminación puntual que estaría relacionada con la infiltración de los efluentes vertidos y la disposición de excretas en inmediaciones de las perforaciones de extracción. Dicha contaminación es favorecida en los sectores donde el nivel freático está muy cercano a la superficie del terreno y por la existencia de perforaciones con deficiente diseño y protección.

Los problemas de calidad del agua identificados pueden afectar directamente a los productos lácteos elaborados y, por ende, a la salud de los consumidores. Ante ello, se requieren estrategias de manejo del recurso agua en la producción láctea, orientadas fundamentalmente a la preservación de la calidad de la fuente de agua subterránea. Se pueden mencionar como medidas de relevancia la adecuada ubicación de las perforaciones de captación en relación con la dirección del flujo subterráneo y a la localización de los focos contaminantes presentes; el correcto diseño de las perforaciones para minimizar el acceso de cargas contaminantes desde la superficie hacia el acuífero; la implementación de sistemas de tratamiento de los efluentes previo a su vertido en el suelo o en cursos de agua cercanos, para minimizar la contaminación asociada; acciones de capacitación, asesoramiento y financiamiento que acompañen a los establecimientos lácteos de elaboración artesanal en la aplicación de las medidas propuestas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la asistencia técnica de Liliana Almada. Este trabajo ha sido posible gracias al financiamiento obtenido a través del Proyecto Interdisciplinario Orientado (03-PIO-04D) por la Secretaría de Ciencia, Arte y Tecnología (SECAT) de la Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires, en el marco del Programa de Fortalecimiento de la Ciencia y Tecnología en Universidades Nacionales de la Secretaría de Políticas Universitarias y del Proyecto de Investigación Científica y Tecnológica (PICT 2019-03188), Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT). El Dr. Nicolás E. Cisneros-Basualdo es miembro de la carrera de Personal de Apoyo de la CICPBA, y las Dras. Corina I. Rodríguez y Alejandra Krüger son miembros de la carrera del investigador Científico y Tecnológico del CONICET.

REFERENCIAS

- APCD (2000). El agua: calidad para consumo y riego. Guía práctica para la interpretación de análisis físico-químicos. Asociación para la Promoción de la Cultura y el Desarrollo, Formosa, Argentina, 82 pp.
- APHA (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. 23ava. ed, American Public Health Association, American Water and Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, DC, EUA, 1546 pp.
- Argüello-Hernández P., Carrillo L., Escobar-Arrieta S., Guananga-Díaz N., Andueza F. y Albuja-Landi A. (2019). Evaluación físico-química y microbiológica del sistema de agua que abastece a las plantas procesadoras de queso fresco artesanal de la parroquia Quimiag-Riobamba-Ecuador. *Perfiles* 1 (21), 12-19. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i21.43>
- CAA (2021a). Artículo 60 bis, Capítulo II. Establecimientos elaboradores de productos lácteos. Código Alimentario Argentino. Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica, Argentina, actualización 03/2021. [en línea] https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_caa_capitulo_ii_establecactualiz_2021-03.pdf 25/02/2022
- CAA (2021b). Artículo 982, Capítulo XII. Agua potable criterios de aptitud. Código Alimentario Argentino. Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica, Argentina, actualización 08/2021. [en línea] https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_caa_capitulo_xii_aguas_actualiz_2021-08.pdf 25/02/2022
- Cabrera-Oleaurre A. (2019). Estudio de la microflora presente en leche y quesos artesanales. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay, 46 pp.
- Córdoba J., Di-Giorgi H., Zubiaurre L., Cisneros-Basualdo N.E., Puricelli M. y Rolando R. (2016). Gestión del agua y residuos de queserías familiares del Cluster Quesero de Tandil: resultados preliminares. *Memorias. I Jornadas Internacionales y III Nacionales de ambiente. Tandil, Argentina. 26-28 de octubre, 2016.* 279-281.
- Cuadras C.M. (2014). Análisis de componentes principales. En: *Nuevos métodos de análisis multivariante.* (C.M. Cuadras, Ed.). CMC, Barcelona, España, pp. 77-92.
- Estupiñán-Torres S.M., Ávila de Navia S.L., Barrera-Aguirre D., Baquero-Torres R., Díaz-Ibáñez D.A. y Rodríguez-Ramírez A.H. (2020). Características bacteriológicas, físicas y pH del agua de consumo humano del municipio de Une-Cundinamarca. *Nova* 18 (33), 101-112. <https://doi.org/10.22490/24629448.3702>

