



## III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

### CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA PARA RIEGO EN LA SUBCUENCA HIDROLÓGICA DEL RÍO APULCO DEL ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO

**Pablo Zaldívar Martínez<sup>1\*</sup>; Juan Manuel Barrios Díaz<sup>1</sup>; Guillermo Jesuita Pérez Marroquín<sup>1</sup>; Isaac Villegas Rodríguez<sup>1</sup>; Feliciano Villegas Rodríguez<sup>1</sup>; María Azucena Serrano Marin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, C.P. 73800, México.

<sup>2</sup>Estudiante. Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. San Juan Acateno. Teziutlán, Puebla. C.P. 73800. México.

[pablozalmar@hotmail.com](mailto:pablozalmar@hotmail.com) - 231 119 0445 (\*Autor de correspondencia)

#### Resumen

El agua se ha convertido en un bien estratégico. Las principales causas de su creciente escasez están dadas por el crecimiento demográfico, la creciente urbanización, la aspiración al creciente autoabastecimiento de alimentos y el consiguiente aumento en el consumo de agua en el sector agrícola, siendo este último el que utiliza el 70 % de las reservas de agua aprovechable. Las grandes investigaciones se han realizado para el desarrollo y conocimiento de cómo se debe manejar la calidad de agua en cualquier parte del mundo, para la sobre vivencia de cada una de las especies. La disponibilidad de la pureza del agua ocupa desde la antigüedad un importante tema para las distintas culturas. Por todo esto, el presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo, determinar la calidad química del agua para riego de la subcuenca hidrológica del Río Apulco y analizar si es factible su uso en riego. El estudio se enfatizó en dos épocas del año: verano y otoño ya que marcan el comienzo de la temporada de lluvias. Se determinaron 15 puntos de muestreo por temporada a lo largo del río principal de la subcuenca. Al final se recolectaron 24 muestras, faltando seis debido a la inaccesibilidad al punto de muestreo. El análisis químico del agua nos dio como resultado una clasificación C1S1 de acuerdo a la clasificación establecida por la Universidad de Riverside en California; esto nos indica que el agua presenta baja salinidad y bajo en sodio, permitiendo que el agua sirva para sembrar la mayoría de los cultivos en cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de desarrollar salinidad y alcanzar niveles peligroso de sodio.

**Palabras clave adicionales:** calidad química, agua, riego, agricultura.



## Introducción

Las aguas superficiales de los continentes fueron las más visiblemente contaminadas durante muchos años, pero precisamente al ser tan visibles los daños que sufren, son las más vigiladas y las que están siendo regeneradas con más eficacia en muchos lugares del mundo, especialmente en los países desarrollados.

La calidad de agua para un riego, debe evaluarse por la potencialidad de ésta para producir efectos dañinos al suelo, a los cultivos, a los animales y personas que consumen dichos frutos. Para distinguir la ventaja o desventaja del agua que se intenta o pretende utilizar con fines de riego; debe tenerse en cuenta: la calidad química y la calidad agronómica. La calidad química está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que tengan, y su conocimiento servirá para recomendar su uso con fines domésticos, industriales, pecuarios y agrícolas. Cuando el agua se va usar para riego de cultivo la calidad química no va especificar si el agua debe o no ser empleada, es necesario considerar la calidad agronómica. La calidad agronómica, está determinada por los factores siguientes: calidad química, suelo por regar, método de riego, condiciones de drenaje del suelo, cultivos para regar, condiciones climáticas y prácticas de manejo del agua, del suelo y de las plantas (Aceves, 1979).

A raíz de las demandas por agua, los problemas de calidad se han multiplicado exponencialmente debido al enorme aumento de las cargas contaminantes pero; Además de la cantidad de agua disponible para disolución está disminuyendo debido al aumento de la población. Esta cuestión crítica ha estimulado abordar los problemas y las posibles soluciones con enfoque integral (por lo menos a nivel de cuencas).

## Materiales y métodos

### Localización del sitio de estudio

La localización del sitio de estudio es en la subcuenca del Río Apulco que se encuentra ubicada a  $97^{\circ} 30' 12.35''$  longitud,  $19^{\circ} 57' 52.94''$  latitud aguas arriba y  $97^{\circ} 27'$  longitud,  $20^{\circ} 13' 33.52''$  latitud aguas abajo, en el estado de Puebla. Figura 1.



**Figura 1** Localización de la subcuenca hidrológica del río Apulco.

El presente trabajo se realizó en dos épocas del año en verano y otoño en la subcuenca del río Apulco, el transecto realizado es de 81 Km., tomando muestras a cada 8 Km. Comenzando el primer punto aguas arriba cerca de la comunidad de San Carlos que se encuentra en la comunidad de Zacapoaxtla a  $97^{\circ} 35' 52''$  longitud  $19^{\circ} 55' 35''$ , terminando en el último punto en el estado de Veracruz comunidad del Chacal a  $97^{\circ} 27''$  longitud,  $20^{\circ} 13' 33.52''$  latitud son quince comunidades en la cual se realizó el muestreo y 15 muestras obtenidas por época de año haciendo un total de muestras de 30 por las dos épocas del año verano y otoño se observa en la figura 2.



**Figura 2.** Subcuenca del río Apulco con las corrientes perennes que lo alimentan, mostrando con puntos amarillos los lugares de muestreo.

## Metodología

En el presente trabajo se realizó para conocer qué calidad de agua hay en la subcuenca del río Apulco en las dos época del año verano y otoño que son de mayor importancia, ya que en estas dos épocas del año comienza la temporada de lluvia, en verano con ligeras lluvias y otoño con las lluvias más fuertes por lo que existe la posibilidad de más arrastre de materiales pesados, detergentes u otros contaminantes, por lo cual hay que conocer el lugar a estudiar, ubicar puntos, que materiales se necesita para realizar los análisis en laboratorio e interpretar los datos obtenidos, de acuerdo a todo lo mencionado anteriormente esto se divide en fases; la fase de gabinete, la fase de campo, fase de laboratorio, y la fase resultados e interpretación.

