

Calidad fisicoquímica del agua del distrito de riego 030 “Valsequillo” para riego agrícola

Quality of the water of the irrigation district 030 valsequillo, agricultural use

María Noemí Bonilla y Fernández

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

nohemi119@hotmail.com

Ana Iris Ayala Osorio

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Sarai González Contreras

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Juana Deisy Santamaría Juárez

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Sonia Emilia Silva Gómez

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Resumen

En Puebla, México están bien identificados los problemas que existen respecto al agua utilizada para el riego en el Distrito de Riego 030 “Valsequillo”, entre ellos la escasez y los niveles de contaminación del agua almacenada en la presa Manuel Ávila Camacho. El agua que circula por los canales de riego no es adecuadamente tratada desde su origen, por esta razón se consideró importante determinar su calidad fisicoquímica y realizar la clasificación para su uso en riego agrícola. Las GA rebasaron el LMP en todas las estaciones y altas concentraciones de DBO5 en la mayoría de ellas. La clasificación de acuerdo a Aceves et al., (1994), resultó ser altamente salina en cuanto a la CE, condicionada respecto a los índices SE, SP, PSP y Cl-. De acuerdo a la RAS y la CE, quedó clasificada como C3-S1. Para Ayers y Westcot, (1987), resultó sin ningún grado de restricción sobre el uso del agua en cuanto a SST, Na+ y Cl-. P. Presentaron grado de restricción de ligero a moderado para HCO32- y CE, para el NT únicamente ocho estaciones tuvieron grado de restricción de ligero a moderado y dos con grado de restricción severo. En general, el agua no es aceptable para la irrigación de cultivos sin previo tratamiento.

Abstract

In Puebla-México's city, there are identified well the problems that exist with regard to the water used for the irrigation in the District of Irrigation 030 "Valsequillo", between them the shortage and the levels of pollution of the water stored in the Manuel Ávila Camacho dam. The water that circulates along the channels of irrigation is not treated adequately from his origin, for this reason it was considered important to determine his physicochemical quality and to realize the classification for his use in agricultural irrigation. The GA exceeded the LMP on all the stations and high concentrations of DBO5 in the majority of they. The classification according to Aceves et al., (1994), proved highly saline in terms of EC conditional respect to indices, SP, PSP and Cl-. According to RAS and the EC, it was classified as C3 - S1. For Ayers and Westcot, (1987), it proved without any degree of restriction on the use of the water as for SST, Na + and Cl-. They presented degree of restriction of light to moderated for HCO₃²⁻ and CE, for the NT only eight stations had degree of restriction of light to moderated and two with severe degree of restriction. In general, the water is not acceptable for crop irrigation without pretreatment.

Palabras clave / Key words: Calidad del agua, canal principal y canales secundarios, riego agrícola / Valsequillo water dam, Water quality, main channel, agricultural irrigation.

Introducción

La mayor parte de las industrias de las ciudades de Puebla y Tlaxcala se encuentran ubicadas a las orillas de los ríos Atoyac, Alseseca y Zahuapan, habitualmente sus aguas residuales son vertidas con nulo o escaso tratamiento a lo largo de sus cauces naturales, generando con ello una gran contaminación, tanto orgánica como inorgánica. En Puebla los desechos industriales y urbanos se descargan a los ríos Atoyac y Alseseca por medio de una serie de drenajes y escurrimientos de varias barrancas hasta llegar a la presa Manuel Ávila Camacho, "Valsequillo", para aprovechar los caudales de estos ríos y captar aguas pluviales con la finalidad de almacenar agua y posteriormente utilizarla para riego agrícola.

El desarrollo industrial y la falta de saneamiento en la región han provocado en los últimos años problemas de contaminación, se estima un volumen de descargas de aguas residuales de 119.4 millones de m³ al año que afectan a estos ríos.

Por la falta de infraestructura de saneamiento sólo se tratan aproximadamente 15 millones de m³ al año. Las descargas de las poblaciones asentadas al margen de los cauces de los ríos y vasos de la presa carecen de tratamiento por lo que contribuyen significativamente a su contaminación.

El agua de la presa se utiliza para riego en los valles del Distrito de Riego 030 “Valsequillo” y la Zona de Riego de Atlixco-Izúcar de Matamoros (Figura 1), las cuales tiene riego restringido por la contaminación del agua (IV Foro Mundial del Agua, 2006).

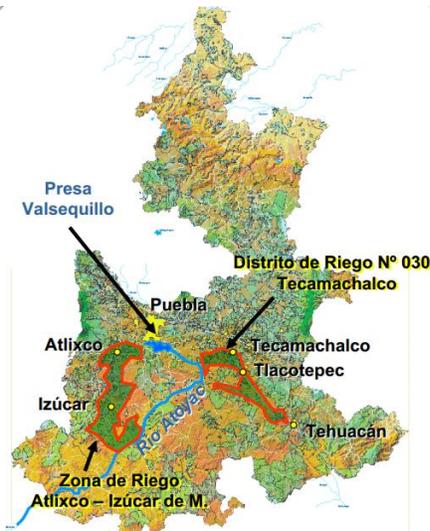


Figura 1. Zonas que se benefician con el agua proveniente de la presa Manuel Ávila Camacho “Valsequillo”, (Ayala y González, 2012).

Después de almacenar temporalmente el agua en la presa, es distribuida hacia los seis módulos en los que está organizado el Distrito de Riego 030 “Valsequillo”, como puede observarse en la Figura 2, para efectuarse los tres riegos necesarios que benefician a las cosechas correspondientes en los meses de abril, junio y agosto, por conducto del canal principal de riego que tiene de una longitud aproximada de 105 km y 525.5 km de canales secundarios (Programa Municipal de Desarrollo Urbano Sustentable de Puebla, 2011), cruzando por 17 municipios del estado de Puebla que corresponde al Centro-Oriente de la entidad (Atoyatempan, Cuapixtla, Huitziltepec, San Miguel Zacaola, Huixcolotla, Miahuatlán, Hueyotlipán, Tecali, Tecamachalco, Tepanco de López, Tepeyahualco, Tlacotepec de Benito Juárez, San Gabriel Teczoyocan, Tochtepec, Xochitlán de todos los Santos, Yehualtepec y Tehuacán), irrigando una superficie agrícola de aproximadamente 35000 hectáreas de la zona Tecamachalco-Tehuacán (INEGI, 2011)



Figura 2. Distribución de los seis módulos en los que se encuentra organizado el Distrito de Riego 030 “Valsequillo”, (Ayala y González, 2012).

En el Distrito de Riego 030 “Valsequillo” existen dos problemas principales respecto al agua. El primero es la insuficiente cantidad de agua para regar la totalidad de la superficie agrícola y el segundo pero no menos importante es la mala calidad del agua almacenada en la presa y que se distribuye, debido a que las corrientes que la abastecen reciben descargas contaminadas de las poblaciones e industrias, lo que restringe la siembra de cultivos (D.O.F., 2011a).

La región de Tecamachalco se caracteriza por ser una zona de árida a semiárida, donde la escasez de agua es uno de los problemas predominantes del lugar.

Por su parte, el acuífero Valle de Tehuacán, está ubicado en una región árida en la que el clima varía de semiseco a seco, con una precipitación media anual de 450 milímetros por año, en la zona de explotación del acuífero; la evaporación potencial media anual varía de 2000 a 2500 mm, por lo que la mayor parte del agua precipitada se evapora, lo que implica escurrimiento e infiltración reducidos.

