Composición mineral del agua de bebida en sistemas de producción lechera en Córdoba, Argentina

Mineral composition of livestock drinking water in dairy farms (Cordoba, Argentina)

Alejo Pérez-Carrera* Carlos Moscuzza* Diego Grassi* Alicia Fernández-Cirelli*

Abstract

Dairy cattle drinking water in 28 medium and small farms located in the southeast of Cordoba province, Argentina, was analyzed in order to assess its beneficial and adverse effect in milk production. Total dissolved solids (TDS), major ions, nitrates and trace metals were quantified by standardized methods. Water from the phreatic level is used in 62% of the selected farms, being its quality lower than that provided by deeper wells. Sodium chloride and sulfur requirements are provided by drinking water. Arsenic, fluoride and vanadium concentrations found in all phreatic samples are higher than the maximum allowed values recommended at international level.

Key words: WATER QUALITY, MAJOR IONS, TRACE METALS, MILK PRODUCTION.

Resumen

Se analizó el agua que se les da como bebida a los animales en 28 establecimientos lecheros medianos y pequeños, ubicados en el sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina, para determinar sus posibles efectos benéficos y adversos en la producción láctea. Se cuantificaron, por métodos estandarizados, sólidos totales disueltos (STD), iones mayoritarios, nitratos y metales traza. De los tambos relevados, 62% se abastece de la capa freática, cuya calidad es inferior al agua proveniente de pozos más profundos. Los requerimientos de cloruro de sodio y azufre quedan cubiertos por el agua de bebida. La totalidad de las muestras de nivel freático superan los valores máximos de arsénico, flúor y vanadio recomendados en el ámbito internacional.

Palabras clave: CALIDAD DE AGUA, IONES MAYORITARIOS, METALES TRAZA, PRODUCCIÓN LECHERA.

Recibido el 27 de abril de 2006 y aceptado el 5 de octubre de 2006.

*Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires, Av. Chorroarín 280 (C1427CWO), Buenos Aires, Argentina.

Autora responsable: Alicia Fernández-Cirelli, Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires, Av. Chorroarín 280 (C1427CWO), Buenos Aires, Argentina, Tel. 5411-4524-8484, Fax 5411-4524-8499, correo electrónico: ceta@fvet.uba.ar

Introduction

In Argentina, the development of cattle raising is related to the availability and quality of livestock drinking water, and, in the production of milk, also to the water used for the cleaning of facilities and machinery. Regions exist where the cattle activities suffer limitations due to the water quality. The main problems are the salinity and the presence of toxic elements that can be of antropic origin, as the nitrates, or of natural origin, as the arsenic and fluorine.

The water is fundamental in the animal nutrition; in spite of it, in most of the cases it is not considered with the necessary relevance when a dairy productive system is planned. The bovine livestock is able to be adapted to the consumption of different types of water; however, the alterations in the quality, due to excessive concentration of salts or chemical elements, produce decrease in the production and impact in the health of the livestock, with the economic consequent losses for the producer.[1]

Livestock production systems use different categories of animals with different food requirements and drinking water quality. High production milk cows are the most sensitive to the changes in the salinity of the water, since they tolerate among 30% to 40% less than the cows for meat production.[2] Milking cows require high availability of good quality drinking water in connection with the corporal weight because 87% of the final composition of the produced milk is water (consumption can overcome 150 L/day).

The water that an animal drinks depends on diverse factors, as the metabolic rate, the produced heat, the breed, the sex, the physiological state and the individual variation of the animal; the diet, the percentage of dry matter of the ration, the food type, the readiness, the temperature and salts of the drinking water and food, and environmental factors as temperature, winds and humidity.

Mineral water composition influences not only in water consumption but also in food consumption, thus conditioning the productive reached levels.

Although water is not usually considered as a source of minerals, in the case of bovine cattle it contributes up to 20% of Ca, 11% of Mg, 35% of Na and 28% of S required in the diet.[3] In many cases, the contribution of minerals of the water acquires productive importance in the diet and it should be considered when formulating the rations.[2]

Southeast of Cordoba province is part of the dairy center of Villa Maria, which together with the center of Santa Fe province conform the most important milk production zones in Argentina. In previous works carried out in the laboratory, the arsenic concentration in livestock drinking water and milk was determined in

Introducción

En Argentina, el desarrollo de la ganadería está muy ligado a la disponibilidad y calidad del agua utilizada para el abastecimiento de los animales y, en la producción de leche, al agua utilizada para la limpieza de instalaciones y maquinaria. Existen regiones en donde las actividades ganaderas sufren limitaciones debido a la calidad del vital líquido. Los principales problemas son la salinidad y la presencia de elementos tóxicos que pueden ser de origen antrópico, como los nitratos, o de origen natural, como el arsénico y el flúor.

El agua es fundamental en la nutrición animal; a pesar de ello, en la mayoría de los casos no es considerada con la relevancia necesaria a la hora de planificar un sistema productivo. El ganado bovino es capaz de adaptarse al consumo de diferentes tipos de agua; sin embargo, las alteraciones en la calidad, producidas por excesiva concentración de sales o elementos químicos, producen disminución en la producción e impacto en la salud del ganado, con las consecuentes pérdidas económicas para el productor.[1]

Los distintos sistemas de producción de ganado utilizan categorías de animales diferentes con distintos requerimientos de alimento y calidad de agua para beber. La vaca lechera de alta producción es la más sensible a los cambios en la salinidad del agua, ya que toleran entre 30% a 40% menos que las vacas de cría.[2] Los animales en ordeño requieren elevada disponibilidad de agua de bebida de buena calidad, en relación con el peso corporal (el consumo puede superar 150 L/día) debido a que 87% de la composición final de la leche producida es agua.

El agua que un animal bebe depende de diversos factores, como la tasa metabólica, el calor producido, la raza, el sexo, el estado fisiológico y la variación individual del animal; la dieta, el porcentaje de materia seca de la ración, el tipo de alimento, la disponibilidad, la temperatura y sales del agua de bebida, de la dieta, y factores ambientales como temperatura, vientos y humedad.

La composición mineral del agua de bebida influye no sólo sobre la ingesta de agua, sino también del alimento, condicionando así los niveles productivos alcanzados.

