

Estudio fisicoquímico de la calidad del agua para riego del canal principal que abastece al distrito de riego 030 “Valsequillo”

Ma. Noemí Bonilla y Fernández

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

nohemi.bonilla@correo.buap.mx

Luis Enrique Vázquez Ortega

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Sonia Emilia Silva Gómez

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Carlos Cabrera Maldonado

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Resumen

El objetivo principal de esta investigación se centró en determinar la calidad fisicoquímica del agua para riego del Canal Principal que abastece al Distrito de Riego 030 “Valsequillo”, debido a la gran preocupación existente por el grave problema de contaminación de los ríos Atoyac, Zahuapan y Alseseca, originado por las descargas de aguas residuales domésticas e industriales con escasos o nulos tratamientos y que son almacenadas en la presa Valsequillo, cuyo nombre oficial es presa Manuel Ávila Camacho. La compuerta de la presa se abre tres veces al año para aprovechar el agua en los cultivos de seis módulos que son operados por asociaciones civiles de la red menor de distribución del Distrito de Riego. La calidad del agua para riego está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga, por lo que es una consideración muy importante para la investigación de las condiciones de salinidad o contenido de sodio intercambiable en la zona de riego; en esta investigación se tomaron como base las características fisicoquímicas del agua de doce estaciones de muestreo, quedando clasificadas por su conductividad eléctrica (CE) y su relación de adsorción de sodio (RAS) como C3S1, agua altamente salina con bajo contenido de sodio, con estas propiedades el agua debe tener uso restringido en cultivos poco tolerantes a la salinidad y en suelos con

drenaje deficiente; por su salinidad efectiva (SE), salinidad potencial (SP), por ciento de sodio posible (PSP) el agua quedó clasificada como condicionada y por su contenido de sodio residual (CSR) como no recomendable.

Palabras clave: Agua residual, irrigación, salinidad, sodicidad.

Introducción

El Canal Principal de Riego Valsequillo presenta en la actualidad una grave problemática ambiental como resultado del deterioro producido por el insostenible y no planeado aumento demográfico en México y el desarrollo económico de los estados de Puebla y Tlaxcala.

La presa Valsequillo se construyó entre los años de 1941 a 1946 para aprovechar los escurrimientos de los ríos Atoyac y Alseseca. El embalse cubre unas 2750 has en la cota 2059 msnm y 3650 has en la cota 2062 msnm. Inició operaciones en 1946 para cubrir la necesidad de riego en la zona de Tecamachalco-Tehuacán. La presa posee una superficie de 237.9 km², se encuentra en el estado de Puebla, al sur de la ciudad capital. Ésta se ubica dentro de una cuenca conformada al norte por los flujos de tres ríos: el Zahuapan, Atoyac, y Alseseca y por una serie de drenajes de varias barrancas ubicadas directamente al sur de la presa. Las cuencas de estos ríos pertenecen a la cuenca del río Balsas, ubicada en la Región Hidrológica No.18, la cual tiene un área de 40938.6 km² (CNA, 1997).

El Distrito de Riego 030 “Valsequillo” fue creado junto con la presa en 1944. La superficie regable del Distrito de Riego abarca 32827 has de 17 municipios: Atoyatempan, Cuapixtla, Huitziltepec, Molcaxac, Huixcolotla, Hueyotlipan, Tecali, Tecamachalco, Tepanco de López, Tepeyahualco, Tlacotepec de Benito Juárez, Tlanepantla, Tochtepec, Xochitlán de todos los Santos, Yehualtepec, Miahuatlán y Tehuacán que corresponde al centro-oriente del estado de Puebla. El total de tierra del Distrito de Riego pertenece a 15591 personas; el 58 % pertenece a 9332 pequeños propietarios, mientras que el 42 % restante es de 6259 usuarios ejidales.

EL Canal Principal de Riego fue construido de 1942 a 1948, con la finalidad de aprovechar el agua en cultivos permitidos en la zona, cuenta con una longitud aproximada de 110 kilómetros, para abastecer el agua para el riego de los seis módulos en los que está organizado el Distrito y en los que se cultivan: maíz, frijol, elote y tuna, con una superficie aproximada de 40000 hectáreas (INEGI, 2009).

En noviembre de 1994, la CONAGUA terminó de transferir a los seis módulos de la red menor de distribución de agua del Distrito de Riego para que fueran operados por asociaciones civiles, y son estas las que se encargan de vigilar el uso que se da al agua.

La calidad y disponibilidad del agua para sus diferentes usos, son factores importantes para el bienestar y el progreso de un país, no sólo dependen del tipo de suelo, clima, condiciones de drenaje, técnicas de riego y caudales disponibles, sino también en forma fundamental de su calidad fisicoquímica.

