



Universidad Nacional del Nordeste



Facultad de Ciencias Agrarias

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

MODALIDAD PASANTÍA

Caracterización de aguas para riego

Alumna: Rodríguez Eliana Elizabeth

Asesora: Ing. Agr. (Mgter.) María Yfran Elvira.

AÑO: 2019

INTRODUCCIÓN

El concepto de calidad de agua de riego se refiere a las características del agua que puedan afectar a los recursos suelo y cultivo después de su uso a largo plazo. La identificación de recursos hídricos, su gestión y monitoreo representan la garantía de un desarrollo socioeconómico sustentable y armónico con el medio ambiente. El agua constituye un recurso indispensable para los cultivos. 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 (Mancilla-Villa et al., 2014; Otero et al., 2008).

La calidad del agua puede proporcionar información acerca del ambiente a través del cual circuló el agua y del impacto de las prácticas de manejo en el ecosistema. La calidad del agua para riego es importante para alcanzar una adecuada producción de cultivos (Baccaro et al., 2006).

El Departamento de la Ciudad de Bella Vista se halla situado en el plano mundial, en el continente de América del Sur, precisamente al norte de la República Argentina; en la parte centro oeste de la provincia de Corrientes, limita al sur con el departamento de Lavalle, al este con el departamento de San Roque y al oeste con la provincia de Santa Fe. Separado por medio del río Paraná. La localidad de Bella Vista está ubicada sobre la margen izquierda del río Paraná, a unos 66 metros sobre el nivel del mar. Entre los cultivos que se realizan puede mencionarse a los de mayor producción, tales como las hortalizas (principalmente tomate y pimiento), los cítricos (naranja, mandarina, limón y pomelo), maíz y arroz.

El exceso de sales solubles perjudica el crecimiento de los cultivos, ya que dificulta la absorción de agua debido a un efecto de potencial osmótico. No sólo es importante la concentración de sales en el agua, sino también la composición de ésta en cuanto al tipo de cationes y aniones presentes. Además de la concentración de sales, también la composición iónica del agua de riego afecta el crecimiento de los cultivos por un efecto directo del ion en sí mismo e indirecto por el cambio producido en ciertas propiedades físico-químicas que, a largo plazo, pueden tener efectos perjudiciales en la producción de los cultivos (Baccaro et al., 2006).

Aguas con alto contenido de sodio tienden a aumentar el nivel de sodio (Na^+) intercambiable en el suelo. Con estas condiciones, los suelos se dispersan, decreciendo la conductividad hidráulica o la permeabilidad, lo cual interfiere con el drenaje y el normal

suministro de agua, y la aireación requerida para el crecimiento del cultivo (Levy, 2000). Sus efectos no dependen sólo de la concentración en sodio sino también del resto de cationes (Mujeriego, 1990).

El término salinidad representa la cantidad y el tipo de sales disueltas en el agua de riego y su valor se determina mediante la medida de la conductividad eléctrica (CE) de la solución y es uno de los parámetros más importantes para evaluar calidad de agua para riego. El efecto de la salinidad sobre la habilidad de las plantas para absorber agua se observa cuando la CE supera un valor crítico, el cual varía con los cultivos e incluso con las variedades en una especie particular (Maas, 1990).

El sulfato contribuye a la salinidad del agua de riego junto con Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- y HCO_3^- . Además, el sulfato contribuye a la conductividad y sólidos disueltos del agua, parámetros de calidad de aguas que están regulados en la normativa internacional (Catalán La Fuente, 1990). El riego con presencia de bicarbonatos contribuye a la acumulación y formación de capas superficiales del suelo con la consecuente alcalinización y disminución de su fertilidad, hasta el punto de hacerlos improductivos. El pH del agua de riego no es un criterio usado para evaluar su calidad, debido a la disparidad existente en la capacidad tampón entre el agua y suelo. No obstante, ésta es una variable muy importante, ya que determina las concentraciones relativas de las especies disueltas de carbonato (Baccaro et al., 2006).

Un elevado contenido de nitratos puede causar daños a los cultivos debido a que induce a un crecimiento vegetativo en exceso, demora la madurez y demeritando la calidad (Álvaro García, 2012).

La calidad de un agua para riego tiene una importancia vital desde el punto de vista agronómico, debido a las consecuencias prácticas negativas que derivan del empleo de aguas inapropiadas. Por otro lado, contar con información detallada de la calidad del agua de riego es imprescindible para realizar una correcta planificación de su uso, ya sea a nivel agronómico o medio ambiental.

Es recomendable realizar un análisis del agua antes de su utilización, tanto de regadío como así también para consumo, para asegurarnos que la calidad de la misma es apropiada.

Es importante realizar un control de los estándares de calidad de manera frecuente para evitar o prevenir problemas asociados.

OBJETIVO

- Caracterizar las aguas desde el punto de vista físico-químico.

Objetivos Específicos

- Adquirir destreza en las Técnicas de Laboratorio utilizadas para la determinación de calidad de agua para riego.
- Interpretar los resultados de los análisis para poder clasificar las aguas empleando valores de referencia de uso universal.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

TRABAJO DE CAMPO

Toma de muestras

Se realizaron 12 muestreos de fuentes de agua de perforaciones de pequeños productores de Bella Vista, en Colonia Progreso (provincia de Corrientes, República Argentina) (Figura 1). Las muestras extraídas (1L) se guardaron en envase de polietileno, y refrigeradas a 4°C se transportaron al laboratorio de Química Analítica y Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias - UNNE.

El muestreo se realizó de la siguiente manera: antes de sacar la muestra se puso en funcionamiento la bomba unos 10 minutos, se enjuagó el recipiente con el agua de la perforación tres veces, y luego se lo llena completamente evitando presencia de aire en su interior.



Figura N° 1: Sitios de muestreo Bella Vista, Corrientes, República Argentina.

TRABAJO DE LABORATORIO

pH: por Potenciometría, usando un peachímetro equipado con un electrodo de vidrio combinado.

Conductividad eléctrica (CE) por Conductimetría, conductímetro estandarizado a 25 °C.

Alcalinidad Total: por Volumetría de Neutralización (APHA, 2005).

Calcio y Magnesio: por Volumetría de Formación de complejos (APHA, 2005).

Dureza Total: por Volumetría de Formación de complejos (APHA, 2005).

Sodio y Potasio: por espectrometría de absorción atómica (APHA, 2005).

