



Artículo: COMEII-15016

I CONGRESO NACIONAL COMEII 2015

Reunión anual de riego y drenaje

Jiutepec, Morelos, México, 23 y 24 de noviembre

ANÁLISIS DE LA CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL AGUA EN EL DISTRITO DE RIEGO 023, SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO

Nami Morales-Durán¹ Víctor García-Sánchez¹, Anai De la Torre-González¹, Carlos Chávez²

¹Laboratorio de Microbiología Molecular, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Aeropuerto. Anillo vial Fray Junípero Serra; 76140 Santiago de Querétaro, Qro.

²Centro de Investigaciones del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de Las Campanas S/N, Las Campanas, 76010 Santiago de Querétaro, Qro.

Resumen

La presencia de patógenos en los cuerpos de agua representa un riesgo potencial de muchas enfermedades infecciosas como la salmonelosis o shigellosis. Por ello, es importante realizar constantes monitoreos sobre la calidad de dicho recurso. La presencia y cantidad de coliformes fecales son un parámetro biológico empleado para determinar si el agua es apta o no para su uso. Actualmente, la Ley de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2014 y la NOM-001-SEMARNAT-1996 estipulan los lineamientos para determinar la calidad del agua de diferentes fuentes. En el presente estudio se evaluó la calidad del agua de diferentes cuerpos de agua pertenecientes al Distrito de Riego 023, San Juan del Río mediante el conteo de coliformes fecales presentes. Se encontró que algunos tipos de agua no cumplen con los límites que establecen las normas para garantizar la seguridad del agua en el riego agrícola.

Palabras clave: Coliformes fecales, indicadores de contaminación, agua, microbiología.



Introducción

El agua es un recurso vital e indispensable en el área agrícola (Leal-García, 2013). Sin embargo, muchas actividades humanas alteran de manera irreversible las características biológicas y fisicoquímicas del agua (Guzmán-Colis *et al.*, 2011). Entre estas actividades que incrementan el riesgo de contaminación de este recurso se encuentra la canalización de drenajes agrícolas, las descargas de aguas residuales de origen industrial y doméstico, la producción de basura, el cambio de uso de suelo, el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos, entre otros (Padilla *et al.*, 2010; Chávez *et al.*, 2011). Esto trae como consecuencia el deterioro de la calidad del agua ya que incrementa el contenido de sales, compuestos tóxicos metálicos y organismos patógenos (Rosas *et al.*, 1984) que tienen consecuencias severas en el ecosistema y la salud pública. Por ello, es indispensable conocer los parámetros integrativos, fisicoquímicos y biológicos, que nos indican el estado de calidad de un cuerpo de agua (Guzmán-Colis *et al.*, 2011; NOM 001, 1996).

La presencia de contaminantes fecales, determinado por la concentración de coliformes fecales, es uno de los parámetros utilizados en la calidad del agua (Gruber *et al.*, 2014), ya que los coliformes son un grupo de bacterias termotolerantes que habitan en el intestino de animales de sangre caliente. El riego con agua contaminada con coliformes fecales incrementa la contaminación en los productos agrícolas, y esto a su vez, el riesgo de contraer enfermedades infecciosas que producen diarreas, salmonelosis, shigelosis, etc. por el consumo de estos productos (Rosas *et al.*, 1984). Sin embargo, el riesgo de contaminación puede ser minimizado por el correcto tratamiento de las aguas a usar (Al-Lahham *et al.*, 2003). Para ello existen normas mexicanas y leyes como la Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2014 y la NOM-001-SEMARNAT-1996, que regulan los límites máximos de los parámetros fisicoquímicos y biológicos para preservar y controlar la calidad de las aguas. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua en el Distrito de Riego 023 mediante la concentración de coliformes fecales.

Materiales y métodos

Descripción del sitio de toma de muestra

El Distrito de Riego 023 está ubicado entre los municipios de San Juan del Río y Pedro Escobedo, Querétaro. Posee una superficie de 11 048 ha. El agua para riego es tomada de las Presas San Ildefonso, Constitución de 1917, La Llave y del bordo La Venta; además del agua de 54 pozos profundos (Cisneros *et al.*, 2014). El análisis en este Distrito se realizó en 53 puntos que se indican en la Figura 1.

