

Distrito de riego no. 19 de Tehuantepec, Oaxaca.

2. Calidad del agua de riego

Resumen

Durante cinco meses se tomaron muestras para estudiar la calidad del agua en la red de distribución del Distrito de Riego No. 19 de Tehuantepec, Oaxaca, con base en el análisis químico de 45 muestras mensuales que incluyeron canal principal, laterales, sublaterales y ramales. La clasificación de la calidad del agua se hizo utilizando tres criterios: salinidad, sodicidad y contenido de elementos tóxicos para las plantas. Para tal fin se obtuvieron los siguientes índices: salinidad efectiva, salinidad potencial, relación de absorción de sodio, carbonato de sodio residual y porcentaje de sodio posible. Los resultados del trabajo permitieron concluir que: a) la calidad del agua del distrito se clasificó entre los rangos de BUENA a CONDICIONADA, b) hubo una variación espacial y temporal de la calidad del agua y, por su variabilidad, resultaron como índices críticos la conductividad eléctrica y el porcentaje de sodio posible, c) las sales presentes en mayor concentración en el agua de riego en este distrito fueron NaCl , CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 , NaHCO_3 , Na_2SO_4 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, KCl y K_2SO_4 .

Introducción

México ocupa el séptimo lugar por superficie atendida (alrededor de 5.2 millones de hectáreas, según INEGI, 2000), entre los ochenta países que cuentan con infraestructura para riego en el mundo. Sin embargo, los problemas ambientales asociados al desarrollo hidroagrícola son claramente notorios e impactan las áreas circundantes a la zona de riego. Entre ellas destacan la sobreexplotación de acuíferos, los problemas de ensalitramiento del suelo (577'000 hectáreas con afectación) y la contaminación del agua, tanto superficial como subterránea (CNA; 1994; Robles et al., 1999).

Por sus propias características estructurales, el agua disuelve y/o mantiene en suspensión un gran número de sustancias. Muchas de esas sustancias son potencialmente tóxicas para las plantas y la acumulación de ellas, sean o no directamente tóxicas, genera problemas para los vegetales por efecto salino (Hazem-Kalaji y Pietkiwicz, 1993). Por ello, la aplicación de agua para riego agrícola debe estar precedida por un estudio para su

tipificación y, en su caso, aprobarla o rechazarla para esa finalidad (Carter, 1975; Pasternak y De Malach, 1994).

El origen de las sustancias presentes en el agua, principalmente las disueltas, es el material geológico que ha estado en contacto con ella, a través de los procesos de disolución e hidrólisis de los minerales que los constituyen (Ayers y Westcot, 1987). La concentración de las sales disueltas en el agua de riego varía durante su almacenamiento y transporte antes de llegar al punto de aplicación. Al ser aplicada al suelo, la concentración de las sales ocurre a una mayor rapidez por evaporación del agua desde la superficie del suelo y por la transpiración de las plantas (Pillsbury, 1981).

Todas las aguas de irrigación contienen sales disueltas en cantidades variables. La calidad del agua está determinada por la presencia de algunos constituyentes de importancia en el ambiente y por la concentración total de todos ellos. Al encontrarse en solución, las sales están separadas en aniones y cationes que finalmente serán las formas en que cada constituyente se determinará analíticamente para la clasificación de la calidad del agua. A lo largo del tiempo han sido desarrollados diversos sistemas de clasificación de las aguas para riego (Carter, 1975). Con pequeñas variaciones, los criterios de clasificación de todos ellos toman en consideración la presencia de constituyentes particulares que pueden ser fitotóxicos (por ejemplo Boro o metales pesados), representar riesgos para la calidad del suelo (por ejemplo Sodio o metales pesados); y la concentración total de los constituyentes solubles en el agua.

