

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA PRODUCCIÓN ANIMAL EN LA ZONA OESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES A TRAVÉS DE UN BIOENSAYO DE TOXICIDAD

Maria Soledad Rodriguez^{1,2}, *Cristina Alvarez Gonçalvez*^{1,2}, *Alicia Fernández Cirelli*^{1,2} y *Alejo Pérez Carrera*^{1,2}

¹Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Veterinarias. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA), Buenos Aires, Argentina.

²Universidad de Buenos Aires – CONICET. Facultad de Ciencias Veterinarias. Instituto de Investigaciones en Producción Animal (UBA-CONICET), Buenos Aires, Argentina.

E-mail: solerodriguez@gmail.com

RESUMEN

Las sustancias nocivas presentes en el agua de bebida animal pueden, afectar la salud y producción del ganado, e incluso representar un riesgo para los seres humanos por su transferencia a los alimentos. La calidad del agua para bebida animal se evalúa generalmente desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico. Los bioensayos de toxicidad se plantean como un complemento para estas determinaciones, ya que permiten evaluar la acción combinada de todas las sustancias presentes. El objetivo de este estudio es evaluar a calidad del agua utilizada para bebida animal en el oeste de la Provincia de Buenos Aires desde un punto de vista fisicoquímico y toxicológico. Se realizó un bioensayo de toxicidad aguda con *Lactuca sativa*. Se utilizaron semillas de la variedad criolla. Se germinó en oscuridad a 22 ± 2 °C durante 5 días. Los valores de pH superaban el rango óptimo para agua de bebida, mientras que las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} , así como el promedio de nitratos, se encontraron dentro de los límites aceptables. Los niveles de As se encontraron por debajo de los límites máximos recomendados para agua de bebida animal y fueron similares a los informados por otros autores en estudios realizados en la zona. Sin embargo, en el caso del V, el 46% de las muestras presentaron niveles por encima de los límites aceptables para agua de bebida animal. En cuanto al bioensayo, se observó que el 100% de las muestras producían tanto una inhibición significativa del crecimiento relativo radicular como una disminución en el porcentaje de germinación relativa respecto al control. Los resultados obtenidos muestran la utilidad de los bioensayos de toxicidad como complemento de los análisis fisicoquímicos, ya que si bien estos nos permitirían clasificar las muestras de agua como regulares a buenas, el ensayo toxicológico nos muestra que muchas de ellas no son recomendables para su uso como agua de bebida.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural indispensable para la producción animal. En los últimos años, la preocupación por la preservación de del recurso hídrico se ha incrementado debido a la intensificación de los sistemas ganaderos y a la extensión de la frontera agrícola hacia tierras menos favorables para la producción, el crecimiento de la población y, en consecuencia, el aumento en la demanda de alimentos (Fernández Cirelli *et al*, 2010). El conocimiento de los factores que determinan la calidad del agua permite evaluar este recurso con fines productivos. La aptitud del agua para bebida animal se evalúa a través de parámetros físicoquímicos y microbiológicos, teniendo en cuenta que el exceso de algunos compuestos orgánicos e inorgánicos, pueden ocasionar efectos negativos en la salud de los animales (Volpedo *et al*, 2016; National Reasearch Council, 2001; Pérez Carrera *et al*, 2005). En nuestro país, el decreto 831/93, que reglamenta la Ley de Residuos Peligrosos (Ley 24.051), recomienda las concentraciones máximas de algunas sustancias que podrían estar presentes en el agua para que la misma se destine a su uso en ganadería como agua de bebida.