La población está expuesta a compuestos tóxicos a través del uso de aguas residuales en la agricultura. Teóricamente, las aguas residuales de origen industrial no deben ser usadas para este fin, pero en los países en vías de desarrollo existen industrias formales y clandestinas que evacuan sus efluentes al alcantarillado municipal que con o sin autorización y escasos o nulos tratamientos, se usan para el riego. Esto expone a las plantas y por ende a la población a estar expuestos a compuestos que pueden llegar a producir intoxicaciones crónicas con serias consecuencias (De Esparza, 1998).

Hazem-Kalaji, M. y S. Pietkiewicz, (1993) mencionan que por sus propias características estructurales, el agua disuelve y mantiene en suspensión a un gran número de sustancias. Muchas de estas son potencialmente tóxicas para las plantas y su acumulación en ellas genera problemas por el efecto salino lo cual ocasionan daños a los consumidores.

A la fecha no se aplican las medidas establecidas de control en los límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales para uso agrícola NOM-001-SEMARNAT-1996, que excluyen a las hortalizas de ser regadas con esta agua, debido a que representan un peligro para la salud. De tal manera que la aplicación de aguas residuales en zonas de producción agrícolas por periodos largos de tiempo puede llegar a ser considerada de alto grado de incidencia en la contaminación del suelo y la planta (Neri, 2008).

Uno de los problemas más importantes asociados a la calidad del agua para riego son la salinización y sodificación del suelo. Ambos procesos son consecuencia del aporte de sales disueltas durante el riego y el aumento de la concentración en la solución del suelo, cuando el agua es absorbida por el cultivo y ocurre la evaporación desde la superficie.

Las sales solubles producen efectos dañinos en las plantas, al aumentar el contenido de sal en la solución del suelo y el grado de saturación de los materiales intercambiables con el sodio

intercambiable. Este último efecto se presenta cuando los constituyentes solubles son en su mayor parte sales de sodio y es de naturaleza más permanente que el contenido salino de la solución del suelo, debido a que el sodio intercambiable generalmente persiste después de que las sales solubles se han eliminado (Allison *et al.*, 1962).

Castellanos *et al.*, 2000 mencionan que el problema de las sales se restringe a regiones con limitada precipitación pluvial, donde las lluvias son escasas y erráticas, y no son de suficiente magnitud como para desplazar las sales del perfil del suelo. Los mismos autores especifican que normalmente en regiones de 600 mm de lluvia el riesgo de salinización no es alto si el agua de riego no es de tan mala calidad. Se estima que la superficie afectada por sales en México es del orden de un millón de hectáreas (Fernández, 1990). Por su parte Villanueva y Hernández (2001) mencionan que el origen de los suelos salinos en San Luis Potosí, México se debe fundamentalmente al manejo inadecuado del agua de calidad condicionada, además de la aplicación y establecimiento de especies de poca tolerancia a la salinidad. La calidad del agua para riego es un término que se utiliza para indicar la conveniencia o limitación de su empleo, con fines de riego de cultivos agrícolas, para cuya determinación generalmente se toman como base las características químicas del agua; así como la tolerancia a los cultivos a las sales, las propiedades de los suelos, las condiciones de manejo de los suelos y aguas y las condiciones climatológicas (Aceves *et al.*, 1994).

Desde hace 30 años la presa “Valsequillo” ha recibido grandes cantidades de aguas residuales con altas concentraciones de contaminación biológica, orgánica e inorgánica, de acuerdo a los especialistas en medio ambiente la presa Manuel Ávila Camacho se ha convertido en una laguna de tratamiento de desechos industriales en Puebla (Martell, 2007).

La calidad de agua que está siendo suministrada a los suelos de cultivo por el Canal Principal de Riego “Valsequillo” debe cumplir con algunos parámetros que demuestren que dicha agua no representa peligro para el suelo y cultivos de la región, y de no ser así, se deben incrementar las medidas preventivas necesarias, para que no llegue a provocar el menor daño posible a corto, mediano y largo plazo.

El objetivo principal de este estudio fue analizar la calidad fisicoquímica del agua de riego del Canal Principal de Riego Valsequillo, proveniente de la presa Manuel Ávila Camacho, conocida como presa Valsequillo.

Materiales y Métodos

Derivado de recorridos de campo y ubicación de los seis módulos en los que se encuentra conformado el Distrito de Riego 030 "Valsequillo", además del uso de las cartas Topográficas E14B53, E14B54 y E14B64 INEGI, 1995 (escala 1:50000); se eligieron doce estaciones de muestreo de agua mostradas en la Figura 1. Las muestras se tomaron a lo largo del canal principal procurando abarcar los seis módulos de riego en el que está organizado el Distrito, desde la salida de la Cortina de la presa Manuel Ávila Camacho hasta el punto final en sus cercanías con Tehuacán. Las estaciones de muestreo se referenciaron geográficamente utilizando un GPS, posteriormente se trazó el recorrido utilizando Google Earth, (Figura 1).