Toma de muestra

Los puntos de toma de muestra fueron seleccionados dependiendo de la disponibilidad de agua en zonas de los Distritos de Riego; procurando que fueran zonas representativas y que estuvieran situados de manera uniforme en todo el Distrito.

Las muestras de agua se obtuvieron durante el mes de Abril y Junio, fueron colectadas en frascos de 100ml y se mantuvieron en oscuridad hasta su análisis en el laboratorio. En cada punto de toma de muestra se realizaron mediciones de pH, temperatura, sólidos disueltos y conductividad eléctrica con el medidor multiparamétrico portátil HI9813-5.



Figura 1. Ubicación de los sitios de toma de muestra del DR 023, San Juan del Río.

Análisis de coliformes

En condiciones de esterilidad, las muestras se homogeneizaron y realizaron diluciones a cada muestra con agua destilada estéril. Se tomó un mililitro de la muestra diluida y se inoculó en placas Petrifilm para coliformes y enterobacterias, siguiendo las instrucciones del fabricante. Las placas fueron incubadas a 37 °C por 24 horas. El conteo de coliformes se llevó a cabo por el método aprobado por la Asociación Francesa de Normalización, el cual consiste en contar todas las colonias rojas con o sin producción de gas. Se empleó un contador de colonias perteneciente al Laboratorio de Microbiología de la Universidad Autónoma de Querétaro para el recuento Unidades Formadoras de Colonias (UFC) bacterianas. En casos donde el crecimiento de colonias fue abundante (mayor a 150 UFC), se realizó el conteo mediante cuadrantes en el que se cuentan las colonias de varios cuadrantes representativos, se obtiene el promedio y se multiplica por 20 (ya que el área de crecimiento de la placa es de 20 cm²) para obtener el número de UFC aproximado.



Análisis de calidad de agua

Para establecer el límite máximo de coliformes fecales y sólidos disueltos en cuerpos de agua se tomó como referencia la Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2014 para todas las muestras a excepción de los puntos correspondientes a Drenes.

Análisis estadísticos

Los datos del DR 023 fueron analizados con la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, y la prueba de Dunn.

Resultados

Los resultados de los análisis del agua realizados en diferentes puntos de muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción de las condiciones de temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, potencial de hidrógeno (pH) y promedio de las unidades formadoras de colonia (UFC) para coliformes totales, fecales y enterobacterias de los puntos de toma de muestra del Distrito de Riego 023.

Nombre	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Sólidos disueltos (PPM)	pH	Promedio de UFC/100ml			Tipo de agua según la carga de coliformes fecales (NOMCCA-033-ECOL/1993)	Tipo de agua según la carga de coliformes totales (NOMCCA-033-ECOL/1993)
					Coliformes totales	Coliformes fecales	Enterobacterias		
Descarga Kimberly	30	0.37	200	7.6	37333300	0	8500	-	-
Presa Derivadora Constitución 1857	18	0.09	78	8.2	51333	5333	6733	TIPO 3	-
Desarenador	17	0.1	82	7.5	100000	0	23200	-	-
Barrio de la Cruz	19.6	0.05	97	7	38000	3000	14200	TIPO 3	-
Estación de Aforo Lomo de Toro	20.2	0.1	80	6.9	0	0	0	-	x
Lateral Kimberly	21.6	1.29	950	7.6	89000	1000	9333	TIPO 2	-
Regadera Zona de Kimberly	21.6	1.1	96.9	8	357000	4000	37867	TIPO 3	-
Lateral 6+640	20.2	0.1	80	7.3	94000	2000	5367	TIPO 3	-
Sublateral +500	20.7	0.1	82	7.2	49333	2333	5000	TIPO 3	-
Presa La llave	18.4	1.52	388	6.6	2966633	1733333	3333	TIPO 4	-
Dren Culebra 1	19.8	0.77	580	7.1	163333367	22666667	17267	TIPO 4	-
Dren Santa Matilde (Medio)	21.1	0.44	305	6.8	1166667	566667	1733	TIPO 4	-
Dren Caracol (Principio)	20.3	0.34	200.49	6.9	31367	1667	2867	TIPO 3	-
Sublateral 9+500	21.8	0.16	124	7.3	78000	30667	8500	TIPO 3	-
Lateral 8+ 705	22.2	0.19	146	8.9	125999967	21666667	34822	TIPO 4	-
Lateral junto al Pozo 15	24.3	0.13	98	7.4	33333	11000	55400	TIPO 3	-
Dren Ledezma	21	0.08	70	7.6	20633	1333	9967	TIPO 3	-
Lateral 10 + 785	21.6	0.08	62	7.4	25333	5333	51600	TIPO 3	-
Dren Santa Matilde (Inicio)	21.7	0.32	240	7.2	42967	2667	14967	TIPO 3	-
Dren Caracol 2	22	0.2	223	6.7	2333	0	300	-	-
Obra de toma de la Presa Constitución 1917	26.4	0.12	51	8.3	26333	1000	8900	TIPO 2	-
Laterales 2+ 607(1)	23.7	0.12	92	6.7	72333	43333	6433	TIPO 3	-
Lateral 8+ 100	24.6	0.12	99	7.3	40000	20000	4300	TIPO 3	-
Lateral 8+590(1)	23.6	0.1	87	7.3	83300	50000	4533	TIPO 3	-
Lateral Pozo 41	23.2	0.14	10	7.1	62967	36667	6700	TIPO 3	-
Entubamiento 13+ 103	24.1	0.15	117	7.1	102967	66667	16533	TIPO 3	-
Lateral 17 +108 del Pozo 44	25.7	0.15	114	6.8	49667	16667	6200	TIPO 3	-