## Fase de recopilación de información

La recopilación de información es principalmente la ubicación del sitio de muestreo por medio de cartas topográficas, se delimito toda la subcuenca del río Apulco en el cual como ya se ha mencionado que comienza de aguas arriba en la región de Zacapoaxtla del estado de Puebla y termina aguas abajo en la región del Chacal del estado de Veracruz, se midió el río principal teniendo una distancia de 81 Km. De acuerdo a la distancia obtenida los puntos de muestreos se dividen a cada 8 Km. obteniendo así 10 puntos a muestrear en el río principal, tomando en cuenta las corrientes que alimentan al Apulco esta corrientes tiene que ser Perennes ya que son corrientes con agua todo el año, al delimitar también las corrientes que alimentan al Apulco se determinó al final que los puntos totales a muestrear son 15 por época del año, el total de muestras son



24 en las dos épocas del año verano y otoño, ya teniendo las distancia al que debe ir cada punto de muestreo en todo el río principal, se prosigue a calcular las coordenadas de cada punto de muestreo tomando en cuenta también las corrientes perennes, las coordenadas se ubican y calculan en la carta topográfica para saber hacia dónde están los puntos cuando se realice la fase de campo, colocando cada una de las coordenadas calculadas en un GPS, que es un aparato de ubicación geográfica para puntos a muestrear. Los lugares a muestrear son los siguientes: San Carlos, río Tepatitlán, río Calcahualtenco, Topictacta, cortinas de la presa, Jilotepec, río Atexcaco, los Encinos, Buena Vista, río Zempoala, río Zarco, Chacal.

### **Fase de campo**

En esta fase se requiere de materiales muy importantes para la obtención de las muestras, para la realización de una buena recopilación de muestras se debe tener un buen procedimiento, de acuerdo a la metodología de (aguilera & Martínez, 1996) se necesita los materiales siguientes para obtener muestras de agua:

1. Botellas de 2 litros bien desinfectadas
2. Etiquetas para identificar cada muestra
3. Guantes látex para protegerse las manos
4. Hielera para guardar muestras

Para los análisis químicos ordinarios la cantidad requerida es de un litro aproximadamente. Las 24 muestras debe ir acompañadas de una etiqueta con las siguientes especificaciones; lugar de muestreo (municipio, ejido, estado), número de muestra, fecha de muestreo, nombre de la persona quien tomo la muestra, teniendo estos datos las muestras se guardan en la hielera para que así con el transcurso del tiempo no cambie su composición química, ya que hay muchos factores que pueden hacer cambios como por ejemplo el sol que este hace que el agua se caliente y sufra cambios en el cual por medio de la evaporación se puede disminuir las dosis de elementos que tiene el agua, por lo consiguiente teniendo el total de las 24 muestras se llevan a la siguiente fase que es la del laboratorio para su análisis.

### **Fase del laboratorio**

Con la obtención de muestras se prosiguió a realizar los análisis en los cuales solo se tienen 12 muestras por época del año haciendo un total de 24 muestras en la investigación aun faltando 6 muestras en las dos épocas del año, que no se recolectaron ya que no existe gran accesibilidad a los puntos de muestreos y se tiene que planear otro cerca de estos que si haya accesibilidad y si no se tienen que eliminar, con estas 24 muestras que se han obtenido se prosiguió a realizar los análisis. La metodología para la realización de los análisis es obtenida en el laboratorio, y regido por la Norma Oficial Mexicana (NMX) en la cual para la realización de análisis de cada uno de los parámetros, obtención de resultado e interpretación de cada uno de ellos y mostrar si el agua es de calidad. Los parámetros que son para realizar un análisis de calidad de agua son los siguientes que lo muestra en la metodología de laboratorio (Aguilar, 2001).



En los parámetros determinados se explican cómo fueron analizados cada uno de estos y con qué equipo de laboratorio; conductividad eléctrica; se determina teniendo en un vaso de precipitado de 250 mml, una cantidad de 50 mml de muestra medida con una pipeta de 50 mml y se determina con el aparato conductivity meter, y este nos los da en unidades de microsiemens, para interpretar los tenemos que convertir a partes por millón (ppm).

El pH se determina con el aparato que se llama potenciómetro, en el cual primero tiene que ser calibrado con la solución Buffer, teniendo ya en un vaso precipitado 50 mml de muestra y se determina el pH, conociendo que tanto de acidez o alcalinidad hay en el agua siguiendo un estándar que se presenta en libro de RASPA, en las NMX, que es la siguiente: de 0 a 6 se tiene que el agua tiene acidez, de 7.0 el agua es neutra y de 8 a 14 el agua es alcalina. Calcio y Magnesio se utilizó 50 mml de muestra en el vaso o matraz de 250 mml, y se determinó con el aparato espectrómetro y las unidades en que se encuentra la lectura es en partes por millón (ppm), sodio y potasio ; se utilizó en un vaso precipitado 50mml de muestra en la cual se prosiguió analizar en un aparato que se llama flamómetro en el cual se calibra con la solución estándar que 0 a 100 y las unidades en que se encuentra la lectura es en partes por millón (ppm).

Carbonatos y bicarbonatos; se determinaron tomando una pipeta de 50mml de la muestra y este colocarla en un matraz de 250 mml y después añadir 3 gotas de fenoftaleina, si se aprecia inmediatamente un color rosa esta indica la presencia de carbonatos, después se prosigue añadir 2 gotas de anaranjado de metil para titular en buretas con ácido sulfúrico y si se presenta un color rojo pardo existe bicarbonatos se toma la cantidad de ácido sulfúrico que se utilizó para que esta muestra se presentara en color rojo pardo. Cloruros; se toma de la muestra 50 mml en una pipeta de 50 mml, se vacía en un matraz de 250mml se le agrega 4 gotas de cromato de potasio, prosiguiendo a titular con una solución de nitrato de plata hasta notar un precipitado de color rojo ladrillo, este indica que hay presencia de cloruros las unidades que se presenta para interpretar hay que convertirlas. Sulfatos; se tiene 100mml de la muestra con pipeta volumétrica, se calienta a punto de ebullición agregando ácido clorhídrico al 10% y adicionar una solución de cloruro de vario al 10% dejar reposar por 2 horas y filtrar con crisoles filtrantes de fondo poroso, en el cual ha sido previamente lavado con agua caliente y secado en mufla y pesado en balanza analítica, teniendo ya filtrada la muestra en el crisol se pone a secar en la estufa a 105 °C, se saca y se enfría para después pesar, para después calcular con fórmulas. Sólidos suspendidos; este método es analizado de acuerdo a la Norma Oficial México NMX-AA-004-SCFI-2000. Sólidos totales: este Parámetro que se analizó también con la Norma Oficial México NMX-AA-004-SCFI-2000 (SCFI, 1980).

