

Caracterización de la calidad microbiológica del agua en hatos lecheros del Norte de Antioquia, Colombia

J Arismendi Duque, D Valencia Yepes y M F Cerón-Muñoz

Grupo de Investigación GaMMA, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, UdeA, Calle 70 N° 52-21, Medellín, Colombia.

grupogamma@udea.edu.co

Resumen

El agua es un factor indispensable y su calidad es poco tomada en cuenta por las producciones de lechería especializada. El objetivo es caracterizar la calidad microbiológica del agua, considerando las normas legales vigentes de la calidad del agua potable, utilizada en las fincas proveedoras de leche del Norte antioqueño. Los parámetros de calidad microbiológica del agua fueron analizados estadísticamente utilizando modelos generalizados aditivos suavizados con un efecto tensor semi-paramétrico entre coordenadas geográficas y un efecto fijo de lugar de toma de muestra. Se evidencia una baja calidad del agua porque únicamente el 5.9% de los predios cumplieron con los parámetros de potabilidad del agua. Se concluye que se deben establecer planes más rigurosos de protección de las fuentes hídricas, tratamiento del agua e investigar sobre los efectos negativos del consumo de aguas contaminadas en esta región.

Palabras clave: consumo de agua, coliformes, E. Coli, ganado de leche

Characterization of the microbiological quality of water in dairy herds of the north of Antioquia, Colombia

Abstract

Water is an indispensable factor and its quality is little taken into account in the specialized dairy production. The objective was to characterize the microbiological quality of the water, considering the current legal norms of the quality of the drinking water, used in the farms supplying milk from northern of Antioquia. The microbiological quality parameters of the water were statistically analyzed using generalized additive smoothing models with a semi-parametric

tensor effect between geographical coordinates and a fixed effect of sampling location. Low water quality is evidenced because only 5.9% of the farms complied with the potability parameters of the water. It is concluded that more rigorous plans for the protection of water sources, water treatment and research on the negative effects of the consumption of contaminated water in this region should be established.

Keywords: *water quality, dairy cattle, coliforms, E. coli*

Introducción

La cadena de producción láctea en Colombia es un sector muy importante dentro de la economía del país, la producción de leche es aproximadamente de 6.500 millones de litros por año, dejándola en el cuarto lugar de los países suramericanos en cuanto a volumen de producción (FAO 2006; IDF 2008; Ponce 2009). Hoy en día debido a la contaminación ambiental que presenta el planeta, es indispensable manejar adecuadamente los recursos que se utilizan en los sistemas de producción de ganadería de leche, haciendo énfasis en el agua, recurso vital y no renovable.

Para las producciones lecheras el agua es de gran importancia, ya que, además de servir como bebida para los animales, su uso también es fundamental en actividades relacionadas con el ordeño (Maldonado et al 1999) como el lavado de equipo y limpieza antes y después del ordeño. Es esencial, por lo tanto, que el productor de leche conozca la calidad del agua utilizada para el ordeño y para el consumo.

El ganado bovino especializado en producción de leche presenta consumos mayores de 100 L/d (Adams 1995), además se utilizan grandes volúmenes de agua para lavar los equipos de ordeño, los tanques de enfriamiento y las instalaciones, en los cuales se utiliza aproximadamente 150 a 300 L/d dependiendo de la capacidad de los equipos (Nosetti et al 2002).

La carga microbiológica es uno de los principales indicadores de calidad de agua utilizados en producción lechera (MPS y MAVDT 2007). El uso de agua de altos contenidos microbiológicos puede contaminar el ordeño y la refrigeración, comprometiendo la calidad de la leche. Esto es especialmente importante en lo que respecta a unidades formadoras de colonia (UFC), por lo que es imposible la obtención de alimentos como la leche que cumplan con los estándares exigidos por la legislación (Leite et al 2003). Además, el agua no tratada puede contener agentes causantes de mastitis, especialmente *Staphylococcus aureus*,

interfiriendo directamente en el animal y la calidad de la materia prima producida (Amaral et al 2004).