El agua que circula por el canal principal y canales secundarios no es adecuadamente tratada desde su origen, por esta razón se consideró importante determinar la calidad fisicoquímica y realizar la clasificación del agua para su uso en riego agrícola de once estaciones de muestreo correspondientes a los seis módulos en los que se encuentra organizado el Distrito de Riego 030 “Valsequillo”, debido a que el uso de agua residual para la producción agrícola puede causar efectos nocivos en los suelos por el alto contenido de sales y metales pesados, como consecuencia de su uso frecuente y sin tratamiento previo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se eligió realizando recorridos a lo largo del canal principal y canales secundarios, utilizando las cartas Topográficas (escala 1:50 000) E14B53, E14B54 y E14B64 (INEGI, 2011). Las estaciones de muestreo se referenciaron geográficamente y se trazó el recorrido mediante Google Earth como se observa en la Figura 3, abarcando en este estudio los seis módulos en los que se encuentra organizado el Distrito de Riego 030 “Valsequillo”. En el Cuadro 1 se muestra la ubicación, denominación y coordenadas geográficas de las once estaciones de muestreo.

Estación	Denominación del sitio de muestreo	Módulo	Coordenadas	
			Norte	Oeste
1	La Cortina	Tramo muerto	18°54'44.16"	98°06'22.68"
2	Sifón de Huexotitla		18°51'44.94"	97°56'53.04"
3	La Tirolesa	1	18°51'17.40"	97°55'56.28"
4	Barrio de San Antonio	2	18°52'32.58"	97°44'15.84"
5	Tecamachalco	2	18°51'21.36"	97°43'44.34"
6	San Miguel Zacaola	1	18°52'48.54"	97°50'36.72"
7	Tepanco de López	6	18°33'15.00"	97°34'01.56"
8	Xochitlan de todos los Santos	5	18°42'04.02"	97°47'13.02"
9	San Pedro el Chico	4	18°43'25.68"	97°40'33.12"
10	San Gabriel Teczooyocan	3	18°46'27.42"	97°41'37.56"
11	San Martín Caltenco	2	18°53'16.68"	97°48'41.10"

El muestreo de agua se efectuó los días 11 y 12 de agosto del 2011 a lo largo del canal principal y canales secundarios, se obtuvieron once muestras representativas de los seis módulos de la zona de estudio, la metodología para la toma de muestras se realizó conforme a la norma PROY-NMX-AA-003-SCFI-2006 y Eaton A. D. et al., 2005. El trabajo consistió en la aplicación de las metodologías NMX-AA para análisis de agua, se realizaron las siguientes determinaciones fisicoquímicas:

Se determinaron in situ, potencial hidrógeno (pH), temperatura, conductividad eléctrica (CE), materia flotante y oxígeno disuelto. En laboratorio se determinaron sólidos sedimentables (Sse), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), alcalinidad, cloruros, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), grasas y aceites, dureza al total, al calcio y al magnesio, nitrógeno total, sulfatos, sodio y potasio.

Para la evaluación de las características que determinan la calidad del agua de riego se utilizaron los criterios e índices de clasificación hidrológica del agua, de acuerdo con su calidad como lo indica el Palacios y Aceves, (1994), en cuanto al contenido de sales solubles, con la conductividad eléctrica (CE), salinidad efectiva (SE) y salinidad potencial (SP); el efecto probable de sodio sobre las características físicas del suelo, a través de la

relación de adsorción de sodio (RAS), carbonato de sodio residual (CSR) y por ciento de sodio posible (PSP); y por el contenido de elementos tóxicos para las plantas, a través del contenido de cloruro(Cl-) y también por los lineamientos para evaluar la calidad de agua para riego de Ayers y Westcot, (1987).

En el Cuadro 2 se muestran los valores de los criterios e índices mencionados para la interpretación de los resultados por (Aceves et al., 1994).

Cuadro 2. Interpretación de resultados para la clasificación del agua, (Aceves et al., 1994).						
CLASE	CE $\mu\text{mhos}\cdot\text{cm}^{-1}$	SE $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$	SP $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$	CSR $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$	PSP $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$	Cl⁻ $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$
Buena	100 a 250	< 3	< 3	< 1.25	< 50%	< 1.0
Condicionada	250 a 750	3 a 15	3 a 15	1.5 a 2.5	>50%	1.0 a 5.0
No recomendable	> 750	> 15.0	> 15.0	> 2.5	---	>5.0

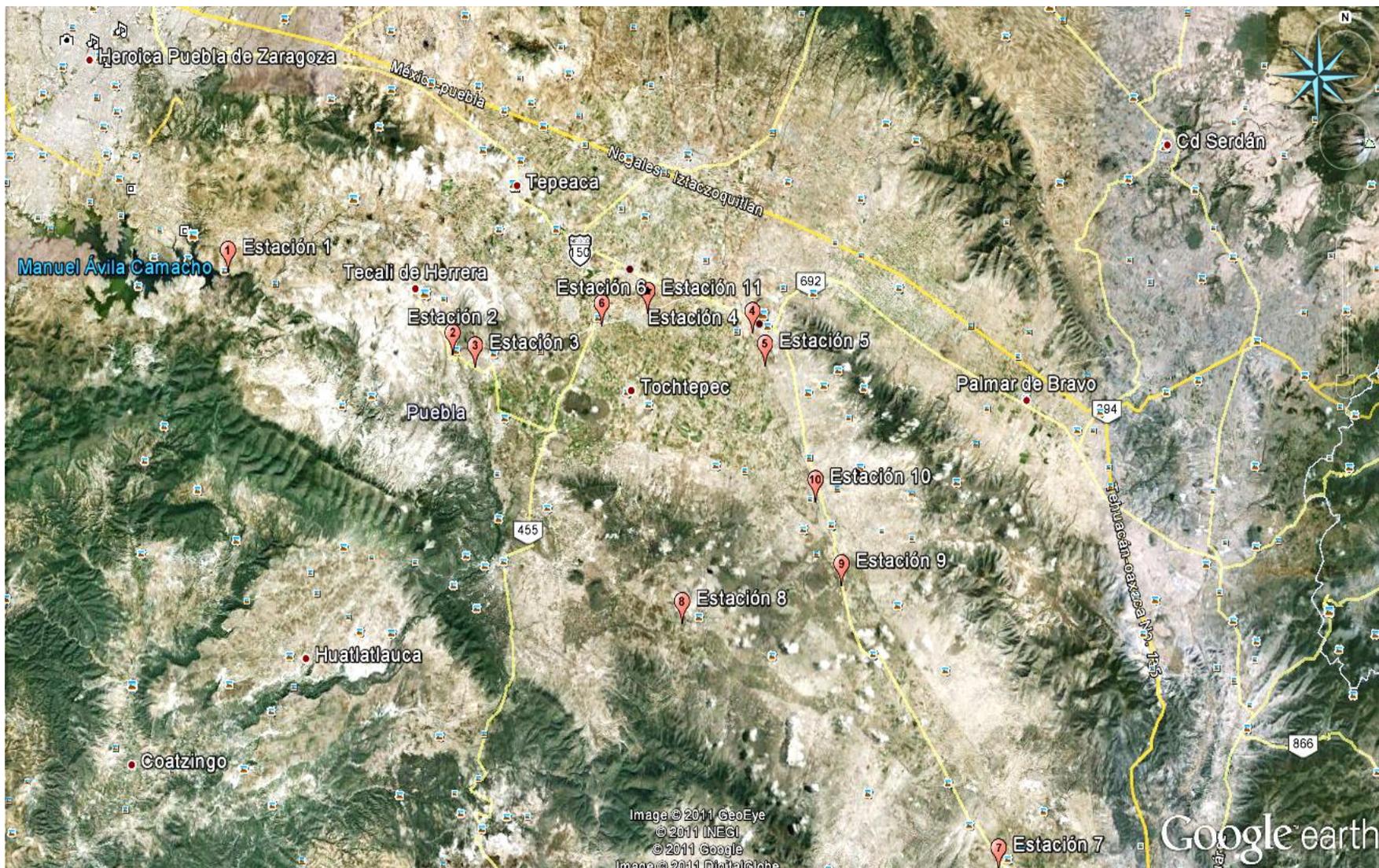


Figura 3. Ubicación geográfica de las once estaciones de muestreo de agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros físicos