Un parámetro a tener en cuenta al momento de la valoración en las zonas productivas es la presencia y concentración de elementos traza. Los elementos traza no se degradan en el medio ambiente y se acumulan en el agua, suelo, sedimentos y organismos. Estos elementos pueden ser transferidos del agua a los tejidos de los animales y acumularse en ellos en concentraciones que podrían ser peligrosas para los seres humanos, o que podrían producir un impacto negativo en la salud de los animales, afectando la producción (Alvares Gonçalvez *et al*, 2015). Entre los elementos traza a considerar en la evaluación de la calidad de agua para consumo animal revisten particular importancia el arsénico (As) y el vanadio (V); ambos se encuentran naturalmente presentes en las aguas subterráneas de la región oeste de la provincia de Buenos Aires. El As es un elemento ampliamente distribuido en el ambiente, de elevada toxicidad para los seres vivos y es conocido como un elemento cancerígeno (Pérez Carrera *et al*, 2013; Smith *et al.*, 2002). Debido a ello se exige un riguroso control del agua y el alimento, ya que aún en pequeñas dosis, puede acumularse en el organismo y provocar intoxicaciones crónicas (Pérez Carrera *et al*, 2004; Alvarez-Gonçalvez, 2015). En Argentina, el principal problema de salud pública, producido por la ingesta de dosis variables de As durante largos períodos de tiempo, es el Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) (Pérez Carrera *et al.*, 2013). Entre los efectos del arsénico sobre la salud humana también se ha descripto su relación con la aparición de cáncer de vejiga, riñón y pulmón; patologías vasculares de las extremidades inferiores, diabetes, hipertensión arterial y trastornos reproductivos (UN, 2001). El V, al igual que el As, se encuentra presente en concentraciones elevadas en agua subterránea extensas zonas de Argentina, generalmente asociado con otros elementos tales como flúor. El V, es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, y que si bien es considerado como un elemento traza esencial para los organismos vivos, en concentraciones excesivas o crónicas podría tener efectos adversos sobre la salud de los animales de producción y además podría

potencialmente transmitirse a través de la cadena agroalimentaria (Gummow *et al.*, 2005). Existen estudios que mencionan la importancia del V en nutrición animal, sin embargo, este elemento no es considerado esencial para los bovinos debido a que no se ha hallado hasta el momento una función bioquímica específica (NRC, 2005; Pérez Carrera *et al.*, 2013). En ganado bovino, se observó que el envenenamiento crónico estaría asociado a emaciación, diarrea crónica, trastornos en la absorción intestinal, inmunosupresión, rinitis, conjuntivitis y decúbito, ocurriendo eventualmente la muerte de los animales (Gummow *et al.*, 1994). Se ha sugerido un nivel máximo recomendado en la dieta de 50 mg kg⁻¹ (NRC, 2005), en el caso del agua de bebida para bovinos, el valor recomendado es de 100 µg.L⁻¹ (Ley 24051, NRC, 2005).

A diferencia de algunos compuestos orgánicos, los elementos traza no son degradados en el ambiente y se acumulan en el agua, suelo y organismos vivos. Desde allí, a través del consumo de agua de bebida, pueden llegar a los animales de producción y de estos al hombre.

Un aspecto poco estudiado referido a la calidad de agua es el toxicológico. Los bioensayos de toxicidad se plantean como un complemento para las determinaciones físico químicas, ya que permite evaluar la acción combinada de todas las sustancias nocivas presentes en el agua, y también de aquellas que, si bien no son tóxicas, afecta a las propiedades físico-químicas del sistema (Alvarez Gonçalves *et al.*, 2015).

Los bioensayos de toxicidad son herramientas útiles para detectar la toxicidad de diversos compuestos; por otro lado, permiten evaluar la acción combinada de todas las sustancias presentes en el agua, y también de aquellas que, si bien no son tóxicas, afectan las propiedades químicas o físicas del agua, poniendo en riesgo su calidad (Gonzales *et al.*, 2003; Alvarez-Gonçalves *et al.*, 2017). El bioensayo con *Lactuca sativa* es un ensayo estático de toxicidad aguda que permite evaluar los efectos fitotóxicos de compuestos puros o de una mezcla compleja (Gonzales Pérez *et al.*, 2015). Entre los marcadores evaluados, tanto la elongación de la radícula como la del hipocótilo de las plántulas constituyen indicadores muy sensibles que permiten ponderar el efecto de compuestos solubles presentes en niveles de concentración tan bajos que no son suficientes para inhibir la germinación, pero que, sin embargo, pueden retardar o inhibir completamente los procesos de elongación radicular (Sobrero *et al.*, 2004).