El muestreo se realizó en época de estiaje en días normales de riego, específicamente el 23, 24 de abril y 18 de junio del 2010, se tomaron muestras simples para determinar cualitativa y cuantitativamente la calidad del agua del canal principal. Las muestras se almacenaron en envases de plástico limpios y secos de 3.5 litros para los análisis fisicoquímicos, los envases se enjuagaron tres veces con el agua a muestrear antes de tomar la muestra, el pH, temperatura y conductividad eléctrica se determinaron *in situ* con un aparato portátil Hanna Instruments®, los resultados se corroboraron en el laboratorio llevando las muestras a las mismas condiciones de campo con un aparato CONDUCTRONIC PC 45.

Asimismo se determinó la materia flotante en cada estación. El manejo y preservación de las muestras se llevó a cabo con base en la NMX-AA-003-1980 y Eaton *et al.*, 2005.

Los parámetros estudiados se agruparon en dos categorías:

- 1) De campo, tales como materia flotante, temperatura, conductividad eléctrica (CE);
- 2) Fisicoquímicos,
 - 2a) pH, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables, dureza total, al calcio, al magnesio, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, sodio y potasio; 2b) SP (salinidad potencial), CSR (carbonato de sodio residual), SE (salinidad efectiva) y PSP (porcentaje de sodio posible) obtenidas a través de cálculos para la interpretación de la calidad del agua para riego agrícola según Aceves *et al.*, 1994. En las dos categorías se determinó la calidad del agua del canal principal, tomándose como referencia los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996; así como los criterios ecológicos de calidad del agua (CE-CCA-001/89).

Para los parámetros de campo los valores obtenidos se presentan en la Tabla 2. La materia flotante al igual que los sólidos sedimentables no fueron detectados en ninguna de las estaciones de muestreo.

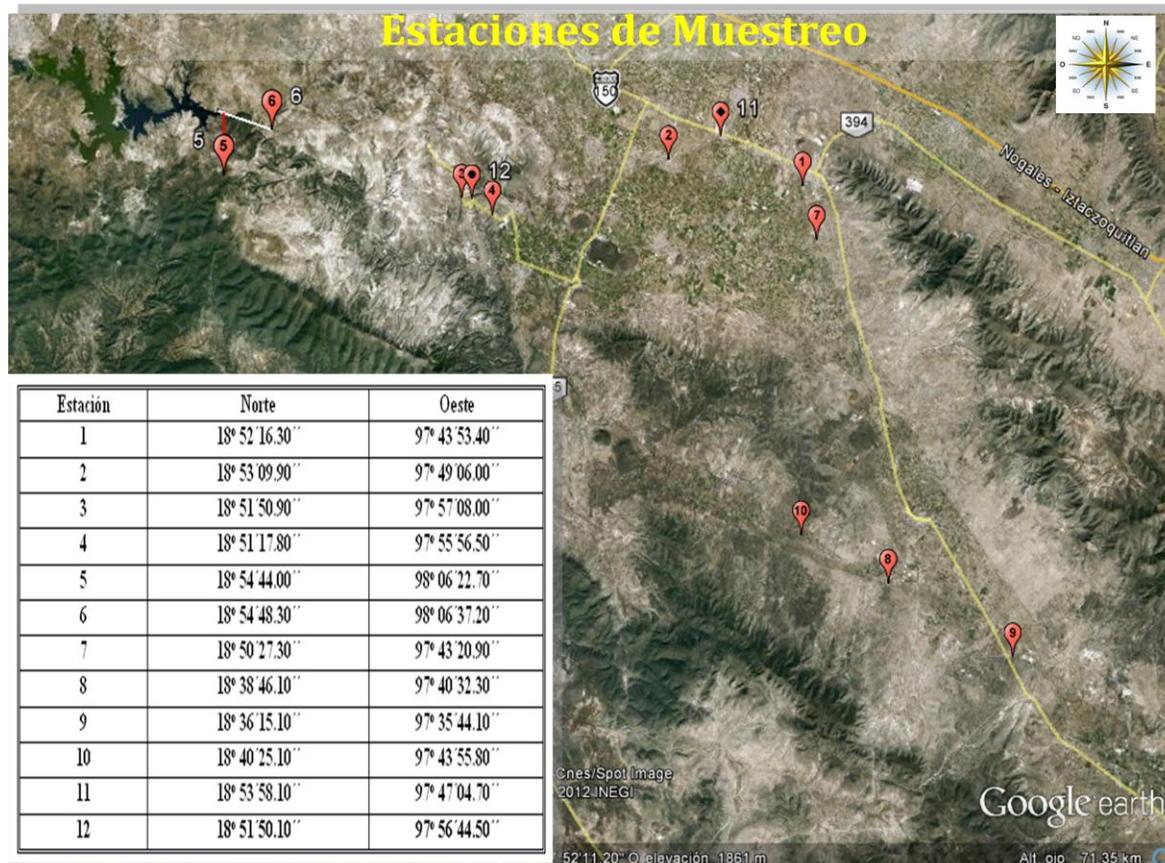


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo de agua en el Canal Principal de Riego del Distrito de Riego 030 "Valsequillo".