Una vez analizados todos los parámetros, teniendo los resultados de las 12 muestras tomadas en cada época del año, haciendo un total de 24 muestras en la investigación, se realizó cada uno de los cálculos requeridos para tener los datos en las unidades que se requieren para la graficación e interpretación de los resultados, así con esto se tiende a dar algunas recomendaciones si son necesarias o las requiere algún agricultor, para esa zona.



## Análisis y discusión de resultados

Los resultados obtenidos en cada uno de los sitios de muestreo, se presentan en función del orden numérico que se les dio a cada sitio de muestreo iniciando desde aguas arriba y terminando aguas debajo de la subcuenca los lugares son: (1) San Carlos, (2) río Tepetitlán, (3) río Calcahualtenco, (4) Topictacta, (5) cortinas de la presa, (6) Jilotepec, (7) río Atexcaco, (8) los Encinos, (9) Buena Vista, (10) río Zempoala, (11) río Zarco, (12) Chacal. Según (Ortiz, 2000) los principales efectos que puede ocasionar el agua en las propiedades de los suelos y en el desarrollo de los cultivos agrícolas, se ven desde tres puntos de vista; salinidad, originado por la acumulación progresiva de sales provenientes de agua de riego; sodicidad, derivado de la presencia en el agua de una alta cantidad de sodio en comparación con otros cationes como el calcio y el magnesio, ocasionando alcalinidad y baja permeabilidad en el suelo; toxicidad, que se ocasiona en las plantas cuando estas absorben en gran cantidad los iones provenientes del agua, lo cual puede ocasionarles un mal desarrollo o incluso la muerte del cultivo. En el tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en la época de verano, donde los elementos analizados se representan en mili equivalentes por litro (meq/l).

**Tabla 1.** Resultados de análisis de elementos determinados para la calidad química del agua del río Apulco en la época de verano.

N° de muestreo	C. E.	Ph	Ca	Na	K	Mg	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	B
1	250	7.52	1.10	1.00	0.13	0.54	0.00	3.86	0.73	6.00	0.50
2	205	7.07	1.10	0.78	0.15	0.54	0.00	2.64	0.15	9.00	0.40
3	200	5.65	0.05	0.39	0.08	0.26	0.00	1.01	0.51	11.00	0.30
4	209	7.85	0.95	0.83	0.13	0.26	0.00	2.84	0.69	9.00	0.20
5	133	7.20	0.25	0.74	0.13	0.27	0.00	2.84	1.01	7.00	0.40
6	131	5.51	2.05	0.17	0.11	0.24	0.00	1.62	3.07	5.00	0.10
7	146	6.34	1.65	0.35	0.10	0.23	0.00	1.22	0.51	4.00	2.70
8	125	4.31	0.55	0.65	0.11	0.26	0.00	1.32	1.57	7.00	0.10
9	136	6.73	0.55	0.65	0.11	0.28	0.00	2.03	0.69	8.00	2.70
10	184	6.37	1.05	0.39	0.05	0.26	0.00	2.54	0.18	5.00	0.60
11	139	7.50	0.50	0.61	0.11	0.26	0.00	1.83	0.60	5.00	0.50
12	156	7.82	0.50	1.09	0.15	0.30	0.00	2.03	0.15	21.00	0.30

La calidad del agua tiende siempre a cambiar por la diferentes estaciones del año, pero las estaciones en las cuales se puede encontrar resultados congruentes es en la época de verano y otoño, ya que en las demás épocas como por ejemplo en primavera hay muchos cambios por las altas temperaturas que se encuentra en el medio ambiente, en otro caso en la época de invierno aunque no son tan drásticos los cambios, por eso es mejor tomar las muestras en las épocas de verano y otoño ya que existe una media donde ni el calor es fuerte ni la temperatura cambia drásticamente.

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en la época de otoño donde se observan los elementos principales que se analizaron, los resultados se representan en miliequivalentes por litro (meq/l) en los 12 sitios de muestreo.

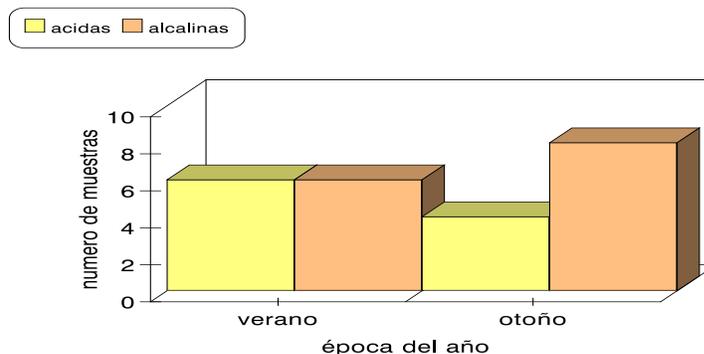


**Tabla 2.** Resultados de análisis de elementos para determinados para la calidad química del agua del río Apulco en la época de otoño.