En el Cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros físicos determinados, los cuales se compararon con los valores reportados en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Cuadro 3. Resultados de los parámetros físicos determinados.						
Estación	Temperatura °C	pH unidades	Materia flotante	SSe mg L⁻¹	SST mg L⁻¹	SDT mg L⁻¹
1	21.0	7.9	Ausente	0.0	6.3	549.0
2	22.0	7.9	Ausente	0.0	26.0	550.0
3	21.5	6.9	Ausente	0.0	11.0	526.5
4	22.0	8.0	Ausente	0.0	12.0	558.6
5	21.0	8.0	Ausente	0.0	4.0	541.9
6	21.0	6.8	Ausente	0.0	6.0	534.6
7	22.0	8.5	Ausente	0.0	4.0	534.6
8	22.0	8.5	Ausente	0.0	4.0	563.8
9	21.0	8.5	Ausente	0.0	9.0	523.1
10	21.0	8.1	Ausente	0.0	14.0	553.1
11	21.0	8.0	Ausente	0.0	21.0	557.8
Promedio	21.4	7.9	Ausente	0.0	10.7	544.8
Mínimo	21	6.9	Ausente	0.0	4.0	523.1
Máximo	22	8.5	Ausente	0.0	26.0	563.8
*LMP	40	5 - 10	Ausente	2	125	NN

*LMP: Referencia de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

NN: Parámetro no normado por la NOM-001-SEMARNAT-1996.

La temperatura varió de 21 y 22°C con promedio de 21.4°C, no representa preocupación alguna, puesto que las muestras de agua de las once estaciones se encuentra dentro del LMP de la norma, que indica 40°C, y a pesar que se pudiera pensar que el valor del LMP es demasiado elevado se ha estudiado y comprobado desde hace muchos años que el agua con elevada temperatura puede usarse para aumentar la temperatura de los suelos, ya que el cambio que producen no es muy elevado y además se disipa con facilidad (Villar y Carrasco, 2002),

además señalan que una temperatura elevada del suelo y del agua de riego, hasta 29°C en su experiencia, favorece la absorción de nutrientes y de esta forma se obtiene mayor crecimiento y rendimiento de los cultivos. Sin embargo tomando en cuenta la vida de especies acuáticas, es importante mencionar que el aumento de temperatura en el agua disminuye la solubilidad de los gases (oxígeno), por lo tanto disminuye la concentración de oxígeno disuelto, lo cual puede ocasionar la muerte de especies acuáticas, especialmente peces. Por otro lado aumenta, en general, la concentración de sales y la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción (Echarri, 2007).

El pH es un parámetro muy significativo para determinar la calidad de agua para riego, los resultados variaron de 6.8 y 8.5 unidades, con promedio de 7.9 unidades. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango normado que va de 5 a 10 unidades. Jones y Wolf, (1994) mencionan que el rango normal de pH en el agua para riego es de 6.5 a 8.4, por lo el agua que circula por los canales se encuentra dentro de un rango adecuado para su uso en la irrigación de cultivos, únicamente en las estaciones 7, 8 y 9 el pH tiende a ser más alcalino. Larenas, (2010) incluyó el análisis de ocho muestras de agua tomadas del canal principal y canales secundarios, se encontraron valores de 7.6 a 7.8 unidades, mientras que Sandoval et al., (2009), mencionan que el pH encontrado en el agua del río Atoyac se encontró dentro de un rango de 7 a 8. Por lo que los resultados obtenidos en el presente estudio no se encuentran alejados de los datos anteriormente reportados. A nivel de la planta, uno de los efectos negativos del uso de aguas de riego con valores anormales de pH, es que afecta a la disponibilidad de nutrientes: un adecuado pH asegura una mejor asimilabilidad de los diferentes nutrientes, especialmente fósforo y otros micronutrientes. Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas (Martínez, 2005).

Los sólidos suspendidos totales (SST) variaron desde 4.0 mg.L-1 en las estaciones 5, 7 y 8; hasta 26.0 mg.L-1 valor registrado en la estación 2, con una media de 10.7 mg.L-1. Encontrándose todas las muestras por debajo de los 125.0 mg.L-1 de SST establecidos como LMP en la Norma. En el estudio sobre el deterioro ambiental del río Atoyac en la ciudad de Puebla del año 2009 se encontró contaminación que sobrepasa 2.66 veces la Norma Oficial en cuanto a SST, mencionando que: afecta la penetración de la luz en el agua imposibilitando el proceso fotosintético dentro de ella y disminuyendo la concentración de oxígeno ya que la mayoría de estos sólidos son materia orgánica en descomposición, que se sedimenta cuando llegan a una zona con poca velocidad (Sistema Municipal de Información Ambiental, 2009). Por otro lado Sandoval et al., (2009), analizaron nueve muestras de agua, encontrando concentraciones de SST desde 8.0 mg.L-1 hasta 343.0 mg.L-1, siete de ellas rebasaron LMP.

Los sólidos disueltos totales (SDT) no se encuentran normados por la NOM, sin embargo, se considera importante determinar su presencia debido a que estos incluyen la presencia de minerales, gases producto de la descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos que dan color, olor, sabor y eventualmente toxicidad al agua que los contiene (Jiménez, 2001).

En los resultados obtenidos derivados del análisis de las muestras de agua, la concentración más alta detectada de SDT fue 563.8 mg.L-1, mientras que la menor concentración fue de 523.1 mg.L-1, con un promedio de 544.8 mg.L-1. Se considera en general que existe mayor concentración de sólidos en las descargas industriales al río Atoyac, ya que los tratamientos que se le dan a los efluentes industriales son únicamente primarios y en ocasiones secundarios, por lo que la eficiencia de remoción de contaminantes es baja. Cuando el agua llega a la presa donde es almacenada por algún tiempo, los sólidos presentes en el agua pasan a formar parte de los sedimentos, al permanecer prácticamente estáticos por algunos meses. Por lo tanto, al circular por los canales la concentración de sólidos ha disminuido. Es importante su determinación debido a la turbidez que provocan en el agua, lo que dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces.

Parámetros químicos

En el Cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos de los parámetros químicos determinados en cada una de las once muestras de agua analizadas, en los que se encuentran: conductividad eléctrica (CE), grasas y aceites (G y A), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), nitrógeno total (NT), alcalinidad (HCO₃⁻), cloruros, sulfatos (SO₄²⁻), dureza total como CaCO₃ (DT), dureza al calcio como CaCO₃ (DCa²⁺), dureza al magnesio como CaCO₃ (DMg²⁺), calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), sodio (Na⁺) y potasio (K⁺).

El parámetro más importante para evaluar la calidad de agua para riego es la concentración total de sales, usualmente medida como Conductividad Eléctrica (CE). Ofrece información sobre la concentración total de sales solubles del agua de riego. A mayor valor, mayor es la concentración de sales de la solución y viceversa, por lo que es un parámetro muy útil para la clasificación del agua de riego (Martínez, 2005). El promedio obtenido fue de 887.27 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, el valor mínimo se registró en la estación 7 con 872.00 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, y el valor máximo lo presentó la estación 6 con 897.00 $\mu\text{S.cm}^{-1}$.