El agua no es considerada habitualmente como fuente de minerales, aunque para el caso de los bovinos aporta hasta 20% de Ca, 11% de Mg, 35% de Na y 28% de S requeridos en la dieta.[3] En muchos casos, el aporte de minerales del agua adquiere importancia productiva en la dieta y debiera considerarse a la hora de formular las raciones.[2]

El sudeste de la provincia de Córdoba forma parte de la cuenca lechera de Villa María, que junto con la

dairy farms located in an area of high arsenic groundwater, to analyze the relation between arsenic uptake through water and its transfer to milk.[4-5]

In the present work, mineral intake from drinking water and its contribution to animal nutrition was analyzed, as well as the consequences of defect and excess of macro and microelements on livestock health and production, in dairy farms of the same region, in order to completely characterize livestock drinking water in dairy production systems in one of the most important production regions of Argentina.

Materials and methods

The study area is located between 62º33´ and 62º57´ West longitude and between 32º12´ and 32º50´, South latitude, in the rural area belonging to the counties: Bell Ville, Morrison, Monte Leña, Cintra and San Antonio de Litin, Union Department, Cordoba province, Argentina (Figure 1). In this zone a stratified sampling was made in establishments dedicated to production of milk and dairy products, on March 2004.

In this area, 28 dairy farms were randomly selected, and were characterized in agreement with the productive system and with the water source used for animal supply. The groundwater samples (phreatic water and deep wells) were collected from perforations that supply the dairy farms and which are destined to the human and animal consumption. The location of the sampling points was made with the aid of the satellital support using a GPS 38.*

The concentration of total dissolved solids (TDS), major ions, nitrates and trace elements were analyzed. For the determination of the major ions, 500 mL of sample were collected in plastic bottles previously prepared; the samples were cooled to 4ºC until arrive to the laboratory.[6,7]

In all the cases the temperature, pH* and the electrical conductivity** of the water samples were measured *in situ*. Once in the laboratory, the samples were

cuenca del centro de Santa Fe, conforman la región lechera más importante de Argentina. En trabajos previos realizados en el laboratorio, se determinó la concentración de arsénico en agua de bebida animal en establecimientos de producción lechera de la zona,[4] y se estimó un factor de biotransferencia de arsénico a leche bovina a partir de la concentración de este elemento en el agua.[5]

En este trabajo se analizó el aporte mineral del agua de bebida a la nutrición animal, y las consecuencias de los defectos y excesos de macro y microelementos en la salud y producción, en establecimientos lecheros ubicados en la misma región, para completar la caracterización del agua de bebida en sistemas de producción lechera en una de las regiones productivas más importantes de Argentina.

Material y métodos

El área comprendida para este estudio está situada entre los 62º33´ y los 62º57´ de longitud Oeste y entre los 32º 12´ y los 32º 50´ de latitud Sur, correspondiendo con la región agroganadera de las localidades de Bell Ville, Morrison, Monte Leña, Cintra y San Antonio de Litín, Departamento de Unión, provincia de Córdoba, Argentina (Figura 1). En esa zona se realizó un muestreo estratificado en establecimientos dedicados a la producción de leche y productos lácteos, durante marzo de 2004.

Se seleccionaron al azar 28 establecimientos lecheros de dicha zona, que fueron caracterizados de acuerdo con el sistema productivo y con la fuente de agua utilizada para aprovisionamiento de los animales. Las muestras de agua subterránea (capa freática y semisurgente) se recogieron de perforaciones que abastecen las instalaciones de ordeño y que se destinan al consumo humano y animal. La localización de los puntos de muestreo se realizó con base en el apoyo satelital por medio de un GPS 38.*

*Garmin, Estados Unidos de América.

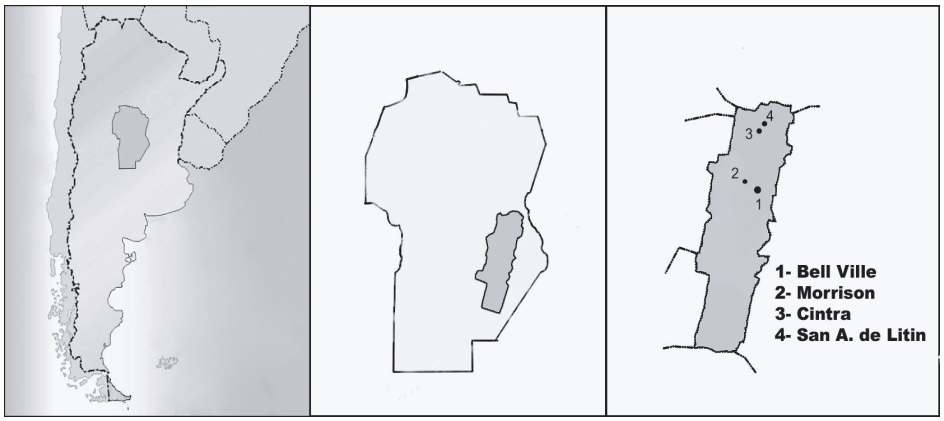

Figura 1: Ubicación geográfica de la zona de estudio.

Figure 1: Location of the study area.

filtered through a cellulose acetate membrane*** with pore size of 0,45 microns.

Samples for trace elements analysis were collected in 100 mL plastic bottles previously rinsed with HNO_3 10% and deionized water (DI). For their conservation, samples were acidified (HNO_3 0.2%) and refrigerated before transporting them to the laboratory.

Quantification of Ca, Mg, Na y K and trace elements (As, Pb, Cd, Cr, Ba, Zn, V, Sr, Ni, Mo, Mn, Fe, Cu y Co) was done by ICP-OES† technique (inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy).[6-8] The working instrumental parameters for the determination of these elements were: power, 1 400W; nebulizer Argon flow, 0.5 mL/min; plasma argon flow, 15 mL/min; auxiliary argon flow, 0.7 mL/min; nebulizer flow, 1.2 mL/min.

For instrument calibration, reference materials with trace certificate were used.‡ Also, certified reference materials from National Water Research Institute of Canada (NWRI), with certified levels of trace elements were used for checking calibration and analytic method validation.