N° de muestreo	C. E.	Ph	Ca	Na	K	Mg	CO3	HCO3	SO4	Cl	B
1	155	7.00	1.10	0.30	0.05	0.64	0.00	2.44	0.72	4.00	0.50
2	174	7.20	0.20	2.26	0.06	0.77	0.00	17.15	0.35	10.00	0.40
3	83	6.85	0.70	0.52	0.09	0.40	0.00	1.93	0.07	3.00	0.30
4	146	7.15	1.10	0.52	0.08	0.27	0.00	2.54	0.96	6.00	0.20
5	136	8.32	1.05	0.44	0.08	0.30	0.00	2.23	2.49	3.00	0.40
6	80	5.76	0.35	0.48	0.08	0.54	0.00	1.01	3.56	6.00	0.10
7	186	7.92	1.05	0.39	0.08	0.29	0.00	2.84	0.57	9.00	2.70
8	184	4.31	0.55	0.65	0.11	0.26	0.00	1.32	1.57	7.00	0.10
9	102	7.24	1.00	0.44	0.08	0.35	0.00	1.52	6.39	5.00	2.70
10	166	7.95	1.05	0.35	0.05	0.27	0.00	2.64	0.81	6.00	0.60
11	107	7.37	0.75	0.44	0.08	0.47	0.00	1.42	2.21	8.00	0.50
12	156	6.54	1.05	0.44	0.06	0.24	0.00	2.23	0.31	6.00	0.30

### Potencial hidrogeno (pH)

La calidad de agua de riego se ve afectada por muchos factores del medio ambiente , según (Coras, 1989) para tener una buena calidad de agua se tiene que tomar en cuenta el pH que es un parámetro esencial para conocer cómo se encuentra la calidad del agua ácida o alcalina, la acidez del agua se da por la poca presencia de los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio, pero si hay agua que es alcalina se tiene la presencia elevada de calcio magnesio, sodio, y potasio, ya que también la alcalinidad del agua es causada por la presencia de los aniones sulfatos, carbonatos y bicarbonatos. En la figura 3 se muestran los resultados obtenidos en las dos épocas del año en verano y otoño, en el cual los resultados indican que se tiene seis puntos de muestreo que son alcalinos y los otros seis son ácidos en la época de verano a diferencia de los resultados obtenidos en la época de otoño ya que ocho puntos de muestreo son alcalinos y solo cuatro son ácidos, la diferencia que se encuentra es que en la época de verano existe menos agitación de las aguas y arrastres de los elementos, los cuales se encuentran concentrados, y en la época de otoño, son más intensos los agitamientos por las torrenciales lluvias habiendo más arrastres de los elementos elevando más su concentración.



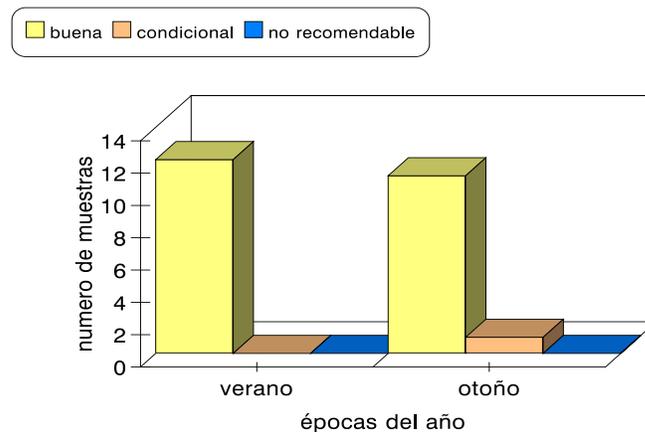
**Figura 3.** Resultados obtenidos de pH en las muestras de aguas del río Apulco en las épocas del año verano y otoño.



Se observa que en la época de verano las seis muestras que son ácidas están por debajo de un pH de 7.0 que pertenecen a los sitios de muestreo (3) río Calcahualtenco (6) Jilotepec (7) río Atexcaco (8) los Encino (9) Buena Vista (10) río Zempoala, y las que son alcalinas pertenecen a los sitios de muestreo (1) San Carlos (2) río Tepetitlan (4) Topictacta (5) cortinas de la presa (11) Zarco (12) Chacal, ya que estas tiene un pH superior a siete, como ya se mencionó anteriormente la gran diferencia se muestra en la época de otoño, ya que esta tiene 4 sitios de muestreo que son ácidas, pertenecientes a los puntos de muestreo que son (3) río Calcahualtenco (6) Jilotepec (8) los encino (12) Chacal y las que son alcalinas son ocho los sitios de muestreo (1) San Carlos (2) río Tepetitlan (4) Topictacta (5) cortinas de la presa (7) cortinas de la presa (9) Buena Vista (10) río Zempoala (11) Zarco, con este tipo de pH que se observa en las dos épocas del año se puede decir que no es dañino para los cultivos ya que no existe una alta acidez ni como una alta alcalinidad como se puede observar en los resultados de cada sitio de muestreo en el cuadro 1 y 2 de acuerdo a la metodología de (Coras, 1989) en las dos épocas del año. Con este tipo de pH se pueden cultivar, hortalizas, ornamentales y frutales ya que son cultivos que requieren un pH ni muy ácidos y ni muy alcalinos.

### Clasificación por Salinidad

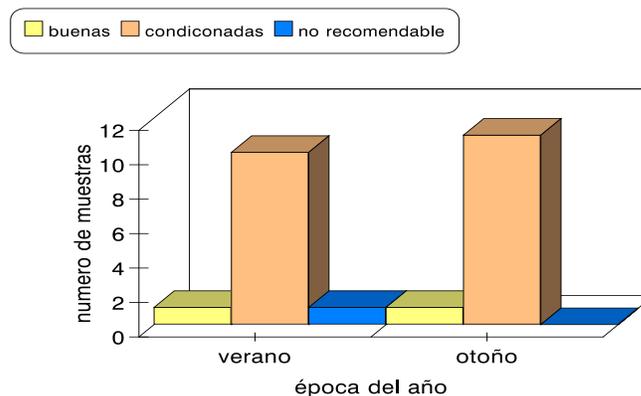
La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en el agua de riego. La conductividad eléctrica (CE) es una de las más usadas, en tanto que el total de sólidos disueltos (TDS) lo es en menor proporción. La reducción del crecimiento de los cultivos por la salinidad es causada por el potencial osmótico (PO) ya que reduce la capacidad de las raíces de las plantas a extraer agua del suelo. La disponibilidad del agua en el suelo está relacionada a la suma del potencial métrico y potencial osmótico. El daño por sales vía foliar puede ocurrir en el riego por aspersión, éste daño depende de la salinidad del agua, sensibilidad del cultivo, frecuencia de aspersión y de factores medioambientales (temperatura, humedad relativa, luz, etc.) y se divide en dos fase salinidad efectiva y salinidad potencial (Aguilar, 2001).