Cuadro 5. Clasificación del agua de riego, varios autores			
Parámetros	Buena	Media	Mala
(a) pH	-	6.5 – 8.4	-
(a) C.E (dS m ⁻¹)	< 0.75	0.75 - 3.0	> 3.0
(a) Cloruros (meq L ⁻¹)	< 4	4 – 10	> 10
(a) Fosfatos (mg L ⁻¹)	< 3	3 - 19	> 19
(a) Nitratos (mg L ⁻¹)	< 39	30 - 300	> 300
(a) Sodio (mg L ⁻¹)	< 70	70 -180	> 180
(b) Potasio (mg L ⁻¹)	0 - 2	-	-
(b) Sulfatos (meq L ⁻¹)	0 - 20	-	-

Fuentes: (a) Jones y Wolf, 1984. (b) Ayers R. S. y Westcot D. W., 1987.

Elaborada por: (Ayala y González, 2012)

Basados en los índices establecidos por (Aceves y Palacios, 1994) obtuvimos agua clasificada como altamente salina, según el Cuadro 6. Por ello debemos prestar atención a este parámetro, pues la CE es de suma importancia para evaluar la calidad de agua para riego agrícola, debido a que las sales contenidas en el agua al incorporarse al suelo aumentan la presión osmótica de la solución del suelo, restringiendo la posibilidad de succión del agua por las plantas, pudiendo impedir el abastecimiento de la misma, además las sales pueden ocasionar problemas de toxicidad en las plantas, disminución del rendimiento de los cultivos, obstrucciones en los sistemas de riego y de manera más drástica ocasiona la ineptitud del suelo para el cultivo de manera irreversible (Jarsun et al., 2008).

Grasas y aceites es otro parámetro contemplado para determinar la calidad del agua para riego, todas las muestras rebasaron el LMP establecido por la Norma que es de 25.0 mg L⁻¹, la estación 3 con una concentración mínima de 158.80 mg L⁻¹ y la estación 11 con una máxima de 1401.25 mg L⁻¹, y con un promedio de 700.46 mg L⁻¹. En el estudio sobre el deterioro ambiental del río Atoyac en la ciudad de Puebla en

el año 2009 se encontró contaminación por G y A que sobrepasó 4 veces la Norma (Sistema Municipal de Información Ambiental, 2009).

En el estudio realizado por Larenas, (2010) reportó la CE en un rango de 670.00 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 780.00 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, mencionó que según lo establecido por Jones y Wolf, (1994) el agua residual se encontró clasificada como buena, como se muestra en el Cuadro 5, por lo que se descartan problemas de salinidad en el agua residual, sin embargo al realizar la clasificación con los resultados de las muestras de agua analizadas en el presente estudio, se obtuvo que todas las estaciones quedaron clasificadas como de calidad media según el mismo autor.

Cuadro 6. Clasificación del agua para riego según su CE	
Clasificación	$\mu\text{S cm}^{-1}$
Baja salinidad	0 - 250
Salinidad media	250 - 750
Altamente salina	750 - 2250
Muy altamente salina	2250 - 5000

Fuente: Aceves y Palacios, 1994.

Se consideró que las concentraciones de G y A son muy elevadas respecto a las concentraciones del río Atoyac, debido a que la calidad del agua puede afectarse durante su recorrido, ya que a orillas del canal principal y los canales secundarios podrían existir descargas clandestinas de aguas residuales sin tratamiento, de origen doméstico o de pequeñas industrias.

Cuadro 4. Resultados de los parámetros químicos determinados														
Parámetros Químicos	unidades	ESTACIONES DE MUESTREO											PROM.	*LMP
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
CE	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	895.00	887.00	891.00	884.00	893.00	897.00	872.00	888.00	879.00	883.00	891.00	887.27	NN
G y A	mgL^{-1}	957.00	192.60	158.80	570.00	352.67	494.40	707.64	916.00	874.67	1080.00	1401.25	700.46	25.00
DBO ₅	mgL^{-1}	82.00	3564.00	3486.00	162.00	3808.00	3890.00	3972.00	4458.00	3484.00	1783.00	82.00	2615.55	150.00
N _T	mgL^{-1}	56.00	28.00	28.00	33.60	28.00	28.00	28.00	42.00	28.00	28.00	28.00	32.33	60.00
Alcalinidad	mgL^{-1}	238.00	236.00	246.00	254.00	228.00	236.00	242.00	234.00	232.00	230.00	238.00	237.64	NN
Cl ⁻	mgL^{-1}	69.48	66.65	83.66	73.74	65.23	67.36	82.95	67.36	65.94	67.36	68.77	70.77	NN
SO ₄ ²⁻	mgL^{-1}	146.67	161.06	101.11	134.00	153.12	165.98	1309.89	172.49	239.56	72.13	198.44	259.50	NN
D Total	mgL^{-1}	240.22	256.23	264.24	264.24	232.21	256.23	240.22	264.24	472.42	232.21	288.26	273.70	NN
D Ca ²⁺	mgL^{-1}	144.13	240.22	224.20	256.23	224.20	224.20	232.21	248.22	240.22	144.13	232.21	219.11	NN
D Mg ²⁺	mgL^{-1}	96.09	16.01	40.04	8.01	8.01	32.03	8.01	16.01	232.21	88.08	56.05	54.59	NN
Ca ²⁺	mgL^{-1}	57.72	96.19	89.78	102.60	89.78	89.78	92.99	99.40	96.19	57.72	92.99	87.74	NN

Mg ²⁺	mgL ⁻¹	23.44	3.91	9.76	1.95	1.95	7.81	1.95	3.91	56.64	21.48	13.67	13.32	NN
Na ⁺	mgL ⁻¹	94.00	96.30	72.80	93.20	97.60	96.10	46.20	97.80	48.20	46.20	91.10	79.95	NN
K ⁺	mgL ⁻¹	16.40	15.20	6.90	14.70	13.80	14.60	2.30	13.20	3.80	2.40	14.70	10.73	NN

Estos resultados permiten obtener una estimación del grado de contaminación del agua por contenido de G y A (incluyendo ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia susceptible de ser extraída con hexano) provenientes de usos industriales, domésticos y urbanos. El efecto nocivo del empleo con agua contaminada por G y A para riego agrícola repercute principalmente al formarse una película en la superficie del agua que evita que haya intercambio de oxígeno, además se interfiere el ingreso de los rayos solares a los cultivos, lo que resulta muy dañino para las plantas, imposibilitando el intercambio gaseoso por las raíces y en las hojas que tiene contacto con el agua (Gray, 2003).

Los resultados obtenidos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) indicaron que nueve de las once muestras de agua analizadas excedieron el LMP que es de 150.0 mg.L-1, la estación 1 y 11 contienen una concentración de 82.00 mg.L-1 por lo que su calidad es aceptable, mientras que las estaciones restantes rebasaron la NOM desde 162.00 hasta 4458.00 mg L-1, el valor promedio de DBO5 fue de 2615.55 mg.L-1. Las concentraciones de DBO5 reportadas por el Sistema Municipal de Información Ambiental (2009), superan 1.2 veces la NOM. Por su parte Sandoval et al., (2009) reportaron valores desde 11.0 mg L-1 hasta 270.0 mg L-1. Correspondiendo ambos a estudios del río Atoyac.