Cloruros: por Volumetría de precipitación, Método de Mohr (APHA, 2005).

Sulfato: por Turbidimetría (Método ASTM D 516-90) (Annual book of Standards 1994).

Fósforo: por Espectrofotometría de Absorción molecular: método del azul de molibdeno (APHA, 2005).

Nitrato: por Espectrofotometría de Absorción molecular: por el método del salicilato de sodio (Rodríguez et al, 2005).

RESULTADOS

pH

El pH es un parámetro indicativo del grado de acidez o basicidad del medio, que afecta en mayor o menor medida a muchos procesos químicos y biológicos en el agua. Un pH bajo permite que ciertos elementos tóxicos se movilicen, pasando a estar disponibles para animales y plantas acuáticas. En el caso de las aguas de riego, el pH normal está comprendido entre 6,5 y 8,4 (Álvaro García, 2012). Un pH fuera de este intervalo de normalidad, es un buen indicador de una calidad anormal del agua o la presencia de algún ion tóxico.

Uno de los efectos negativos del uso de aguas de riego con valores anormales está en el deterioro del equipo de riego, por lo que el mantenimiento del pH apropiado en el flujo del riego ayuda a prevenir corrosión en las tuberías u obstrucciones debidas a la formación de precipitados. A nivel de la planta, el principal efecto negativo afecta a la disponibilidad de nutrientes: un adecuado pH asegura una mejor asimilabilidad de los diferentes nutrientes, especialmente fosforo y micronutrientes. Valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas. Además, todas las especies vegetales presentan rangos característicos de pH en los que la absorción de nutrientes es idónea. Fuera de este

rango la absorción radicular se ve dificultada e incluso puede verse deteriorado el sistema radical o presentarse toxicidades debidas a la excesiva absorción de elementos fitológicos (por ejemplo, aluminio) (Urbano Terrón, 2002).

En la Figura 2 se observa que los valores de pH de la mayoría de las muestras se encontraban por debajo del rango óptimo para riego.

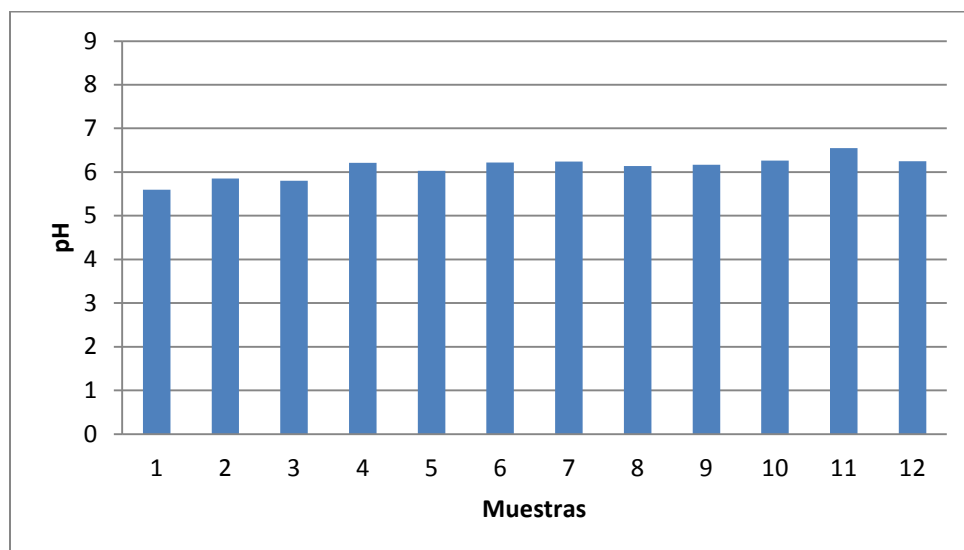


Figura 2: Valores de pH de las muestras analizadas.

Conductividad

La conductividad eléctrica (CE) del agua es la aptitud de ésta para transmitir la corriente eléctrica. Depende de la actividad de los iones disueltos. La medida de CE se realiza mediante un conductímetro estandarizado a 25 °C. Y los valores han sido expresados en $\mu\text{S cm}^{-1}$, la 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. A nivel de cultivo, Ayers y Westcot (1976) mencionan que una conductividad eléctrica mayor a 3.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ puede afectar al crecimiento de varios cultivos.

Para clasificar las muestras según su riesgo de salinización se tomaron los valores según Cánovas Cuenca (Tabla 1.

Tabla 1: Valores de Conductividad eléctrica, Criterios de peligro de salinización y restricciones de uso de las aguas empleadas para riego según el Laboratorio de Salinidad de Riverside.

<i>Clases</i>	<i>Peligro Salinización</i>	<i>CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)</i>	<i>Restricciones de usos</i>
C1	Bajo	0-250	Apta
C2	Moderado	250-750	Apta
C3	Medio	750-2250	Apta con precauciones
C4	Alto	2250-4000	Apta con precauciones
C5	Muy Alto	4000-6000	No Apta
C6	Excesivo	>6000	No Apta

Los resultados (Figura 3) muestran que el 50% de las muestras analizadas (1, 2, 3, 7, 11, 12) presentaron baja conductividad. Estos resultados indican que el agua presenta baja salinidad y no posee restricciones de usos, pudiéndose usarse para la mayor parte de los cultivos y en casi todos los suelos. El resto de las muestras (4, 5, 6, 8, 9, 10) presentaron valores de conductividad entre 250 a 450 $\mu\text{S cm}^{-1}$ aproximadamente, calificando con un peligro de salinización moderado, por lo tanto, puede usarse en casi todos los cultivos con suelos de buena permeabilidad. En caso de permeabilidad deficiente del suelo, es necesario elegir el cultivo, evitando aquellos muy sensibles a las sales. Se requiere riegos de lavado ocasionales.