**Figura 4.** Resultados obtenidos de salinidad efectiva en los doce puntos de muestreo del río Apulco en las dos épocas del año verano y otoño.



La salinidad que se encuentra en el agua es de gran importancia ya que si se tiene gran cantidad de cationes disueltos en el agua, va afectar a el suelo como a la planta los criterios de clasificación para la salinidad efectiva son aguas de buena calidad si tienen menos de 3 meq/l, aguas condicionadas son las que tiene de 3 a 15 meq/l y aguas no recomendables son las que tienen más de 15 meq/l siguiendo la metodología de (Ortiz, 2000) los resultados que se han obtenido en los sitios de muestreo en aguas todas se encuentran de buena calidad (1) San Carlos (2) río Tepetitlan (3) río Calcahualtenco, (4) Topictacta, (5) cortinas de la presa, (6) Jilotepec, (7) río Atexcaco, (8) los encinos, (9) Buena Vista, (10)río Zempoala, (11)río Zarco, (12) Chacal, esto es en base a la época de verano, y a diferencia en la época de otoño también se tuvo casi su totalidad de los sitios de muestreo en buena calidad (1) San Carlos (3) río Calcahualtenco, (4) Topictacta, (5) cortinas de la presa, (6) Jilotepec, (7) río Atexcaco, (8) los Encinos, (9) Buena Vista, (10)río Zempoala, (11)río Zarco, (12) Chacal, solo el sitio de muestreo (2) río Tepetitlan es condicionada pero ninguno de los sitios de muestreo en las dos épocas del año se encuentran en aguas no recomendable.



**Figura 5.** Resultados de salinidad potencial en el agua del río Apulco en las dos épocas del año verano y otoño.

La importancia de conocer la salinidad potencial en el agua de riego es conociendo los criterios de clasificación en el agua que son: aguas de buena calidad si tienen menos de 3 meq/l, aguas condicionadas son las que tiene de 3 a 15 meq/l y aguas no recomendables son las que tienen más de 15 meq/l siguiendo la metodología de (Ortiz, 2000), los resultados obtenidos se tienen que el 99 % de las muestras se encuentran como aguas condicionadas para riego para las dos épocas del año, algunas son buenas y no recomendable, en la época de verano se tiene que el sitio de muestreo (3) río Calcahualtenco son aguas de buena calidad, las demás muestras entran en aguas condicionadas que son los puntos (1) San Carlos, (2) río Tepetitlan, (4) Topictacta, (5) cortinas de la presa, (6) Jilotepec, (7) río Atexcaco, (8) los Encinos, (9) Buena Vista, (10)río Zempoala, (11)río Zarco, ya que solo una muestra entra en aguas no recomendables y es la muestra (12) Chacal esto son los resultados para esta época, y para la época de otoño se tiene que igualmente una muestra está en aguas de buena calidad que es el sitio de muestreo (3) río Calcahualtenco y las otras entran en aguas condicionadas como son (1) San Carlos (2) río Tepetitlan, (4) Topictacta, (5) cortinas de la presa, (6) Jilotepec, (7) río Atexcaco, (8) los Encinos, (9) Buena Vista, (10) río Zempoala, (11)río Zarco, (12) Chacal, y ningún sitio de muestreo está en aguas no



recomendables, aunque como ya se ha mencionado que iba a ver diferencia en las dos épocas habiendo más afectación en la de otoño, se muestra aquí que en verano una muestra salió en aguas no recomendables.

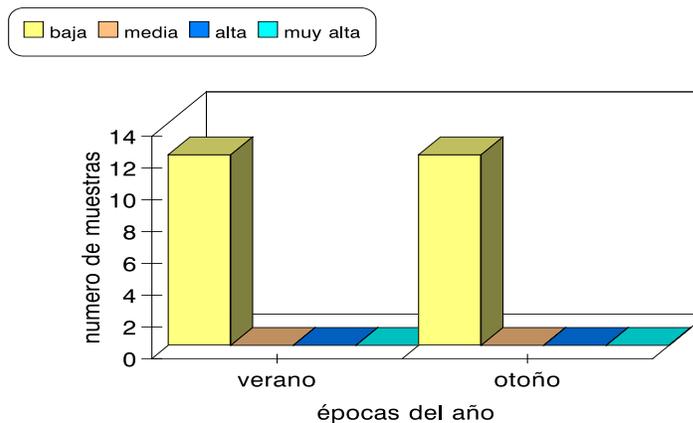
### Clasificación por Sodicidad

Las aguas sódicas representa una serie de problemas para los cultivos agrícolas, ya que un alto contenido de sodio intercambiable (más de un 15 %, en general) provoca una dispersión coloidal que se traduce en una disminución drástica en la permeabilidad del suelo, se generan condiciones adversas para el desarrollo de los cultivos al presentarse condiciones de inundación y anaerobiosis, y estas condiciones se combina con un elevada alcalinidad.

La recuperación de los suelos sódicos por la aplicación de aguas de mala calidad es más difícil y costosa que la de los suelos salinos, ya que mientras estos requieren solamente de lavados, aquellos necesitan de la aplicación de mejoradores. Por este motivo, es muy importante determinar la capacidad modificadora de las aguas de riego, y para estos existen también una serie de criterios, que se describen en seguida (Ortiz, 2000).

### Relación de absorción de sodio (RAS)

Es un índice útil para caracterizar el grado de sodicidad o con relación a su concentración ion sodio. En la figura 6 se muestra los resultados obtenidos en base a la relación de absorción de sodio en las muestras de las dos épocas del año verano y otoño.