Se observaron valores significativamente más altos en los resultados del agua del canal principal y canales secundarios. Esto fue un indicativo del incremento en la microflora presente y a la vez de la interferencia que causa en el equilibrio de este ecosistema. Esto aumenta la existencia de algas y la producción de olores desagradables.

Para el nitrógeno total (NT) se obtuvieron concentraciones mínimas de 28.00 mg.L-1 en 8 estaciones (2, 3, 5, 6, 7, 9, 10 y 11), y la concentración máxima en la estación 1 con 56.00 mg L-1, el promedio fue de 32.33 mg L-1. Por lo tanto, ninguna de las muestras supera el límite máximo permisible de 60.0 mg.L-1 establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Comparando los resultados con los reportados por Sandoval et al., (2009) se encontró que las concentraciones de NT provenientes del río Atoyac tienen alta contaminación, debido a que las concentraciones oscilaron entre 2471.0 a 26551.0 mg.L-1, por lo que ninguna estación cumplió con los LMP para uso en riego agrícola, uso público urbano y protección de la vida acuática.

Este notable contraste podría deberse a que el NT contenido en el agua de los ríos Atoyac y Alseseca al llegar a la presa es absorbido por el lirio acuático que se encuentra muy proliferado, realizando sus funciones de purificación, este proceso también puede ocurrir para el caso del fósforo y algunos metales pesados, por lo que se piensa que la concentración del nitrógeno va disminuyendo en su recorrido en la presa y por ende en el canal principal y canales secundarios de riego.

Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales, su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización (Echarri, 2007). Cuando se usan fertilizantes con nitrógeno para enriquecer el suelo, la lluvia, el riego u otro tipo de aguas superficiales pueden acarrear los nitratos a través del suelo y llevarlos hasta los acuíferos de agua subterránea. Las fuentes naturales de nitratos son los depósitos geológicos y la vegetación en descomposición. Los nitratos pueden afectar más fácilmente al agua de los pozos si éstos son poco profundos, no están bien construidos o si no tienen una ubicación adecuada. Tales condiciones podrían permitir la entrada de aguas contaminadas provenientes de tierras agrícolas, corrales o sistemas sépticos (UNESCO, 2006).

La alcalinidad fue detectada en todas las estaciones, este parámetro no se encuentra normado, y es de gran importancia su evaluación puesto que determina la capacidad del agua para neutralizar los efectos ácidos que sobre ella actúen. Los constituyentes principales de la alcalinidad son los bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}), e hidróxidos (OH^-), que provienen de los minerales que se encuentran en forma de carbonatos y bicarbonatos (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , por ejemplo), que disuelven el agua en su contacto con las capas de estratos, y también por la acción del CO_2 atmosférico al disolverse en el agua. Se encontró una concentración mínima de 228.00 mg.L-1 para la muestra 5, mientras que el valor máximo determinado fue de 254.00 mg.L-1 en la muestra 4, obteniendo un valor promedio de 237.64 mg.L-1.

Concentraciones similares reportó González, (1996) en sus resultados de comparación del análisis del agua en la presa Valsequillo en los años 1981, 1991 y 1996, para cada año corresponden las siguientes

concentraciones 1981 (386.00 mg.L-1), 1991 (163.17 mg.L-1) y 1996 (230.33 mg.L-1), con lo que se comprueba que la alcalinidad no presentó grandes variaciones de en su trayecto hacia el canal principal y los canales de riego secundarios.

Otro parámetro no normado son los cloruros, las concentraciones determinadas oscilaron desde 65.23 mg.L-1 (1.84 meq.L-1) en la estación 5, hasta 83.66 mg.L-1 (2.36 meq.L-1) en la estación 3, con un promedio de 70.77 mg.L-1 (1.94 meq.L-1), de acuerdo a lo establecido por Ayers y Westcot, (1987) el agua se clasificó como buena, ya que las concentraciones son menores a 4 meq.L-1. Larenas, (2010) reportó valores que oscilaron entre 3.1 y 3.7 meq.L-1, obteniendo de igual manera clasificación de agua buena, adecuada para riego agrícola. Sin embargo es importante considerar la toxicidad de cloruros en las plantas, teniendo en cuenta los cultivos predominantes a desarrollarse en el área de estudio, cuyos valores máximos tolerables están en función del tipo de cultivo, por ejemplo los frutales son los menos tolerantes. Un contenido de cloruro elevado en el agua también interfiere en el desarrollo y crecimiento vegetal y, en este sentido, su medición es importante cuando el propósito es la evaluación de su aptitud para el riego de cultivos.

Para los sulfatos (SO₄²⁻) los resultados mostraron un promedio de 259.50 mg.L-1 (5.40 meq .L-1), con concentración máxima de 1309.89 mg.L-1 en la estación 7 y concentración mínima de 72.13 mg.L-1 en la estación 10, y aunque la NOM de referencia tampoco regula este parámetro sabemos que son sales solubles en agua por lo que suelen presentarse en aguas naturales en un amplio intervalo, sin embargo en exceso son perjudiciales. Larenas, (2010) reportó concentraciones de sulfatos desde 1.99 meq.L-1 a 3.08 me .L-1 en agua que circula por el canal principal de riego y de 3.30 meq.L-1 a 4.75 meq.L-1 en agua que transita en los canales secundarios, de acuerdo a lo establecido por Ayers y Westcot, (1987) el agua es apropiada para la irrigación de cultivos, se encuentra dentro de la clasificación buena (de 0 a 20 meq.L-1) para uso agrícola.

La Dureza total se encontró en un rango de 232.21 mg.L-1 a 472.42 mg.L-1, con valor medio de 273.70 mg.L-1. Se obtuvo dureza al calcio desde 144.13 mg.L-1 hasta 256.23 mg.L-1 con promedio de 219.11 mg.L-1. Con los resultados de dureza total y dureza al calcio se calculó la dureza al magnesio obteniendo concentraciones que varían desde 8.01 mg.L-1 hasta 232.21 mg.L-1, y el promedio obtenido fue de 54.59

mg.L-1. Delgado, (2003), en su estudio titulado: la contaminación del agua en el entronque Atoyac-San Francisco, reportó resultados promedio de muestras compuestas, en cuanto a dureza total con concentraciones de 280 mg.L-1, dureza al calcio de 230 mg.L-1 y dureza al magnesio 50 mg.L-1. Como se puede observar las concentraciones determinadas son bastante parecidas.

Finalmente en cuanto a los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+} . Es conocido que la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} decrece en relación a la del sodio y la RAS es mayor. Esto provoca la alcalinización y aumento del pH. Entonces, cuando el análisis del agua indica un nivel alto de pH, esto es una señal de que los valores de carbonatos y bicarbonatos son altos y viceversa (Lafuente, 1969). Las concentraciones del ion calcio oscilaron entre 57.72 y 102.60 mg.L-1, con una media de 87.74 mg.L-1. Mientras que el ion magnesio varió de 1.95 a 56.64 mg.L-1, con un valor promedio de 13.32 mg L-1. En el caso del sodio, el valor más bajo se obtuvo en las estaciones 7 y 10, el cual fue de 46.20 mg.L-1, y el más alto en la estación 8 con 97.80 mg.L-1 correspondiente a la concentración más elevada, el promedio fue de 79.95 mg.L-1, este parámetro no se encuentra normado, sin embargo, la literatura citada menciona que altas concentraciones de sodio en las aguas de regadío contribuyen a incrementar el nivel de salinidad en el suelo, afecta la permeabilidad y causa problemas de infiltración. Esto es porque el sodio cuando está presente en el suelo es intercambiable por otros iones. El calcio y el magnesio son cationes que forman parte de los complejos estructurales que forman el suelo generando una estructura granular apropiada para los cultivos (Terrón, 2002). El exceso de iones de sodio desplaza el calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) y provoca la dispersión y desagregación del suelo. El suelo se vuelve duro y compacto en condiciones secas y reduce la infiltración de agua y aire a través de los poros que conforman el suelo (Departamento Desarrollo del Medio Rural, 2002). Elevadas concentraciones de sodio en el agua de riego puede acarrear problemas, sobre todo, cuando el riego se realiza por aspersión, especialmente cuando el contenido en el agua es superior a 3 meq.L-1. En riegos de superficie el riesgo para la planta es menor, ya que una parte muy importante del Na^{+} queda fijada en el suelo. A nivel de suelo, conocer la concentración de sodio de un agua de riego aporta información sobre posibles efectos perjudiciales sobre las propiedades físicas del suelo (Departamento Desarrollo del Medio Rural, 2002). Larenas, (2010) reportó valores del ion sodio desde 98 mg.L-1 hasta 120 mg.L-1 y realizó la clasificación basada en lo establecido por Jones y Wolf (1994),