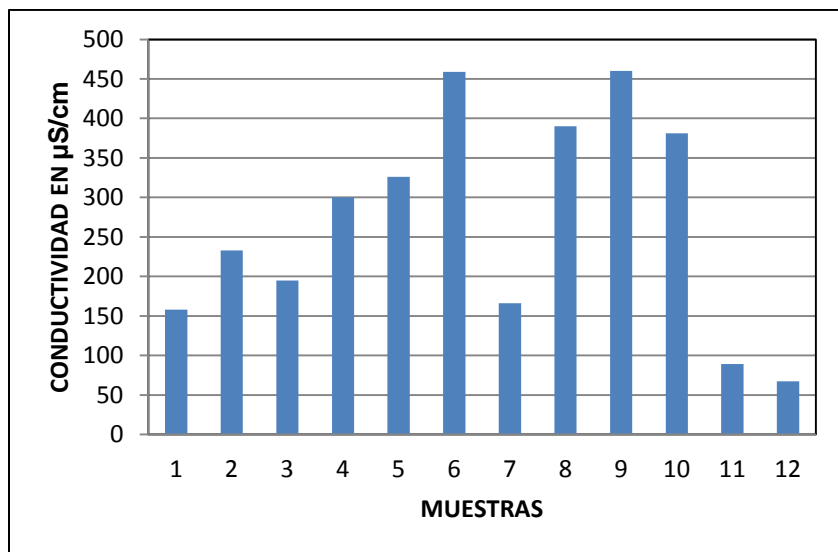


Figura N°3: Valores de conductividad eléctrica de las muestras analizadas

Alcalinidad

La alcalinidad se define como la concentración de compuestos solubles en el agua que tienen la capacidad para neutralizar ácidos. Los principales responsables de la alcalinidad en agua son los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos disueltos. Se determina secuencialmente mediante volumetría ácido-base con ácido sulfúrico valorado utilizando como indicadores fenolftaleína ($\text{pH}=8,4$): si la muestra toma color rosado se titula con ácido sulfúrico 0,02 N hasta la desaparición del color. Se toman los mL gastados en la titulación. En el caso que la muestra no cambie de color (o bien después de la titulación anterior) se le agrega dos gotas de naranja de metilo ($\text{pH}= 3,8$). Si la muestra toma color amarillento se la titula con ácido sulfúrico 0.02 N hasta que cambien a color rosado. Se leen los mL gastados. La alcalinidad se expresa en mg L^{-1} de carbonato de calcio.

La cantidad relativa del ion HCO_3^- es un parámetro importante en el agua debido a que precipita con los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} formando los carbonatos respectivos. A medida que Ca^{2+} y Mg^{2+} precipitan, aumenta la concentración relativa de Na^+ que produce dispersión del suelo, si la concentración de electrolitos está por debajo de la concentración crítica de floculación de las arcillas (Baccaro et al., 2006).

Nuestros resultados exponen que solo dos muestras (11,12) presentaron baja alcalinidad, la número 1, 3 y 7 alcalinidad media, mientras que el resto de las muestras evaluadas presentaron alta alcalinidad (Figura 4 y Tabla 2).

Tabla 2: Valores de referencia de alcalinidad (Kevern, 1989).

Alcalinidad (mg L ⁻¹)	
Baja	< 75
Media	75 – 150
Alta	> 150

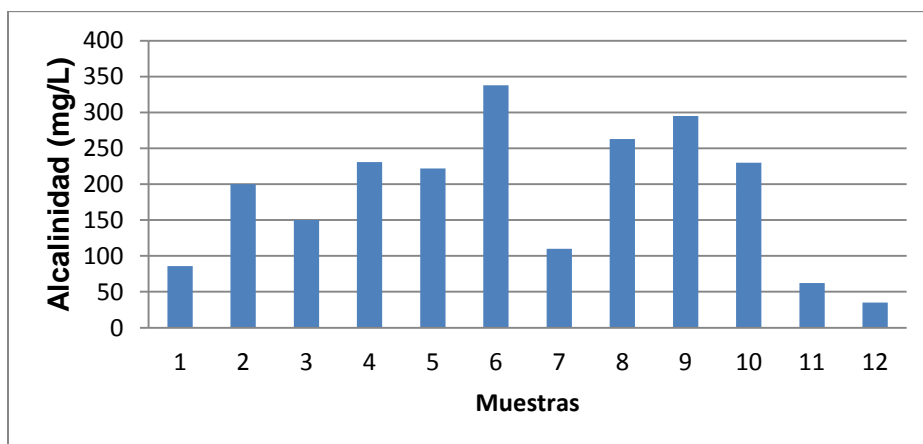


Figura 4: Valores de Alcalinidad de las muestras analizadas

Magnesio y Calcio

El uso de aguas de riego que contienen altas cantidades de magnesio puede traer como consecuencia el aumento en el complejo de saturación del magnesio (Mg) intercambiable del suelo

Hay un efecto específico del magnesio intercambiable sobre las propiedades físicas causando disminución en la conductividad hidráulica, porque tiene características dispersivas (Álvaro García, 2002).

El Mg intercambiable puede reducir el crecimiento de la planta debido a un efecto directo de toxicidad, la disminución puede atribuirse a una deficiencia en calcio causado por altos niveles de magnesio.

La concentración de magnesio en el agua de riego puede llegar a ser significativa, por lo cual debe ser tomada en cuenta al realizar la fertilización. Valores de magnesio superior a los 60 mg. L⁻¹ se consideran peligrosos (Maas, 1984).

El ión calcio (Ca) juega un papel muy importante en regular la estructura y las propiedades físicas del suelo, reduce la salinidad y mejora la penetración del agua.

Se considera un macronutriente esencial en los cultivos, ya que tiene una función muy importante en el crecimiento y nutrición de la planta.

La determinación se realizó por volumetría de formación de complejos (APHA, 2005), donde el agente acomplejante es el EDTA (ácido etilen-diamino-tetraacético) que reacciona con la mayoría de los metales. Acondicionando el pH del medio, se seleccionan los metales a complejar, determinando primero la suma de calcio y magnesio a pH 10, que da la dureza total; y luego calcio a pH 12, obteniéndose el contenido de magnesio por diferencia. En este caso para la valoración de calcio más magnesio se utilizó como indicador el NET (negro de eriocromo timol) que da un color rojo vinoso y para determinar calcio el indicador fue calcón que da una coloración rojo cereza, y al formar el complejo viran al azul y al violeta respectivamente.

Valores normales en las aguas de riego es hasta 400 mg L^{-1} de Ca. En las muestras analizadas se observa que la concentración de Ca no es elevada (Tabla 3). Este parámetro no acarrearía ningún tipo de limitación en el uso de las aguas estudiadas para el riego.

En el análisis de determinación de magnesio se observó que la muestra número 12 se encuentra al límite del valor considerado como optimo en aguas de riego (de 0 a 60 mg L^{-1} de Mg), lo que indica que conviene prestar especial atención a la concentración de magnesio en el agua, teniendo en cuenta su aporte en el riego a la hora de la fertilización.