**Figura 6.** Resultados de la relación de absorción de sodio de las muestras de agua del río Apulco en las dos épocas del año.

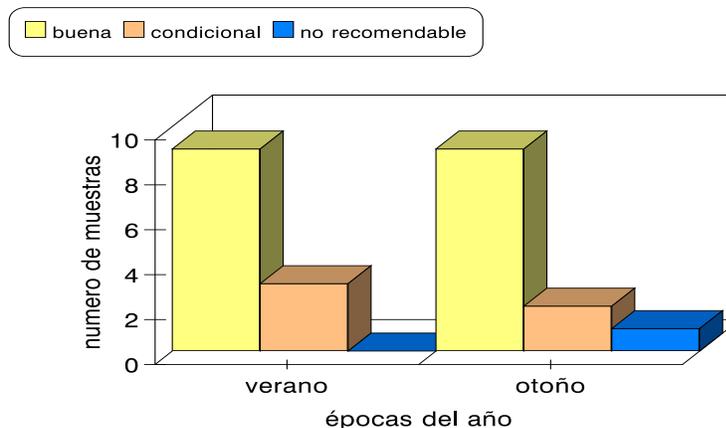
La relación absorción de sodio nos da a conocer que hay aguas con bajo nivel que son las que tenga menos de 10 meq/l, las de medio nivel son las de 10 a 18 meq/l, las de alto nivel son las de 18 a 26 meq/l y muy alto nivel son las de más de 26 meq/l de relación de absorción de sodio (RAS) según la metodología de (Coras, 1989). En los resultados se puede apreciar que en las dos épocas del año verano y otoño se tiene que los 12 sitios de muestreo que son: (1) San Carlos (2) río Tepatitlán (3) río



Calcahualtenco, (4) Topictacta, (5) cortinas de la presa, (6) Jilotepec, (7) río Atexcaco, (8) los Encinos, (9) Buena Vista, (10)río Zempoala, (11)río Zarco, (12) Chacal, se encuentran con bajo nivel de relación de absorción de sodio, en las dos épocas lo cual esto quiere decir que nuestro suelo no puede ser afectado por el ion sodio, ya que este ion puede tener muchas consecuencias afectado a su estructura del suelo y al crecimiento de la planta.

### Carbonato de sodio residual (CSR)

En las aguas destinadas para riego, si el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que el calcio y el magnesio, a medida que van aumentando estos aniones producen la de floculación del suelo. En la figura 7 se muestra los resultados obtenidos de carbonato de sodio residual en las dos épocas del año verano y otoño.

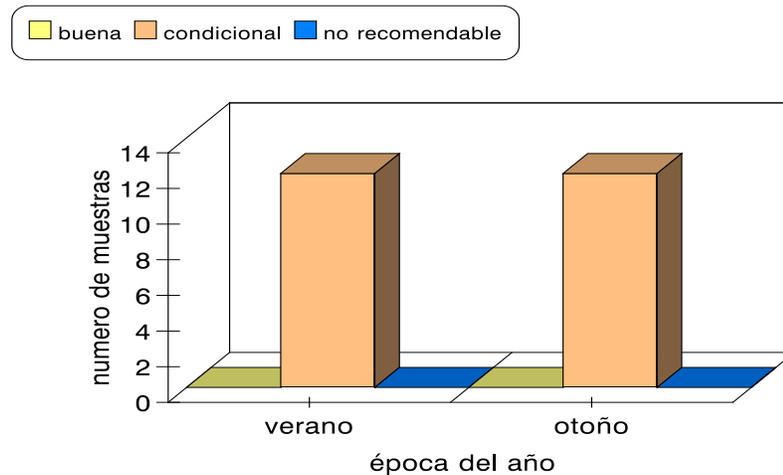


**Figura 7.** Resultados obtenidos de carbonatos de sodio residual en la muestras de agua en las dos épocas del año verano y otoño.

En el carbonato de sodio residual se tiene tres criterios de clasificación que son aguas de buena calidad las que tengan menos de 1.25 meq/l, aguas condicionadas son las que tengan de 1.25 a 2.5 meq/l y aguas no recomendables son las que tenga más de 2.5 meq/l según la metodología de (Ortiz, 2000). De acuerdo a estas clasificaciones ya mencionadas para el carbonato de sodio residual se tiene que los resultados del agua se encuentran entre buenas y condicionadas para riego, teniendo en la época de verano que los sitios de muestreo: (2) río Tepetitlan (3) río Calcahualtenco, (6) Jilotepec, (7) río Atexcaco, (8) los Encinos, (9) Buena Vista, (10)río Zempoala, (11)río Zarco, (12) Chacal, son aguas de buena calidad y las muestras : (1) San Carlos, (4) Topictacta, (5) cortinas de la presa son aguas condicionadas, a diferencia de los resultados obtenidos en la época de otoño se tiene que los sitios de muestreo: (1) San Carlos, (3) río Calcahualtenco, (4) Topictacta, (5) cortinas de la presa (6) Jilotepec, (8) los encinos, (9) Buena Vista (11)río Zarco, (12) son aguas de buena calidad mientras que las muestras (7) río Atexcaco, (10)río Zempoala, se clasifican como aguas condicionadas, y teniendo en esta época un sitio de muestreo el (2) río Tepetitlan que son aguas no recomendables.

### Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

Es el peligro de desplazamiento del calcio y el magnesio por el sodio, en el complejo de intercambio empieza cuando el contenido de sodio representa más del 50% de los cationes disueltos. En la figura 8 se muestra los resultados obtenidos del porcentaje de sodio intercambiable en las dos épocas del año.



**Figura 8.** Resultados de porcentaje de sodio intercambiable en las muestras de agua del río Apulco en las dos épocas del año verano y otoño.

