

ESTUDIOS PRELIMINARES DE LA CALIDAD AGROAMBIENTAL DE AGUAS DE RIEGO DE LA ZONA DE VICAR

ROCÍO MERINO PÉREZ



TUTORES: María del Mar Socías Viciano
Mónica Cruz Márquez

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y FACULTAD DE CIENCIAS
EXPERIMENTALES

CURSO 2013/2014

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer al laboratorio SICA AGRIQ por prestarse a que utilizase las muestras de agua de Vicar para su posterior análisis, sin su ayuda no habría sido posible realizar el proyecto de fin de grado.

Y por supuesto a mi tutora del proyecto M^a del Mar Socias Viciano por toda la ayuda que he recibido de su parte y las horas interminables de trabajo, sin ella no hubiese sido posible.

Memoria presentada por Dña. Rocío Merino Pérez para la defensa del Trabajo
Fin de Grado, perteneciente al Grado en Ciencias Ambientales

Almería 14 de septiembre de 2014

Directoras del Trabajo Fin de Máster

Fdo.: Dra. D^a María del Mar Socías Viciano
Profesora Titular del Departamento de
Química y Física.
Facultad de Ciencias Experimentales.
Universidad de Almería

Fdo.: Dra. D^a Mónica Cruz Marquez
Directora Técnica del laboratorio
de SICA AGRIQ

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. OBJETIVO E HIPÓTESIS DEL TRABAJO..... | 1 |
| 2. ANTECEDENTES | 2 |
| 2.1 Actividad agrícola..... | 2 |
| 2.1.1 <i>Evolución de la actividad agrícola.....</i> | 2 |
| 2.1.2 <i>La actividad agrícola en la provincia de Almería.....</i> | 3 |
| 2.1.3 <i>Hitos que han marcado la evolución del sector hortofrutícola y de los invernaderos en la comarca.....</i> | 5 |
| 2.2 Factores que influyen en el desarrollo de los cultivos..... | 6 |
| 2.3 Calidad del agua de riego..... | 8 |
| 2.3.1 <i>Problemas asociados a la calidad del agua de riego.....</i> | 8 |
| 2.3.2 <i>Indicadores de calidad.....</i> | 9 |
| 2.3.3 <i>Normas Principales.....</i> | 12 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 17 |
| 3.1 Procedimiento de Muestreo..... | 17 |
| 3.2 Caracterización de las muestras de aguas..... | 17 |
| 3.2.1 <i>Medidas de pH y conductividad</i> | 17 |
| 3.2.2 <i>Análisis de cationes y aniones.....</i> | 17 |
| 3.2.3 <i>Dureza del agua.....</i> | 17 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 18 |
| 5. CONCLUSIONES..... | 25 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA | 26 |

1. OBJETIVO E HIPÓTESIS DEL TRABAJO.

La comarca del Poniente, en la Provincia de Almería, es el mayor exponente europeo, y probablemente mundial, de la agricultura intensiva bajo plástico. El desarrollo sin precedentes de esta actividad agrícola la ha convertido en la actualidad en el principal pilar de la economía de la provincia. A pesar de los grandes beneficios económicos obtenidos, también se han producido problemas ambientales que requieren ser analizados, con el objeto de diseñar y establecer políticas que permitan corregirlos y avanzar hacia un desarrollo sostenible de esta actividad (Tolon, 2010; Garcia, 2012)

Uno de los principales problemas que genera la agricultura es la degradación del suelo por problemas de salinización ó sodificación. Igualmente el uso de fertilizantes y fitosanitarios pueden dar lugar a la contaminación tanto del suelo como del agua (Cruz-Guzamán, 2007). Esta contaminación puede ser tanto puntual como difusa, por esta razón el conocimiento las prácticas agrícolas empleadas, la calidad del agua de riego utilizada, son fuentes de información necesaria para permitir elaborar manuales de buenas prácticas agrícolas que ayuden a preservar el medio ambiente y contribuir de esta forma con un desarrollo sostenible.

En este sentido, el objetivo de este trabajo fin de grado es alcanzar las competencias asociadas a un laboratorio de análisis de calidad de aguas en general y de agua para riego en particular. Con este fin, se ha pretendido estudiar la calidad del agua de riego de 10 puntos de muestreo localizados en la zona del poniente almeriense, Vícar. Para ello es necesario en primer lugar una búsqueda bibliográfica actualizada que nos permita establecer los parámetros indicadores y normas de calidad que se deben aplicar para clasificar las aguas según su calidad de riego, y poder valorar el posible impacto ambiental.

En segundo lugar, se realizaran las determinaciones de los parámetros indicadores utilizando para ello diferentes equipos del laboratorio. Una vez determinados estos indicadores se aplicarán los criterios de clasificación en función de cada parámetro así como la norma de calidad seleccionada, ésto permitirá en última estancia establecer una clasificación de las aguas de riego objeto de estudio y valorar el impacto ambiental.

La realización de este trabajo permitirá profundizar en la adquisición de las competencias genéricas o transversales establecidas para el Grado de Ciencias Ambientales (RD 1393/2007), así como en las competencias específicas relacionadas con:

- De adquisición de conocimientos.
- De aplicación de conocimientos específicos.
- De aplicación de conocimientos multidisciplinares.
- De conocimiento y aplicación de técnicas.

2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

2.1. Actividad Agrícola

2.1.1. Evolución de la actividad agrícola

La agricultura es la actividad del hombre que se refiere al cultivo de especies vegetales para la satisfacción de sus necesidades y es tan antigua como la aparición del hombre en la tierra. Esta actividad ha evolucionado paulatinamente de manera paralela a la evolución de las especies y de las sociedades humanas, a tal grado que actualmente, con la aparición del mejoramiento genético, se han introducido al cultivo especies de plantas que en otros tiempos no se hubiese imaginado.

En la segunda mitad del siglo XX, los agricultores se encontraron frente a un fenómeno de crecimiento sin precedentes de la demanda de alimentos. Si en la primera mitad del siglo la población del mundo aumentó en 960 millones de personas, en la segunda se incrementó en 3690 millones. La población de los países en desarrollo en su conjunto pasó de 1800 a 4700 millones durante este último período, lo que supone un aumento del 260 por ciento. Además, los ingresos per cápita, otro factor que impulsó el aumento de la demanda de alimentos, también crecieron en la segunda mitad del siglo en muchos países en desarrollo (FAO, 2000) .

Este crecimiento de la demanda se produjo en un momento en que una gran parte de la tierra adecuada para el cultivo ya estaba siendo utilizada para la producción agrícola. En muchos países, los agricultores cultivaban intensamente la tierra en 1950, con unos niveles significativos de regadío y cosechas múltiples. Por consiguiente, en la mayoría de las zonas no era posible responder a la demanda recurriendo simplemente a la ampliación de la superficie cultivada (FAO, 2000).

La actividad agrícola tiene varios niveles de desarrollo según el nivel tecnológico y de capital con el que se cuente y va desde el nivel de subsistencia en cultivos básicos de temporal, pasando por el cultivo en espacios protegidos donde se cultiva especies frutales y hasta grandes espacios bajo invernadero de plantas ornamentales.