Tabla 3: Valores de calcio y magnesio de las muestras analizadas

Muestras	Ca (mg L^{-1})	Mg (mg L^{-1})
1	52	21,6
2	84	26,4
3	73,6	11,52
4	120	20,64
5	104	31,2
6	168	31,2
7	86,4	45,12
8	136	36
9	128	12
10	36	2,4
11	40	12
12	56	60

DUREZA

La dureza de las aguas no tiene incidencia negativa en su aptitud para riego, por el contrario, se les asigna como buena característica el aporte de los macronutrientes secundarios: Calcio y Magnesio, pero está directamente relacionada con la conservación y el mantenimiento de los equipos de riego. Importantes cantidades de calcio y magnesio predisponen la obturación de todo tipo de emisores, viéndose perjudicada la eficiencia de los equipos de riego presurizado (Jiménez, 2000).

En la figura 9 se observa que presentan mayor valor de dureza las muestras 6, 7, 8, 12, respecto a los valores de las demás muestras analizadas.

Según las categorías (Cánovas Cuenca, 1986) se puede clasificar el agua por su dureza en (Tabla 4):

Tabla 4: Clasificación de las aguas por su dureza

Cuadro indicativo de valores de dureza	
Tipo de agua	mg.L ⁻¹ de CaCO ₃
Muy blanda	Menor a 70
Blanda	70 – 140
Medianamente blanda	140 – 220
Medianamente dura	220 – 320
Dura	320 – 540
Muy dura	Mayor a 540

Nuestros resultados se categorizaron como aguas duras un 58 % de las muestras evaluadas; un 3% como medianamente dura, y solo la muestra 10 es blanda y la 6 muy dura superando los 540 mg/L de CaCO₃ (Figura 5).

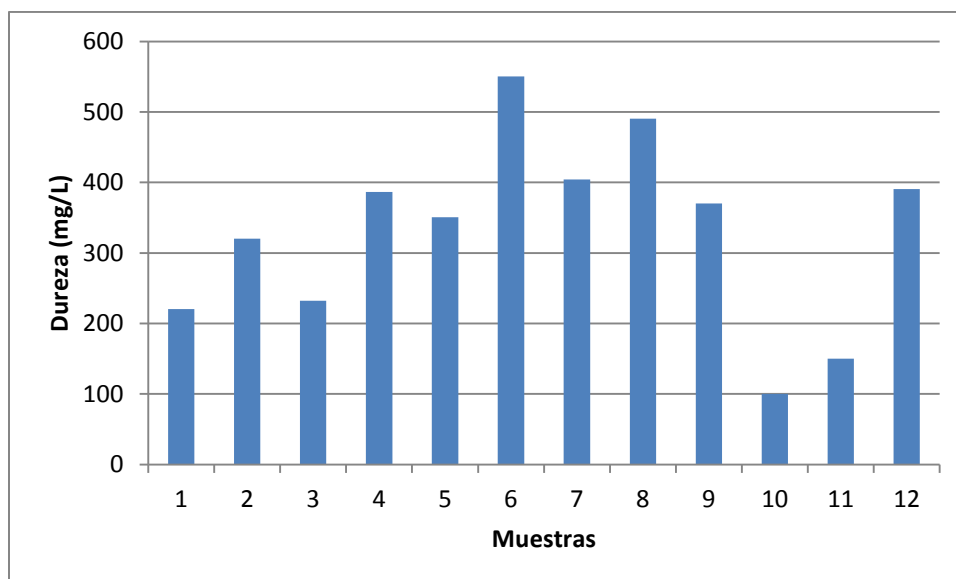


Figura 5: Valores de dureza de las muestras analizadas

Sodio-RAS

Se puede observar que en relación al sodio, las muestras presentaron valores bajos (Figura 6). El Valor límite obligatorio para riego según FAO, 2009 es de 150 mg de Na L^{-1} .

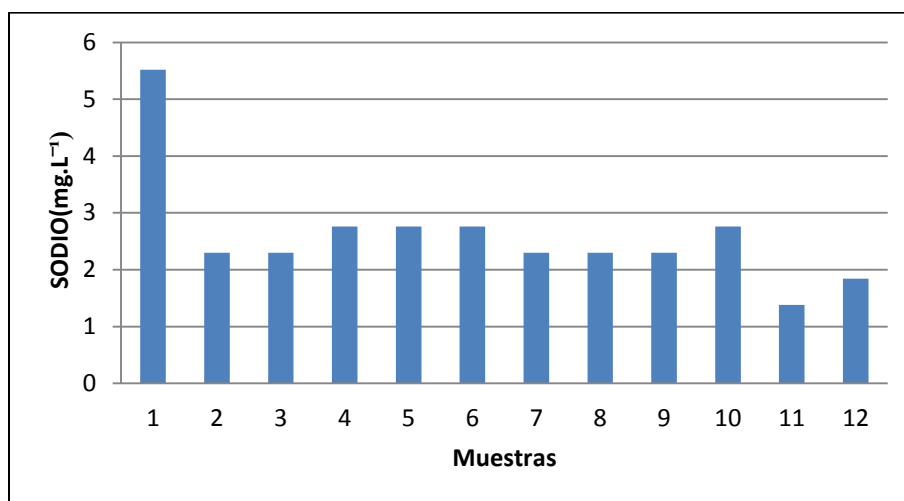


Figura N° 6: Valores de sodio de las muestras analizadas.

El criterio de sodicidad analiza el riesgo de que se induzca en el suelo un elevado porcentaje de sodio intercambiable (PSI), con deterioro de sus características y

estructura. La acumulación de sodio en el suelo afecta directa y negativamente a las propiedades del mismo, especialmente a su permeabilidad e infiltración.

El Laboratorio de salinidad de Riverside (U.S.) clasifica la peligrosidad de sodificación del suelo por el agua de riego en función de su índice RAS, que se calcula con la siguiente fórmula:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Donde las concentraciones se expresan en meq/L.

Y la clasificación propuesta es la siguiente:

Tabla 5: Clasificación del agua para riego según su peligrosidad
sódica (U.S. Soil Salinity Laboratory Staff, 1954):

CLASE	CLASIFICACIÓN	RAS
S1	BAJA peligrosidad sódica.	0 – 10
S2	MEDIANA peligrosidad sódica.	10 – 18
S3	ALTA peligrosidad sódica.	18 – 26
S4	MUY ALTA peligrosidad sódica.	Mayor a 26

Con respecto a estos dos parámetros antes mencionados (CE y RAS), el laboratorio de Riverside hace una clasificación relacionándolos para evaluar la calidad del agua.