They were quantified, in addition, the following ions: chloride, nitrate and sulfate, using reference methods from the American Public Health Association.[8]

Fluorine determination was carried out by ion selective electrode (ISE).° In order to verify the consistency of results, the Ionic Balance was calculated. In all analyzed samples, the maximum permissible error based on the conductivity of the samples, was smaller to the permissible one, assuring the results consistency.[9]

Results

Main livestock drinking water source is groundwater, comig from phreatic water (depth 3-12 m) or deep wells (depth 80-150 m). In 40.6% of the farms, phreatic water is used, 43.8% count with deep wells, while 12.5% utilizes both types of perforations to provide livestock drinking water.

The results of the physicochemical parameters, major ions and trace elements analyzed in groundwater samples (phreatic water and deep wells) appear in Tables 1 and 2.

Water samples were slightly alcalines (ph 8.2 and 7.8 in phreatic water and deep wells, respectively).

Total dissolved solids (mean value) accounted to 4357 mg/L (phreatic water) and 1396 mg/L (deep wells). Taking into account the classification for livestock drinking water proposed by Bavera *et al.*,[2] it was observed that water quality in the phreatic level was variable, 25% of the samples was very good, 19% good, 19% acceptable and 37% bad. In relation to

Se analizó la concentración de sólidos totales disueltos (STD), iones mayoritarios, nitratos y iones minoritarios. Para la determinación de iones mayoritarios se recolectaron 500 mL de agua en envases plásticos previamente acondicionados; las muestras se refrigeraron a 4ºC hasta la llegada al laboratorio.[6,7]

En todos los casos se registró *in situ*, la temperatura, el pH* y la conductividad eléctrica** de las muestras de agua. Una vez en el laboratorio, las muestras se filtraron a través de una membrana de acetato de celulosa*** con tamaño de poro de 0.45 micrones.

En cuanto a los elementos traza, se recogieron 100 mL de agua en envases plásticos previamente enjuagados con HNO_3 10% y agua deionizada. Para su conservación, las muestras fueron acidificadas (HNO_3 0.2%) y se refrigeraron antes de llevarlas al laboratorio.

La cuantificación de Ca, Mg, Na y K y de los elementos minoritarios (As, Pb, Cd, Cr, Ba, Zn, V, Sr, Ni, Mo, Mn, Fe, Cu y Co) se realizó mediante la técnica de ICP-OES† (*inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy*).[6-8] Los parámetros instrumentales de trabajo con el equipo utilizado para la determinación de los elementos mencionados fueron: potencia, 1 400 W; flujo de argón del nebulizador, 0.5 mL/min; flujo de argón de plasma, 15 mL/min; flujo de argón auxiliar, 0.7 mL/min y caudal de nebulización, 1.2 mL/min.

Para la calibración del equipo se utilizaron materiales de referencia con certificado de trazabilidad.‡ Además, se utilizaron materiales de referencia del National Water Research Institute of Canada (NWRI), con contenidos certificados de todos los elementos minoritarios para la verificación de la calibración y para la validación del método analítico.

Se cuantificaron, además, los siguientes aniones: cloruro, nitrato y sulfato, utilizando técnicas de referencia mencionadas por la American Public Health Association.[8]

La determinación de fluoruro se llevó a cabo mediante electrodo de ión selectivo.° Para comprobar la consistencia de los resultados, se calculó el balance iónico. En todas las muestras analizadas, el máximo error tolerable en función de la conductividad de las muestras, fue menor al admisible, asegurando la consistencia de los resultados obtenidos.[9]

Resultados

La fuente principal de agua de la zona es subterránea

*Potenciómetro Hanna, modelo HI 9025, Italia.
**Conductímetro Hanna, modelo HI 9033 W, Italia.
***Micro Separations Inc. (MSI), Estados Unidos de América.
†Perkin Elmer Optima 2000 DV, Estados Unidos de América.
‡Perkin Elmer Pure. Espectroscopio atómico estándar numero 9300281, Estados Unidos de América.
°Thermo Orion, 96-09, Estados Unidos de América.

water from deep wells, 8% was deficient, 50% very good, 25% good and 17% acceptable.

Discussion

According to the values of pH, 84% of the samples from phreatic water and 61% from deep wells were above the recommended values of pH for livestock drinking water, between 6.1 and 7.5.[2]

y llega de perforaciones que extraen el agua de la capa freática (3-15 m de profundidad) o de perforaciones denominadas semisurgentes (80-150 m de profundidad). En 40.6% de los establecimientos relevados se utiliza agua de la capa freática, 43.8% posee pozos semisurgentes, mientras que 12.5% utiliza ambos tipos de perforaciones para abastecer a los animales.

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos, los iones mayoritarios y los elementos traza analizados

Cuadro 1

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, IONES MAYORITARIOS Y ELEMENTOS TRAZA ANALIZADOS EN LAS MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA CAPA FREÁTICA

PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS, MAJOR IONS AND TRACE ELEMENTS ANALYZED IN SAMPLES FROM PHREATIC WATER

	Maximum	*Minimum*	*Average*	*Standard deviation*
pH	8.92	7.32	8.21	0.48
Cond. (mS/cm)	13.160	1.433	4.719	4.296
NO_3^- (mg/L)	207.0	2.0	59.9	59.0
Cl^- (mg/L)	3 106.5	22.0	727.0	1046.6
SO_4^{2-} (mg/L)	3 120.0	67.2	814.8	1050.8
HCO_3^- (mg $CaCO_3$/L)	1595	262	787	333
CO_3^{2-} (mg $CaCO_3$/L)	66.3	0.0	21.9	27.5
Ca^{2+} (mg/L)	274.2	2.0	54.3	82.9
Mg^{2+} (mg/L)	220.2	1.7	42.5	68.9
Na^+ (mg/L)	5 008.0	406.3	1 709.4	1 638.7
K^+ (mg/L)	210.2	12.8	41.7	56.4
As (µg/L)	4 550	71	1 282	1 430
Ba (µg/L)	81.0	8.2	32.1	22.8
Cd (µg/L)	< 0.5*	< 0.5*	-	-
Co (µg/L)	4-2	< 1	-	-
Cr (µg/L)	< 5*	< 5*	-	-
Cu (µg/L)	22.4	< 4	6.2**	6.8**
Fe (µg/L)	1 405.0	< 5	154**	415.3**
Mn (µg/L)	175.4	< 2	28.1**	55.3**
Mo (µg/L)	842.5	44.0	232.8	245.5
Ni (µg/L)	< 3*	< 3*	-	-
Pb (µg/L)	< 12*	< 12*	-	-
Sr (µg/L)	9 335	87	1 648	2 800
V (µg/L)	5 661.4	125.2	2079.5	1891.0
Zn (µg/L)	129.8	25.8	64.0	28.2