Nota: El guion “-” se empleó para datos que no entran en la clasificación de acuerdo a la norma. El signo “x” se empleó para muestras que no presentaron coliformes totales y que no entran dentro de la clasificación de la norma.



Continuación del cuadro 1.

Nombre	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (mS/cm)	Sólidos disueltos (PPM)	pH	Promedio de UFC/100ml			Tipo de agua según la carga de coliformes fecales (NOMCCA-033-ECOL/1993)	Tipo de agua según la carga de coliformes totales (NOMCCA-033-ECOL/1993)
					Coliformes totales	Coliformes fecales	Enterobacterias		
Represa Radial 9	27.5	0.27	199	6.7	0	0	1633	-	x
Presa La Venta	27.3	0.35	250	9.3	78000	133333	14100	TIPO 3	-
Dren Culebra 3	22.8	0.59	429	7.3	14833333	19333333	20800	TIPO 4	-
Presa La Venta Obra de Toma	24.8	0.34	245	8.8	9633	3333	28667	TIPO 3	-
Canal Lateral 12 +345	27.8	0.23	167	8.2	73333	36667	34200	TIPO 3	-
Dren la D	24.9	0.62	448	7.5	2800000	1400000	3933	TIPO 4	-
Lateral 8 + 590(2)	22.4	0.12	98	7.8	73633	43333	4867	TIPO 3	-
Sublateral 2+ 406	23.8	0.12	92	9.5	107033	3333	63733	TIPO 3	-
Cruce camino a Chintepec 8 + 100	24	0.12	95	8.7	33333	13333	2800	TIPO 3	-
Final del Lateral 8 + 100	26.7	1.22	880	7.5	1333300	0	1000	-	-
Final del Canal Bombeo La Valla	23	1.85	1354	7.5	21333333	13333333	4900	TIPO 4	-
Dren Lourdes	22.7	1.78	1322	7.6	13933300	3600000	9000	TIPO 4	-
Dren Culebra (Inicio)	26.4	1.56	1133	7.6	18666633	3333333	3267	TIPO 4	-
P1. San Ildefonso (Descarga de la Obra de Toma)	15	0.09	73	7.5	0	0	1200	-	x
P2. San Ildefonso (Descarga de la Obra de Toma)	15.2	0.09	66	7.8	1667	0	600	-	-
Vaso de la Presa San Ildefonso	21.1	6.1	79	8.6	87333	35333	12500	TIPO 3	-
La Cascada	17.4	0.17	130	7.4	3667	0	2400	-	-
Río prieto	21.7	0.06	47	7.3	8300	0	3133	-	-
Brazo Izquierdo Río San Juan.	22	5.15	10000	8.6	97333	3333	14100	TIPO 3	-
Descarga de planta tratadora (San Pedro 2)	28.5	2.41	1720	7.5	7899967	4166667	9533	TIPO 4	-
Descarga de planta tratadora (San Pedro 1)	27	2.73	10000	7.7	148000000	41000000	4167	TIPO 4	-
Descarga Municipal S.P.I. (I)	27.6	7.58	10000	7.5	8466633	4233333	38133	TIPO 4	-
Descarga Municipal Ponderosa	27.8	2.2	1644	7.5	3700033	1733333	3833	TIPO 4	-
Antes de las descargas	26.5	4.7	10000	7.9	52000000	21000000	6533	TIPO 4	-
Río San Juan	28.2	2.98	10000	7.3	7999967	5666667	2700	TIPO 4	-
Canal Lateral 2 + 607(2)	25.2	0.13	98	8.2	63667	5333	10400	TIPO 3	-