En este contexto, el objetivo de este estudio es evaluar a calidad del agua utilizada para bebida animal del área productiva de la zona oeste de la Provincia de Buenos Aires tanto desde el punto de vista fisicoquímico como del ecotoxicológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras de agua subterránea (N=13) de distintos establecimientos ganaderos ubicados al oeste de la provincia de Buenos Aires. Para evaluar el aspecto ecotoxicológico del agua se realizó el bioensayo de toxicidad aguda con *Lactuca sativa* L. (var. criolla). Previa realización del mismo se determinó la viabilidad de las semillas mediante el método químico de cloruro de trifeniltetrazolio (Moore, 1985). Se consideraron

viabiles aquellas semillas que presentaban teñido su embrión de color rojo carmín de acuerdo a Ruiz (2009). Se efectuó un control positivo con dicromato de potasio y un control negativo con agua destilada. Se colocaron 20 semillas en cada placa de Petri sobre papel de filtro, y se agregó 2,5 ml de cada muestra. Se incubó en oscuridad a 22 ± 2 °C durante 5 días. Con el fin de disminuir la variabilidad de los resultados, los bioensayos se realizaron por quintuplicado. Pasadas 120 horas del bioensayo, se contó el número de semillas germinadas y se midió la longitud de la radícula de las plántulas. Se consideró como semilla germinada aquella en la cual la radícula superó los 2 mm. Las variables que se evaluaron fueron el porcentaje de la germinación relativa de semillas (GRS), el crecimiento relativo de la radícula (CRR) y el índice de germinación (IG) de acuerdo con Rodríguez Romero et al. (2014).

En todas las muestras de agua recolectadas se determinaron pH, conductividad, sólidos totales disueltos, porcentaje de cloruro de sodio y dureza (dureza total, dureza de calcio y dureza de magnesio). El análisis físico-químico se realizó según técnicas empleadas habitualmente y descritas en APHA, 1998, Rodier 1991 y US Geologica Survey. La determinación de dureza total, y cloruros se realizó por la metodología de titulación. Los nitratos fueron determinados por colorimetría (colorímetro Hanna). Los resultados fueron analizados estadísticamente con el programa InfoStat. La cuantificación de arsénico (As) y vanadio (V) se realizó mediante la técnica de Espectrofotometría de Emisión Atómica por Plasma de Acoplamiento (*ICP-OES inductively coupled plasma- optic emission spectroscopy*).

RESULTADOS

Los valores obtenidos para los parámetros físico-químicos analizados (conductividad, pH, sólidos disueltos, dureza), de los elementos traza analizados (arsénico (As) y vanadio (V)) y la concentración de elementos mayoritarios (Calcio (Ca), Magnesio (Mg), sodio (Na) y cloruros (Cl) se encuentran en la Tabla 1.

Los valores de pH se encontraron en el rango de 7,5 y 8,56, superando el rango óptimo de pH para agua de bebida de bovinos (6,1- 7,5) propuesto por Bavera (2001). Las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} se encontraron en el rango de (Ca^{2+} : 0,77-10,26 y Mg^{2+} : 7,06-92,33) encontrándose dentro de los límites aceptables para agua de bebida animal (Ca^{2+} : <500 mg/L y Mg^{2+} : 250 mg/L) según lo propuesto por Grant (1996). Los sólidos disueltos se encontraron en el rango de 25000 y 219 mg/L, encontrándose dentro del valor considerado en agua de bebida para bovinos de 4000 mg/L. El promedio de nitratos fue de 1,58 encontrándose dentro del límite recomendado de <200 mg/L.