TABLA 2. Parámetros de campo de las doce estaciones de muestreo de agua del canal principal de riego.

E	Materia Flotante	Sólidos Sedimentables mL L ⁻¹	T °C	C. E. μS cm ⁻¹	LMP NOM-001-SEMARNAT-1996	LMP CE-CCA-001/89
1	Ausente	NE	18.2	904	Materia flotante (MF)	Materia flotante =
2	Ausente	NE	18.4	913	URA,UPU,PVA=Ausente	desagradable a la vista
3	Ausente	NE	17.4	922	Temperatura =	Temperatura
4	Ausente	NE	17.0	920	URA,UPU,PVA=40°C	condiciones naturales
5	Ausente	NE	18.0	941	1.0	1.5°C
6	Ausente	NE	22.0	906		Conductividad eléctrica en dS m ⁻¹
7	Ausente	NE	19.0	909		
8	Ausente	NE	20.0	912		
9	Ausente	NE	18.0	859		
10	Ausente	NE	20.0	911		
11	Ausente	NE	20.0	927		
12	Ausente	NE	20.0	925		
Prom.	-----	-----	19.	912.42		

0					
LMP NOM- 001	Ausente	2.0	40. 0	NN	

LMP = límite máximo permisible, NE = No encontrado, NN = No normado, URA = uso riego agrícola, UPU = uso público urbano, PVA = protección vida acuática.

Las determinaciones fisicoquímicas de las muestras de agua se realizaron conforme a las metodologías de las Normas Oficiales Mexicanas, NMX-AA, en materia de agua y los resultados se muestran en la Tabla 3.

En base a la clasificación de Aceves *et al.*, 1994, fue importante calcular los iones cloruro y sulfatos, además de realizar la determinación de la alcalinidad total como carbonato de calcio, para calcular los iones carbonato y bicarbonato; asimismo se calcularon los valores de salinidad potencial (SP), la concentración de sodio residual (CSR), la salinidad efectiva (SE) y el porcentaje de sodio posible (PSP), para clasificar el agua como recomendada, condicionada o no recomendable para la irrigación de los suelos agrícolas.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua del Canal Principal de Riego.

E	pH	SST mg L ⁻¹	SDT mg L ⁻¹	D _T como CaCO ₃ mg L ⁻¹	D _{Ca²⁺} como CaCO ₃ mg L ⁻¹	D _{Mg²⁺} como CaCO ₃ mg L ⁻¹	Alc. _T como CaCO ₃ mg L ⁻¹	HCO ₃ ⁻¹ mg L ⁻¹	SO ₄ ²⁻ mg L ⁻¹	Cl ⁻¹ mg L ⁻¹
1	7.3	6.40	578.56	86.08	32.03	54.05	410.05	335.99	100.37	87.92
2	7.5	7.00	584.00	86.08	42.04	44.04	410.05	335.99	64.20	88.20
3	7.4	3.25	590.00	86.08	44.04	42.04	417.38	342.00	89.20	91.46
4	7.4	2.62	588.70	88.08	40.04	48.04	424.70	348.00	58.88	83.66
5	7.4	1.88	602.67	86.08	40.04	46.04	412.50	338.00	97.18	87.21
6	7.6	4.38	579.86	92.08	38.03	54.05	405.17	331.99	66.33	89.33
7	7.5	9.70	581.83	88.08	46.04	42.04	405.17	331.99	90.80	85.79
8	7.8	6.00	583.67	88.08	46.04	42.04	397.85	325.99	108.35	86.50
9	7.7	5.62	549.80	90.08	50.05	40.04	412.50	338.00	168.38	70.90
10	8.0	2.50	583.10	92.08	50.05	42.04	407.61	333.99	254.77	70.90
11	7.5	6.12	593.33	93.68	50.05	43.64	412.50	338.00	286.68	74.45
12	7.5	3.88	592.00	88.08	48.04	40.04	424.70	348.00	26.68	77.99

Prom.	7.6	4.95	593.56	88.71	43.87	44.84	411.68	337.32	117.65	82.86
LMP	5-10	200	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN	NN

LMP= límite máximo permisible, NN=No normado.

Las concentraciones expresadas en mg L^{-1} de los iones Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} de mg L^{-1} se transformaron a meq L^{-1} , mostrados los valores obtenidos en la Tabla 4.

Tabla 4. Concentraciones de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} en meq L^{-1} .