NORMAS RIVERSIDE:

Establecen una relación entre la conductividad eléctrica y el índice RAS. Según estos dos índices, se establecen categorías o clases de aguas enunciadas según las letras C y S afectadas de un subíndice numérico (Tabla 6) (Blasco y de la Rubia, 1973).

Tabla 6: Normas de Riverside: Clasificación para evaluar la calidad de las aguas de riego en función

Clasificación de las aguas según las normas Riverside	
Tipos	Calidad y normas de uso
C 1	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas en suelos de muy baja permeabilidad.
C 2	Agua de salinidad media, apta para el riego. Utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C 3	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego en suelos con buen drenaje.
C 4	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje.
C 5	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C 6	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S 1	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S 2	Agua con contenido medio de sodio, y por tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina y de baja permeabilidad.
S 3	Agua con alto contenido de sodio y gran peligro de acumulación del sodio en el suelo.
S 4	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general,

El exceso de sodio en el agua de riego promueve la dispersión del suelo y la descomposición estructural, pero solo si el sodio excede al calcio en más de una proporción de aproximadamente 3: 1. Un contenido de sodio relativamente alto (> 3: 1) a menudo resulta en un grave problema de infiltración de agua debido a la dispersión del suelo y al taponamiento y sellado de los poros de la superficie, de la misma manera que lo hace el agua de muy baja salinidad. Esto se debe a la falta de calcio suficiente para contrarrestar los efectos de dispersión del sodio. El exceso de sodio también puede hacer que sea extremadamente difícil suministrar suficiente agua para satisfacer la demanda de agua del cultivo. Otros problemas relacionados, como la formación de costras en el suelo,

la escasa emergencia de las plántulas, la falta de aireación, las enfermedades de las plantas y las raíces, los problemas de control de malezas, causados por la baja tasa de infiltración pueden complicar aún más el manejo de los cultivos.

Según lo propuesto por las normas de Riverside podemos agrupar nuestras muestras en los tipos:

C1-S1: las muestras 1, 2, 3, 7, 11, 12: Aguas de baja salinidad, con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos.

C2-S1: las muestras 4, 5, 6, 8, 9, 10: Aguas de salinidad media, apta para el riego, con bajo contenido en sodio. Todas las muestras muestran baja peligrosidad sódica por presentar valores de RAS dentro del rango de 0 a 10 (Figura 7).

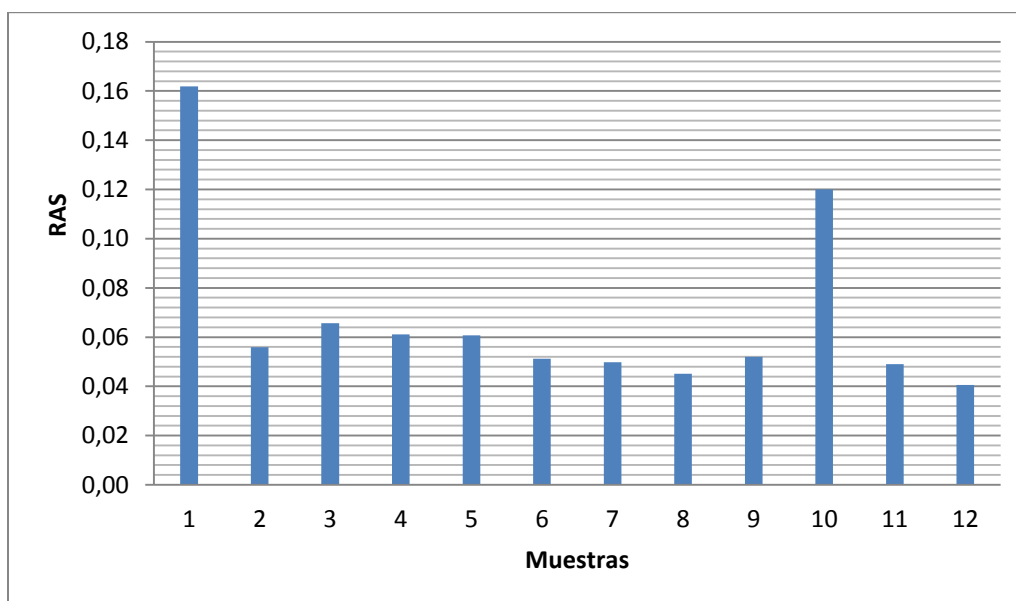


Figura N° 7: Valores de RAS de las muestras analizadas.

Potasio

El potasio es un elemento clave en la nutrición vegetal. Por ello es necesario mantener sus niveles adecuados para obtener una buena producción. Hay que tener en cuenta que puede existir una sustitución a nivel radicular del ion potasio por el sodio, cuando la concentración de potasio es muy baja. Los niveles de tolerancia de potasio varían en función del cultivo, el estado de desarrollo de este y de las condiciones climáticas. El contenido de potasio normalmente se encuentran en las aguas de riego entre 0 y 30 mg

L⁻¹ de K (Camacho Ferre, 2003) valor que no causarían problemas en el uso destinado para riego.

En la tabla N°7 se puede observar que la concentración no es elevada, al igual que ocurre con el nitrato o el fosfato, es importante contar con dichos valores a la hora de planificar un plan de abonado.

Tabla 7: valores de potasio de las muestras analizadas

Muestras	Potasio (mg.L ⁻¹)
1	4,29
2	2,73
3	3,12
4	0,59
5	0,39
6	0,78
7	0,2
8	0,98
9	0,98
10	0,39
11	1,17
12	2,9

Cloruros

El ión cloruro [determinado por Volumetría de precipitación, Método de Mohr (APHA, 2005)], forma un precipitado blanco de cloruro de plata (AgCl), al agregar como valorante una solución de nitrato de plata. El punto final se detecta por la formación de un precipitado rojo ladrillo de cromato de plata, el cual actúa como indicador.