El agua, como uno de los recursos naturales más importantes, debe cumplir estándares de calidad bacteriológica y fisicoquímicas para ser aplicado en el uso de riego de hortalizas. Por lo que prevenir su contaminación es una medida que ayuda a la prevención de diversas enfermedades. Los resultados del estudio muestran sitios donde la cantidad de microorganismos coliformes fecales supera los límites establecidos por las legislaciones mexicanas. Se detectó que las diferentes presas como la Presa La Llave supera con tres órdenes de magnitud el límite de 1000 UFC/100ml, así como otras obras mayores que también superan este límite (Figura 2), aunque con diferente magnitud. Dichas diferencias pueden ser atribuibles a las condiciones a las que están expuestas, lo que incluye factores biológicos como la presencia de plantas acuáticas (Lahham *et al.*, 2003), factores antropológicos como los desechos de residuos o las condiciones fisicoquímicas de la zona que favorecen el crecimiento de microorganismos. Esta situación también se observa con los canales laterales (Figura 3) y canales sublaterales (Figura 4), los cuales en varios puntos sobrepasan el límite antes mencionado. La presencia de estos microorganismos en los canales se pueden atribuir a diversos factores, por ello se requieren realizar más estudios que ayuden a identificar el origen de la contaminación en estos flujos de agua. Los SDT son una medida biológica importante, ya que este parámetro representa el total de material soluble capaz de ser utilizado como sustrato para el crecimiento o procesos de oxidación biológica por microorganismos. De ahí la importancia de establecer límites de las cantidades de material soluble en cuerpos de agua. Los resultados mostraron que, salvo dos canales laterales (Figura 6), ningún punto supera el límite máximo de 500 ppm de SDT que estable la norma. Los puntos que sobrepasan este valor pueden estar sujetos a procesos de contaminación externa.

La calidad microbiológica del agua es un tema emergente dentro de los sistemas de riego, ya que este es uno de los principales mecanismos de transmisión de enfermedades a la población que consume productos regados con aguas contaminadas. Este tipo de temas no debe permanecer desapercibido dentro del mantenimiento de las estructuras hidráulicas, ya que es una de las medidas de prevención de enfermedades de importancia clínica, al garantizar cultivos seguros para su consumo.

En la Figura 2 se muestra que los puntos Presa Derivadora Constitución de 1857, La Presa La Llave, La Presa La Venta, Presa La Venta Obra de Toma y el Vaso de la Presa San Ildefonso sobrepasan los 1000 UFC/100ml, mientras que la Obra de toma de la Presa Constitución de 1917 se encuentra próxima a superar este límite. Con un $\alpha= 0.05$, se encontró que algunas presas no presentaron diferencias estadísticas significativas, siendo las presas: La Llave, la Presa Derivadora Constitución de 1857, la Presa La Venta y al Vaso de la Presa San Ildefonso con la mayor cantidad de coliformes fecales y sin diferencias entre sí; esto puede ser debido a la presencia de plantas acuáticas o al depósito de desechos, que propicien un ambiente ideal para el desarrollo de bacterias. Existen casos interesantes, como por ejemplo la Presa La Venta Obra de toma que es estadísticamente similar a la Presa Derivadora Constitución de 1857 pero no a la Presa La Llave, esto quizás es explicado por la presencia de lirio en esta última.