El porcentaje de sodio intercambiable según (Ortiz, 2000), debe ser menos del 50% en el agua para tener una agua de buena calidad pero si se tiene más del 50% hasta un 100% se tiene aguas condicionadas, y si se tiene más del 100% se tiene aguas no recomendables, en base a la metodología mencionada se clasifiqué los resultados obtenidos del sitio de estudio que se tiene que en las dos épocas del año verano y otoño hay presencia de más del 50% y menos del 100% de porcentaje de sodio intercambiable clasificando los sitios de muestreos: (1) San Carlos, (2) río Tepetitlán, (3) río Calcahualtenco, (4) Topictacta, (5) cortinas de la presa, (6) Jilotepec, (7) río Atexcaco, (8) los Encinos, (9) Buena Vista, (10) río Zempoala, (11) río Zarco, (12) Chacal, como aguas condicionadas para riego en base a su clasificación por sodicidad.

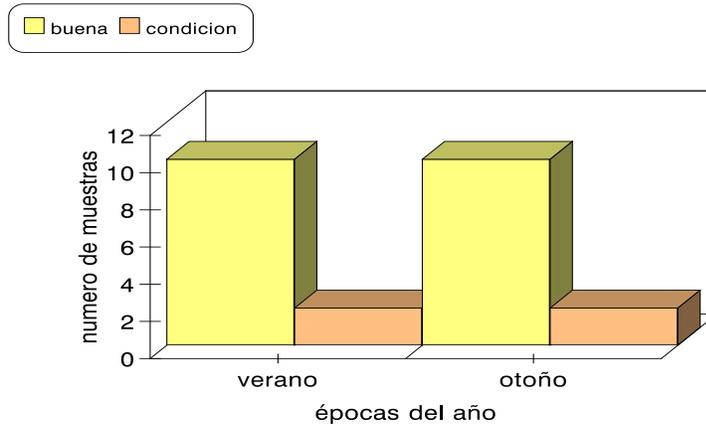
### Clasificación por Toxicidad

Los problemas de toxicidad están referidos a los constituyentes (iones) en el suelo o agua que pueden ser tomados y acumulados por las plantas hasta concentraciones altas, causando daño a los cultivos o baja en su rendimiento. El grado del daño depende de la asimilación y la sensibilidad del cultivo. Por ejemplo, árboles frutales u ornamentales leñosos generalmente son más sensibles al cloro (Cl), sodio (Na) y Boro (B) que muchas plantas anuales. El riego por aspersión por otro lado, en cultivos sensibles puede complicar aún más el problema de toxicidad por absorción de sodio y cloro a través de las hojas (Aguilar, 2001).



**Boro (B)**

No es común la presencia de altos niveles de boro en algunas aguas, el boro es un elemento esencial para el desarrollo vegetal pero es tomado en pequeñas cantidades, lo cual cantidades mayores pueden ocasionar toxicidad en la planta. En la figura 9 se muestra los resultados obtenidos de boro en las aguas del río Apulco en las dos épocas del año.



**Figura 9.** Resultados obtenidos de boro en las muestras de agua del río Apulco en las dos épocas del año verano y otoño.

El boro como ya se ha mencionado anteriormente no se presenta en alta cantidad en el agua para eso se clasifica en el siguiente criterio según (Coras, 1989). agua de buena calidad en boro son las que tengan menos de 0.3 meq/l, aguas condicionadas son las que tengan 0.7 a 4.0 meq/l y aguas no recomendables son las que tengan más de 4.0 meq/l. los resultados obtenidos en la época de verano se tiene que los sitios de muestreo: (1)San Carlos, (2) río Tepetitlán, (3) río Calcahualtenco, (4) Topictacta, (5) cortinas de la presa, (6) Jilotepec, (8) los Encinos, (10)río Zempoala, (11)río Zarco, (12) Chacal, sean aguas de buena calidad mientras que los sitios de muestreo: (7) río Atexcaco, (9) Buena Vista son aguas condicionadas, en esta época no hay ningún sitio de muestreo que este en el nivel de aguas no recomendables, y para la época de otoño se tiene que las muestras: (1)San Carlos, (2) río Tepetitlán, (3) río Calcahualtenco, (4) Topictacta, (5) cortinas de la presa, (6) Jilotepec, (8) los Encinos, (10)río Zempoala, (11)río Zarco, (12) Chacal, sean aguas de buena calidad mientras que los sitios de muestreo: (7) río Atexcaco, (9) Buena Vista son aguas condicionadas, se observa que en las dos épocas del año no hay diferencia en cuanto a los resultados ya que como sea mencionado que es muy difícil que se encuentre este elemento en altas proporciones aun habiendo cambios de temperatura y clima. De acuerdo a esto existen cultivos que son sensibles, semitolerantes, tolerantes y muy tolerantes al elemento boro como se muestra en el tabla 3 cultivos tolerantes a boro.

**Tabla 3.** Tolerancia relativa en los cultivos a la presencia de boro en las aguas para riego.

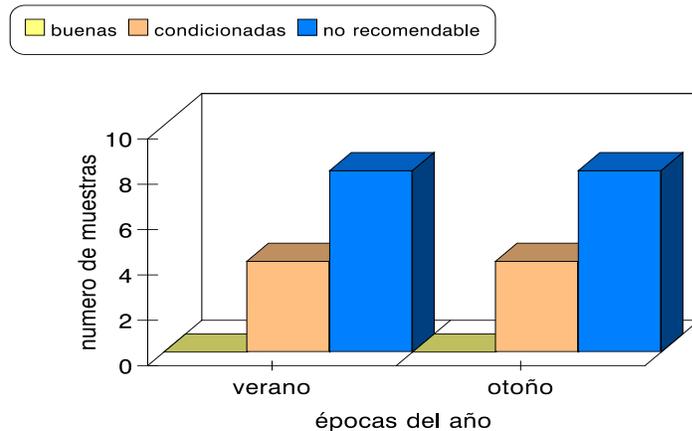
Sensibles	Semi- tolerantes	Tolerantes
1 ppm – 3 ppm	2 ppm – 4 ppm	4 ppm – 2 ppm
Nuez encarcelada	papa	espárrago



Nogal	algodón	palma datilera
Frijol navy	jitomate	remolacha azucarera
Ciruelo	rábano	remolacha forrajera
Peral	chicharo	betabel
Manzano	olivo	alfalfa
Vid	cebada	fríjol
Algodón kadota	trigo	cebolla
Cerezo	maíz	nabo
Durazno	sorgo	col
Chabacano	avena	lechuga
Zarzamora	calabaza	zanahoria
Naranja	aguacate	
Toronja	limón	

### Cloro

El ion cloro es muy similar al sodio aunque el cloro es un ion más móvil y esto lo hace más tóxico para muchos cultivos, ya que entra más fácilmente a la planta. Los problemas de toxicidad que hay por exceso de cloro son necrosis o clorosis en las hojas. En la figura 10 se presentan los resultados obtenidos de cloro en las muestras, su valor es meq/l.