El Distrito de Riego No. 19 fue creado en 1962. Se localiza en la planicie costera del Golfo de Tehuantepec, al sureste del estado de Oaxaca. Cuenta con una superficie total irrigable de 50'800 hectáreas, de las cuales sólo reciben riego unas 30'000 hectáreas cada año (CNA, 1990). Su fuente de aprovisionamiento es la presa "Benito Juárez", localizada en la población de Jalapa del Marqués que almacena en promedio 700 millones de m^3 de agua al año. Cuenta con una red de canales de 695 Km., de los cuales sólo 28 Km. (4 % del total) se encuentran revestidos. El agua se aplica en toda la superficie por gravedad y de la manera tradicional ya que

no cuenta con infraestructura ni equipos para la medición del volumen aplicado a nivel parcelario. No hay antecedentes de estudios globales de análisis y clasificación del agua de riego a lo largo y ancho del Distrito de Riego

La finalidad de este trabajo fue la clasificación de la calidad del agua del distrito de riego No. 19 de Tehuantepec, Oaxaca a lo largo de su sistema de distribución, por medio de la determinación analítica de sus constituyentes solubles.

Materiales y métodos

El distrito de riego No. 19 se localiza en la planicie costera del Golfo de Tehuantepec, al sureste del estado de Oaxaca. Se ubica entre los paralelos 16° 17' y 16° 37' de longitud norte, y los meridianos 94° 48' y 95° 15' de longitud oeste, a una altitud sobre el nivel del mar que varía de 7 hasta 43 m. El clima, de acuerdo a la clasificación de Koppen modificada por García (1981), es cálido subhúmedo. La temperatura media anual es de 27°C, y la precipitación media anual es de 835 mm, distribuida de junio a octubre.

Muestreo. Para la localización de los sitios y la frecuencia de muestreo se siguieron las recomendaciones de Palacios y Aceves (1970). Se determinaron 45 sitios de muestreo que incluyeron canal principal, laterales, sublaterales y ramales. Las muestras de estos sitios se tomaron mensualmente durante cinco meses. En cada sitio se colectó 1.5 L de agua, tomada de nivel subsuperficial.

Análisis químicos. Los métodos analíticos utilizados son los reportados por Richards (1954), excepto para sulfatos, el cual fue determinado por el método de APHA descrito por Chavira y Castellanos (1987). Las determinaciones y técnicas analíticas utilizadas fueron: pH, potenciométrico; Conductividad Eléctrica, puente de Wheatstone, utilizando un conductímetro Beckman modelo SD-26; Calcio, Magnesio, Cloruros, Carbonatos y Bicarbonatos, volumetría; Sodio y Potasio, fotometría de llama; Sulfatos, turbidimetría utilizando un espectrofotómetro Spectronic modelo 20; Boro, colorimetría, utilizando el mismo equipo de espectrofotometría anterior.

Cálculo de índices para la clasificación. Se siguió la metodología sugerida por Palacios y Aceves (1970) y Vásquez (1999) para el cálculo de los siguientes índices:

Salinidad Efectiva:

$$SE = \Sigma \text{cationes} - (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$$

$$SE = \Sigma \text{cationes} - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

La primera fórmula se utilizó en los casos que cumplieron las condiciones $\text{Ca} < (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$ y $(\text{Ca} + \text{Mg}) > (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$, en tanto que la segunda para los casos en donde la condición que se cumplió fue $(\text{Ca} + \text{Mg}) < (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)$.

Salinidad Potencial.

$$SP = \text{Cl} + \frac{1}{2} \text{SO}_4$$

Relación de Absorción de Sodio

$$\text{RAS} = \text{Na} / \sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2}$$

Carbonato de Sodio Residual

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

Porcentaje de Sodio Posible

$$\text{PSP} = (\text{Na} / \text{SE}) \cdot 100$$

Análisis Estadísticos. Los valores mensuales y los promedios de cada sitio de muestreo a lo largo del tiempo se analizaron estadísticamente con el uso del software Statgraphics Plus 2.0. Se calcularon los valores promedio, mínimo y máximo, coeficiente de variación y la matriz de correlación entre cationes y aniones (Steel y Torrie, 1988). Los valores de correlación se utilizaron de acuerdo a su significancia para determinar las sales presentes en el agua.