E	Na^+ meq L^{-1}	K^+ meq L^{-1}	Ca^{2+} meq L^{-1}	Mg^{2+} meq L^{-1}	HCO_3^- meq L^{-1}	Cl^- meq L^{-1}	SO_4^{2-} meq L^{-1}
1	3.65	0.63	0.64	1.08	5.51	2.48	2.09
2	3.54	0.67	0.84	0.88	5.51	2.49	1.34
3	3.39	0.62	0.88	0.84	5.60	2.58	1.86
4	3.46	0.64	0.80	0.96	5.70	2.36	1.23
5	3.43	0.62	0.80	0.92	5.54	2.46	2.02
6	3.52	0.62	0.76	1.08	5.54	2.52	1.38
7	3.57	0.62	0.92	0.84	5.54	2.42	1.89
8	3.50	0.62	0.92	0.84	5.34	2.44	2.26
9	3.23	0.35	1.00	0.80	5.54	2.00	3.51
10	2.41	0.28	1.00	0.84	5.47	2.00	5.30
11	2.94	0.34	1.00	0.88	5.54	2.10	5.97
12	2.91	0.33	0.96	0.80	5.70	2.20	0.56
Prom.	3.30	0.53	0.88	0.90	5.54	2.34	2.45

Resultados y Discusión

En la Tabla 1, se observan los resultados obtenidos de los parámetros determinados en campo, los cuales fueron comparados con los valores establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en embalses naturales y artificiales.

La temperatura del agua del canal osciló entre 17 a 22 °C, con un promedio de 19.0 °C, no observándose algún problema en cuanto a este parámetro. Villar y Carrasco, (2002) mencionan que en la mayoría de las experiencias reportadas a nivel mundial en el uso de agua calentada utilizada en el riego de cultivos, en general, se ha encontrado una mayor absorción y disponibilidad de nutrientes por mineralización de la materia orgánica y de los restos vegetales, producción de biomasa, producción y tamaño de hojas, y un adelanto de las cosechas. Además

de otros efectos positivos, como su uso en la lucha contra las heladas, el control de nemátodos y patógenos, el aumento de la infiltración y conductividad hidráulica, el aumento de la solubilidad de algunas sales presentes en los suelos, y la reducción de la lixiviación de nitratos. Sin embargo, también existen algunas experiencias en las que se indican algunos aspectos negativos del uso del agua calentada: el incremento de algunas enfermedades fúngicas en riego con aspersión, la retención de fósforo en el suelo y un incremento de la falta de oxígeno en la atmósfera del suelo en condiciones de exceso de agua. Por otro lado también hay que tomar en cuenta que para que las especies acuáticas sobrevivan, es importante recordar que el aumento de la temperatura en el agua disminuye la concentración de oxígeno disuelto lo que puede ocasionar su muerte.

La conductividad eléctrica es uno de los parámetros de mayor importancia para la determinación de la calidad del agua para riego, debido a que nos proporciona información sobre la concentración de las sales solubles. En este estudio el valor mínimo obtenido fue de $859 \mu\text{S cm}^{-1}$ en la estación 9, el máximo fue de $941 \mu\text{S cm}^{-1}$ en la estación 5, con un promedio de $912.42 \mu\text{S cm}^{-1}$, de acuerdo con Aceves y Palacios, (1994), en su clasificación del agua para riego en tanto a su CE, el agua residual de todas las estaciones de muestreo se clasificó como altamente salina ($750\text{-}2250 \mu\text{S cm}^{-1}$) y mencionan que en general las aguas para riego son satisfactorias cuando su CE sea menor de $750 \mu\text{S cm}^{-1}$ y en lo que respecta a sales, las aguas con CE entre 750 y $2250 \mu\text{S cm}^{-1}$ son comúnmente utilizadas, obteniéndose crecimiento adecuado de las plantas, siempre y cuando haya buen manejo del suelo y un drenaje eficiente, sin embargo las condiciones de salinidad se presentarán si el lavado y el drenaje no son adecuados, siendo estas condiciones las que prevalecen en el distrito de riego estudiado.

Los valores de pH variaron de 7.3 a 8.0, con valor medio de 7.6 unidades de pH, todos los valores se encuentran dentro del límite máximo permisible de 5 a 10 unidades de pH; no obstante los valores obtenidos demuestran una tendencia a la alcalinidad que puede deberse a la alta concentración de sales disueltas.

En la Tabla 3 se observan los resultados de los parámetros químicos determinados en las doce estaciones de muestreo de agua del canal principal analizadas, en los que se encuentran: el pH (potencial hidrógeno, los sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), dureza total como CaCO_3 , dureza al calcio como CaCO_3 , dureza al magnesio como CaCO_3 , alcalinidad total como CaCO_3 , sulfatos, cloruros, sodio, y potasio. Los resultados obtenidos fueron comparados con los límites máximos permisibles que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996.

El pH (potencial hidrógeno) es un parámetro muy indicado para determinar la calidad del agua para riego; los resultados variaron de 7.3 a 8.0 unidades, el valor medio para las doce estaciones fue de 7.6 unidades, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que oscila entre 5 y 10 unidades. Terrón, 2002, menciona que para el caso de aguas de riego, el pH normal está comprendido entre 6 y 8.5 unidades, un pH fuera de este intervalo de normalidad, es un buen indicador de una calidad anormal del agua o la presencia de algún ión tóxico.