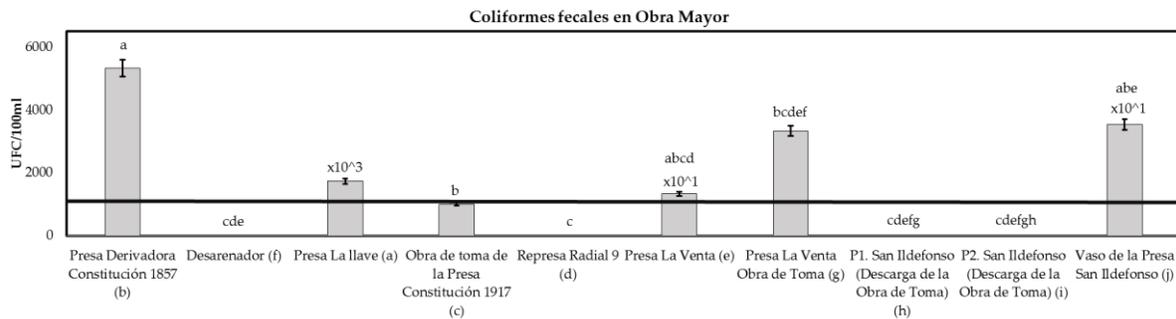


Figura 2. Total de UFC en agua de distintas Obras Mayores del Distrito de Riego 023 San Juan del Río. La línea indica el límite máximo permisible de coliformes fecales (1000/100ml UFC) establecido por la Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2014. El punto (a) representa la milésima parte de las UFC totales; los puntos (e) y (j) representa la décima parte de las UFC totales. Cada letra sobre las barras significa valores estadísticamente iguales con el respectivo punto.

Algo similar se observa en la Figura 3, en donde se encontraron similitudes estadísticas ($\alpha= 0.05$) entre diferentes canales respecto a su carga bacteriana, así como diferencias significativas entre ciertos canales, por ejemplo el Lateral 8 + 100 con el Lateral 8 + 705; en este caso se observa un aumento en la cantidad de UFC, probablemente debido al desecho de materia orgánica al canal.

Respecto a los canales sublaterales, se detectó que todos sobrepasaban el límite de 1000 UFC/ml, así como la presencia de diferencias significativas ($\alpha= 0.05$) entre sí, siendo el Sublateral 9+500 el más contaminado de los tres.

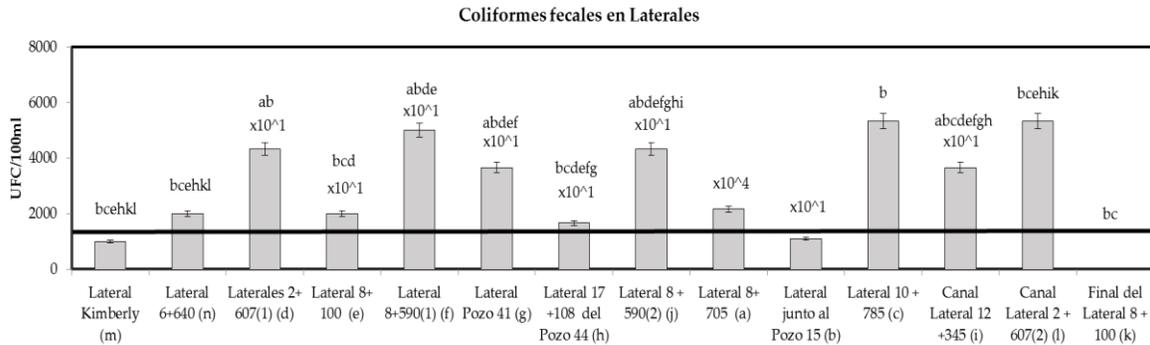


Figura 3. Total de UFC en agua de distintos canales laterales del Distrito de Riego 023 San Juan del Río. La línea indica el límite máximo permisible de coliformes fecales (1000/100ml UFC) establecido por la Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2014. El punto (a) representa la diezmilésima parte de las UFC totales; los puntos (b), (d), (e), (f), (g), (h), (i), (j), representan la décima parte de las UFC totales. Cada letra sobre las barras significa valores estadísticamente iguales con el respectivo punto.