Las innovaciones tecnológicas pueden ser analizadas desde diversas ópticas, ya sea en función de sus efectos asociados al incremento de los rendimientos, a la conservación de los suelos, al cuidado del medio ambiente, a la reducción de los costos, etc.

Considerando su naturaleza, las tecnologías que impactan sobre la producción agrícola pueden ser:

Biológicas: hoy centradas en los organismos genéticamente modificados, pero continúan los desarrollos fitotécnicos tradicionales para mejorar y obtener nuevos cultivares, híbridos, etc.

Agroquímicas: centradas en los fertilizantes, herbicidas, insecticidas y fungicidas.

Mecánicas: enfocadas hacia la eficiencia de los equipos, la mayor versatilidad de uso y capacidad de trabajo, la incorporación de la electrónica, la informática y la seguridad para el operador

Manejo: mediante el uso de las tecnologías citadas, se perfeccionan las estrategias para el manejo de los cultivos destacándose actualmente los esfuerzos en el incremento de la productividad asociada a la conservación y la sostenibilidad, cuya expresión máxima es la siembra directa, la fertilización balanceada y la agricultura de precisión mediante el uso de información satelital, de sensores remotos y aplicación de los sistemas de información geográfica (GIS).

Individualmente o combinadas, estas innovaciones impactan sobre diversos aspectos del sistema productivo ya sea en la ocupación de mano de obra, en el tiempo libre disponible, en la estructura agraria y en las superficies destinadas a cada actividad. También impactan sobre la oportunidad, calidad y cantidad de los granos producidos.

2.1.2 La actividad agrícola en la Provincia de Almería

El cultivo de la tierra ha sido la forma de vida de prácticamente toda la provincia. En el siglo pasado fueron muchas las comarcas que vivieron épocas de bonanza económica gracias al parral, el olivo, los almendros o el cereal. Hoy día, las tierras del interior se han reconvertido adaptándose a nuevas formas de cultivo, como la agricultura ecológica o cambiando los frutos secos por las viñas. En otras zonas, las tierras han sido adquiridas o repobladas por la Junta de Andalucía para dotar de vegetación a una provincia que erróneamente se conoce como árida.

La producción agrícola intensiva de la provincia de Almería se ubica en toda la franja del litoral mediterráneo, desde Adra y hasta Pulpí, limitando con las provincias de Granada y Murcia, respectivamente. Este territorio es comúnmente dividido en dos zonas: Poniente y Levante. La comarca de Poniente, antes conocida como "Campo de Dalías", alberga la mayor superficie de invernaderos, un 80% del total, es seguida del "campo de Nijar" con un 15% y el 5% restante forma el "Bajo Almanzora" (Lopez Bellido, 1994). En su conjunto, el litoral almeriense agrupa a más de 26.500 hectáreas de invernaderos (Callejon, 2013).

Existe una relación directa entre la superficie de invernaderos y la localización de los centros de manipulación. El "Campo de Dalías" está formado por los municipios de Adra, Dalías, Berja, El Ejido, La Monjonera, VÍcar y Roquetas de Mar, albergando la mayor parte de los centros de manipulación, de los que podemos destacar Agrupa-Ejido, EjidoLuz, Vicasol y las Hortichuelas. Es seguido del "Campo de Nijar" o "Bajo Andarax", donde destacan los municipios de Nijar y Almería cuyos centros de manipulación más representativos son Vega-cañada, CASI y Agrupa-Almería. En el "Bajo Almanzora" destaca Primaflor, situado en el término municipal de Pulpí (Conserjería, 2002).

En su conjunto, el litoral almeriense agrupa a más de 25.000 hectáreas de invernaderos.

Respecto al volumen de actividad agrícola, El Ejido es el municipio con mayor superficie de invernaderos, aproximadamente doce mil hectáreas, que se reparten en su gran territorio. En el año 2003, la población de esta localidad ascendía a más de 62.000 habitantes. Este crecimiento demográfico se ha venido incrementado en los últimos veinte años, ya que este pueblo ha sido

lugar de acogida de miles de inmigrantes, procedentes de las comarcas limítrofes, del resto de España, Norte de África y de los países europeos.

El crecimiento de población en El Ejido ha sido reforzado por el aumento económico. Este municipio alberga la mayor parte de las delegaciones de las multinacionales de insumos agrícolas, empresas comercializadoras y servicios para la agricultura.

Otra localidad representativa del Poniente almeriense es Roquetas de Mar, con cerca de dos mil hectáreas de invernaderos.

En la comarca de Levante, destaca Níjar, y una zona conocida como "La Vega de Almería". Los agricultores de este territorio han sabido aprovechar una circunstancia negativa como es la mala calidad del agua, que presentan unas concentraciones elevadas de sal. Este hecho se ha convertido en una virtud, puesto que los mejores cultivos de tomate se realizan en esta área. Una característica de superficie agrícola limítrofe con la provincia de Murcia es el cultivo de vegetales de hoja, como la lechuga y el brócoli.

A pesar del gran volumen de producción agrícola intensiva que se concentra en el litoral almeriense, en los pueblos del interior se están implantando sistemas productivos acordes con el entorno.

En el Valle del Andarax, y más concretamente en Laujar de Andarax está resurgiendo la actividad agrícola gracias al cultivo de viñas destinadas a la producción de vino. A este municipio le han seguido otros como Padules, Lúcar (en el Alto Almanzora) o Tabernas.

Asimismo, la producción de aceite está cobrando vida en las comarcas del Andarax, Tabernas, Filabres y Almanzora. A estas producciones se le suman otras iniciativas para poner en marcha cultivos alternativos como el espárrago (Conserjería, 2002).

La ubicación periférica de la provincia de Almería situada en el extremo sudoriental de la Península Ibérica sus deficientes vías de comunicación, su accidentada orografía y una estructura productiva muy atrasada, basada en una agricultura de subsistencia, la llevaron a ocupar los últimos lugares nacionales en los indicadores de desarrollo hasta finales de los años sesenta.

Sin embargo, en las tres últimas décadas Almería ha experimentado un importante proceso de crecimiento económico que se apoyó en sus inicios básicamente en la agricultura intensiva. El surgimiento de este tipo de agricultura a principios de los años sesenta y su posterior consolidación, tuvo un fuerte impacto en todos los órdenes volviendo a conectar a la economía almeriense con los mercados nacional e internacional. Sus efectos positivos se extendieron más allá de su estricta ubicación geográfica, coadyuvando a la reactivación de la economía provincial, que vio crecer su PIB per cápita a ritmos superiores a la media nacional (Ucles-Aguilera, D; Aznar-Sanchez, J.A, 2005). Actualmente, la agricultura intensiva constituye uno de los pilares básicos en los que se sustenta el modelo de desarrollo almeriense. Como prueba de la importancia del sector agrario en la provincia, baste mencionar que en 1993, su aportación al PIB era del 18,8%, frente al 9,4% andaluz y al 5,0% español. En términos de empleo las diferencias también son notables: este sector incorpora al 27,0% del total del empleo ocupado de la provincia, frente al 13,2% de Andalucía y al 10,1% de España (Molina, 1994).