Los valores encontrados de As se encontraron por debajo de los límites máximos establecidos por la Ley 24.051 (500 $\mu\text{g/L}$) y no mostró diferencias significativas (<0,05) con los valores informados por otros autores en estudios realizados en la zona. En el caso del V, las concentraciones encontradas fueron más

elevadas que la de As. Se observó que el 46% de las muestras presentaron niveles por encima de los límites aceptables para agua de bebida animal (V: <0,1 mg/L – Ley 24.051).

Tabla 1: Valores máximos, mínimos y medios encontrados en las muestras de agua usadas para bebida animal en la zona oeste de la provincia de Buenos Aires. ND= por debajo del límite de detección.

Parámetro	Unidades	Nivel Máximo	Nivel Mínimo	Media	Desvío Estándar	Valores recomendados
Conductividad	μS/cm ²	1510	501	837,001	511	-
pH		8,56	7,5	8,19	0,3430	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	25000	219	2915,6	7762	-
Dureza total	mg/L	67,71	7,92	22	22	-
Calcio	mg/L	10,26	0,77	3,37	3,50	<500
Magnesio	mg/L	92,33	7,06	27,78	27,28	250
Nitratos	mg/L	3,9	0,5	1,58	0,982	<200
Cloruros	mg/L	16,28	0,04	3,69	4,54	
Cloruro de sodio	%	9,8	0,8	2,6	2,66	-
Arsénico	μg/L	271,4	ND	105,09	85,01	500
Vanadio	μg/L	600,36	ND	133,74	167,56	100

Para evaluar el aspecto toxicológico del agua, después de 120hs de exposición de las semillas de *L. sativa L.*, se midió la longitud de las raíces, de las semillas expuestas a las muestras y el control negativo y se calculó en porcentaje de germinación relativa (GRS), el crecimiento relativo de la radícula (CRR) y el índice de germinación (IG), los valores obtenidos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Valores de GRS, CRR e IG obtenidos en el bioensayo de toxicidad con *Lactuca sativa* con las muestras de agua usadas para bebida animal en la zona oeste de la provincia de Buenos Aires.

Muestra	GRS (%)	CRR (%)	IG (%)
1	79	46,43	36,68
2	70	41,32	28,92
3	84	62,36	52,38
4	79	51,30	40,53
5	77	44,93	34,60
6	55	24,91	13,70
7	65	26,34	17,12
8	88	57,86	50,92
9	59	23,90	14,10
10	52	21,04	10,94
11	59	27,06	15,96
12	56	25,08	14,04
13	78	44,14	34,43

El control negativo presento un valor de porcentaje del 100% para GRS, CRR e IG. Por otro lado, se observó que el 100% de las muestras producían tanto una inhibición significativa ($>0,05$) del crecimiento relativo radicular (CRR) como una disminución en el porcentaje de germinación relativa (GRS) de las semillas de *L. sativa* respecto al control negativo.

En este trabajo se analizaron los principales parámetros fisicoquímicos que afectan la calidad de agua para consumo animal y la presencia de elementos traza de efecto perjudicial sobre la salud del ganado. Se observó que la calidad del agua para bebida animal si bien es altamente variable, puede clasificarse entre buena y regular, según la clasificación propuesta por Bonel & Ayud (1985). Respecto a los niveles de elementos

traza analizados, los niveles de As encontrados en las muestras de agua analizadas en este trabajo se encuentran dentro de los valores máximos sugeridos y en concordancia con lo previamente reportado por otros autores (Pérez Carrera *et al.*, 2004; 2005; 2013 ;2015); en el caso del V, los niveles observados son superiores a los de As y en muchos casos 55% superiores a los niveles máximos recomendados. No obstante, en Pérez Carrera *et al.* (2014) encontraron niveles similares de V en muestras de agua provenientes del sudeste de la provincia de Córdoba.