- Farinati A. (2016). Biopelículas. Un desafío para entender la patogénesis y la terapia antiinfectiva. Apuntes de Laboratorio N° VI. [en línea] https://www.britanialab.com/capacitacion/capacitacion/10/volumen_6_biopel_culas 25/02/2022
- Fernández-Cirelli A. y Volpedo A. (2016). Calidad de agua para la producción agropecuaria. Red de agua para la producción agropecuaria. Buenos Aires, Argentina, 191 pp.
- González J. (2021). Evaluación de coliformes termotolerantes y *Enterococcus* como indicadores de calidad de agua en la cuenca del arroyo Maldonado. Tesis de Licenciatura. Centro Universitario de la Región Este, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay, 79 pp.
- Herrero M.A. (2009). Uso del agua, manejo de efluentes e impacto ambiental. Memorias. III Jornadas Internacionales para la Calidad de Leche. Buenos Aires, Argentina, 26 al 28 de marzo, 2009, 1-29 pp.
- Nicora B., Barranquero R.S., Etcheverría S., Dipardo B., Tabera A. y Quiroga M. (2021). Evaluación integral de la gestión del agua subterránea en escuelas rurales en Tandil, Argentina. *Revista de Ciencias Ambientales* 55 (1), 294-316. <http://doi.org/10.15359/RCA.55-1.14>
- OMS (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza, 636 pp.
- ONU (2021). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021: El valor del agua. Unesco, París, Francia, 225 pp.
- Ríos-Tobón S., Agudelo-Cadavid R.M. y Gutiérrez-Builes L.A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública* 35 (2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Rodríguez C.I. (2014). Evaluación ambiental del uso y gestión del agua subterránea en el partido de Tandil. Pautas para su gestión sustentable. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina, 212 pp.
- RSA-CONICET. (2019). Evaluación de riesgos de quesos artesanales elaborados con leche bovina. Red de Seguridad Alimentaria de Conicet, Buenos Aires, Argentina, 51 pp.
- Ruiz de Galarreta V.A., Banda-Noriega R. (2005). Geohidrología y evaluación de nitratos del Partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. Memorias. IV Congreso argentino de hidrogeología y II Seminario hispano – latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología subterránea. Córdoba, Argentina. 25 - 28 de octubre, 2005. 99-108.
- Saraceno-Palmieri D. (2018). Evaluación ambiental de las prácticas agropecuarias y su afectación al recurso hídrico subterráneo en el partido de Tandil. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tandil, Argentina, 126 pp.
- Trujillo-García M. (2017). Biofilms microbianos. Trabajo de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad de La Laguna. Tenerife, España, 33 pp.
- Urseler N.L., Bachetti R.A., Damiano G., Morgante V., Ingaramo R.N., Saino V. y Morgante C.A. (2019). Calidad microbiológica y usos del agua subterránea en establecimientos agropecuarios del centro-sur de Córdoba, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35 (4), 839-848. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.06>
- Vázquez- Suñé E., Serrano- Juan A. (2012). Software EASY-QUIM v 5.0. Grupo de hidrología subterránea. [en línea] <https://h2ogeo.upc.edu/es/investigacion-hidrologia-subterranea/software/42-easy-quim> 25/02/2022
- Vega-Oliva C. (2017). Problemas ambientales y de salud derivados del uso de fertilizantes nitrogenados. Trabajo de Licenciatura. Facultad de Farmacia, Universidad Complutense. Madrid, España, 20 pp.