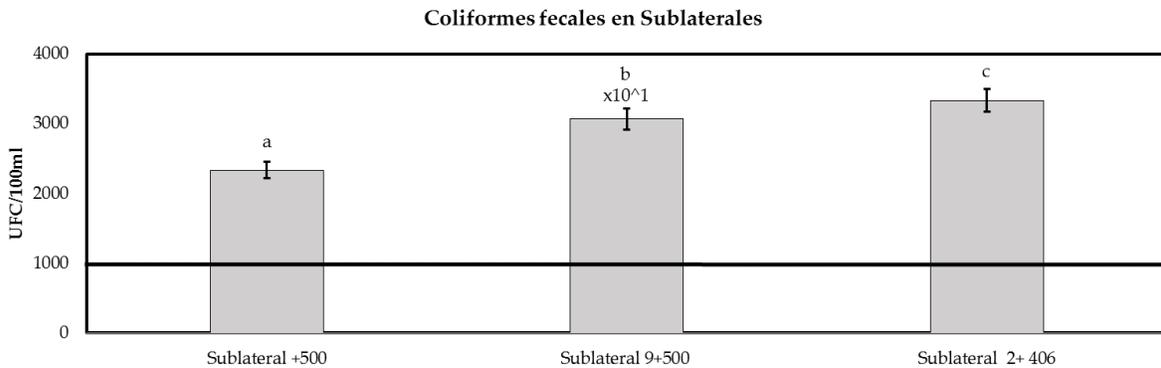


Figura 4. Total de UFC en agua de distintos canales sublaterales del Distrito de Riego 023 San Juan del Río. La línea indica el límite máximo permisible de coliformes fecales (1000/100ml UFC) establecido por la Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2014. El punto Sublateral 9+500 representa la décima parte de las UFC totales. Cada letra sobre las barras significa valores estadísticamente diferentes.

La medición de los sólidos disueltos es una variable fisicoquímica expresada en partes por millón (ppm) importante para los procesos de irrigación de diferentes cultivos, ya que da un aproximación a la salinidad total presente en el agua. Los niveles de sólidos disueltos en las diferentes presas mostraron para la mayoría de los puntos, niveles adecuados (Figura 5). Cabe destacar que la Presa la Llave está próxima al límite máximo permitido por la norma.

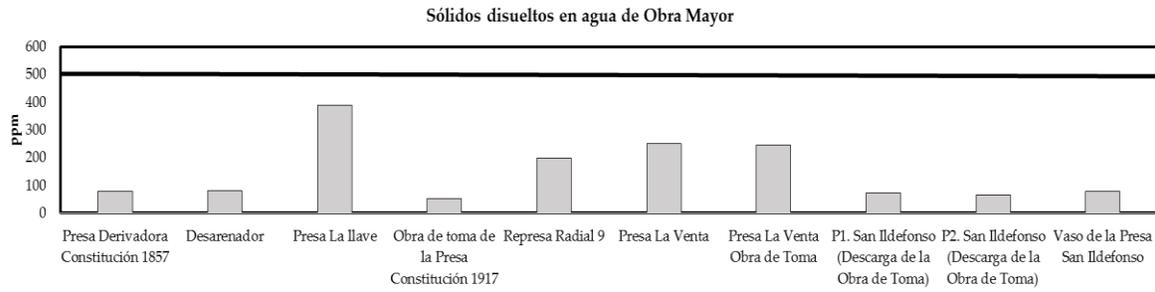


Figura 5. Sólidos Disueltos Totales (SDT) en agua de distintas Obras Mayores del Distrito de Riego 023 San Juan del Río. La línea indica el límite máximo permisible de SD (500 ppm) establecido por la Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2014.

En las muestras correspondientes a Laterales (Figura 6), hubo dos puntos que excedieron los niveles de sólidos disueltos permitidos. Estos puntos corresponden al Lateral Kimberly y el Final del Lateral 8 + 100, sugiriendo que el agua de estas zonas no es apta para su uso agrícola de acuerdo a la norma. En el agua de sublaterales se muestra que en los puntos analizados ninguno superó el límite máximo permitido, siendo esta agua apta para su uso agrícola (Figura 7).

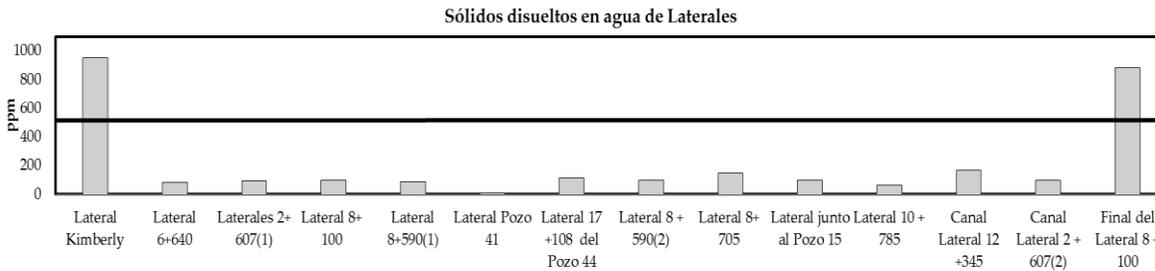


Figura 6. Sólidos Disueltos Totales (SDT) en agua de distintos canales laterales del Distrito de Riego 023 San Juan del Río. La línea indica el límite máximo permisible de SD (500 ppm) establecido por la Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2014.