Al comparar la aptitud del recurso hídrico para su utilización como agua de bebida animal realizada a partir de los parámetros físico-químicos con la aptitud evaluada a partir de los resultados de los bioensayos ecotoxicológicos se observó que existen diferencias significativas entre ellos. A pesar de que el total de las muestras se encontraban clasificadas de buenas a regulares para el consumo de bovinos, mostraban evidencias de efectos deletéreos en los parámetros analizados en el bioensayo *L. sativa*. Esto evidenciaría la importancia de realizar una evaluación toxicológica como complemento de las físico-químicas y microbiológicas.

La evaluación de la toxicidad de las muestras a través del ensayo de germinación de semillas de *L. sativa* L. mostró que, de los parámetros evaluados, la inhibición en la elongación de la radícula constituye un indicador subletal muy sensible para la evaluación de efectos, aportando información complementaria muy valiosa a los análisis físico-químicos. Los resultados obtenidos en este trabajo indican que el 100% de las muestras de agua analizadas poseían una composición que inhibía la germinación y la elongación radicular de las semillas de *L. sativa* L.

CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó especialmente la presencia de elementos traza de interés toxicológico por su impacto en la salud humana y animal, como es el caso del arsénico, y otro elemento asociado como el vanadio, cuyos efectos aún son poco conocidos. Los niveles de arsénico hallados en las muestras de agua analizadas fueron variables y no mostraron diferencias significativas respecto de los informados en estudios previos realizados por otros autores, lo que demuestra que los niveles se mantienen poco variables en el tiempo, en la medida que no se produzcan modificaciones en el uso del recurso o aumentos de la extracción de agua (por ej. a través del riego). En el caso del V, la información disponible en la literatura acerca de su presencia y distribución en Argentina, así como su potencial impacto sobre la salud y producción del ganado es muy escasa. Los niveles hallados en las muestras de agua superaron, en la mayoría de los casos, los niveles recomendados para agua de bebida de bovinos a nivel nacional e internacional.

Respecto de los ensayos toxicológicos y en función de los resultados obtenidos en el presente estudio pudo observarse que, según el análisis físico-químico de las muestras de agua, las mismas podrían clasificarse de

regulares a buenas, sin embargo, el ensayo toxicológico nos muestra que muchas de ellas no sería aconsejable destinarlas a su uso como agua de bebida animal o humana debiendo profundizarse los estudios de calidad. Por lo tanto, en determinados casos, resulta recomendable la utilización de bioensayos de toxicidad como complemento del análisis físicoquímico y microbiológico en la valuación de la calidad de agua de bebida animal.

En nuestro país, es necesario que se realicen estudios tendientes a conocer y monitorear los parámetros de calidad del agua utilizada para bebida animal, no solo para conocer el estado actual de nuestros recursos hídricos, sino que sirvan también para definir y mejorar los rangos de dichos parámetros en función de la modalidad de producción y la especie en cuestión, asegurando tanto la inocuidad alimentaria de los productos derivados, como la mejora en la rendimiento de la producción.

BIBLIOGRAFIA

Alvarez Gonçalvez, CV; Fernández Cirelli A y A Pérez Carrera, A. 2015. Niveles de elementos traza de importancia toxicológica en muestras de riñón de bovinos de Argentina. Jornada; V Jornada de Jóvenes Investigadores en Ciencias Veterinarias. Ciencia y Sociedad. Ciudad de Buenos Aires. Buenos Aires.

Alvarez Goncalvez, C.V; Fernández Cirelli, A. y Pérez Carrera, A. 2017. Utilidad de un test de toxicidad como herramienta para evaluar la calidad de agua de bebida animal. Agua y sociedad. 1º ed. Especial. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Lajouane. ISBN: 978-950-9580-22-0.

Bavera, G.; Rodriguez, E.; Beguet, H.; Bocco, O. Y Sanchez, J. 1979. Aguas Y Aguadas. Ed Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina.

Bonel, J y Ayub, G. 1985. Método para determinar la calidad de agua para bebida de bovinos y recomendaciones para el ganadero. Rev. Arg. De Producción Animal, 4 (3):45-48.