La toxicidad es un problema interno que se produce cuando determinados iones, absorbidos principalmente por las raíces, se acumulan en las hojas mediante la transpiración, llegando a alcanzar concentraciones nocivas. Los iones tóxicos más frecuentes y, con los que más cuidado hemos de tener son el cloro, sodio y boro (Bauder et al., 2007). Según FAO valores normales en aguas de riego es 30 meq L⁻¹ de cloruros.

En las muestras analizadas se observó valores inferiores a lo indicado por la FAO como riesgo de toxicidad para cultivos.

Las muestras mostraron valores bajos, en un rango entre 10 a 20 mg L⁻¹ de cloruros (Figura 8).

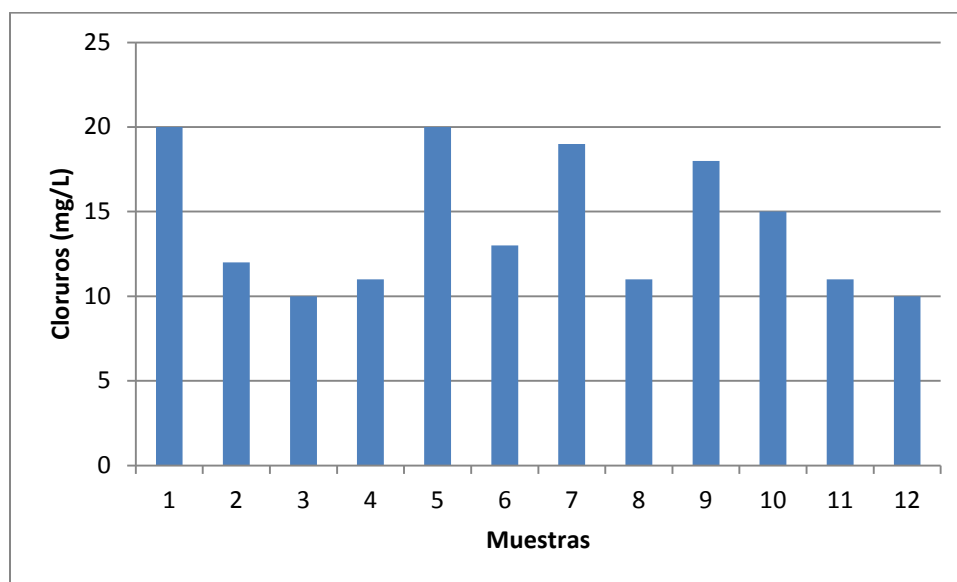


Figura 8: Valores de cloruros de las muestras analizadas

Sulfatos

Los aniones modifican las propiedades del suelo de forma directa incrementando la salinidad y de forma indirecta afectando las proporciones de sodio intercambiable, calcio y magnesio (Warrence et al., 2002).

La determinación de sulfatos [por Turbidimetría] se realizó tratando la muestra con cloruro de bario, en medio ácido, formándose un precipitado blanco de sulfato de bario, se requiere de un solvente acondicionador, que contiene glicerina y alcohol, para modificar la viscosidad de la muestra y así permitir que el precipitado de sulfato de bario (BaSO_4) se mantenga en suspensión, produciendo valores de turbidez estables.

La turbidez de este precipitado se mide en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 420 nm y se determinó la concentración de SO_4^{2-} por comparación con la lectura de una curva patrón.

Se consideran valores normales en agua de riego para sulfatos el siguiente rango de concentración 0 a 960 mg.L⁻¹ (FAO, 2009). Considerando el contenido de sulfatos en las distintas muestras (Figura 9) y comparando con los datos de referencia se puede decir

que este anión no traería problemas en las aguas para riego ya que la concentración del mismo está muy por debajo de los valores referenciales de restricción, en todas las fuentes de agua analizadas.

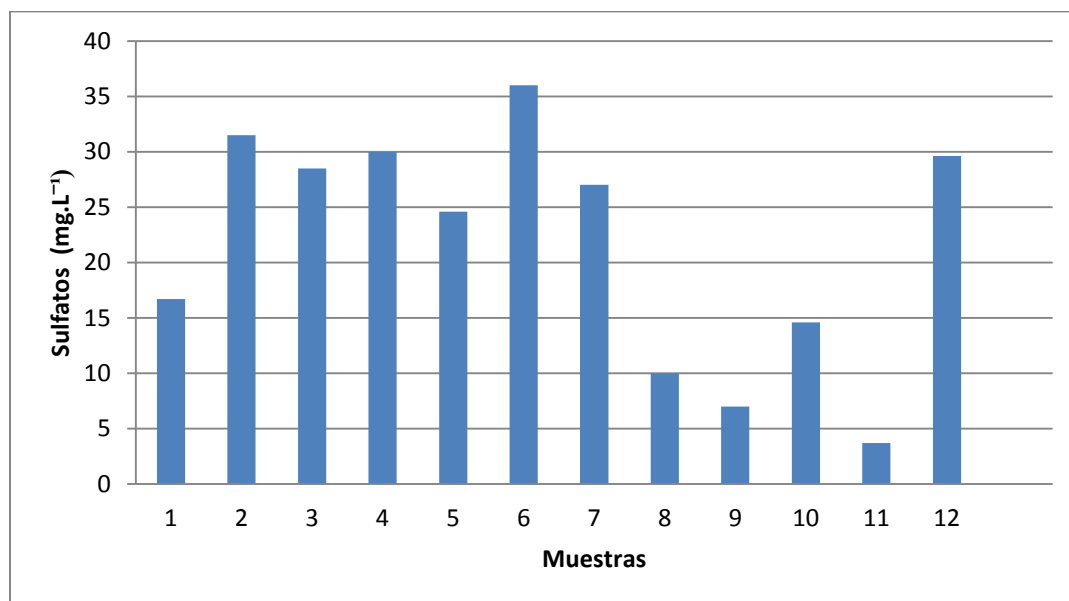


Figura N° 9: Valores de sulfatos de las muestras analizadas.

Fosfatos

El fosfato se cuantificó por el método del azul de molibdeno (APHA, 2005). El molibdato de amonio y el tartrato antimonílico potásico reaccionan con los ortofosfatos en medio ácido para formar un complejo antimonio-fosfomolibdato, que al reducirse con ácido ascórbico, produce un color azul intenso que se mide espectrofotométricamente a 880 nm.

No se establece parámetros máximos de este analito para agua de riego; sin embargo, su efecto sobre el medio acuático puede ser dramático, influye directamente sobre problemas de eutrofización. Al igual que lo mencionado anteriormente con los nitratos conviene tener una idea, aun aproximada, de la cantidad aportada con el riego para restarla a la fertilización, reduciendo así posibles problemas agronómicos en los cultivos. (Camacho Ferre, 2003).