La resolución 2115 (MPS y MAVDT 2007), establece en Colombia cuales son niveles aceptables de cada elemento presente en el agua con el fin de asegurar la inocuidad de este líquido vital para el consumo humano y animal. Determina que el agua de cualquier origen, para ser considerada segura, debe estar libre de coliformes fecales. Esto indica que es necesario realizar análisis químicos y microbiológicos periódicamente para comprobar la potabilidad del agua.

Los coliformes pueden ser indicadores de contaminación fecal y por lo tanto un indicador de la calidad de agua, según Lager et al (2000), la contaminación bacteriana puede afectar la salud de los productores de leche, la ganadería, higiene y desinfección del equipo de ordeño y finalmente aumentar el conteo de UFC en el tanque de leche. El agua contaminada puede transportar microorganismos causantes de mastitis, el principal foco de microorganismos patógenos son el agua, el hombre, el animal y el ambiente (Cerqueira et al 2007).

El objetivo de este estudio fue caracterizar la calidad microbiológica del agua utilizada en las fincas proveedoras de leche del Norte antioqueño y analizar el cumplimiento de la resolución 2115/07.

Materiales y métodos

Localización

El estudio fue realizado en 153 fincas de los 8 municipios de la cuenca lechera del Norte antioqueño, Colombia, en los municipios de Bello, Belmira, Donmatías, Entrerrios, San José de la Montaña, San Pedro de los Milagros, Santa Rosa de Osos y Yarumal (Figura 1). Se georreferenciaron los puntos de muestreo y se utilizaron mapas veredales y municipales del Norte de Antioquia (IGAC 2003).

Figura 1. Localización de las ganaderías de 8 municipios del Norte de Antioquia donde se tomaron muestras de agua para análisis microbiológico.

En el Norte de Antioquia las principales fuentes de agua que abastecen las producciones lecheras son nacimientos que distribuyen las llaves de lavado los cuales en muchos casos no poseen un tratamiento de potabilización, otras producciones el agua que abastece proviene del acueductos veredales que ya ha

pasado un tratamiento para obtener agua de mejor calidad microbiológica apta para consumo humano y animal.

Toma de muestras

Se realizaron 423 análisis microbiológicos de agua de los predios en llaves donde se toma el agua para el lavado de equipos, tanques de reserva, nacimiento y bebederos (Tabla 1).

Tabla 1. Número de fincas muestreadas por municipio y número de análisis por punto de toma de muestra

Municipio	Fincas	Nacimiento	Bebedero	Lavado de equipos	Tanque de reserva	Total
Bello	19	8	16	16	6	46
Belmira	23	9	23	24	10	66
Donmatías	18	12	18	17	8	55
Entrerriós	18	12	14	18	4	48
San José de la Montaña	18	14	16	13	4	47
San Pedro	22	13	21	19	9	62
Santa rosa de osos	19	10	19	17	5	51
Yarumal	16	13	14	16	5	48
Total	153	91	141	140	51	423

Los análisis fueron realizados en la unidad de diagnóstico de la Facultad de Ciencias Agrarias en la Universidad de Antioquia, los cuales incluían; recuento de microorganismos mesófilos, Coliformes Totales, Mohos y levaduras y *Escherichia coli* (*E. Coli*) con base en lo especificado en la resolución 2115/07 del Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (MPS y MAVDT 2007), cuyos parámetros de referencia de buena calidad del agua en unidades formadoras de colonia por 100 cm³ son: 0 para coliformes totales y *Escherichia coli*, 100 para mesófilos y 10 para Hongos y levaduras

Para identificar la relación existente entre las variables de calidad microbiológica del agua con la localización de los puntos de muestreo georreferenciados y el lugar de la toma de muestra (nacimiento, bebedero, lavado de equipos y tanque de reserva) se realizaron análisis estadísticos con modelos aditivos generalizado suavizados con tensor semiparamétrico entre las coordenadas (longitud y latitud) y el efecto fijo de lugar de toma de muestra, teniendo en cuenta una distribución poisson (datos de conteo), utilizando la librería mgcv (Wood 2017) del software estadístico R-project (R Core Team 2018). Se generaron mapas con escala de colores con los valores predichos de las variables de calidad microbiológica.