Las concentraciones de los sólidos suspendidos totales (SST) oscilaron entre 1.88 a 9.7 mg L⁻¹ con un promedio de 5.15 mg L⁻¹ quedando muy por debajo del LMP de 200 mg L⁻¹. El Sistema Municipal de Información Ambiental en 2009, realizó un estudio sobre el deterioro ambiental del río Atoyac en la ciudad de Puebla en este se encontraron concentraciones que sobrepasaron 2.66 veces la NOM en cuanto a la concentración de SST, las bajas concentraciones encontradas en las doce estaciones de muestreo, pueden reflejar que los procesos de floculación sedimentación en el periodo de almacenamiento del agua en la presa están siendo adecuados.

Los SDT son un parámetro importante en base a la acumulación de sales en el suelo, debido a la evapotranspiración del agua del suelo y no a la propia concentración de sales en el agua de riego. Un exceso de sales solubles puede dificultar el funcionamiento normal de las raíces: limitación en la absorción de agua y las consecuentes deficiencias de toma de nutrientes. Las concentraciones de sólidos disueltos (SDT) oscilaron entre 549.76 y 602.24 con un valor medio de 593.56 mg L⁻¹. Este parámetro no se encuentra normado por la NOM-001-SEMARNAT-1996, sin embargo, es muy importante calcular su concentración y relacionarla tanto con la presión osmótica y la conductividad eléctrica que también se consideran como indicadores de la calidad del agua para riego. Es conocido que la presión osmótica o potencial osmótico (PO) y el contenido total en sólidos disueltos (SDT) son dos índices estrechamente relacionados con la CE, que también se utiliza para describir la calidad del agua de riego.

La dureza de un agua de riego se define como la concentración de carbonato cálcico que es químicamente equivalente a la concentración de cationes multivalentes (principalmente, calcio y magnesio) del agua, expresada en mg L⁻¹. La concentración de estos cationes varía significativamente en función del origen del agua de riego. De esta manera, la concentración de calcio puede variar de los 100 ppm en acuíferos de piedra caliza a los 10 ppm en acuíferos de granito o arenisca (Wolff, 1988).

La dureza es un parámetro muy útil para prevenir el riesgo de obstrucciones en los canales de riego, goteos y boquillas y, al mismo tiempo, para indicar la utilidad de un agua en determinados tipos de suelo (Canovas Cuenca, 1978).

En este estudio la dureza total varió de 86.08 a 93.08 mg L⁻¹, con valor medio de 88.66 mg L⁻¹, la dureza al calcio mostró valores de 32.03 a 50.05 mg L⁻¹, con promedio de 43.87 mg L⁻¹ y la dureza al magnesio osciló entre 40.04 a 54.05 con valor medio de 44.84 mg L⁻¹, expresadas como CaCO₃ estos parámetros no se consideran en la norma oficial mexicana, sin embargo las concentraciones obtenidas muestran que el calcio y el magnesio no son los únicos iones responsables de las altas concentraciones de los sólidos disueltos totales asociados a los bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos y fosfatos presentes en el agua del canal.

La alcalinidad total como CaCO₃ presentó valores entre 407.61 y 424.70 mg L⁻¹ con promedio de 411.68 mg L⁻¹; no se obtuvieron concentraciones de los iones carbonato CO₃²⁻ esto se debe a los valores de pH en las muestras de agua; los iones HCO₃⁻ variaron de 333.99 a 348.00 mg L⁻¹ con promedio de 337.32 mg L⁻¹, estos parámetros no están considerados NOM, pero sus concentraciones indican la presencia de sales disueltas en el agua del canal principal, su acción reguladora y en gran medida la tendencia a la alcalinidad del agua del canal.

Los iones cloruro oscilaron entre 70.90 y 91.46 mg L⁻¹ con valor medio de 82.46 mg L⁻¹ y finalmente los iones sulfatos oscilaron de 26.68 a 286.69 con promedio de 117.65 mg L⁻¹, ambos parámetros no se encuentran considerados en la NOM, sus concentraciones resultaron ser altas, con ellas se obtienen las concentraciones de la salinidad potencial para la determinación de la calidad del agua para el riego agrícola al relacionarlas con los iones sulfato. En la Tabla 4 se muestran los resultados de las concentraciones de los iones: Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Cl⁻, HCO₃⁻¹, SO₄⁻² en meq L⁻¹. Del ion Na⁺ se obtuvieron concentraciones de 2.41 a 3.65 con un promedio de 3.30 meq L⁻¹; el ion K⁺ varió de 0.28 a 0.67 con un valor medio de 0.53 en meq L⁻¹, en cuanto al ion Ca²⁺ se obtuvieron concentraciones que oscilaron entre 0.64 a 1.00 en meq L⁻¹ con un valor medio de 0.88 en meq L⁻¹, para los iones Mg²⁺ se encontraron concentraciones de 0.84 a 1.08 en meq L⁻¹ con promedio de 0.90 en meq L⁻¹. En cuanto a los iones HCO₃⁻ se obtuvieron concentraciones de 5.34 a 5.70 con promedio de 5.54 en meq L⁻¹; no se encontraron concentraciones de CO₃²⁻ en ninguna de las estaciones de muestreo. Los iones Cl⁻ mostraron concentraciones de 2.00 a 2.58 con valor medio de 2.34 en meq L⁻¹ y los iones SO₄²⁻ oscilaron entre 0.56 a 3.51 con promedio de 2.45 en meq L⁻¹. La norma NOM-001-SEMARNAT-1996 no considera ninguno de estos iones. Para obtener la clasificación del agua para su uso en riego