clasificando el agua como de calidad media, pues se encuentra en el rango de 70 a 180 mg.L-1. La clasificación se realizó con el mismo autor para las 11 estaciones de muestreo y se obtuvo clasificación buena en 3 estaciones (7, 9 y 10), y clasificación media en las 8 estaciones restantes.

El potasio es el séptimo elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre, aunque su presencia en las aguas naturales rara vez ocurre en concentraciones mayores de 20 mg.L-1. Concentraciones más altas de potasio del orden de 100 mg.L-1 se encuentran en algunas aguas salinas. En los análisis realizados se encontraron concentraciones de potasio que oscilaron entre 2.30 mg.L-1 correspondiente a la muestra 7, y 16.40 mg.L-1 en la estación 1, calculando un promedio de 10.73 mg.L-1. Estos valores se encuentran fuera de la clasificación considerada como buena para uso agrícola (rango de 0 a 2 mg L-1) establecida por Ayers y Westcot, (1987).

Para este parámetro Larenas, (2010), obtuvo concentraciones de 1.2 a 1.5 mg.L-1, considerablemente inferiores las concentraciones de K+ para este estudio y por debajo de las concentraciones reportadas por Méndez et al., (1996), de análisis de agua del río Atoyac.

Clasificación del agua para su uso en riego agrícola, según Palacios y Aceves

Después de ser comprobados los resultados analíticos de acuerdo con los criterios de Greenberg, (1992), se realizó la clasificación del agua de acuerdo a los criterios e índices que establece Aceves y Palacios, (1994), para interpretar la calidad del agua, determinando su aptitud o restricción en el empleo para riego agrícola.

Contenido de sales solubles

Para medir el efecto de las sales solubles en el agua de riego se utilizaron los índices: conductividad eléctrica (CE), salinidad efectiva (SE) y salinidad potencial (SP). En el Cuadro 6 se muestran los resultados obtenidos en cada estación.

La CE del agua del canal principal de riego y los canales secundarios en las once estaciones de muestreo analizadas varió en un rango de 872.00 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ a 897.00 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, por lo que el agua en todas las estaciones se ubica dentro de la clasificación condicionada; de acuerdo con los valores de conductividad eléctrica, establecidos en el diagrama del U. S. Salinity Laboratory Staff, (1945) que clasifica el agua para

riego, el agua se ubica en el rango de 750 a 2225 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ que corresponde a agua con un peligro de salinidad alto. En cuanto a SE y SP, a excepción de la estación 7 es la única que queda clasificada como agua no recomendable para riego. Las diez estaciones restantes se clasifican como condicionadas.

E	CE $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	SE meqL^{-1}	SP meqL^{-1}
1	895.00	5.42	3.49
2	887.00	4.90	3.56
3	891.00	4.02	3.41
4	884.00	4.59	3.48
5	893.00	4.28	3.43
6	897.00	5.19	3.63
7	872.00	*28.94	*15.98
8	888.00	4.91	3.70
9	879.00	5.85	4.35
10	883.00	3.40	2.65
11	891.00	5.46	4.01
PROMEDIO	887.27	7.0	4.73
CLASIFICACIÓN	CONDICIONADA ALTAMENTE SALINA	CONDICIONADA *NO RECOMENDABLE	CONDICIONADA *NO RECOMENDABLE

Díaz et al., (2005) indican que el agua de la presa Manual Ávila Camacho no es recomendable para riego de los cultivos del Distrito de Riego 030 “Valsequillo”, ya que en 24 muestras de agua residual que analizaron todas quedaron clasificadas como condicionadas o como no recomendables.

Efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo

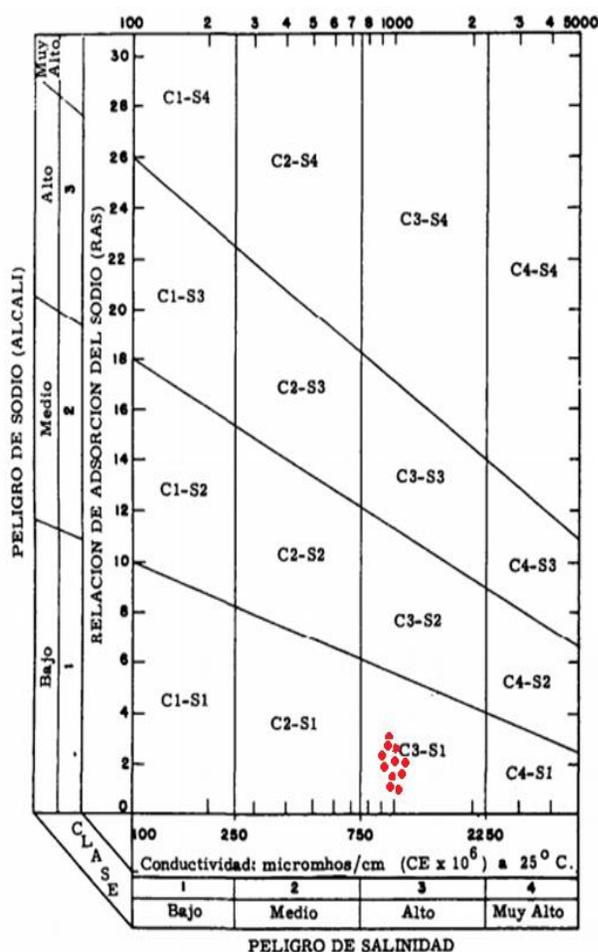
Para determinar el efecto de las sales solubles en el agua de riego se utilizaron los índices: relación de adsorción de sodio, carbonato de sodio residual y porcentaje de sodio posible. En el Cuadro 7 se muestran

los resultados. De acuerdo a la RAS y a la CE las once estaciones quedaron clasificadas como C3-S1 (Figura 5). Cuya interpretación es la siguiente:

C3. Agua altamente salina: no debe usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se pueden necesitar prácticas especiales de control de salinidad, debiendo, por tanto, seleccionarse únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a sales.

S1. Bajo contenido en sodio: puede usarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

Figura 5. Clasificación C3-S1



Díaz et al., (2005) caracterizan a 25 sitios de muestreo en la presa Manual Ávila Camacho como **C3-S1**.

Méndez et al., (1996) caracterizaron las aguas del río Atoyac en el estado de Puebla sobre metales pesados, boro, grasas y aceites, consignando que éstas se han afectado gradualmente durante su recorrido. Y menciona que después de almacenar temporalmente su caudal en las presas Independencia y Valsequillo, se utiliza para riego agrícola en los municipios de Tecamachalco y Atlixco. Los resultados indicaron aguas con clasificación C1-S1, C2-S1 y C3-S1.