Resultados y discusión

A pesar de que el 63% de las muestras cumplieron con la resolución colombiana 2115/07 (MPS y MAVDT 2007) en cuanto a *E. Coli*, la mayoría no cumplió con hongos y levaduras y mesófilos (64% y 74%, respectivamente) y peor aún con coliformes fecales (93.4%), lo que originó que apenas 5.9% de las muestras cumplieran con los cuatro criterios de potabilidad (Tabla 2 y 3). Situación alarmante para la población que utiliza estas fuentes de agua tanto para consumo humano, como para consumo animal. Por otro lado, esta situación empeora cuando comparamos los lineamientos establecidos por el gobierno colombiano y la Organización Mundial de la Salud (OMS), los Estados Unidos o los países miembros de la Unión Europea (WHO 2005; Santos et al 2009), quienes utilizan parámetros más rigurosos para declarar el agua potable, agregando análisis para controlar la presencia de mayor número de microorganismos, sustancias químicas y sustancias radioactivas que puedan ser tóxicas para los humanos o el medio ambiente y los animales que allí habitan (Santos et al 2009).

Tabla 2. Valores promedios de la cantidad de microorganismos Mesófilos y Coliformes que se encuentran en el agua de las fincas estudiadas.

Municipio	Mesófilos			Coliformes		
	Promedio	Mediana	Cumplimiento (%)	Promedio	Mediana	Cumplimiento (%)
Bello	1264±3492	161	41,3	332±1478	18	17,4
Belmira	3316±9334	485	22,7	611±2818	54,5	1,52
Don Matías	6251±15484	980	18,2	2047±8199	110	1,82
Entrerriños	3878±8937	735	14,6	312±834	62	6,25
San José	5669±12029	890	17	1294±3074	119	0
San Pedro	3413±12576	266	30,6	551±2139	40	19,4
Santarosa	4060±9242	490	27,5	368±1021	42	11,8
Yarumal	1287±2937	345	31,3	137±336	42	2,08

* De acuerdo con la resolución 2115/07, relacionado con los parámetros para calidad de agua de consumo humano para Colombia (MPS y MAVDT 2007)

En la Figura 2 se muestran los mapas generales de calidad de agua para mesófilos y coliformes y en la Figura 3 la cantidad de mesófilos por lugar de muestreo. El color rojo indica que no se está dando cumplimiento a la resolución 2115/07 (MPS y MAVDT 2007), el color verde muestra las fincas que cumplen los valores máximos permitidos por la resolución y los demás colores indican valores no muy alejados de los que la resolución establece para que el agua sea declarada potable, en especial en los bebederos, lo que indica el poco recambio y la baja calidad del agua de bebida para los animales (Figura 3). Se puede ver la baja calidad del agua en cuanto a la cantidad de mesófilos presentes, ya que hay una alta presencia de estos microorganismos, y se evidencia que el agua tomada en el nacimiento posee una alta carga microbiana, lo que es alarmante, ya que

este es el punto de toma inicial del agua para posteriormente ser distribuida a bebederos, lavado de equipo entre otras.

Figura 2. Distribución de microorganismos mesófilos y coliformes las aguas usadas en las ganaderías del Norte de Antioquia, Colombia.

Figura 3. Mesófilos en el agua por diferentes puntos de toma de muestra; nacimiento, tanque reservorio, bebederos y llave de lavado de equipos de ordeño en las ganaderías del Norte de Antioquia, Colombia. Color rojo indica valores elevados de microorganismo, color verde y azul indica niveles adecuados de microorganismos.

Según la resolución 2115 (MPS y MAVDT 2007) de Colombia el número de coliformes presentes en el agua debe ser de 0 UFC/ml para ser considerada apta para consumo, por lo cual las fincas evaluadas en el Norte de Antioquia no cumplen con la norma ya que el 94,1% de las muestras están por encima del valor mínimo establecido en todos los puntos de toma siendo más crítico en bebedero y en llave de lavado de equipo (Figura 4) estos valores indican una alta carga de microorganismos que puede llegar a afectar la salud del animal e inocuidad del producto. La presencia de coliformes totales en el agua no indica estrictamente presencia de contaminación fecal o microorganismos patógenos pero la presencia de coliformes fecales puede indicar presencia de microorganismo como *Salmonella* y *E. Coli* que pueden afectar la salud del animal y del consumidor del producto final (Nascimento et al 2004).