agrícola, en la Tabla 5 se muestran las concentraciones de la conductividad eléctrica C.E., la relación de adsorción de sodio RAS, la salinidad efectiva SE, la salinidad potencial SP, la concentración de sodio residual CSR, el porcentaje de sodio posible PSP, las concentraciones de los iones cloruros Cl^- y la clasificación del agua para su uso en riego agrícola. En las muestras de agua de las doce estaciones seleccionadas a lo largo del Canal Principal de Riego Valsequillo, se encontró una moderada conductividad eléctrica, lo que indica concentraciones altas de sólidos disueltos, aunque este parámetro no se está considerado en la normatividad mexicana, se relacionó con la relación de adsorción de sodio RAS como lo indica Aceves *et al.*, 1994, según el diagrama de Wilcox, se observó que las doce muestras de agua se encuentran en el cuadrante **C3S1**, indicando que el agua del canal de riego es altamente salina, y **no se recomienda** para riego en suelos donde el drenaje sea insuficiente.

Los resultados de los parámetros necesarios para realizar la clasificación del agua del Canal Principal de Riego Valsequillo en cuanto a su utilización para el riego agrícola, se muestran en la Tabla 5.

En cuanto a la salinidad específica SE, el agua del canal de riego quedó clasificada como **condicionada**, debido a que la variación de las concentraciones en las muestras de agua fue de 2.69 a 4.28 con promedio de 3.78 meq L^{-1} , el valor más bajo correspondió a la estación 10 y el mayor a la estación 1.

Los valores de concentración de sodio residual CSR, oscilaron entre 2.48 meq L^{-1} para la estación 12 y de 5.09 48 meq L^{-1} para la estación 11, todas las estaciones excedieron el contenido de 2.5 meq L^{-1} , quedando el agua del canal de riego clasificada en cuanto a este parámetro como **no recomendable**.

Las concentraciones de porcentaje de sodio posible PSP, mostraron valores de 83.29 para la estación 2 y de 99.71 en la estación 3, todas las estaciones mostraron concentraciones de porcentaje de sodio posible mayores al 50 %, quedando clasificada el agua del canal de riego como **condicionada**.

Las concentraciones del ion Cl^- considerado como tóxico cuando se encuentran presentes, tanto para los suelos, como para las plantas; mostraron valores de 0.28 meq L^{-1} correspondiente a la estación 12 y de 2.99 meq L^{-1} en la estación 11, en cuanto a este parámetro el criterio de clasificación para la calidad del agua menciona que a concentraciones menores de 1.0 meq L^{-1} el agua se considera como **buena**, tal es el caso de las estaciones 2, 3, 4, 6, 7 y 12 y como **condicionada** si está entre 1.0 y 5.0 meq L^{-1} , como lo están las estaciones 1, 5, 8, 9, 10 y 11; estos resultados tan heterogéneos pueden deberse a que en las comunidades de los módulos se

arrojan residuos domésticos y aguas residuales urbanas e industriales y no existe en la zona ninguna planta de tratamiento.

5. Clasificación del agua para riego agrícola de doce estaciones de muestreo del Canal Principal de Riego Valsequillo.

E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Clasificación
CE													
$\mu\text{S cm}^{-1}$	904	913	922	920	941	906	909	912	859	911	927	925	
													C3S1
RAS													
meq L^{-1}	3.94	3.82	3.65	3.68	3.70	3.67	3.80	3.73	3.40	2.51	3.04	3.10	
SE													
meq L^{-1}	4.28	4.25	3.40	4.10	4.05	4.14	4.19	4.12	3.67	2.69	3.28	3.24	Condicionada
SP													
meq L^{-1}	3.53	3.16	3.51	3.00	3.47	3.21	3.37	3.57	3.76	4.65	5.09	2.48	Condicionada
CSR													
meq L^{-1}	3.79	3.79	3.88	3.94	3.82	3.70	3.78	3.58	3.70	3.67	3.66	3.94	No recomendable
PSP	85.2	83.2	99.7	84.3	84.6	85.0	85.2	84.9	88.0		89.6	89.8	
%	8	9	1	9	9	2	0	5	1	89.59	3	1	Condicionada
Cl⁻¹													Menos de 1.0 buena
meq L^{-1}	1.05	0.67	0.93	0.62	1.01	0.69	0.95	1.13	1.76	2.65	2.99	0.28	De 1.0 a 5.0 condicionada