Clasificación del agua de acuerdo a su calidad. De acuerdo a Palacios y Aceves (1970), Jones y Wolf (1994), De la Peña (1996) y Valle (1992), los índices calculados pueden clasificar al agua de riego, de acuerdo a su valor, como BUENA, CONDICIONADA y NO RECOMENDABLE. Por su parte, Richards (1954) ha construido un nomograma que permite la clasificación del agua de riego de acuerdo a los índices CE y RAS.

Siguiendo estos criterios, se realizó la clasificación de la calidad utilizando:

- los valores analíticos directos de cada uno de los parámetros utilizados
- los valores promedio de los índices calculados

Resultados y discusión

En el cuadro 1 se reportan los valores de los parámetros analíticos directos y de los índices calculados para cada uno de los cinco meses que duró la toma de muestras y se incluye el valor del coeficiente de variación calculado. En el cuadro 2 se listan los valores promedio de estos mismos parámetros pero para cada uno de los 45 sitios de muestreo.

Los criterios de clasificación y discusión se agruparon en tres apartados:

a) Por el contenido de sales solubles. El efecto osmótico de las sales en solución puede dificultar o impedir, de acuerdo a su concentración en la solución del suelo y a la fisiología de cada especie vegetal, la absorción de agua y nutrientes (Salisbury y Ross, 1967)

Según este criterio, se utilizó la Conductividad Eléctrica, la Salinidad Efectiva y la Salinidad Potencial como índices de clasificación. Los resultados fueron los siguientes:

a.1) Conductividad Eléctrica. De acuerdo a Richards (1954), los valores comprendidos entre 250 y 750 micromhos/cm., rango en el que se incluyen todos los datos reportados en este trabajo, clasifican al agua como C2, que corresponde a agua de SALINIDAD MEDIA, que puede usarse para riego agrícola siempre que se proporcionen al terreno lavados moderados periódicos con agua de buena calidad, sobre

todo en suelos de textura pesada, esto es, arcillosos y arcillo-limoso.

a.2) Salinidad Efectiva. Todos los valores encontrados, tanto los promedios mensuales como por sitio de muestreo, resultaron menores de 3.0 meq/L. De acuerdo a De la Peña (1986) y Valle (1992), la calidad del agua por el valor de este índice se considera BUENA, lo que significa que puede aplicarse sin restricciones.

a.3) Salinidad Potencial. De acuerdo a Valle (1992), los valores de este índice inferiores a 3.0 meq/L clasifican al agua de riego como BUENA, lo que implica que su uso no presenta restricciones. Todos los resultados encontrados en este trabajo fueron inferiores a este valor.

De los tres parámetros analizados para el criterio sales solubles, resultó crítico el de Conductividad Eléctrica, que puede llegar a ser verdaderamente limitante en este Distrito de Riego cuyos suelos en una gran pro-

CUADRO 1. PARÁMETROS ANALÍTICOS E ÍNDICES CALCULADOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO DURANTE UN PERIODO DE MUESTREO DE CINCO MESES EN EL DISTRITO DE RIEGO NO. 19 DE TEHUANTEPEC, OAXACA.

CUADRO 2. PARÁMETROS ANALÍTICOS E ÍNDICES CALCULADOS PARA LA CLASIFICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO CON BASE EN EL MUESTREO DE 45 PUNTOS A LO LARGO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL DISTRITO DE RIEGO NO. 19 DE TEHUANTEPEC, OAXACA.

[illegible]

porción son de texturas medias y pesadas (Robles et al., 1999)

b) Por la concentración relativa de sodio. Los efectos de la presencia de sodio en una concentración relativa alta, comparada con la de otros cationes, sobre todo di- y tri-valentes, pueden ser importante en vista de sus posibles efectos perjudiciales sobre las propiedades físicas de los suelos, particularmente la destrucción de agregados estables y, derivados de este efecto, las dificultades en la permeabilidad del suelo al movimiento de agua y aire (Fassbender y Bornemisza, 1987). Los índices agrupados en este criterio y sus resultados fueron los siguientes:

b.1) Carbonato de Sodio Residual. Según Palacios y Aceves (1970) y De la Peña (1986), los valores de este índice menores de 1.25 meq/L clasifican al agua de riego como BUENA, esto es, que puede ser aplicada sin restricción.