Méndez et al., (2000) realizó un monitoreo del agua del río Atoyac durante un año en el trayecto río Frío-Atlixco, con el propósito de evaluar la calidad del agua, mencionan que en este trayecto, las aguas del río tienden a la alcalinidad (con un pH promedio de 7.7) por lo que se clasifican como C1-S1, C3-S1 y C4-S1.

En cuanto a la CSR, los valores fueron negativos, por lo que se consideran como cero y no existe problema en cuanto este índice, pues el contenido de CO_3^{2-} y HCO_3^- es menor de la suma de Ca^{2+} y Mg^{2+} , por lo tanto no hay tendencia a formar CaCO_3 que pudiera desplazar a los carbonatos de Ca^{2+} y Mg^{2+} , lo cual produciría defloculación en el suelo.

Para el PSP, en el Cuadro 7 se ve que las estaciones 7 y 9 quedaron clasificadas como buenas para riego, mientras que en las 9 estaciones restantes se corre peligro de sodificación del suelo, recordando que es un peligro cuando el contenido de sodio es mayor que la mitad la suma de cationes, en tanto que las sales menos solubles precipitan formando CaCO_3 , MgCO_3 y CaSO_4 .

Cuadro 7. Clasificación del agua respecto al efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo			
E	RAS meq L⁻¹	CSR meq L⁻¹	PSP meq L⁻¹
1	2.64	0.00	75.50
2	2.62	0.00	85.48
3	1.95	0.00	78.91
4	2.49	0.00	88.22
5	2.79	0.00	99.18
6	2.61	0.00	80.50
7	1.30	0.00	6.95 (*B)
8	2.62	0.00	86.53
9	0.97	0.00	35.90 (*B)
10	1.32	0.00	59.09
11	2.33	0.00	72.47
PROMEDIO	2.15	0.00	66.87
CLASIFICACIÓN	Buena	--	Condicionada *Buena

Para el PSP, en el Cuadro 7 podemos ver que las estaciones 7 y 9 quedan clasificadas como buenas para riego bajo este criterio, mientras que en las 9 estaciones restantes se corre peligro de sodificación del suelo, recordando que es un peligro cuando el contenido de sodio es mayor que la mitad la suma de cationes, en tanto las sales menos solubles precipitan formando carbonatos de calcio, carbonato de magnesio y sulfato de calcio.

Contenido de elementos tóxicos para las plantas

Finalmente, para determinar algún efecto tóxico sobre las plantas se usó el índice: cloruros. La concentraciones de cloruros se encontraron de 1.84 meq.L-1 a 2.36 1.84 meq.L-1, como se muestra en el Cuadro 8, por lo que las concentraciones se encuentran en el rango de clasificación condicionada por tener valores entre 1 a 5 meq.L-1, clasificación realizada en base a Aceves y Palacios, (1994).

Cuadro 8. Clasificación del agua respecto al contenido de elementos tóxicos para las plantas	
E	Cl⁻ meqL⁻¹
1	1.96
2	1.88
3	2.36
4	2.08
5	1.84
6	1.90
7	2.34
8	1.90
9	1.86
10	1.90
11	1.94
PROMEDIO	2.00
CLASIFICACIÓN	CONDICIONADA

Clasificación del agua para riego, según Ayers y Westcot, (1987)

Es importante mencionar que existen otros lineamientos para clasificar el agua para riego entre ellos se encuentran los criterios establecidos por Ayers y Westcot, (1987) (Cuadro 9), citado por Velázquez, (2001). En el Cuadro 9 se señalan los rangos dentro de los cuales se encuentran las muestras de agua analizadas correspondientes a las once estaciones. En cuanto a los problemas potenciales de salinidad que el agua de riego puede provocar, se encuentran la CE y los SST. La CE se encuentra en un rango de 0.7 a 3.0 mS.cm-1,

por lo que el grado de restricción que representan es de ligero a moderado, mientras que los SST tuvieron una concentración menor a 450 mg.L-1, por lo tanto no existe ningún grado de restricción.

Los problemas potenciales que resultan de la infiltración se evaluaron con la CE y la RAS, en este criterio no se encuentra grado de restricción alguno, pues la RAS se encuentra en el rango de 0 a 3 y la CE es mayor a 0.7 mS cm-1.

Para determinar el problema potencial ocasionado por la toxicidad de iones específicos (sodio y cloro), se tiene que tomar en cuenta el tipo de riego empleado en la zona de estudio, en nuestro caso el riego es rodado o por superficie. Los iones sodio y cloro, relacionados con la RAS no presenta ningún grado de restricción.

En el caso de los oligoelementos, se encontró al nitrógeno en nueve estaciones en el rango de 5.0 a 30.0 mg.L-1, por lo que su grado de restricción resultó de ligero a moderado, tres de las estaciones (1, 4 y 8) presentaron un severo grado de restricción, ya que la concentración de nitrógeno rebasó los 30 mg.L-1, quedando dentro de esta clasificación. Y finalmente en cuanto a los bicarbonatos se tiene un grado de restricción sobre el uso del agua de ligero a moderado, pues se encontraron concentraciones en el rango de 1.5 a 8.5 mg.L-1 en todas las estaciones de muestreo.

Cuadro 9. Lineamientos para evaluar la calidad del agua para riego.

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción sobre el uso del agua		
		Ninguno	Ligero o Moderado	Severo
Salinidad (afecta disponibilidad de agua para el cultivo)				
CE	mS cm ⁻¹	< 0.7	<u>0.7 – 3.0</u>	> 3.0
TSS	mg L ⁻¹	<u>< 450</u>	<u>450 – 2000</u>	> 2000
Infiltración (reduce infiltración; evaluar usando a la vez la CE y el RAS)				
RAS = 0 - 3 y	CE =	<u>> 0.7</u>	0.7 – 0.2	< 0.2
= 3 - 6	=	> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
= 6 - 12	=	> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
= 12 - 20	=	> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
= 20 - 40	=	> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Toxicidad de iones específicos (afecta cultivos sensibles)				
Sodio (Na⁺)				
Riego por superficie	RAS	<u>< 3.0</u>	3.0 – 9.0	> 9.0
Riego por aspersión	mmol _c L ⁻¹	< 3.0	> 3.0	
Cloro (Cl⁻)				
Riego por superficie	mmol _c L ⁻¹	<u>< 4.0</u>	4 – 10.0	> 10.0
Riego por aspersión	mmol _c L ⁻¹	< 3.0	> 3.0	
Boro B	mg L ⁻¹	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
Oligoelementos				
Varios (afecta cultivos sensibles)				
Nitrógeno (NO ₃ -N)	mg L ⁻¹	< 5.0	<u>5.0 – 30.0</u>	<u>> 30.0</u>
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) (aspersión foliar únicamente)	mmol _c L ⁻¹	< 1.5	<u>1.5 – 8.5</u>	> 8.5
pH Amplitud normal 6.5 – 8.4				

Fuente: Ayers y Westcot, 1987

*Velásquez, 2001

CONCLUSIÓN

Las descargas de agua residual vertidas hacia los ríos Atoyac y Alseseca presentan altos niveles de contaminantes que rebasaron los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996, por lo tanto la contaminación es trasladada a la presa y posteriormente al canal principal y canales secundarios de riego, donde el agua es captada por los cultivos y de forma natural los contaminantes se introducen a la cadena trófica, afectando tanto a los animales como a los pobladores de la zona y a los consumidores de los cultivos ahí cosechados.