Figura 4. Coliformes en agua en diferentes puntos de toma de muestra; nacimiento, tanque reservorio, bebederos y llave de lavado de equipos de ordeño.

En un estudio realizado por Franco et al (2014), encontraron que la calidad de agua en la región caribe colombiana es aún más deficiente que en Antioquia con porcentajes de cumplimiento de sólo 1,7% de la resolución 2115/07, donde se encontraron aguas con cargas elevadas de coliformes y mesófilos, que representan un gran riesgo para la salud humana que utiliza esta agua, provocando serias enfermedades principalmente en niños y ancianos (Arcos

Pulido et al 2005) y representando grandes costos para el gobierno en la atención médica de los pacientes enfermos.

El 63% y 36% de las muestras presentaron 0 UFC/ 100 cm³ de *E. Coli*, y valores menores de 10 UFC/100cm³ de hongos y levaduras, respectivamente, para dar cumplimiento a los valores permitidos en Colombia por la Resolución 2115 (Tabla 3). En la Figura 5 se muestran los mapas generales de calidad de agua para hongos y levaduras y *E. Coli*, encontrando regiones con buenos parámetros de calidad de agua. Como se indica en la Figura 6, no se encontró buena calidad de agua en *E. Coli* en los bebederos que puede afectar a los animales con pocos días de nacidos. Según Diez et al (2008), la presencia de *E. Coli* en terneros neonatos puede producir diarreas líquidas y amarillentas que rápidamente desencadena la deshidratación y acaba con la vida del ternero, esto es de gran importancia debido a que en producciones lecheras el manejo de las terneras de reemplazo es un factor clave para evitar grandes pérdidas económicas. En vacas adultas la presencia de *E. Coli* puede desencadenar una mastitis ya que este microorganismo es un patógeno ambiental transmitido entre ordeños por el ambiente (Fernández et al 2012).

Tabla 3. Valores promedios de la cantidad de microorganismos *E. coli* y mohos y levaduras que se encuentran en el agua de las fincas estudiadas.

Municipio	<i>Escherichia coli</i>			Mohos y levaduras		
	Promedio	Mediana	Cumplimiento (%)	Promedio	Mediana	Cumplimiento (%)
Bello	4,4±15,9	0	67,4	60±108	24	41,3
Belmira	10,9±62,4	1	46,9	136±557	30	31,8
Don Matías	11,1±26,7	0	58,2	135±319	32	18,2
Entrerriós	12,2±41,8	0	58,3	66,7±120	30	35,4
San José	41,8±144	0	53,2	112±354	23	31,9
San Pedro	10,8±41,4	0	64,5	87,5±176	21	38,7
Santarosa	3,6±15,2	0	78,4	59,7±252	7	50,9
Yarumal	1,5±6,4	0	79,2	21,5±22,1	13	41,6

* De acuerdo con la resolución 2115/07, relacionado con los parámetros para calidad de agua de consumo humano para Colombia (MPS y MAVDT 2007)

Figura 5. Distribución de *E. Coli* y mohos y levaduras en las aguas usadas en las ganaderías del Norte de Antioquia, Colombia.

En el caso de la *E. Coli* es habitante normal del suelo e intestino de las vacas. Se acumula y multiplica en la materia fecal, pueden causar una variedad de síntomas

de la enfermedad, desde una simple inflamación local, hasta severos cuadros de enfermedad y muerte (Pérez et al 2007).

Según Adesiyun et al (1997) en un estudio realizado en el que se recolectaron muestras de leche en tanque, el 47% presentaban *E. Coli* y solamente el 5% estaban asociadas a mastitis subclínica, lo que evidencia la importancia de adoptar buenas prácticas de ordeño y lavado de equipo.

Es necesario que los ganaderos generen mecanismos de control del agua de bebederos como el recambio constante del agua, lavado de los recipientes e implementos y sistemas de protección que permitan que únicamente los vacunos ingresen a tomar agua.