**Figura 10.** Resultados obtenidos de cloro en las muestras de agua del río Apulco en las dos épocas del año verano y otoño.

La concentración del cloro en nuestras muestras son muy visibles en la figura 11, por esa razón se siguió la metodología de (Coras, 1989), que dice que una agua de buena calidad es aquella que tiene menos de 1.0 meq/l, mientras tanto que una agua condicionada esta en los rangos de 1.0 a 5.0 meq/l, y una agua no recomendable es aquella que tiene más de 5 meq/l. como se puede observar en los resultados se tiene que solo los sitios de muestreo (6) Jilotepec, (7) río Atexcaco, (10) río Zempoala, (11) Zarco están clasificadas como aguas condicionadas, mientras que los sitios de muestreo: (1) San Carlos, (2) río Tepetitlán, (3) río Calchahuatlenco, (4) Topictacta, (5) cortinas de la presa, (8) los Encinos, (9) Buena Vista, (12) Chacal, son aguas no recomendables esto es para la temporada de verano, los resultados obtenidos en otoño



son similares donde las muestras (1) San Carlos, (3) río Calchahuatenco, (5) cortinas de presa, (9) Buena Vista son las que se clasifican en aguas condicionadas y las que se clasifican como aguas no recomendables son los sitios de muestreo: (2) río Tepetitlán, (4) Topictacta, (6) Jilotepec, (7) río Atexcaco, (8) los Encinos, (10) río Zempoala, (11) río Zarco, (12) Chacal, ya que estas tienen más del 5 meq/l. en base a la concentración de cloro se determinó que no se puede cultivar alguna planta que no sea tolerante a cloro, los únicos cultivos que son tolerantes a más de 5 meq/l son los cítricos como pueden ser la naranja, limón, frutales de hueso, aguacate, naranjo dulce, naranjo agrio y la vid sin semilla ya que estos cultivos son tolerantes al cloro hasta un 25 meq/l..

En la tabla 4 se muestra los cultivos tolerantes a cloro ya que es un electrolito que no debe estar presente en las aguas porque puede causar mucho daño en el cultivo.

**Tabla 4.** Tolerancias de algunos cultivos a la concentración de cloro en el agua de riego.

Cultivos	concentración de cloruros en meq/l
Mandarina	25
Limonero	15
Naranja agria	15
Naranjo dulce	10
Frutales de hueso	7 - 25
Aguacate	5 - 8
Vid sin semilla	25
Vid rosa negra	10
Zarzamora	10
Frambuesa	5
Fresa larssen	8
Fresa shasta	5

## Conclusiones

Se observa la diferencia que existe en los sitios de muestreo en las dos temporadas del año, de acuerdo al pH, el cual nos indica que no son muy perjudiciales al suelo y a la planta, ya que se tienen pH poco ácidos y alcalinos para ambas épocas.

En la conductividad eléctrica se observa la diferencia que existe en ambas épocas, no existiendo una conductividad elevada, para las épocas de verano y otoño, lo cual esto nos indica que no existe la posibilidad de provocar salinidad en los suelos.

En base a la clasificación por salinidad el agua del río Apulco se clasifica como aguas condicionales para riego.

En la clasificación por sodicidad se tiene que el 99% de las muestras se clasifican como aguas de buena y condicionadas, teniendo una sola muestra como aguas no recomendables.



La clasificación por toxicidad se tiene que en base a boro y sodio las aguas entran como aguas de buena calidad. Aunque en el cloro casi el 90% de las muestras se clasifican en aguas no recomendables, un buen manejo al suelo, el agua y sembrar cultivos tolerantes al cloro, se pueden utilizar estas aguas.

De acuerdo a la clasificación de la universidad de Riverside California, se clasifica a las aguas del río Apulco en C1S1 para las épocas de verano y otoño, nos da a entender que hay agua de baja salinidad y baja en sodio, donde también se puede sembrar la mayoría de los cultivos en cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de desarrollar salinidad y alcanzar niveles peligroso de sodio.

El agua del río Apulco se clasifica como aguas para riego en base a su calidad química, dando principalmente un buen cuidado en la calidad agronómica que comprende los factores: calidad química, cultivo por regar, suelo por regar, condiciones climáticas, métodos de riego, condiciones de drenaje del suelo, prácticas de manejo del agua, suelo y planta.

Otro factor importante para la utilización de esta agua, se puede establecer cultivos que sean tolerantes a cloro, ya que en las muestras de agua son no recomendables porque se exceden de los 5 meq/l.

Si se le da un buen manejo al agua, suelo y planta se puede sembrar cualquier tipo de cultivo, ya que se tiene un pH adecuado para cualquier cultivo y no hay problemas de salinidad, sodicidad, y toxicidad aunque habiendo un poco concentración de cloro pero se tiene que dar un buen manejo químico y agronómico.

### **Referencias Bibliográficas**

Aceves, N.E. (1979). Instructivo para el muestreo de aguas para calidad de aguas de riego. Primera edición, Chapingo, México. 281 p.

Aguilar, R. M. (2001). Análisis de agua, determinación de sólidos disueltos, sales disueltas en aguas naturales y residuales. In; Normas Oficiales Mexicanas Primera edición, México 170 p.

Ortiz, O. M. (2000). Criterio para la clasificación de las aguas de riego. In: Calidad de las aguas de río. Primera edición. Universidad Autónoma Chapingo México pp: 12-49.