Es indispensable que las industrias de los estados de Puebla y Tlaxcala que descargan agua residual a los ríos Atoyac, Alseseca y Zahuapán implementen tratamientos secundarios y terciarios para que cumplan con la Normatividad Mexicana vigente.

Dentro de los parámetros que regula la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, se encontraron concentraciones de grasas y aceites que rebasaron el límite máximo permisible en todas las estaciones y altas concentraciones de DBO5 para la mayoría de ellas, estos parámetros son indicadores de contaminación.

La clasificación del agua que circula sobre el canal principal y canales secundarios que abastecen a los seis módulos del Distrito de Riego 030 "Valsequillo", realizada de acuerdo a Aceves y Palacios, (1994), resultó ser altamente salina en cuanto a la conductividad eléctrica, condicionada respecto a los índices SE, SP, PSP y Cl-, en cuanto al CSR no se observó ningún problema. De acuerdo a la RAS y la CE, el agua quedó clasificada como C3-S1, por lo que es agua altamente salina, aunque baja en sodio. En general, el agua no es aceptable para la irrigación de cultivos sin previo tratamiento, sin embargo, es completamente imposible establecer una clasificación adecuada para determinar la aptitud del agua para el riego, sin tener en cuenta las condiciones en que las que el agua es empleada (cantidad de agua usada para riego y la frecuencia de riego), especialmente en las interacciones con el suelo (características fisicoquímicas), el tipo de cultivo (básicamente su tolerancia relativa a la salinidad y sequía) y la climatología (temperatura, precipitación, evaporación, etc.).

La clasificación de acuerdo a Ayers y Westcot, (1987) resultó sin ningún grado de restricción sobre el uso del agua en cuanto a sólidos suspendidos totales, sodio y cloruros. Se registró grado de restricción de ligero a moderado para bicarbonatos y conductividad eléctrica en todas las estaciones, mientras que para el nitrógeno únicamente ocho estaciones tienen grado de restricción de ligero a moderado y tres estaciones quedaron clasificadas con grado de restricción severo. Cabe mencionar que para estos autores el rango permisible de nitrógeno es de 30 mg.L-1, mientras que en la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 es de 60 mg L-1, esta concentración tan alta puede ser uno de los factores que están ocasionando los

problemas de proliferación del lirio en la presa, por lo que se considera conveniente disminuir la concentración permisible de la Norma Oficial Mexicana.

Bibliografía

Aceves N. Everardo y Oscar Palacios V. 1994. Instructivo para el muestreo registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola, Colegio de Postgraduados, México.

Ayers R.S. y D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage paper. 29, Rev. 1, FAO, Rome. 182 p.

Ayers, R. S. y D. W. Westcot. 1987. La calidad del agua y su uso en la agricultura. Estudio FAO. Serie Riego y Drenaje No. 29. Rev. 1. Ed. FAO. Roma, Italia. p. 181.

Comisión Nacional del Agua (CNA). 2002. Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Valle de Tecamachalco, estado de Puebla. México, D.F.

Delgado H. B. H. 2003. Resultados del análisis de deterioro realizado en el río Atoyac. La contaminación del agua en el entronque Atoyac-San Francisco.

Díaz R. P., Noemí Bonilla y F., Mario A. Tornero C., Carlos Cabrera M., Yolanda Ángeles C., Josefina González D., y Eréndira Corona J. 2005. Calidad del agua de la presa Manuel Ávila Camacho utilizada para el riego de los cultivos en el distrito de Riego 030 "Valsequillo"

D.O.F. 2011a. ACUERDO por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Región Hidrológica número 18 Balsas. Diario Oficial de la Federación, Miércoles 26 de enero del 2011.

Eaton A. D., Clesceri L. S., Rice E. W., Greenberg A. E. 2005. Standard Methods for the examination of water and wastewater. Centennial Edition. 21st Edition.

Echarri L. 2007. Población, ecología y ambiente. Tema 8 Contaminación del agua

Gray N. F. 2003. "Calidad del Agua Potable", editorial Acribia, S.A–Zaragoza, España.

González M. M. 1996. Resultados del análisis del agua de La Presa de Valsequillo 1981, 1991 y 1996. Medición de los niveles de contaminación del Lago Valsequillo.

Jiménez C. B. E. 2001. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada, México. Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A. C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA.

Jones B. J. and Wolf B. 1994. Manual soil testing procedure using modified. Morgan Extracting reagent. Benton laboratories INC, Athens Georgia, U.S.A.

Lafuente C. J. G. Química del agua. 1969. Ed. Blume. p.p 309, 310, 311 y 315. Horticultura 10(2): 173–178.

Larenas B. N. 2010, Determinación de la concentración de metales pesados en agua, suelo y cultivos regados con agua de la Presa Manuel Ávila Camacho. (Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, campus Puebla). Pue. p. 65.

Méndez G. T. J. y L. Rodríguez M. 1996. Niveles de contaminación de las aguas del río Atoyac, estado de Puebla, por metales pesados, boro, grasas y aceites. Terra 14: 137-149.

Méndez G. T., L. Rodríguez D. S. Palacios M. 2000. Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. TERRA Latinoamericana, octubre-diciembre, año/vol. 19, número 004. Universidad Autónoma Chapingo, México. Pp. 277-288.

Terrón P. U. 2002. Fitotecnia: ingeniería de la producción vegetal. Ediciones MundiPrensa (Madrid). 528 pág.

UNESCO, 2006. El agua una responsabilidad compartida. 2do. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Resumen Ejecutivo. París: UNESCO-WWAP.

Velázquez M. M. A. 2001. Las variaciones de los procesos de adsorción de sodio en función de los diferentes valores de la relación de adsorción de sodio en las aguas residuales de la red hidrográfica de Zumpango-Ixmiquilpan, Valle del Mezquital Hgo. Tesis de Doctorado en ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo Texcoco, México.

Villar M. J. M. e Israel Carrasco M. 2002. Aptitud del agua caliente para su uso en agricultura de regadío. Ingeniería del Agua. Vol 9. No. 2.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Martínez S. L. 2005. Estudio de la calidad agronómica del agua de riego de las islas baleares. Disponible en: http://dgrechid.caib.es/www/doc/AIGUES_SUBTERRANIES_1.pdf. Fecha de consulta: 29 de octubre 2012.

Programa Municipal de Desarrollo Urbano Sustentable de Puebla, 2011. H. Ayuntamiento de Puebla. pp 245. Disponible en:
<http://www.pueblacapital.gob.mx/work/sites/pue/resources/LocalContent/476/5/tomo2.pdf>. Fecha de consulta: 3 de octubre 2012.

Sistema municipal de Información Ambiental, 2009. Departamento de Información y educación ambiental. Estudio sobre el deterioro ambiental del Río Atoyac en la ciudad de Puebla dirigido por David Aragón Borrego y promovido por la CNA, SOAPAP, la Universidad Iberoamericana y Puebla Verde A.C. Disponible en:
<http://www.pueblacapital.gob.mx/work/sites/pue/resources/LocalContent/3619/3/contaminacion.pdf>. Fecha de consulta: 19 de octubre del 2012.

IV Foro Mundial del Agua, México 2006. Tema: rescatemos Valsequillo; Proyecto del rescate Ecológico de los Ríos Zahuapán, Atoyac, Alseseca y Presa Valsequillo. Disponible en:
http://www.worldwaterforum4.org.mx/sessions/FT3_60/5.%20Rescatemos%20Valsequillo.pdf. Fecha de consulta: 13 de julio del 2012.