Figura 6. *E. Coli* en el agua por diferentes puntos de toma de muestra; nacimiento, tanque reservorio, bebederos y llave de lavado de equipos de ordeño.

Moreira et al (1973) analizaron 17 muestras de agua provenientes de propiedades lecheras en Minas Gerais, observaron que 10 de estas presentaban contaminación fecal, debido a la localización de instalaciones sanitarias.

En un estudio realizado en Sao Paulo (Brasil), el 90% de las propiedades lecheras evaluadas presentaban condiciones higiénico-sanitarias precarias y características microbiológicas del agua inferiores a las establecidas para ser considerada agua potable (Amaral et al 2004). Otro estudio realizado en Santa Catarina (Brasil) donde analizaron la calidad de la leche y el agua, se encontró que la calidad microbiológica del agua era insatisfactoria, 95% de las muestra tomadas en diferentes fuentes como pozo artesano, riachuelo, cisterna y abastecimiento público no cumplían con lo estipulado para considerarse potable e interfieren en la calidad sanitaria de la leche (João et al 2010).

En Argentina se realizó un estudio donde se evaluó la influencia de los parámetros microbiológicos del agua en la calidad higiénica de la leche y encontraron que agua con cargas elevadas de microorganismos aumentan la incidencia de mastitis, recuento de células somáticas (RCS) y unidades formadoras de colonia en la leche (UFC) (Herrero 2000). Las principales fuentes de contaminación de la leche; son el agua que está en la superficie del equipo de ordeño y tanque de almacenamiento y la que entra en contacto con el animal como en la limpieza de los pezones, por tanto si se utiliza agua de baja calidad se

espera que los microorganismos en leche del tanque aumenten (Cerqueira et al 2007) y la calidad de la leche se vea afectada en el aumento de UFC.

Conclusiones

- El agua utilizada en la mayoría de las producciones de leche del Norte de Antioquia no cumple los parámetros de potabilidad del agua en Colombia para consumo animal lo cual podría repercutir en una afectación de la calidad de la leche y la salud de los animales del hato
- Se deben establecer planes más rigurosos de protección de las fuentes hídricas, redes de distribución, tratamiento del agua e investigar sobre los efectos negativos del consumo de aguas contaminadas en esta región.

Agradecimientos

Al proyecto “Fortalecimiento de la producción de la cadena láctea del distrito Norte Antioqueño”, convenio N° 2012AS180031 firmado entre La Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural del Departamento de Antioquia, La Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín) y La Universidad de Antioquia, con recursos del Sistema General de Regalías- SGR. Se recibió el apoyo del Comité para el Desarrollo de la investigación- CODI (Joven Investigador CODI 2016 y Estrategia para la Sostenibilidad del grupo GaMMA).

Referencias

Adams R S 1995 Calculating drinking water intake for lactating cows. Dairy reference manual, Ithaca, NY: Northeast Regional Agricultural Engineering Service.

Adesiyun A A, Webb L A, Romain H and Kaminjolo J S 1997 Prevalence and characteristics of strains of *Escherichia coli* isolated from milk and feces of cows on dairy farms in Trinidad. *Journal of Food Protection*, 60(10):1174-1181. <http://jfoodprotection.org/doi/pdf/10.4315/0362-028X-60.10.1174>

Amaral L A, Nader Filho A e Rossi Júnior O D 2003 Ocorrência de *Staphylococcus sp.* em água utilizada em propriedades leiteiras no Estado de São Paulo. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 55(5):620-623. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352003000500017

Arcos M P, Ávila de Navia S L, Estupiñan S M y Gómez Prieto A U 2005 Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*.3(4):69-79 http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf

Cerqueira M M O, Almeida L C, Fonseca da Moraes L, Souza de Resende M, Olivera M, Penna C F A e Rodrigues R 2007 Qualidade da água e seu impacto na qualidade microbiológica do leite. Revista Leite Integral, Belo Horizonte. 7:54- 61.