Junto a esta moderna agricultura, que se desarrolla en las comarcas del litoral, pervive en las del interior otra de carácter tradicional que arrastra serios problemas estructurales y de supervivencia a largo plazo.

2.1.3 Hitos que han marcado la evolución del sector hortofrutícola y de los invernaderos en la comarca

Tolón Becerra y Lastra Bravo en 2010 analizaron, bajo una perspectiva histórica, los principales hitos que marcaron la evolución del sector hortofrutícola en la comarca almeriense, resumiéndolos como se indican a continuación:

1º. Descubrimiento del enarenado (1956), hecho fortuito aprovechado por un observador perspicaz.

2º. Experimentación, verificación y validación de la técnica de enarenado por el Instituto Nacional de Colonización (1957). Tras el sorprendente descubrimiento, se realizó una experiencia para enarenar varias parcelas en Roquetas de Mar, con resultados tan espectaculares que tierras prácticamente improductivas pasaron a ser cultivadas de hortalizas.

3º. Primeras experiencias del INC sobre construcción de abrigos plásticos (1960), para aprovechar al máximo las privilegiadas temperaturas y horas de insolaciones invernales, y forzar los rendimientos.

4º. Construcción de los primeros invernaderos tipo "Parral de Almería" (1961), a base de rollizos de eucalipto y alambre galvanizado, cubriéndose el techo y las caras laterales con plástico incoloro, con lo que se adelantaba la recolección, como consecuencia del aumento de la temperatura en el interior.

5º. Colonización estatal que, con sus planes de infraestructuras eléctricas e hidráulicas, estimularon el asentamiento de colonos, facilitando asesoramiento técnico y financiación.

6º. Desarrollo del sistema productivo y comercial primario (década de los sesenta), con una generalización de la producción de hortalizas y una permanente incorporación de innovaciones para mejorar la productividad y la calidad de los productos.

7º. Desarrollo secundario y estructuración del sistema comercial (década de los 70). La agricultura intensiva se constituye en un sistema tecnológico dinámico, concentrando grandes cantidades de agua, mano de obra y agroquímicos, mejorando los rendimientos de los productos, por alargamiento del ciclo de las plantas y obtención de dos y hasta tres cosechas al año, de ahí que se hable de "cultivos forzados". Desarrollo de un proceso de comercialización que ha facilitado la salida de las producciones agrícolas y aumentar su valor añadido.

8º. Consolidación del sistema productivo y comercial (década de "clúster" de actividades se vuelve muy complejo, incluyendo tanto actividades industriales como de servicios, que se vinculan con la agricultura intensiva abasteciéndola de inputs intermedios (plásticos, semillas, sistemas de riego, envases de cartón, madera y palets, abono orgánico y abejorros) o complementando la cadena de valor.

9º. Toma de conciencia de la sostenibilidad. Producción Integrada (Tolón Becerra, 2010).

2.2 Factores que influyen en el desarrollo de los cultivos

Entre los diferentes factores que influyen en el éxito del cultivo caben distinguir los siguientes:

- **Esquejes.**

El esqueje es un trozo de tallo o rama que producirá nuevas raíces para formar una nueva planta. Existen los esquejes leñosos y los semiliosos. Para obtener un buen resultado en el cultivo lo primero es elegir un esqueje de calidad, libre de enfermedades. El esqueje debe ser plantado en un sustrato profesional, con una buena base de turba de calidad, y sobre todo en un sustrato adecuado a las características del cultivo.

- **Sustrato/suelo.**

El término sustrato se refiere al material que utilizamos para llenar el recipiente de cultivo y que, en cierto modo, es el sustituto de la tierra. Es pues el medio donde van a crecer las raíces, y de donde éstas van a extraer todos los nutrientes necesarios para repartir entre todas las partes de la planta durante su crecimiento. La elección de un buen sustrato es el factor más importante para el éxito de un huerto urbano.

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc.

Según sus propiedades podemos diferenciar:

- **Sustratos químicamente inertes.** Arena granítica o silíceo, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca, etc.
- **Sustratos químicamente activos.** Turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales ligno-celulósicos, etc.

Las diferencias entre ambos vienen determinadas por la capacidad de intercambio catiónico o la capacidad de almacenamiento de nutrientes por parte del sustrato.

Los **sustratos químicamente inertes** actúan como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes, por lo que han de ser suministrados mediante la solución fertilizante.

Los **sustratos químicamente activos** sirven de soporte a la planta pero a su vez actúan como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización, almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal.

Independientemente del empleo de sustratos artificiales, el suelo es el principal soporte de los cultivos tradicionales, es por ello que en el apartado hablaremos de las propiedades más importantes relacionadas con la fertilidad de los suelos de cultivo:

- **Conocimientos técnicos.**

El conocimiento y la experiencia que tiene la persona encargada del cultivo es también decisivo, sobretodo es importante este punto si se trata del cultivo de especies determinadas, las cuales necesitan un manejo diferente.

- **Asesoramiento técnico.**

Una buena ayuda es el asesoramiento externo, como es ya ofrecido, por algunos fabricantes de substratos. Con un trabajo conjunto basado en la recogida de datos y el análisis de la situación se obtienen los datos necesarios para crear un substrato profesional que fomente el éxito en el cultivo.

- **Abonado/ Fitosanitarios.**

Para un óptimo desarrollo hay que tener en cuenta las características químicas como son el valor pH, la conductividad y el abonado, entre otras. También son factores importantes la procedencia y las propiedades de la turba.

El abonado tiene la función de “motor de crecimiento”. Un técnico cualificado puede asesorar al cultivador sobre las estrategias de abonado, así como, sobre la aplicación de fitosanitarios. Muy importante es utilizar un buen substrato que aporte a las plantas desde el principio los nutrientes y oligoelementos necesarios para su desarrollo.

- **Superficies.**

Para un buen desarrollo del cultivo, la superficie ha de ser adecuada, los factores a destacar aquí son: el drenaje y la base del cultivo, así como, si el cultivo en cuestión necesita algún cuidado especial.

- **Clima**

Las condiciones climáticas no representan un factor determinante para el éxito del cultivo, es más importante la elección de un substrato de calidad, así como, de un buen esqueje.

- **Agua de riego y métodos de riego**

Dada la importancia de este factor en el desarrollo de los cultivos, en la presente memoria se dedica un apartado para hablar de la calidad de la misma.

El riego que actualmente se utiliza en los invernaderos de la provincia es el riego por goteo. Este tipo de riego supone un considerable ahorro de agua con respecto al anterior riego a manta.

La escasez de recursos hídricos en la provincia ha hecho que se evolucione más en el sentido del ahorro de agua, y en la actualidad la mayoría de las explotaciones disponen de sistemas de riego por goteo automatizados que permiten el control del volumen de agua y la aplicación directa de los fertilizantes por medio del agua de riego. La automatización queda reflejada en los tiempos de riego y la utilización de la mano de obra, que no llega a alcanzar el 4% del tiempo total de trabajo.