b.2) Relación de Absorción de Sodio. De acuerdo a Richards (1954), los valores calculados de este índice en el presente trabajo clasifican el agua como S1, que se interpreta como AGUA BAJA EN SODIO que puede ser aplicada en todos los suelos y cultivos sin restricciones.

b.3) Porcentaje de Sodio Posible. En pocos casos, tanto para los promedios mensuales como para los sitios de muestreo, el valor de este índice fue menor del 50%. En estos casos el agua se clasifica como BUENA. Para el resto de los valores, que resultaron mayores al 50%, la clasificación es CONDICIONADA, de acuerdo a Valle (1992).

De los tres índices agrupados en este criterio, el Porcentaje de Sodio posible resultó crítico, y deberá ser tomado seriamente en consideración sobre todo cuando el agua se aplique para el riego de terrenos con suelos de texturas pesadas.

c) Por la concentración de elementos fitotóxicos. De los parámetros analizados, dos de ellos se consideran, per se, como elementos de alta toxicidad para las plantas, y su presencia en alta concentración en el agua de riego deberá ser considerada como factor limitante. Los resultados encontrados para este criterios fueron los siguientes:

c.1) Boro. De acuerdo a Jones y Wolf (1984), el valor límite de fitotoxicidad para este elemento en el agua de riego es de 0.3 ppm. En este trabajo todos los valores reportados son menores a ese valor, como consecuencia, el agua es clasificada como BUENA, y puede ser aplicada a todos los cultivos sin restricción.

c.2) Cloruros. Los valores de concentración de cloruros menores a 4 meq/L no tienen efectos tóxicos para las plantas, de acuerdo a Jones y Wolf (1984). Ninguno de los valores encontrados en todo el trabajo resultó. Para este criterio no se presentó un índice crítico.

En general, el agua del distrito de riego No. 19 de Tehuantepec, Oaxaca presenta como factores condicionantes para su uso la Conductividad Eléctrica y el Porcentaje de Sodio Posible. El resto de los parámetros e índices no presentan niveles condicionantes para su utilización con fines de riego agrícola.

En el cuadro 3 se presentan los valores de correlación entre pares iónicos (catión/anión) para los parámetros analizados. Se tomaron en consideración solamente los valores que resultaron significativos (*) o altamente significativos (**), esto es, con un nivel de confiabilidad de 5 ó 1 % (Steel y Torrie, 1988). Este análisis nos indica la presencia de diversas sales en solución en el agua de riego.

CUADRO 3. MATRIZ DE CORRELACIONES ENTRE CATIONES Y ANIONES PRESENTES EN EL AGUA DEL DISTRITO DE RIEGO NO. 19 DE TEHUANTEPEC, OAXACA, CON BASE EN EL ANÁLISIS DE 45 MUESTRAS TOMADAS DURANTE UN PERIODO DE CINCO MESES.

[illegible]

En el caso del Calcio (Ca), se encuentran presentes $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaCl_2 y $\text{Ca}(\text{SO}_4)$. De éstas, es el CaCl_2 la de mayor solubilidad y la que afectaría en mayor medida los criterios referidos a la presencia de sales en solución. En el caso del Magnesio (Mg), solamente se presentó significancia en la correlación con el bicarbonato, lo que indica la presencia de $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, que es una sal de baja solubilidad. El Sodio (Na), al igual que el Calcio, se presentó combinado con los tres aniones, de manera que en el agua de riego existe la presencia de $\text{Na}(\text{HCO}_3)$, NaCl y $\text{Na}_2(\text{SO}_4)$. Las tres son sales de muy alta solubilidad y las que más contribuyen a las características salinas y, como consecuencia, a determinar la calidad del agua. El Potasio (K) correlacionó con dos de los aniones para indicar la presencia de las sales KCl y $\text{K}_2(\text{SO}_4)$ de mediana solubilidad pero que por su baja concentración tienen poco efecto general sobre las características y la calidad del agua.