* Detection limit

** To calculate the average and standard deviation it was considered the half value of the detection limit.

Cuadro 2

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, IONES MAYORITARIOS Y LOS ELEMENTOS TRAZA ANALIZADOS EN LAS MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE POZOS SEMISURGENTES

PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS, MAJOR IONS AND TRACE ELEMENTS ANALYZED IN SAMPLES FROM DEEP WELLS

	Maximum	*Minimum*	*Average*	*Standard deviation*
pH	8.97	7.36	7.83	0.45
Cond. (mS/cm)	3.320	0.764	1.946	0.699
NO_3^- (mg/L)	27.0	1.0	3.2	6.6
Cl^- (mg/L)	623.7	61.2	309.9	160.1
SO_4^{2-} (mg/L)	552.0	96.0	255.4	115.9
HCO_3^- (mg $CaCO_3$/L)	547	140	253	87
CO_3^{2-} (mg $CaCO_3$/L)	28.1	0.0	1.9	7.2
Ca^{2+} (mg/L)	82.2	9.2	38.8	23.0
Mg^{2+} (mg/L)	52.1	7.0	20.4	12.3
Na^+ (mg/L)	760.1	211.3	496.7	154.7
K^+ (mg/L)	31.4	10.7	16.9	5.3
As (µg/L)	79	29	56	16
Ba (µg/L)	41.2	1.7	16.0	9.8
Cd (µg/L)	< 0.5*	< 0.5*	-	-
Co (µg/L)	1.5	< 1*	-	-
Cr (µg/L)	< 5*	< 5*	-	-
Cu (µg/L)	46.1	< 4	7.7**	12.7**
Fe (µg/L)	3 982.4	14.7	865.9	1291.4
Mn (µg/L)	684.6	25.1	232.1	209.6
Mo (µg/L)	53.8	23.4	36.1	9.1
Ni (µg/L)	< 3*	< 3*	-	-
Pb (µg/L)	< 12*	< 12*	-	-
Sr (µg/L)	2 072	324	1 094	583
V (µg/L)	274.5	< 4	26.3**	78.2**
Zn (µg/L)	513.9	16.2	157.3	150.9

*Detection limit

** To calculate the average and standard deviation it was considered the half value of the detection limit.

In relation to the major ions (phreatic water and deep wells) the concentrations of Ca^{2+} and Mg^{2+} were below the acceptable limits for livestock drinking water (Ca^{2+} < 500 mg/L, Mg^{2+}: 250 mg/L). Since K is usually in low concentration, it is considered together with Na^+ for the analysis.[2] In the phreatic water, 21% of the samples were above the maximum limit of 1 500 mg/L recommended for Na^+.[1,10]

en las muestras de agua subterránea (capa freática y pozos semisurgentes) se muestran en los Cuadros 1 y 2.

Las muestras de agua resultaron levemente alcalinas (pH 8.2 y 7.8 para la capa freática y los pozos semisurgentes, respectivamente).

El promedio de sólidos totales disueltos (STD) fue de 4 357 mg/L (capa freática), y de 1 396 mg/L

The bicarbonate concentrations were inside the normal limits (HCO_3^- < 3000 mg/L), while 11% of the samples of the phreatic water were above the maximum limit of 2 000 mg/L recommended for Cl^-.[1,10,11]

In water, both sodium and magnesium sulfates are soluble salts. In the animal organism, sulfates act in the acid-base balance when modifying the seric concentration of calcium and phosphorus; this alteration affects the fertility of the animals, with the consequent decrease in the parturition percentage. The sulfates have, also, laxative effect that alters the digestive process and the use of nutriments, with the consequent decrease in milk production. In 31.5% of the samples coming from phreatic water, sulfates concentration were above the suggested level of 1000 mg/L, recommended for cattle, while the samples coming from deep wells were below this value.[12]

In accordance with the content of total dissolved solids and of major ions, the contribution of minerals of the water in the samples considered as very good, good and acceptable, acquires productive importance and it should be considered when formulating the rations.

Important percentage of the requirements of sodium chloride and sulfur are covered by drinking water. In the central area of Argentina, forages are poor in sodium and drinking water is the main source of this mineral. In waters of better quality, the contribution of sulfur could increase the food consumption, increasing the gain of weight for contributing to the formation of sulfurated proteins.

All the samples classified as "bad quality", come from the phreatic water, in them, the concentration of sodium chloride and sulfates were above the requirements of the animals and it could cause health alterations, with negative impact in milk production and in the organoleptic characteristic of dairy products, since 62% of the farms is supplied by phreatic water.

The presence of nitrates in groundwater indicates contamination with nitrogen containing organic matter due to unsuitable slurry handling and the use of fertilizers. Their toxicity is due to the alteration in the oxygen transport. Young animals are more susceptible than adults, for that reason special attention should be taken in the quality of the water used for the preparation of milk substitutes employed in calves breeding. In adult animals with chronic intoxication, there are no characteristic symptoms, but a decrease in milk production or sterile abortions may be observed. In Argentina, the maximum recommended level is 200 mg/L;[2,13] however, the international recommended value for dairy cows is 44 mg/L .[12] According to the obtained results, special attention should be paid to the phreatic water, where 12.5% and 43.7% of the samples are above the limits proposed for the country and the world, respectively.

(pozos semisurgentes). Considerando la clasificación de agua de bebida de tambo para bovinos propuesta por Bavera *et al.*,[2] se observó que la calidad del agua de la capa freática fue variable, 25% de las muestras resultó muy buena; 19%, buena; 19%, aceptable; y 37%, mala. Respecto del agua de pozos semisurgentes, 8% resultó deficiente; 50%, muy buena; 25%, buena; y 17%, aceptable.