2.3 Calidad del agua de riego

La calidad de agua para riego ha sido objeto de innumerables investigaciones orientadas hacia la evaluación y definición de parámetros para calificar sus características físicas y químicas, lo cual ha conducido a la proposición de varios sistemas para su clasificación. Algunos de ellos como el de (USDA, 1954), aunque usados ampliamente no son completamente satisfactorios, lo que hace que periódicamente se propongan alternativas cada una de las cuales ha constituido una etapa importante dentro del proceso.

Cuando la cantidad de sales que entran en la solución del suelo excede a la cantidad que es lixiviada por el agua de riego en su movimiento a través del perfil del suelo se presentan problemas, los cuales pueden variar en clase y magnitud dependiendo de la concentración y el tipo de sales disueltas, ya que los suelos y las plantas reaccionan de manera diferente a diferentes sales.

En la práctica, el clima, las condiciones físicas de los suelos, la mineralogía de las arcillas, el tipo de agricultura predominante, el cultivo a sembrar y las características particulares de cada caso son los parámetros que van a determinar en qué forma la acumulación de sales puede restringir la producción de los cultivos. Por estas razones, se considera que los criterios a usar para clasificar el agua de riego no pueden ser rígidos y se deben basar en las condiciones propias de cada caso. Los problemas más comunes resultantes del uso del agua para riego se relacionan con salinidad, alcalinidad, infiltración del agua en el suelo, toxicidad de iones presentes en ella, combinaciones de los anteriores y a efectos causados por sólidos en suspensión, metales pesados, corrosividad...etc (García Alvaro, 2002)

2.3.1 Problemas asociados a la calidad del agua de riego

La composición y concentración de sales en la solución del suelo puede afectar el crecimiento de las plantas debido a: 1) cambio en las propiedades del suelo; 2) efecto de toxicidad y 3) efecto osmótico (Rhoades, 1974)

Los criterios prevalentes para calificar las aguas para riego y el peligro potencial de su uso son:

- *Salinidad*

Con respecto a las plantas, la salinidad se entiende como una concentración de sales solubles que excede la necesaria para el crecimiento óptimo de la planta y tal que puede afectar significativamente las propiedades coligativas de la solución a las que las raíces están expuestas, especialmente por la reducción de su potencial osmótico (Läuchli y Epstein, 1990)

- *Sodicidad /alcalinidad*

La sodicidad de un agua es la cantidad relativa de sodio. Cuando la concentración de sodio en la disolución del suelo es elevada en relación con la de otros cationes disueltos, se produce la dispersión o la defloculación de dicho suelo adquiriendo un aspecto pulverulento y amorfo. Esto puede ejercer efectos secundarios importantes sobre el desarrollo vegetal, ya que la pérdida de la estructura causa una aireación y permeabilidad deficientes así como una baja disponibilidad de agua.

- *Efecto de toxicidad*

El efecto tóxico de las aguas se debe a la presencia de iones que a determinadas concentraciones pueden dañar a los cultivos y crear problemas de degradación del suelo, contaminar las aguas, ser perjudiciales para la salud del consumidor e incluso atacar determinados materiales como es el caso de concentraciones muy elevadas de iones sulfato, hierro, etc.

En relación con el efecto tóxico para los cultivos, aparte del efecto osmótico, la presencia de sales solubles en la zona radicular determina la absorción por la planta de algunos iones específicos que se acumulan en los diversos tejidos y especialmente en la hoja llegando a provocar efectos tóxicos en la planta. Estos efectos pueden ser debidos bien a la toxicidad del propio ión, a la formación inducida de productos metabólicos tóxicos ó a desequilibrios iónicos ó nutricionales, y afectan al metabolismo, al balance hormonal y al desarrollo estructural, rendimiento que en fases más agudas pueden llegar a la muerte de la planta.

Así, uno de los parámetros que afecta a un agua de riego podría ser la concentración de Na, Mg y Ca. Cuando el contenido de Ca es bajo el Na y Mg reducen la velocidad de infiltración del agua en el suelo al causar dispersión de las partículas finas de arcilla las cuales ocluyen, macro y micro poros trayendo como consecuencia un bajo suministro de agua para las plantas (Garcia, 2012)

Por otra parte, algunos iones como Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- y SO_4^- y elementos traza proveniente de agua de riego se puede acumular y llegar a concentraciones que afectan a los cultivos dependiendo del grado de tolerancia de los mismos a un ion dado (Garcia, 2012)

2.3.2 Indicadores

Como se ha indicado con anterioridad, el clima, las condiciones físicas de los suelos, la mineralogía de las arcillas, el tipo de agricultura predominante, el cultivo a sembrar y las características particulares de cada caso son los parámetros que van a determinar en qué forma la acumulación de sales puede restringir la producción de los cultivos. Por estas razones, se considera que los criterios a usar para clasificar el agua de riego no pueden ser rígidos y se deben basar en las condiciones propias de cada caso.

La calidad de agua para riego ha sido objeto de innumerables investigaciones orientadas hacia la evaluación y definición de parámetros para calificar sus características físicas y químicas, lo cual ha conducido a la proposición de varios sistemas para su clasificación.

En el presente proyecto los indicadores estudiados son:

pH

Generalmente no es un índice demasiado importante en la calificación del agua. No obstante, cuando se sospecha que las aguas han podido ser contaminadas por vertidos de diverso origen, éste es un buen índice de detección, pues puede salirse alarmantemente de los límites normales (6,5 a 8,4).

Contenido total de sales (ST) y Conductividad Eléctrica (CE)

Teórica y prácticamente se ha demostrado que la cantidad de sales disueltas e ionizadas en el agua es proporcional a la cantidad de corriente que pasará a través de ésta. Como la mayoría de las sales de interés son muy solubles e ionizables, también se ha llegado a comprobar prácticamente que se cumple la relación siguiente:

$$ST = CE \times K$$

En la que:

ST = Concentración de sales totales (mg/L)

CE = Conductividad eléctrica a 25 °C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

K = 0,64

Tabla 1.1 Clasificación de las aguas de riego según los valores de salinidad

| Clase de agua | CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | TDS (mg/l) |
|----------------------|--|-------------------|
| Excelente | 250 | 175 |
| Buena | 250-750 | 175-525 |
| Permisible | 750-2000 | 525-1400 |
| Uso dudoso | 2000-3000 | 1400-2100 |
| Inapropiada | 3000 | 2100 |

Fuente: Palacio y Aceves, 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martínez Porta, 2010

- **Relación de Adsorción de Sodio (SAR)**

Los riesgos de un agua para producir sodicidad en el suelo han sido expresados por diferentes índices. El índice más usado es el SAR, Relación de adsorción de sodio, que hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran el ión sodio y los iones calcio y magnesio. Este parámetro se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{S.A.R.} = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{1/2([\text{Ca}^{++}] + [\text{Mg}^{++}])}}$$

en la que la concentración de los cationes se expresa en meq/ L. El grado de restricción en el uso de un agua de riego superficial en función del SAR sería nulo para valores inferiores a 3, ligero o moderado para valores comprendidos entre 3,1 y 9, y severo para valores superiores a 9 (Ayers, 1985).