Además de la cantidad disponible, la calidad del agua puede ser limitante para la planeación y puesta en marcha de un proyecto de irrigación. Cuando éste ya se encuentra en operación, como es el caso del Distrito de Riego No. 19 de Tehuantepec, Oaxaca, es conveniente realizar estudios periódicos de la calidad del agua que permitan inferir riesgos potenciales de daños a los suelos, o posibles efectos perjudiciales para los cultivos y, de manera indirecta, para los consumidores, por la presencia de agentes potencialmente tóxicos.

Conclusiones

La calidad del agua del Distrito de Riego No. 19 de Tehuantepec, Oaxaca resultó con pocas variaciones a lo largo del periodo de muestreo y de su sistema de distribución. La clasificación del agua resultó condicionada por los parámetros Conductividad Eléctrica y Porcentaje de Sodio Posible. El resto de los parámetros evaluados valoran la calidad del agua como buena y, por lo tanto, sin restricciones para su uso en el riego agrícola. Las sales disueltas en el agua de riego son, en orden de abundancia, los cloruros, sulfatos y bicarbonatos cálcicos y sódicos y, en menor abundancia e importancia, las sales de magnesio y potasio.

Literatura citada

1. Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Folleto FAO Riego y Drenaje No. 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
2. Carter, D.L. 1975. Problems of salinity in agriculture. En: A. Poljakoff-Mayber y J. Gale (eds.). Plants in saline environments. Springer. Berlin. pp. 25-76.
3. Chavira, J.G. y J.Z. Castellanos. 1987. Sales solubles. En: A. Aguilar, J. Etchevers y J. Castellanos (eds.) Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publ. Esp. No. 1. Chapingo, México.
4. CNA. 1990. Informe Anual de Resultados. Distrito de Riego No. 019, Tehuantepec, Oaxaca. Comisión Nacional del Agua. México, D.F.
5. CNA: 1994. Programa Nacional de Irrigación y Drenaje. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. México, D.F.
6. De la Peña, I. 1996. Clasificación y control de la calidad de las aguas para riego. Distrito de Riego No. 41. Río Yaqui, Sonora (mecanografiado).
7. Fassbender, W.H. y E. Bornemisza. 1987. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica.
8. García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
9. Hazem-Kalaji, M. y S. Pietkiewicz. 1993. Salinity effects on plant growth and other physiological processes. *Physiol. Plant.* 15:89-124.
10. INEGI. 2000. México Hoy. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F.
11. Jones, B.J. y B. Wolf. 1984. Manual of soil testing procedures using modified (Wolf) Morgan extracting reagent. Benton Laboratories. Athens, Georgia.
12. Palacios, V.O. y N.E. Aceves. 1970. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

13. Pasternak, D. y Y. De Malach. 1994. Crop irrigation with saline water. En: M. Pessarakli (ed.). Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekker Inc. New York. pp. 599-622.
14. Pillsbury, A.F. 1981. La salinidad de los ríos. Investigación y Ciencia. 60:25-39.
15. Richards, L.A. 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa. México, D.F.
16. Robles P, C.; M. Bautista R. y A. Maldonado O. 1999. Distrito de riego No. 19 de Tehuantepec, Oaxaca. 1. Evaluación del ensalitramiento de los suelos. Avances en Ciencia y Tecnología. 3:50-60.
17. Salisbury, F.B. y C.W. Ross. Plant Physiology. Wadsworth Publishing. Belmont, CA.
18. Steel, R.G. y J.H. Torrie. 1988. Bioestadística. Principios y procedimientos. McGraw-Hill. México, D.F.
19. Valle, F.H. 1992. El agua en la Naturaleza. Serie Apoyos Académicos No. 16. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
20. Vásquez A., A. 1999. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.

Celerino Roblez Pérez

Profesor-Investigador del CIIDIR-IPN-UNIDAD OAXACA

Gilberto Bautista Sánchez

tesista de la Lic. en Químico Agrónomo de la

Escuela de Ciencias Químicas UABJO