Discusión

De acuerdo con los valores de pH observados, 84% de las muestras de agua de la capa freática y 61% de las de pozos semisurgentes superaron el rango óptimo para agua de bebida de bovinos, comprendido entre 6.1 y 7.5.[2]

En relación con los iones mayoritarios (capa freática y semisurgente), las concentraciones de calcio y magnesio se encuentran dentro de los límites aceptables para agua de bebida para los animales (Ca^{2+} < 500 mg/L, Mg^{2+}: 250 mg/L). El potasio es un elemento que se encuentra en pequeñas cantidades y se le agrupa con el sodio en los análisis.[2] En la capa freática, 21% de las muestras supera el límite máximo de 1 500 mg/L recomendado para Na^+.[1,10]

Las concentraciones de bicarbonato se encontraron dentro de los límites normales (HCO_3^- < 3000 mg/L), mientras que 11% de las muestras de la capa freática superaron el límite máximo de 2 000 mg/L recomendado para Cl^-.[1,10,11]

En el agua, los sulfatos forman sales solubles de Na^+ y de Mg^{2+}. En el organismo animal, los sulfatos actúan sobre el equilibrio ácido-base al modificar la concentración sérica de calcio y fósforo; este desbalance afecta la fertilidad de los animales, con la consecuente disminución en el porcentaje de pariciones. Los sulfatos tienen, además, un efecto laxante que altera el proceso digestivo y el aprovechamiento de nutrimentos, con la consecuente disminución en la producción láctea. En 31.5% de las muestras provenientes de la capa freática se registraron concentraciones de sulfatos superiores a 1 000 mg/L, límite máximo recomendado para bovinos adultos, mientras que las muestras provenientes de pozos semisurgentes estuvieron por debajo de este valor en todos los casos.[12]

De acuerdo con el contenido de STD y de iones mayoritarios, el aporte de minerales del agua en las muestras consideradas como muy buenas, buenas y aceptables, adquiere importancia productiva y debería considerarse a la hora de formular las raciones.

Importante porcentaje de los requerimientos de cloruro de sodio y azufre quedan cubiertos por el agua de bebida. En la zona central de Argentina, las pasturas son deficientes en sodio y el agua de bebida es la principal fuente de obtención de este mineral. En las aguas de mayor calidad, el aporte de azufre

Microminerals play essential functions in the animal organism. The deficiency or excesses may produce alterations in health and productivity of the livestock. Some regions in Argentina are known for the deficiency of certain minerals, evidence in fertility problems and decrease of productive indexes.[14-16]

Copper deficiency is the most important limitation for grazing animals, because it is necessary for cellular metabolism, development of the connective and bony tissues, mielin synthesis and queratinization and pigmentation of tissues. It is an essential component in several enzymatic reactions and plays an important role in the immune system. The subclinical deficiencies are frequent and represent the highest economical losses due to a decrease in livestock's growth, milk production and low reproductive rate in affected animals.[15]

Cases of intoxication due to high Cu content in drinking water are scarce and normally originated in the use of plaguicides (moluscide). Copper concentration in samples from phreatic water and deep wells was below the maximum allowed limit of 1 mg/L, recommended for bovine drinking water.[17]

The molybdenum is part of several enzymatic systems. In ruminants, problems concerning to toxicity of this element are more common than to deficiency. Their metabolism is bound to that of Cu and S; hence, tolerance of the animals depends on the levels of these elements in the diet. Of the samples of the phreatic water, 12.5% exceeds the 0.5 mg/L, maximum concentration recommended for livestock drinking water,[17] these levels can increase the problems of lack of copper of the area and to negatively affect the reproductive indexes in the rodeos. None of the samples coming from deep wells overcame the maximum recommended limit.

The manganese is necessary for normal bone structure, reproduction and nervous system. It is cofactor of enzymes concerning to the metabolism of carbohydrates. This element is considered one of the less toxic ones for the bovine livestock. In Argentina, there is not a recommended maximum limit and internationally there are a variety of proposed values. However, considering the recommended maximum level of 0.05 mg/L by National Research Council,[12] 12.5% of the samples coming from phreatic water and 92% from deep wells are above this value.

Iron is a component of oxygen transport proteins and cellular breathing. The concentration in groundwater is limited by the solubility of the carbonates, for that reason the alkaline waters usually have low concentrations of this element. The concentration of Fe in the phreatic water samples was below the maximum limit of 2 mg/L, recommended for livestock drinking water,[12] while 17% of the sam-

podría favorecer el consumo de alimento, aumentando la ganancia de peso por contribuir a la formación de proteínas azufradas.

La totalidad de las muestras categorizadas como de "mala calidad", provienen de la capa freática, en ellas, la concentración de cloruro de sodio y sulfatos supera ampliamente los requerimientos de los animales y podría causar alteraciones en la salud, con impacto negativo en la producción de leche y en las características organolépticas de los subproductos, ya que 62% de los tambos relevados se abastece de la capa freática.

La presencia de nitratos en el agua es indicio de contaminación con materia orgánica o compuestos nitrogenados, ocasionada por un deficiente manejo de efluentes o de utilización de fertilizantes. Su toxicidad se debe a la alteración en el transporte de oxígeno. Los animales jóvenes son más susceptibles que los adultos, por eso debe tenerse especial atención en la calidad del agua utilizada para la preparación de sustitutos lácteos empleados en la cría de terneros. En los animales adultos, en casos de intoxicación crónica no se observan signos característicos, pero puede producirse disminución en la producción láctea y abortos estériles. En Argentina, el valor máximo recomendado es de 200 mg/L;[2,13] sin embargo, el límite recomendado mundialmente como seguro, para bovinos de leche, es de 44 mg/L.[12] Según los resultados obtenidos, debería prestarse especial atención al agua de la capa freática, donde 12.5% y 43.7% de las muestras superaron los límites propuestos para el país y el mundo, respectivamente.