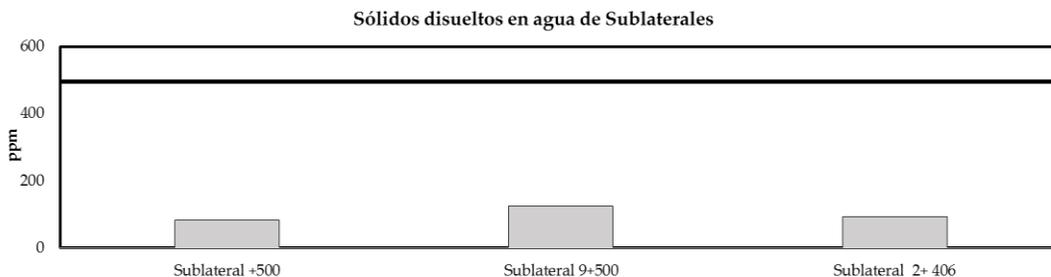


Figura 7. Sólidos Disueltos Totales (SDT) en agua de distintos canales sublaterales del Distrito de Riego 023 San Juan del Río. La línea indica el límite máximo permisible de SD (500 ppm) establecido por la Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2014.



Conclusiones

Tener en cuenta la calidad bacteriológica del agua, es de gran importancia debido al riesgo de adquirir alguna enfermedad relacionada con la ingesta de alimentos contaminados por el agua utilizada en el riego agrícola. Sin embargo, en este estudio se brinda un panorama general de las condiciones microbiológicas de las diferentes fuentes de agua que se utilizan en el Distrito de Riego 023, San Juan del Río. Se encontró que algunos tipos de agua no cumplen con los límites que establecen las normas para garantizar la seguridad del agua en el riego agrícola, resaltando así la importancia de este análisis ya que nos puede ayudar a prevenir el deterioro ecológico que estos puedan ocasionar como consecuencia de fenómenos naturales o antropogénicos.

Referencias

- Chávez-Alcántar, A. *et al.* 2011. Hidroquímica de las aguas superficiales de la Ciénega de Chapala e índice de calidad de agua. *Terra Latinoam.*29, 83–94.
- Cisneros Estrada, O. X. & Castanedo Guerra, L.V. 2014. Propuesta para integrar aguas residuales tratadas al riego agrícola en el Distrito de Riego 023. at http://amh.org.mx/documentos/congreso/Memorias%20del%20XXIII%20Congreso%20Nacional%20de%20Hidraulica/Tema%203_Irrigacion/t3_art_ceox1.pdf>Gruber, J. S., Ercumen, A. & Colford, J. M., Jr. 2014. Coliform Bacteria as Indicators of Diarrheal Risk in Household Drinking Water: Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS ONE*9, e107429.
- Gruber, J. S., Ercumen, A. & Colford, J. M., Jr. 2014. Coliform Bacteria as Indicators of Diarrheal Risk in Household Drinking Water: Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS ONE* 9, e107429.
- Guzmán Colis, G. *et al.* 2011. Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.*27, 89–102.
- Lahham, O. A., El Assi, N. & Fayyad, M. 2003. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. *Agric. Water Manag.*61, 51–62.
- Leal García, C. A. 2013. Calidad del agua superficial en Latinoamérica. at http://fausac.usac.edu.gt/GPublica/images/5/58/Trabajo_apicaci%C3%B3n_compo_u.pdf>



Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT. 1996. at
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NormasOficialesMexicanas.pdf>

Padilla Cámara, T. A., García Álvarez, N. & Pérez Duarte, W. 2010. Caracterización físico-química y bacteriológica, en dos épocas del año, de la subcuenca del río Quiscab, Guatemala. *Rev. Cienc. Téc. Agropecu.*19, 43–46.

Rosas, I., Báez, A. & Coutiño, M. 1984. Bacteriological quality of crops irrigated with wastewater in the Xochimilco plots, Mexico City, Mexico. *Appl. Environ. Microbiol.*47, 1074–1079.