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de las aguas según la salinidad (CE) y Relación de Adsorción de Sodio (SAR) del agua de riego (Ayers, 1985).

Tabla 1.2 Clasificación del agua de riego según la CE y SAR

| Problema potencial | Grado de restricción de uso | | |
|---|-----------------------------|-----------------|---------|
| | Nulo | Ligero-Moderado | Elevado |
| Sodicidad [Problemas de Infiltración] | CE (µS/cm) | | |
| SAR = 0 – 3 | >700 | 700 – 200 | <200 |
| SAR = 3 – 6 | >1.200 | 1.200 – 300 | <300 |
| SAR = 6 – 12 | >1.900 | 1.900 - 500 | <500 |
| SAR = 12 – 20 | >2.900 | 2.900 – 1.300 | <1.300 |
| SAR = 20 - 40 | >5.000 | 5.000 – 2.900 | <2.900 |

Fuente: adaptado de FAO, 1985

- **Dureza del agua**

Otro índice que a veces se suele encontrar en los estudios de aguas es el de grado de dureza, que se refiere al contenido en calcio de aquellas. En general, las aguas muy duras son poco recomendables en suelos fuertes y compactos. Una forma de disminuir la dureza del agua es airearla, ya que de esta forma se puede inducir una precipitación del calcio.

Cuando se trata de rescatar suelos con excesivo contenido en sodio, es muy aconsejable, a ser posible, el empleo de aguas duras.

El cálculo de la dureza del agua, expresada en grados franceses, se hace aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Dureza} = ([\text{Ca}^{+2}] \times 2.5 + [\text{Mg}^{+2}] \times 4.2) / 10$$

Tabla 1.3 Clasificación de las aguas de riego en función de los grados hidrotimétricos franceses.

| TIPO DE AGUA | Grados Hidrométricos Franceses (°F) |
|--------------------|-------------------------------------|
| Muy Dulce | <7 |
| Dulce | 7-14 |
| Medianamente Dulce | 14-22 |
| Medianamente dura | 22-32 |
| Dura | 32-54 |
| Muy Dura | >54 |

Fuente: Ros Orta S.(2001)

Indice de Scott (K)

Este índice valora la calidad agronómica del agua en función de las concentraciones entre ión cloruro, sulfato y sodio, pudiendo definirse como la altura del agua expresada en pulgadas que, después de la evaporación, dejaría en un terreno vegetal, de cuatro pies de espesor, álcali suficiente para imposibilitar el desarrollo normal de las especies vegetales más sensibles. Es decir, en realidad este coeficiente K, evalúa la toxicidad que pueden producir las concentraciones de los cloruros y sulfatos, aportadas con el agua de riego y que permanecen en el suelo tras formar cloruro o sulfato de sodio, respectivamente. (J.Canovas Cuenca, 1986)

Tabla 1.4 Calidad del agua según los valores del índice de Scout

| Calidad del agua | Valores del Índice de Scott |
|------------------|-----------------------------|
| Buena | $K \geq 18$ |
| Tolerable | $6 \leq K < 18$ |
| Mediocre | $1,2 < 6K < 6$ |
| Mala | $K < 1,2$ |

Fuente: Canovas (1986)

2.3.3 Normas Principales

Se ha diferenciado este epígrafe del anterior, referente a los índices, por considerar que las normas que a continuación se exponen, se basan en la utilización combinada de algunos de esos índices antes descritos.

- **Norma Riverside**

Tienen en cuenta la conductividad eléctrica y el SAR Según estos dos índices, se establecen categorías o clases de aguas enunciadas según las letras C y S (primeras iniciales de cada uno de los índices escogidos) afectadas de un subíndice numérico cuyo valor aumenta en relación con el del índice respectivo. En el gráfico adjunto (Figura 1) estos subíndices varían entre 1 y 6, para la conductividad eléctrica y entre, 1 y 4 para el SAR, de manera que un agua será calificada con la siguiente notación CiSj, en la que “i” toma valores de 1 a 6 y “j” de 1 y 4. (Palacio y Acebes 1970; Del Valle, 1992; Aguilera y Martinez, 1996; Marin 2002; Porta 2010).

Figura 1.1 Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.
(U.S. Soil Salinity Laboratory)