Los microminerales ejercen funciones esenciales dentro del organismo animal. Las deficiencias o excesos provocan alteraciones en la salud y productividad de los animales. En Argentina, algunas regiones se caracterizan por la deficiencia de ciertos minerales, ese hecho significa problemas de fertilidad y disminución de índices productivos.[14-16]

La deficiencia de cobre es la limitante más importante para los animales en pastoreo, ya que es necesario para el metabolismo celular, el desarrollo del tejido conectivo y óseo, la formación de mielina y la queratinización y pigmentación de los tejidos. Es componente esencial de varias enzimas e interviene en la respuesta inmune. Las deficiencias subclínicas son comunes y representan las mayores pérdidas económicas debido a la disminución del crecimiento, de la producción de leche y a la baja tasa reproductiva de los animales afectados.[15]

Los casos de intoxicación por Cu en el agua de bebida son raros; en general se deben a contaminación con plaguicidas (molusquicidas). La concentración de Cu en muestras provenientes de la capa freática y de pozos semisurgentes estuvo por debajo del límite máximo de 1 mg/L, recomendado para agua de bebida de bovinos.[17]

El molibdeno forma parte de varios sistemas enzimáticos. En rumiantes son más comunes los problemas

ples from deep wells are above the recommended limit for cattle.

Usually, zinc appears in low concentration in drinking water. This element is associated with enzymes and plays a role in sexual hormones secretion and protein synthesis. Cattle show tolerance to high levels of Zn in the diet and toxic effects rarely occur. All the analyzed samples were bellow the internationally guideline value of 5 mg/L.[12] It has not been considered the value proposed in Argentina by the Law 24051 (0.05 mg/L), because it is much below the international recommendations and it is inferior to the maximum limit allowed for human consumption by the Alimentary Argentinean Code (5 mg/L).

Arsenic content in human and cattle drinking water is one of the most important health problems in the world. Arsenic is a broadly distributed element in nature and of high toxicity for living organisms. The Chaco-Pampean plain of central Argentina constitutes one of the largest regions of high arsenic groundwaters of the world (a million km^2).[18] One of the most affected area is the southeast of Córdoba.[19-21] In previous works carried out in groundwater, arsenic concentrations were above the recommended limit for cattle drinking water. This fact motivated a study to estimate an arsenic biotransfer factor to milk considering the drinking water as the main source of this metalloid.[4-5]

In relation to arsenic concentration, 62% of the samples from phreatic water were above 0.5 mg/L, maximum concentration recommended for cattle drinking water.[16] However, if it is considered the guide level of 0.067 mg/L, recommended by the Subsecretary of Hidric Resources of the Nation[22] or the level of 0.05 mg/L proposed by the National Research Council,[12] all the samples from phreatic waters were above this values. Arsenic drinking water concentration usually does not produce alterations in animal health, but subclinical pathologies, which have a negative impact in milk production, should be considered. The high toxicity of arsenic and its metabolites requires a strict control of drinking water and food, because even in small dose, it can accumulate in the organism and produce chronic intoxication, what means a risk for the consumer.

Arsenic concentrations have been considered taking into account the guideline levels for cattle drinking water. However, it cannot be ignored that rural population consumes groundwater. The arsenic content in samples from phreatic water are above the maximum value of 0.05 mg/L, allowed for human drinking water.[23]

None of the samples from deep wells overcomes the maximum limit for cattle drinking water neither the recommended values according to chronic intoxi-

relacionados con la toxicidad de este elemento que con su deficiencia. Su metabolismo está ligado al del Cu y S, por ello la tolerancia de los animales depende de los niveles de estos elementos en la dieta. De las muestras de la capa freática, 12.5% exceden los 0.5 mg/L, concentración máxima recomendada para agua de bebida de bovinos,[17] estos niveles pueden agravar los problemas de carencia de cobre de la zona y afectar negativamente los índices reproductivos en los rodeos. Respecto de las muestras provenientes de pozos semisurgentes, ninguna superó el límite máximo recomendado.

El manganeso es necesario para la estructura normal de los huesos, la reproducción y el sistema nervioso. Es cofactor de enzimas relacionadas con el metabolismo de hidratos de carbono. Este elemento es considerado uno de los menos tóxicos para el ganado bovino. En Argentina no hay un límite máximo recomendado, en el ámbito mundial no está claramente definido. Sin embargo, considerando el nivel máximo de 0.05 mg/L recomendado por el National Research Council,[12] 12.5% de las muestras provenientes de la capa freática y 92% de las muestras de pozos semisurgentes superaron dicho valor.

El hierro es componente de las proteínas involucradas en el transporte de oxígeno y en la respiración celular. La concentración en agua subterránea está limitada por la solubilidad de los carbonatos, por eso las aguas alcalinas suelen tener concentraciones bajas de este elemento. La concentración de Fe en las muestras provenientes de la capa freática estuvo por debajo del límite máximo de 2 mg/L, recomendado para agua de bebida de bovinos,[12] mientras que 17% de las muestras de pozos semisurgentes superó el límite recomendado.

El zinc aparece en baja concentración en el agua de bebida. Este elemento está asociado con enzimas e interviene en la secreción de hormonas sexuales y en la síntesis proteínica. Los bovinos presentan considerable tolerancia a los altos niveles de zinc en la dieta y generalmente no se producen efectos tóxicos. Considerando el valor guía de 5 mg/L propuesto internacionalmente,[12] la totalidad de las muestras se encuentra por debajo de éste. No se ha considerado el valor establecido en Argentina por la Ley 24051 (0.05 mg/L), debido a que está muy por debajo de las recomendaciones internacionales y es inferior al límite máximo admitido para consumo humano por el Código Alimentario Argentino (5 mg/L).

La presencia de arsénico en el agua subterránea utilizada para bebida humana y animal, es uno de los problemas sanitarios más importantes en el mundo. El arsénico es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza y de elevada toxicidad para los seres vivos. La llanura Chaco-Pampeana, en Argentina, es

cation risk in cattle; but if the international proposed value is considered,[12] 80% of the samples exceeds that limit.

Fluorine is necessary to maintain the hardness of teeth and bones; however, excessive concentrations produce alterations in livestock health. Young animals are less tolerant to the excesses than the adults. Lesions of teeth and bones are characteristic of chronic intoxications. Dental anomalies in young animals include: color alterations, premature waste and form and structures changes. The production decreases as consequence of malnutrition. Toxicity is related to the age of the animal, quantity and continuity of drinking water consumption with fluorine, composition of the diet and chemical characteristics of the fluorine in water and food.