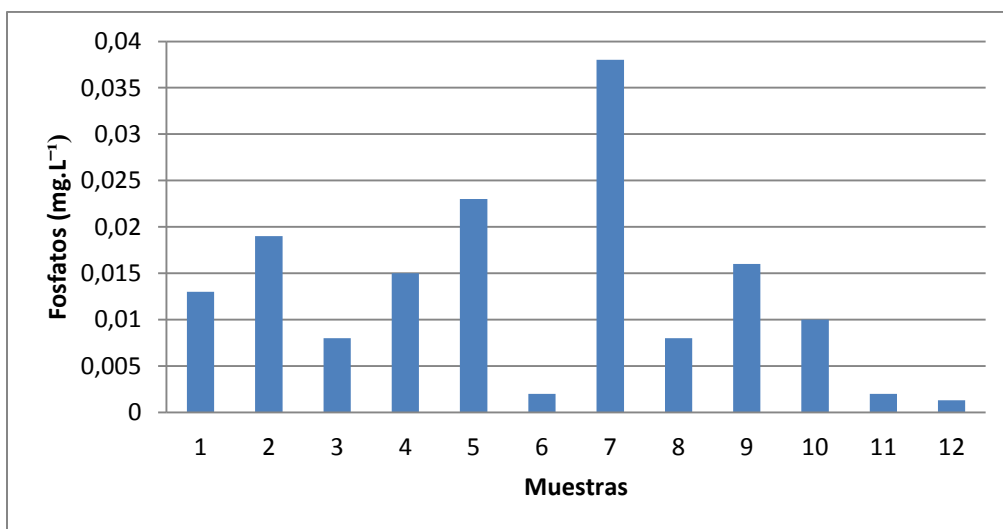


Figura N°10: Valores de fosfatos de las muestras analizadas

Nitrato

La presencia de nitratos en agua para riego agrícola generalmente no son elevadas, y es aprovechado por los cultivos en su desarrollo, pero si contribuye fuertemente a la salinidad. Sin embargo, se deben tener presentes estos valores cuando se utilicen fertilizantes (Sarabia Meléndez et al., 2011). Un análisis alto en nitratos indica que debe reprogramarse la fertilización nitrogenada reduciendo las cantidades a aplicar y procurando balancear los otros nutrientes (Álvaro García, 2012).

El nitrato en el agua deriva de fuentes de contaminación puntuales, como sitios industriales, cámaras sépticas o plantas de tratamiento de desechos. También, hay fuentes no puntuales que resultan de la aplicación extensiva de fertilizantes y abonos.

Cabe destacar que la Comunidad Europea recomendó $50 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ para agua de consumo humano y con riesgo potencial del nitrógeno en la eutrofización de las aguas superficiales (European Community, 1991). Según el Código Alimentario Argentino (CAA) los límites máximos son de 45 mg L^{-1} de nitrato en aguas para consumo (CAA, 2010). Por su parte, el nitrógeno en el agua para consumo humano afecta la salud y puede producir una enfermedad en los infantes llamada metahemoglobinemia, y más recientemente se ha observado que puede generar cáncer (Ward et al., 1996).

La determinación se basa en la reacción de los nitratos con el salicilato sódico formando un complejo de paranitrosalicilato sódico de color amarillo, que se lee por espectrofotometría en 410 nm.

Nuestros resultados indican (Figura 6) que las muestras presentan valores bajos de NO_3^- , incluso no superan los límites establecidos para consumo humano.

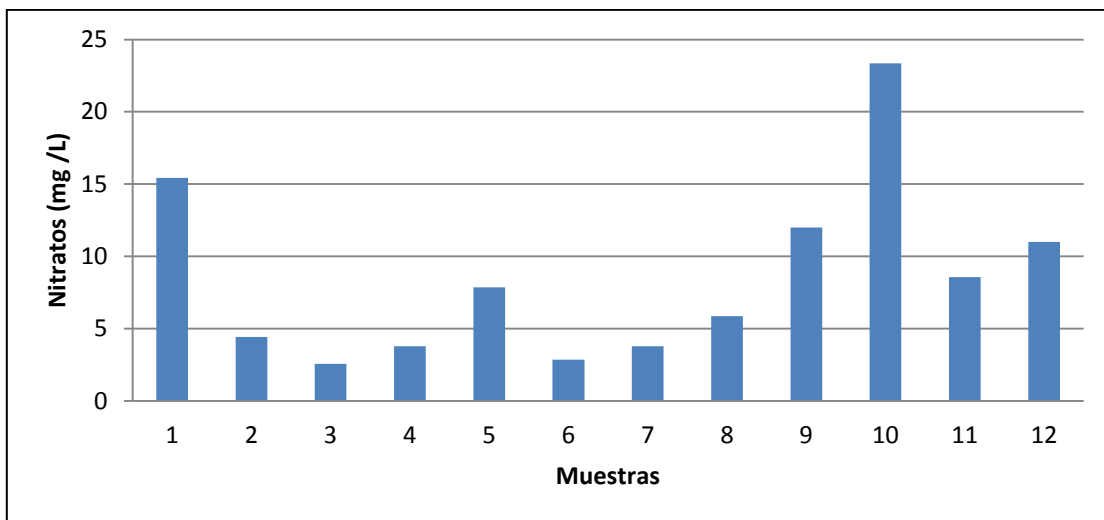


Figura N° 6: Valores de nitratos de las muestras analizadas.

- **Comentarios Finales**

En el trabajo de laboratorio es de destacar la importancia que tiene seguir los protocolos en cuanto al acondicionamiento de las muestras para su análisis, y las determinaciones físicas y químicas de las muestras con el fin de realizar de la forma más precisa posible para obtener resultados fidedignos.

En lo que se refiere a la evaluación y caracterización de la calidad fisicoquímica del agua para riego podemos afirmar que alcanzamos los objetivos propuestos al iniciar este trabajo. Es importante resaltar que los lugares donde fueron extraídas las muestras para su evaluación es una región hortícola/citricola, lo cual es un factor prioritario, debido a que el agua se utiliza para riego, pero al mismo tiempo también para consumo humano.