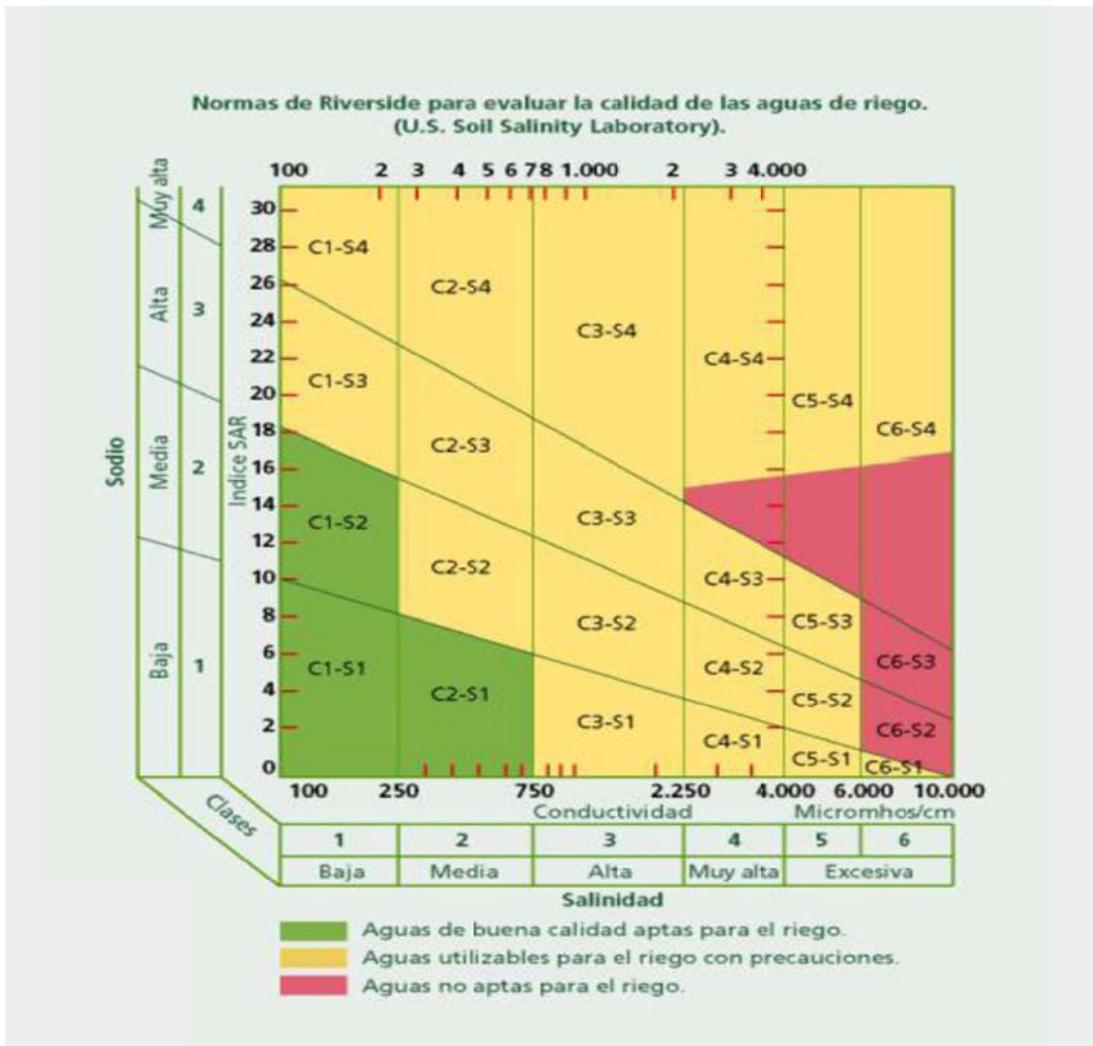


Tabla 1.5 Clasificaciones de las aguas según la Norma Riverside

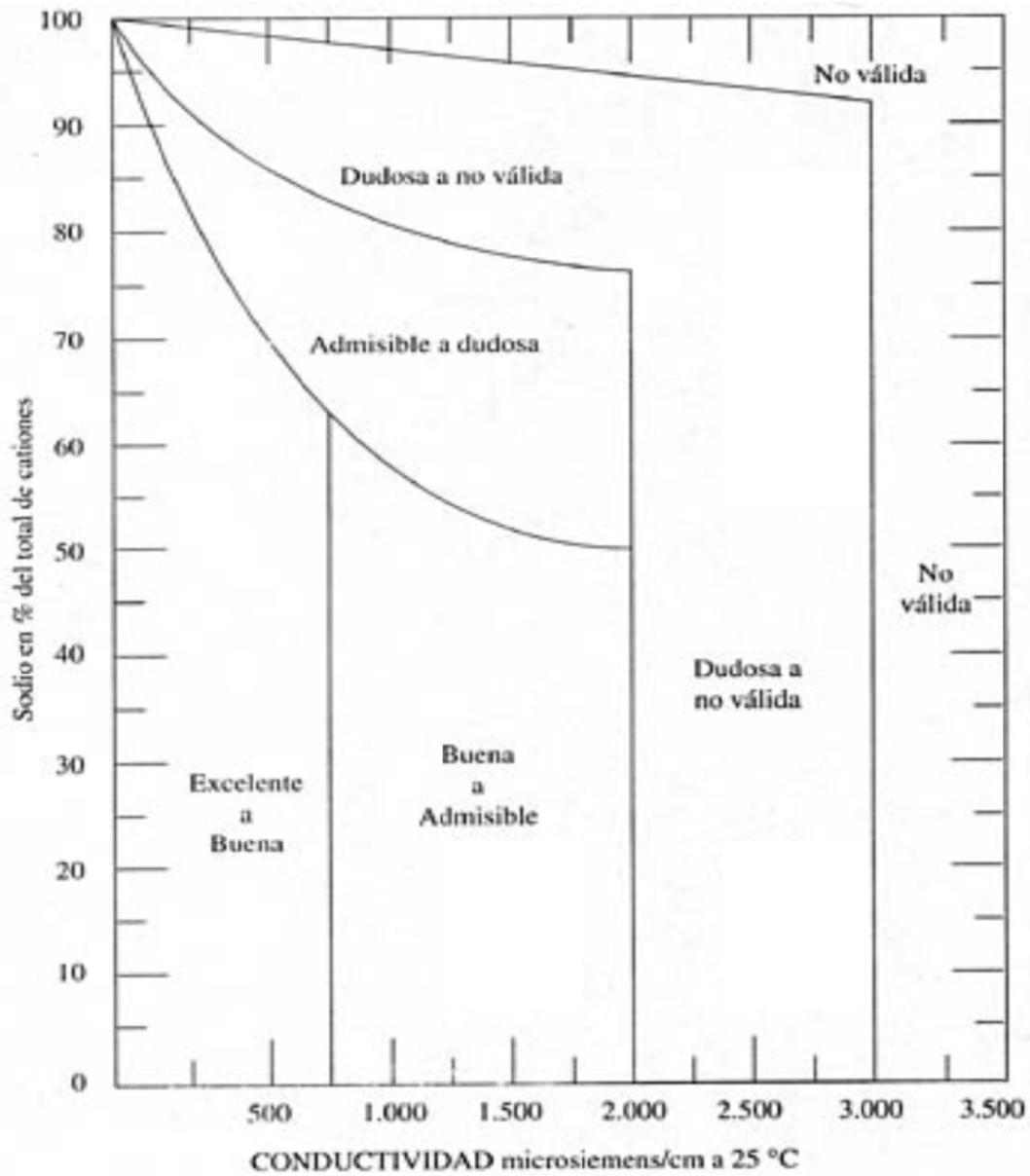
| Tipos | Calidad y normas de uso |
|----------------|---|
| C ₁ | Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad. |
| C ₂ | Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad. |
| C ₃ | Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad. |
| 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, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad. |
| 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 en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario |
| S ₃ | Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego. |
| S ₄ | Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas. |

Hay que señalar que la permeabilidad del sustrato influye de forma notable en la definición de la calidad del agua de riego, ya que es necesario conocer el suelo para determinar el riesgo de salinidad y de sodio.

- **Normas de L. V. Wilcox**

Considera como índices para la calificación de las aguas el porcentaje de sodio respecto al total de cationes y la conductividad eléctrica.

Figura 1.2 Clasificación de las aguas de riego basada en el riego de salinidad.