The spotted of the teeth appears in concentrations from 2 to 5 mg / L, but dental waste takes place with larger concentrations. Chronic intoxication in cattle was registered with fluorine levels of 15 mg/L in drinking water. The normal level to maintain the teeth hardness is between 0.8 and 1.5 mg/L.[2]

Regarding the fluorine concentration in the samples from phreatic water, 62.5% exceeds the maximum concentration recommended for cattle drinking water (2 mg/L),[12] although none of the samples from deep wells were above the recommended level.

Lead presence in groundwater is not very frequent. It appears in case of contamination with industrial effluents or in cases of use of lead pipes to carry out the water. Due to its high toxicity, capacity of accumulation in the organism and transfer to milk in levels that are a risk for consumer's health, the use of drinking water for dairy cattle with lead concentrations that overcome the level of 0.015 mg/L is not advisable.[12] Lead concentration in the samples from phreatic water and deep wells was below the maximum limit recommended for cattle drinking water.

Cadmium produces renal, gonadal and nervous alterations. Also, it has carcinogenic and teratogenic effects. The cadmium concentrations found in samples from phreatic water and deep wells were below the maximum limit of 0.005 mg/L recommended for cattle drinking water.[12]

Chromium is an enzymatic cofactor. However it can be toxic in concentrations above 0.1 mg/L.[12] Concentrations in samples from phreatic water and deep wells were below the maximum limit aforementioned.

Vanadium usually appears together with arsenic and fluorine in groundwater, in extensive areas of Argentina. Its importance in the animal nutrition has not been demonstrated. All of the samples from phreatic water were above the maximum limit recommended for cattle drinking water (0.1 mg/L), while 8% of the samples from deep wells were above that value.[12]

considerada como la región más extensa del mundo (un millón de km^2), afectada por la presencia de arsénico en aguas subterráneas.[18] Una de las zonas más afectadas es el sudeste de la provincia de Córdoba.[19-21] En trabajos previos realizados en aguas subterráneas someras de la zona, se hallaron concentraciones de arsénico que superaban el límite recomendado para agua de bebida animal. Este hecho motivó un estudio para estimar un factor de biotransferencia de arsénico hacia la leche bovina, se considera al agua como única fuente de este metaloide.[4,5]

En relación con la concentración de arsénico, en 62% de las muestras provenientes de la capa freática fue mayor a 0.5 mg/L, concentración máxima recomendada para agua de bebida de bovinos.[16] Sin embargo, sí se considera el nivel guía de 0.067 mg/L, recomendado por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación[22] o el de 0.05 propuesto por el National Research Council,[12] la totalidad de las muestras de agua de nivel freático superan estos valores. Las concentraciones halladas generalmente no producen alteraciones manifiestas en los animales, pero deben considerarse las patologías subclínicas que tienen importante impacto negativo en la producción de leche. Asimismo, la elevada toxicidad del arsénico y sus metabolitos exige un riguroso control del agua y del alimento, pues aun en pequeñas dosis, puede acumularse en el organismo y provocar intoxicaciones crónicas, ello significa un riesgo para el consumidor.

Las concentraciones de arsénico se han considerado con base en los límites establecidos para agua de bebida animal. Sin embargo, no puede desconocerse que la población rural de la zona consume agua subterránea. Los valores obtenidos para la capa freática superan en todos los casos el valor máximo de 0.05 mg/L, permitido para consumo humano.[23]

De las muestras de pozos semisurgentes, ninguna supera el límite máximo para agua de bebida de bovinos ni los valores recomendados de acuerdo con el riesgo de intoxicación crónica de los animales; pero sí se considera el valor guía propuesto internacionalmente,[12] 80% de las muestras exceden ese límite.

El flúor es necesario para mantener la dureza de dientes y huesos; sin embargo, las concentraciones excesivas producen alteraciones en la salud del ganado. Los animales jóvenes son menos tolerantes a los excesos que los adultos. En la intoxicación crónica son características las lesiones de los dientes y de los huesos. Las anomalías dentarias aparecen en los animales jóvenes, se observan alteraciones de color en los dientes, desgaste prematuro y cambios de forma y estructura. La producción disminuye como consecuencia de la desnutrición. La toxicidad está relacionada con la edad del animal, la cantidad y continuidad del consumo de agua con flúor, la composición de la

Strontium presence in groundwater is not very frequent, although it should be considered because it can accumulate in bones. Recommendations of the concentration of this element in cattle drinking water have not been found. The results are shown in Tables 1 and 2.

It is relevant to emphasize the importance of investigating the inorganic trace element presence in drinking water and food for livestock, to detect their presence and accumulation in the organism, and to predict the concentrations that will be in the foods of animal origin, to know which is their contribution in the daily ingested dose and to estimate the risk for human health that would imply its consumption.

This kind of studies will contribute to the elaboration or upgrade of standard and norms of quality of cattle drinking water, especially in that referred to the maximum ingestion of trace elements.

Acknowledgements

Authors are indebted to the University of Buenos Aires and to CONICET for financial support, as well as to the veterinarians O. Bentatti and M. Bondone and farm owners of the Union Department, province of Cordoba, Argentina, for their collaboration in sampling.

Referencias

1. Grant R. Water quality and requirements for dairy cattle. [serial online] 1993 Jan [cited 2005 Sep 14]. Available from: URL: http://ianrpubs.unl.edu/dairy
2. Bavera G, Rodríguez E, Beguet H, Bocco O, Sánchez J. Manual de aguas y aguadas para el ganado. 2da ed. Buenos Aires: Ed. Hemisferio Sur, 2001.
3. National Academy of Sciences. More water for arid lands. Washington DC: National Academy of Sciences, 1974.
4. Pérez Carrera A, Fernández Cirelli, A. Niveles de arsénico y flúor en agua de bebida animal en establecimientos de producción lechera (Pcia. de Córdoba, Argentina). Invet 2004; 6:51-59.
5. Pérez Carrera A, Fernández Cirelli A. Arsenic concentration in water and bovine milk in Cordoba, Argentina. Preliminary results. J Dairy Res 2005; 72:122-124.
6. Brown E, Skougstad M, Fishman M. Methods for collection and analysis of water samples for dissolved mineral and gases. U.S. Geologycal Survey, Techniques of Water Resources Investigations, 5 (A1), 1970.
7. Rodier J. Análisis de aguas. Barcelona: Ediciones Omega, 1981.
8. APHA. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. 20th Ed. Washington DC: American Public Health Association, 1998.
9. Appelo C, Postma D. Geochemistry, groundwater and pollution. Rotterdam: Balkema Ed, 1993.