Díez A, Ángel J and Rejas López J 2008 Procesos entéricos en vacunos. Revista Veterinaria REDVET. 3(7):1-17

FAO 2006 Milk and Milk Products. FAO-Food Outlook Global Market Analysis. 2006: 2:46-52. <http://www.fao.org/docrep/009/j8126e/j8126e11.htm>

Fernández O F, Trujillo J E, Peña J J y Cerquera J 2012 Mastitis bovina: Generalidades y métodos de diagnóstico. Revista Veterinaria REDVET. 13(11). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111112/111202.pdf>

Franco P A, López L A y Orosco M E 2014 Calidad microbiológica del agua destinada para consumo humano en siete municipios de la región Caribe Colombiana. CienciActual. 3:60-69. <http://www.revistas.usb.edu.co/index.php/CienciActual/article/download/1593/2043>

Herrero M A, Iramain M S, Korol S, Buffoni H, Flores M y Fortunato M 2002 Calidad de agua y contaminación en tambos de la cuenca lechera de abasto sur, Buenos Aires (Argentina). Revista Argentina de Producción Animal. 22(1):61-70. http://www.produccionbovina.com.ar/agua_bebida/40-herrero.pdf

IDF International Dairy Federation 2008 IDF The World Dairy Situation in 2008. IDF Bulletin. 432/2008. http://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/04/PR_WDS2008-2008-01354.pdf

IGAC 2003 Cartografía Base. Shp del departamento de Antioquia con municipios y veredas. Permiso de uso Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Gobernación de Antioquia.

João H J, Veiga C A, Neto A T, Almeida L C, Jacó J e Marín G 2011 Qualidade da água utilizada na ordenha de propriedades leiteiras do Meio Oeste Catarinense, Brasil. Revista de Ciências Agroveterinarias.Lages. 10 (1): 9-15

Lagger J R, Mata H T, Pechin G H, Larrea A T, Otrosky R N, Cesan R O, Caimier A G y Meglia G E 2000 La importancia de la calidad de agua en producción lechera. Sitio Argentino de Producción Animal. 17(165)346-354.

Leite C F, Anno I S, Leite S R, Roxo E, Morlock G P and Cooksey R C 2003 Isolation and identification of mycobacteria from livestock Specimens and milk obtained in Brazil. Proceedings Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro. 98 (3): 319-323. https://www.researchgate.net/publication/233153251_Leite_et_al_2003

Maldonado May, Herrero M A, Sardi G, Flores M, Carbó L, Cyingiser A y Martínez E 1999 Calidad del agua en tambos de la cuenca lechera oeste de la Provincia de Buenos Aires. Veterinaria Argentina. 16 (157) 506-513.

Moreira W S, Lima C S, Oliveira Q, Scotti Q, Bitencourt A F y Silva L S 1973 Condiciones sanitarias del agua utilizada en granjas lecheras en un municipio de Brasil. Boletín Oficina Sanitaria Panamericano. 75(5):450-451.

MPS Ministerio de la Protección Social y MAVDT Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 2007 Resolución 2115, Ministerio de la protección social, Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf

Nascimento C A y Marquezini M 2004 Microbiología de ambientes especiales. Revista PIBIC 1 (1): 7-14.

Nosetti L, Herrero M A, Pol M, Maldonado May V, Iramain M S y Flores M 2002 Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros. I. Demanda de agua y manejo de efluentes. Revista InVet 4(1):37-43.

Pérez C G, Bedolla C C y Castañeda V H 2007 Métodos de detección de la mastitis bovina. REDVET. 8(9). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090907/090702.pdf>

Ponce P 2009 Un enfoque crítico de la lechería internacional y cubana. Revista de Salud Animal 31(2):77-85. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2009000200002

R Core Team 2018 R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>

Santos J, Guerrero L, Reyna R y Mejía G 2009 Marco legislativo del suministro de agua en México. Revista Panamericana de Salud Publica. 26(6):549–52. <http://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v26n6/11.pdf>

WHO World Health Organization 2005 Guidelines for Drinking Water Quality. Geneva: WHO. 115P. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf

Wood S 2017 Mixed GAM Computation Vehicle with GCV/AIC/REML smoothness estimation and GAMMs by REML/PQL. <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/mgcv/html/mgcv-package.html>.

Received 9 March 2018; Accepted 28 June 2018; Published 1 August 2018