Fernández Cirelli, A; Schenone, N; Pérez Carrera, A y Volpedo, A. 2010. Calidad de agua para la producción de especies animales tradicionales y no tradicionales en Argentina. AUGMDOMUS; Lugar: La Plata; Año: 2010 p. 45 – 66.

Gonzales Pérez., Rodríguez Leblanch, E; Fernández Rodríguez, I y Pérez, GA. 2015. Evaluación ecotoxicológica de las aguas del refugio de fauna “San Miguel de Parda” mediante los biomodelos *Lactuca sativa* L y *Artemia* sp. En Santiago de Cuba, Cuba. Catedra Villareal. Lima, Perú. Volumen 3 N°2. P 133-142. ISSN 2310-4767.

Gonzales, A.M; Presa, M.F. y Lurá, MC. 2003. Ensayo de toxicidad a Artemia salina: puesta a punto y aplicación a micotoxinas. Revista Fabicib, 7: 117-112.

Grant, R. 1996. Water quality and requirements for dairy cattle. University of Nebraska

Gummow B, Botha C, Noordhuizen J y Heesterbeek J. 2005. The public health implications of farming cattle in areas with high background concentrations of vanadium. Preventive Veterinary Medicine, 72: 281- 290.

Gummow, B.; Bastianello, SS.; Botha, CJ.; Smith, HJC.; Basson, AJ.; Wells, B. (1994). Vanadium air pollution: a cause of malabsorption and immunosuppression in cattle. Onderstepoort J Vet. 1994; 61: 303-316.

Moore, R.P. 1985. Handbook on Tetrazolium Testing. International seed testing association, Michigan, EUA.

Pérez Carrera, A y Fernández Cirelli, A. 2004. Niveles de arsénico y Flúor en agua de bebida animal en establecimientos de producción lechera (Bell Ville, Pcia. De Córdoba). Revista Investigación Veterinaria, 6: 51-59.

Pérez Carrera, A y Fernández Cirelli, A. 2013. Niveles de arsénico y vanadio en aguas naturales en el Departamento de Unión, sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina. AUGMDOMUS. Volumen 5. P 19-28. ISSN: 1852-2181

Pérez Carrera, A; Moscuza, C y Fernández Cirelli, A. 2005. Contenido de macrominerales en el agua de bebida animal en tambos de la provincia de Córdoba (Argentina) y su relación con los requerimientos de bovinos de leche. Revista Argentina de Producción Animal 25: 115-12 Vol 25 N°3-4. Año 2005.

Pérez Carrera, AL., Alvarez Gonçalvez, CV y Fernández Cirelli, A. 2014. Vanadio en agua de bebida animal de tambos del sudeste de Córdoba, Argentina. Revista InVet 2014. P:39-47. ISSN: 1415-6634.

Pérez Carrera, L; Volpedo A.V y Fernández Cirelli, A. 2015. Del agua a los alimentos. Ciencia e investigación. Tomo 65, N°2. Año: 2015 p. 37 – 44

Ruiz, M.A. 2009. El análisis de tetrazolio en el control de la calidad de semillas. Caso de estudio: cebadilla chaqueña. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). EEA INTA Anguil. Publicación técnica N° 77.

Smith A., Lopipero P., Bates, M.; Steinmaus, C. 2002. Arsenic epidemiology and drinking water standards. Science 296: 2145-2146

Sobrero, M.C. y Ronco, A. 2004. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (Lactuca sativa L.). Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas, G. Castillo. Ed: Ottawwa, Canadá. P: 71-79.

UN (United Nations). 2001. Synthesis Report on Arsenic in Drinking Water. UN, Geneva: 360 p.

Volpedo, AV., Pérez Carrera, AL y Fernández Cirelli, A. 2016. Importancia del agua en el desarrollo de los sistemas de producción animal. Calidad de agua para las actividades agropecuarias. Red de calidad de agua para la producción agropecuaria. ISBN 978-987-42-0325-0.