Conclusión

El objetivo de esta investigación fue cubierto, concluyéndose que dada la calidad de agua encontrada en la época de secas, no es recomendable para el riego de cultivos de consumo inmediato debido a que en cuanto a la CE quedó clasificada como **altamente salina**, con respecto a la SP y SE quedó clasificada como **condicionada**. Con respecto al efecto probable de sodio sobre las características del suelo evaluado con la RAS, CE CSR y PSP quedó clasificada como **C3S1, no recomendable** y **condicionada** respectivamente.

El estudio debe complementarse con un análisis de bioaerosoles, ya que se supone existen microorganismos que pueden depositarse en el suelo, y dada la intensidad de vientos en los alrededores del Canal Principal, hay polvos que pueden llegar a las poblaciones cercanas y afectar la salud de grupos de edad vulnerables como infantes y ancianos.

Los resultados muestran que hay parámetros no incluidos en las Normas Oficiales Mexicanas, pero se puede recurrir a la normatividad norteamericana, canadiense y europea que si los contempla y por lo tanto es necesario incluirlas para aminorar los problemas existentes en los campos de cultivos de nuestro país.

El agua estudiada del Canal Principal necesita ser tratada desde su origen en la cuenca alta, media y baja del río Balsas donde descargan las industrias, para lo cual la intervención de instituciones gubernamentales, organizaciones civiles y autoridades correspondientes, de manera permanente es pertinente.

Bibliografía

- Aceves, N. E. y V. O. Palacios, 1994. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. 5-15.p
- Canovas Cuenca J., 1978. Calidad Agronómica de las agua de riego. Publicaciones de extensión agraria. Madrid (España). 55 páginas.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle Bueno, A. Aguilar Santelisis. 2000. La calidad de agua para uso agrícola. En: Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Ed. INCAPA, 2ª Edición. pp. 158-166.
- Comisión Nacional del Agua. CNA, 1997. Clasificación del río Atoyac. Puebla, Puebla.
- Fernández, G. R. 1990. Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperación de suelos con problemas de sales en México. Terra 8: 226-240.

- Haem-Kalaji, M. y S. pietkiewicz. 1993. Salinity effects on plant growth and other physiological processes. *Physiol. Plant* 15:89-124.
- Diario Oficial de la Federación de los Estados Unidos Mexicanos. 1998. Norma Oficial Mexicana-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. 24 de junio de 1996.
- Diario Oficial de la Federación de los Estados Unidos Mexicanos. 1980. Norma Mexicana-003-1980-Aguas Residuales. Muestreo. 25 de marzo de 1980.
- Diario Oficial de la Federación de los Estados Unidos Mexicanos. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. CE-CCA-001/89. 13 de diciembre de 1989.
- Terrón P. U. 2002. *Fitotecnia: Ingeniería de la producción vegetal*. Ediciones Mundi Prensa (Madrid).
- Villar M. J. M. e I. Carrasco M. 2002. Aptitud del agua caliente para su uso en agricultura de regadío. *Ingeniería del Agua*. Vol 9. No. 2.
- Eaton A. D., Clesceri L. S., Rice E. W., Grrenberg A. E. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Centennial Edition. 21 St. Edition.
- INEGI, 1995. Carta Topográfica 1:50 000 Molcaxac E14B64, Puebla.
- INEGI, 1995. Carta Topográfica 1:50 000 Tepeaca E14B54, Puebla.
- INEGI, 1995. Carta Topográfica 1:50000 San Francisco Totimehuacán E14B53, Puebla.
- INEGI, 2011. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario Estadístico del Estado de Puebla. México D. F.
- Neri R. E. 2008. Efectos ambientales en la agricultura por el uso de aguas residuales del canal Chihuacán, Atlixco, Puebla. Tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados, Campus Puebla.
- Villanueva Díaz, J. y Hernández Reyna A. 2001. Opciones productivas para sitios con problemas de sales en la zona media potosina. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noreste, Campo Experimental Palma de la Cruz. México. Folleto técnico No. 16.
- Wolff, P. 1988. *Ecological Aspects Irrigated Agriculture*. Proceeding. Resource. Conservation and Desertification Control in the near East. FAO GTZ-UNESCO. RFA.
- Martell, Mario 2007. La presa Manuel Ávila Camacho se ha convertido en una laguna de tratamiento de desechos industriales en Puebla Disponible en: http://www.intoleranciadiario.com/nuevo/despliegue-noticia.php?id_noticia=24421#
- Consultado el 25 de abril 2010.
- De Esparza, M. L. 1998. Evaluación de riesgos para la salud por el uso de aguas residuales en la agricultura. Disponible en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/032170.pdf> . Consultado el 2 de febrero de 2011