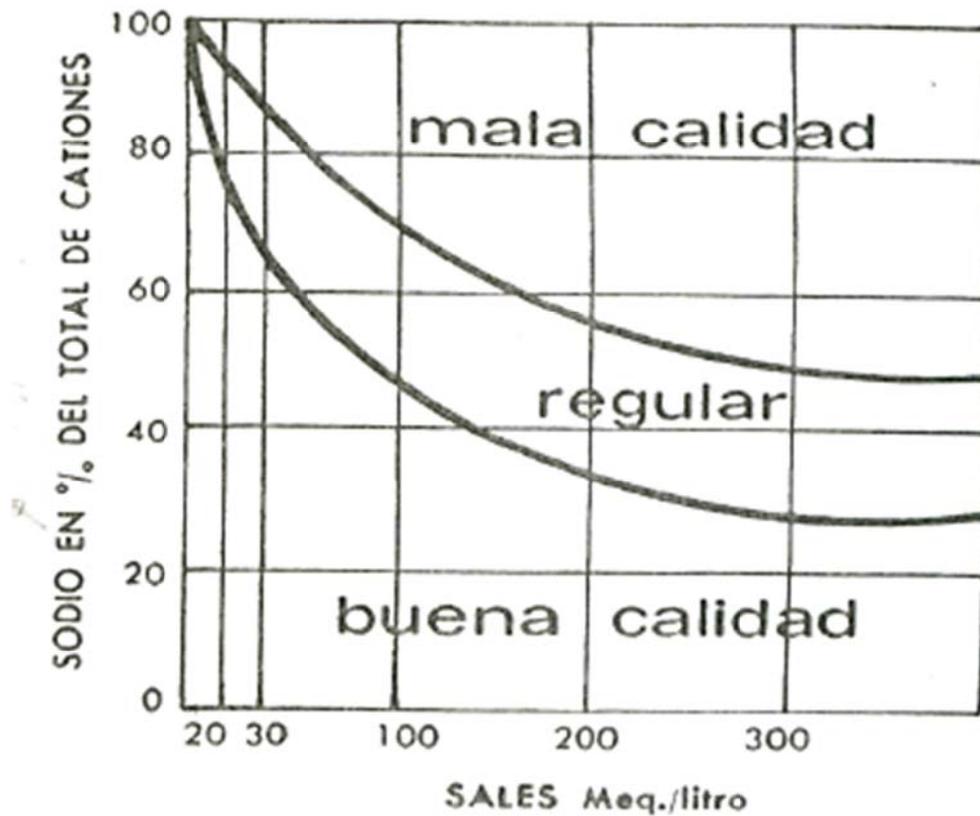


Fuente: Canovas 1986

- **Norma H. GREENE(FAO)**

Toma como base la concentración total de sales expresadas en meq/L con relación al porcentaje de sodio (este porcentaje se calcula respecto al contenido total de cationes expresados en meq/L).

Figura 1.3 Diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego



(Adaptado de Utilización de tierras salinas, H. Greene, F.A.O.)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Procedimiento de Muestreo

La recolección de las muestras depende de los procedimientos analíticos a realizar y de los objetivos del estudio.

El volumen del material captado se transporta hasta el lugar de almacenamiento (cuarto frío, refrigerador, nevera, etc.), para luego ser transferido al laboratorio para el respectivo análisis, momento en el cual la muestra debe conservar las características del material original. Para lograr el objetivo se requiere que la muestra conserve las concentraciones relativas de todos los componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis.

Las técnicas de recolección y preservación de las muestras tienen una gran importancia, debido a la necesidad de verificar la precisión, exactitud y representatividad de los datos que resulten de los análisis.

En el caso de las muestras objeto de estudio de esta memoria fueron recogidas por muestreo tipo puntual.

Los recipientes empleados (botellas) se sumergieron en la zona de muestreo hasta una profundidad comprendida entre 15-50 cm bajo la superficie. Una vez llenos debajo del agua, se les da la vuelta, se sacan y se cierran con un tapón.

Los recipientes se transportaron a los laboratorios de Sica-agriQ y se almacenaron en una cámara frigorífica donde se guardaron hasta el momento de proceder a su análisis.

3.2 Caracterización de las muestras de aguas

3.2.1 Medidas de pH y conductividad

Para llevar a cabo las medidas de pH de las distintas muestras se utilizó un equipo CRISON micro pH 2000, modelo GLP21, provisto de electrodo indicador de vidrio y uno de referencia en un solo cuerpo. La conductividad fue medida en un conductímetro CRISON, modelo GLP-3.

3.2.2 Análisis de cationes y aniones

La determinación de los iones Na^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} se llevó a cabo en un Espectrofotómetro de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES), PERKIN LMER, modelo Óptima 8000.

Los aniones HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , Cl^- se analizaron empleando un Cromatógrafo Iónico marca METROHM, modelo Series 861.

3.2.3 Determinación de otros indicadores

Para llevar a cabo el cálculo de la dureza, contenido en sales totales disueltas, SAR e Índice de Scott, se utilizó el programa informático Excel 2010.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hay que indicar que para poder interpretar los resultados deben tenerse en cuenta de forma simultánea, las características del agua, cultivo y suelo correspondientes.

En la presente memoria solo se ha realizado una interpretación preliminar a falta de los datos de tipo de cultivo y suelos donde se realiza el riego. Por otra parte, de las diferentes normas anteriormente indicadas, se ha aplicado la de Riverside por ser de las más difundidas, combinar los parámetros de salinidad (CE) y sodicidad (SAR), y por ser elaboradas por el Servicio de Agricultura de EEUU, gozando de gran prestigio e implantación a nivel internacional.

En la tabla 4.1 se indican los valores obtenidos para los parámetros determinados en las diferentes muestras estudiadas.

A la vista de los valores de pH se observa cómo éstos varían entre 5,9 para la muestra V7 y 9,9 para V9. Teniendo en cuenta que los valores normales de pH para las aguas de riego suelen estar entre 6,5 y 8,5 (Ayers, 1985), los valores encontrados por encima (o por debajo de este rango) dan indicación de que el agua necesita un análisis más en profundidad, para ello será necesario conocer el contenido de aniones y cationes de las muestras de agua.

Tabla 4.1 Valores calculados de los indicadores para las diferentes muestras de agua

| MUESTRA | pH | Conductividad ($\mu\text{S/cm}$) | Dureza ($^{\circ}\text{F}$) | Sales Totales Disueltas(g/l) | SAR | Indice de Scott |
|---------|-----|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------|--------------------|
| V1 | 7.8 | 616 | 28,9 | 0,240 | 0,730 | 37.5 |
| V2 | 6.0 | 3220 | 119 | 3,72 | 2,29 | 7,11 |
| V3 | 7.1 | 668 | 7,94 | 0,332 | 3,53 | 12,16 |
| V4 | 8 | 1924 | 65,8 | 1,37 | 2,88 | 12,63 |
| V5 | 7.5 | 1494 | 40,4 | 1,00 | 4,09 | 5,49 |
| V6 | 6.7 | 4850 | 151 | 4,15 | 6,25 | 2,62 |
| V7 | 5.9 | 2510 | 72,8 | 1,97 | 1,25 | 16,49 |
| V8 | 7.7 | 888 | 34,7 | 0,430 | 2,15 | 13,42 |
| V9 | 9.9 | 587 | 4,51 | 0,200 | 2,15 | 20,29 |
| V10 | 7.3 | 3630 | 85,4 | 2,41 | 9,33 | 1,86 |

Con objeto de establecer el grado de restricción del uso de las muestras de agua y poder clasificarlas según su calidad, a los valores obtenidos para los indicadores mostrados en la tabla 1, se les han aplicado los criterios de clasificación contemplados en los apartados 1.3.2 y 1.3.3, reflejándose los resultados obtenidos en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Clasificación de las muestras de aguas según los diferentes indicadores

| MUESTRA | Indicadores | | | |
|---------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| | Grado de restricción por salinidad | Clasificación según la Dureza | Grado de restricción por sodicidad | Calidad según Índice Scott |
| V1 | Ninguno | Medianamente dura | Ninguno | Buena |
| V2 | Severo | Muy dura | Ninguno | Tolerable |
| V3 | Ninguno | Dulce | Ligero -moderado | Tolerable |
| V4 | Ligero -moderado | Muy dura | Ligero -moderado | Tolerable |
| V5 | Ligero -moderado | Dura | Ligero -moderado | Mediocre |
| V6 | Severo | Muy dura | Ligero -moderado | Mediocre |
| V7 | Ligero -moderado | Muy dura | Ninguno | Tolerable |
| V8 | Ligero -moderado | Dura | Ninguno | Tolerable |
| V9 | Ninguno | Muy dulce | Ninguno | Buena |
| V10 | Severo | Muy dura | Severo | Mala |

- *Indicadores*

Riesgo de Salinidad

En esta columna se indica el grado de restricción del uso de estas aguas en relación con el daño que pueden causar a la productividad de los cultivos. Así, las muestras V1, V3 y V9 no presentan ningún tipo de restricción. Las aguas V2, V6 y V10 superan los 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que en principio no se recomienda su uso dado el alto contenido en sales. El resto de las muestras han de ser utilizadas con cierta reserva dependiendo del tipo de cultivo y suelo.