La calidad del agua y su adecuación para el riego se determinan por la importancia de los problemas que pueden aparecer en el sistema agua-suelo-planta después de un uso prolongado. Un factor imprescindible a tener en cuenta es la carga salina. En el análisis

de las muestras se observó, según la clasificación del laboratorio de Riverside, aguas de baja salinidad, con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos; y, muestras con salinidad media, apta para el riego, con bajo contenido en sodio. Con baja conductividad la mitad de las muestras, demostrando que son aguas aptas sin riesgo de salinización; sin embargo el resto de las muestras presentaron un peligro moderado, por lo tanto se debe tomar ciertos recaudos como ser: tener en cuenta el tipo de suelo, su permeabilidad (buena) y el tipo de cultivo.

Además, cabe destacar que la determinación de la dureza, nitrato, fosfatos y potasio es un dato importante a la hora de planificar un plan de fertilización.

En el caso de iones tóxicos como el cloro y el sodio, las muestras presentaron valores bajos, según FAO, por lo que no representa un problema para su uso.

Como aporte final, este trabajo me sirvió para adquirir experiencia práctica sobre la caracterización de las aguas, ampliando conocimientos teóricos ya adquiridos que hacen a mi formación como futuro profesional. Creo que es de vital importancia caracterizar el agua para los diferentes usos, ya que ésta es uno de los bienes más preciados y es importante conocer su calidad.

Bibliografía:

- Álvaro García, O. 2012. Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego.
- Álvaro García, O. 2002 .Magnesium affected soils in Colombia. Transactions 17th Congress of soil Scienci, 14-21 August 2002.Bangkok, Thailand, Paper 2193 6p.
- American Society for testing and Materials. Annual book of Standards, (1994). Determinación de Sulfatos por turbidimetría en agua.
- American Public Health Association (APHA) 133rd Annual Meeting & Exposition in Philadelphia, PA. December 2005.
- Ayers, R.S. y Westcot.1987. La calidad del agua y su uso en la agricultura. Estudio FAO, Riego y Drenaje 29 Rev. 1. Trad. Al español por J.F. Alfaro de: Water Quality and use agriculture.
- Baccaro, K.; Degorgue, M.; Lucca, M.; Picone, L.; Zamuner, E.; Andreoli, Y. (2006). Calidad del agua para consumo humano y riego en muestras del cinturón hortícola de Mar del Plata. RIA, 35 (3): 95-110, INTA, Argentina. ISSN 0325 - 8718.
- Bauder, T.A., Waskom, R.M., Davis, J.G., 2007. Irrigation Water Quality Criteria. Colorado State University Cooperative Extension (USA). 7/03. no.0.506
- Blasco y de la Rubia. (1973). Laboratorio de suelos IRYDA, Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego. (U.S. Soild Salinity Laboratory).
- Cánovas Cuenca, J. (1986). Calidad agronómica de las agua para riego. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- Camacho Ferre, F. 2003. Técnicas de producción en cultivos protegidos. Edita la Caja Rural Intermediterránea (Cajamar). Almería (España). 373 páginas.
- Catalán Lafuente, J. "Química del agua" 2^{da}Ed.Bellisco Madrid (1990).
- Código Alimentario Argentino, 2010, Capítulo XII: BEBIDAS HÍDRICAS, AGUA Y AGUA GASIFICADA. AGUA POTABLE Disponib en: http://www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa.asp
- European Community. 1991. Council directive concerning the protection ofwaters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. EC 91/676. Off. J. Eur. Commun. L375:1-8.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Aquastat. (2009). Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/regions/lac/indexesp4.stm>
- Jiménez, Antonio Aznar 2000. Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. Revista interdisciplinar de gestión ambiental, ISSN 1575-1317, Año 2, Nº. 23, págs. 12-19. Leganes. Madrid.
- Kevern, R.N. 1989. Alkalinity water, classification systems, volume Part 1. The Michigan, 1989. Disponible en: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcalinidad.pdf>.
- Levy, G. J. (2000). Sodicity. p. G-27:G-55. En: Sumner M. E. (Ed.). Handbook of Soil Science, CRC Press. Boca Raton, FL.
- Maas, E.V. (1990). Crop salt tolerance. p. 262-304. En: Tanji K. K. (Ed.) Agricultural Salinity Assessment and Management , ASCE Manuals Prac. No 71, Am. Soc. Of Civ. Eng., NY.
- Mancilla-Villa, O.R.; Bautista-Olivas, A.L.; Ortega-Escobar, H.M.; Ramírez-Ayala, C.; Reyes-Ortigoza, A.L.; Flores-Magdaleno, H.; González-Eguiarte, D.R. & Guevara-Gutiérrez, R.D. 2014. Content of Boron in Surface Water in Puebla, Tlaxcala, and Veracruz. Water Technology and Sciences (in Spanish). 5 (5): 97-109.
- Mujeriego, R. (1990). Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada. Ediciones de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Otero, L.; Francisco, A.; Gálvez, V.; Morales, R.; Sánchez, I.; Labaut, M. & Rivero, L. 2008. Caracterización y evaluación de la salinidad. 1-9.
- Rodríguez, S. C.; Fernández, J. A.; Martínez, G. (2005). Validación Interna de un método para la Determinación de Nitratos en Agua- XX Congreso Nacional del Agua. III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. Provincia de Mendoza. República Argentina.
- Sarabia Melendez, I.F.; Cisneros Almazan, R.; Aceves de Alba, J.; Duran García, H.M.; Castro Larragoitia, J. Calidad de agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí; Mexico Rev. Int. Contam. Ambie. 27 (2) 103-113, 2011.
- Urbano Terron, P. 2002. Fitotecnia: Ingeniería de la producción vegetal. Ediciones Mundi-Prensa (Madrid). 528 pag.

- U.S. Salinity Laboratory Staff. L.A. Richards. Diagnosis and improvement of Saline and Alkali Soils. Ed. U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C, rev. ed., 1954. VII+160 pp. Illus. 2 (Order from Supt. of Documents, GPO, Washington, D.C.
- Ward, M. H.; Mark, S.D.; Cantor, K.P.; Weisenburger, D.D.; Correa Villaseñor, A. and Zahm, S.H. 1996. Drinking water nitrate and the risk of nonHodgkin's lymphoma. Epidemiology, 7:465-471.
- Warrence, N.J.; Bauder, J.W. & Pearson, K.E. 2002. Basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties. Department of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University-Bozeman, MT. 1-29.