dieta y las características químicas del flúor en agua y alimento.[15]

El moteado de los dientes aparece en concentraciones de 2 a 5 mg/L, pero el desgaste dentario se produce con dosis mayores. La intoxicación crónica se registró con niveles de 15 mg/L de flúor en el agua de bebida. El nivel normal en el agua de bebida para mantener la dureza de los dientes se encuentra entre 0.8 y 1.5 mg/L.[2]

Respecto de la concentración de flúor en las muestras de la capa freática, 62.5% excede la concentración máxima (2 mg/L) recomendada para agua de bebida de bovinos,[12] aunque ninguna de las muestras de pozos semisurgentes superó el límite recomendado.

La presencia de plomo en agua subterránea es poco frecuente. Aparece en caso de contaminación con efluentes industriales o en casos excepcionales de utilización de cañerías de plomo para conducir el agua. Debido a su elevada toxicidad, a su capacidad de acumulación en el organismo y transferencia a leche en niveles que ponen en riesgo la salud del consumidor, no es aconsejable el uso de agua de bebida con concentraciones de Pb que superen el límite de 0.015 mg/L recomendado para bovinos.[12] La concentración de Pb en las muestras provenientes de la capa freática y de pozos semisurgentes estuvo por debajo del límite máximo recomendado para agua de bebida de bovinos.

El cadmio produce alteraciones renales, gonadales y nerviosas. Además tiene acción carcinogénica y teratogénica. Las concentraciones halladas en las muestras provenientes de la capa freática y de pozos semisurgentes estuvieron por debajo del límite máximo de 0.005 mg/L recomendado para agua de bebida de bovinos.[12]

El cromo es un cofactor enzimático, aunque puede ser tóxico en concentraciones superiores a 0.1 mg/L.[12] Las concentraciones halladas en muestras de la capa freática y de pozos semisurgentes estuvieron por debajo del límite máximo mencionado.

El vanadio es un elemento que habitualmente aparece junto con arsénico y flúor en agua subterránea, en extensas zonas de Argentina. Su importancia en la nutrición animal no ha sido demostrada. El 100% de las muestras provenientes de la capa freática superó el nivel máximo recomendado para agua de bebida de bovinos (0.1 mg/L), mientras que sólo 8% de las muestras de pozos semisurgentes superaron ese valor.[12]

La presencia de estroncio en agua subterránea es poco frecuente, aunque se debe considerar debido a que puede acumularse en los huesos. No se han encontrado recomendaciones en cuanto a la concentración de este elemento en agua de bebida de bovinos. Los resultados obtenidos se muestran en los cuadros 1 y 2.

Es relevante enfatizar la importancia de investigar la presencia de elementos traza inorgánicos en el agua de bebida y alimentos para el ganado vacuno, detectar su presencia y acumulación en los tejidos, y predecir las concentraciones que se encontrarán en los alimentos de origen animal, para conocer cuál es su aporte en la dosis diaria ingerida y estimar el riesgo para la salud que implicaría su consumo.

Este tipo de estudios contribuirá a la elaboración o actualización de estándares y normas de calidad de agua para bebida de bovinos, especialmente en lo referido a la ingesta máxima de microminerales.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Buenos Aires y al CONICET por el financiamiento recibido, así como a los médicos veterinarios O. Bentatti y M. Bondone y a los productores ganaderos del Departamento de Unión, provincia de Córdoba, Argentina, su colaboración en los muestreos realizados

10. Jones G. Abundant good quality water and milk production. The Virginia Dairyman 2000; 64:7, 16-18.
11. Bagley C, Kotuby-Amacher J, Farrell-Poe K. Analysis of water quality for livestock. [serial online] 1997 July [cited 2005 Sep 19]. Available from: URL: http://extension.usu.edu/files/agpubs/beef28.pdf
12. National Research Council. Nutrients requirements of dairy cattle. 7th Revised ed. Washington DC: National Academy Press, 2001.
13. Sager R. Agua de bebida de bovinos. Reedición de la Serie técnica Nº 126. San Luis: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental San Luis, 2000.
14. Fader O, Marro O. Efecto de los Minerales en la Nutrición y Salud Animal en la Región Central de la Provincia de Córdoba. Córdoba: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Manfredi, Córdoba, 2000.
15. McDowell L, Velásquez-Pereira J, Valle G. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. Florida: Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 2000
16. Ruksan B. Mapa de microelementos en forrajeras de Argentina. Rev Arg Prod Anim 1985, 4:89-98.
17. Ley 24051. Régimen de Desechos Peligrosos. Decreto Nacional 831/93, Reglamentación de la Ley 24051. 1993.
18. Smedley P, Kinniburg D. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Appl Geochem 2002; 17: 517-568.
19. Nicolli H, O' Connor T, Suriano J, Koukharsky M, Gómez Peral M, Bertini L, *et al.* Geoquímica del arsénico y otros oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura sudoriental de la Provincia de Córdoba. Córdoba, Argentina: Academia Nacional de Ciencias, 1985.
20. Nicolli H, Suriano J, Gómez Peral M, Ferpozzi L, Baleani O. Groundwater Contamination with Arsenic and other Trace Elements in an Area of the Pampa, Province of Cordoba, Argentina. Environ Geol Water Sci 1989; 14: 1, 3-16.
21. Cabrera A, Blarasin M, Villalba G. Groundwater contaminated with arsenic and fluoride in the Argentine pampean plain. J Environ Hydrol 2001; 9:6, 1-9.
22. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Desarrollos de niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente correspondientes a arsénico. Buenos Aires: SRHN, 2004.
23. Código Alimentario Argentino (CAA). Artículo 982, Agua Potable. Capítulo XII, Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. 2001.