Dureza

En relación con este parámetro hay que decir que 7 de las 10 muestras analizadas han sido clasificadas como duras o de gran dureza (V2, V4 a V8 y V10). La muestra V3 es dulce y la V9 muy dulce, mientras que V1 es considerada como de dureza mediana.

Sodicidad

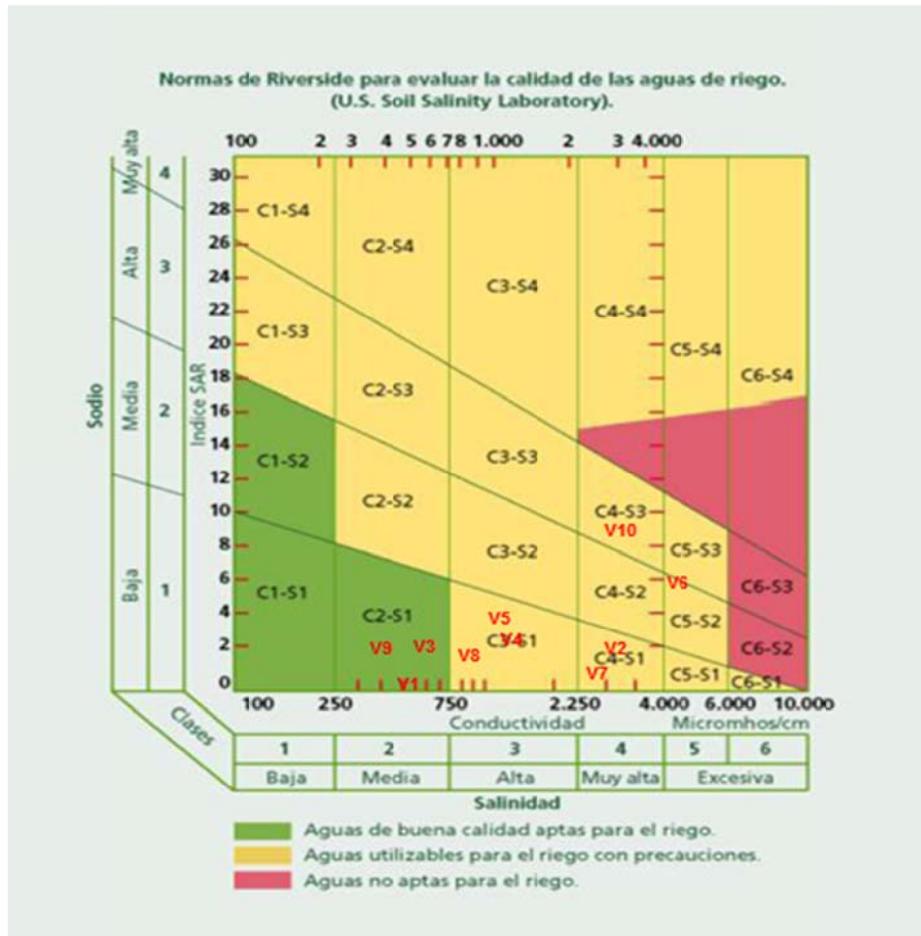
La clasificación de las aguas según los valores del SAR, nos muestran el peligro de sodificación de los coloides del suelo, y por tanto el riesgo de afectar la estabilidad de su estructura y provocar su degradación.

A la vista de lo indicado en la tabla 4.2 podemos decir que, la muestra V10 presenta un valor de SAR tal que no se aconseja su empleo, el grado de restricción de las muestras V3 a V5 resultó ser moderado, mientras que el resto de las muestras de agua, en principio, pueden ser utilizadas para el riego sin restricción alguna.

- *Norma Riverside*

A la vista de la figura 4.1 en la que aparecen representadas según los valores de SAR y CE las muestras de agua estudiadas, se puede comprobar que, a excepción de las muestras V1, V3 y V9 consideradas según esta norma de calidad buena para el riego, el resto de las aguas hay que utilizarlas con precaución.

Figura 4.1 Aplicación de la Norma Riverside a las muestras de agua



Al aplicar la norma Riverside y atendiendo a los valores de conductividad de las muestras, se observa que, V1, V3 y V9 se encuentran en la zona de salinidad media; V4, V5 y V8 en la de alta salinidad; V2, V7 y V10 en la de muy alta y V6 en la de excesiva salinidad.

En relación con el contenido en sodio, se puede observar que las muestras V6 y V10 son de media y alta sodicidad, respectivamente, y el resto de las muestras se localizan en la franja de baja sodicidad.

Según lo indicado podemos establecer cinco clases de aguas con las notaciones que se indican en la tabla.

Tabla 4.3 Clasificación de las muestras de agua según la Norma Riverside

| Notación | Grupo C2-S1 | Grupo C3-S1 | Grupo C4-S1 | Grupo C4-S3 | C5-S2 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| muestra | V1, V3, V9 | V4, V5, V8. | V2, V7 | V10 | V6 |

Con el fin de obtener mayor información acerca de las repercusiones agroambientales del empleo de estas muestras como agua de riego, los datos relativos al contenido de cationes y aniones que habitualmente se encuentran en las aguas fueron analizados, mostrándose los mismos en la tabla 4. 4.

Tabla 4.4 Análisis de aniones y cationes de las muestras de agua de Vicar

| VICAR | | | | | | |
|-------|--------------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | ANIONES | mg/L | meq/L | CATIONES | mg/L | meq/L |
| V1 | Carbonatos | 0.000 | 0.000 | Sodio | 29.0 | 1.26 |
| | Bicarbonatos | 28.0 | 0.460 | Potasio | 1.00 | 0.03 |
| | Nitratos | 7.00 | 0.110 | Calcio | 53.0 | 2.64 |
| | Sulfatos | 35.0 | 0.730 | Magnesio | 37.0 | 3.05 |
| | Cloruros | 54.0 | 1.52 | | | |
| V2 | Carbonatos | 0.000 | 0.000 | Sodio | 180 | 7.83 |
| | Bicarbonatos | 2 | 0.030 | Potasio | 157 | 4.02 |
| | Nitratos | 1622 | 26.1 | Calcio | 160 | 7.98 |
| | Sulfatos | 576 | 12.0 | Magnesio | 188 | 15.5 |
| | Cloruros | 287 | 8.09 | | | |
| V3 | Carbonatos | 0.000 | 0.000 | Sodio | 72.0 | 3.13 |
| | Bicarbonatos | 5.00 | 0.080 | Potasio | 0.000 | 0.000 |
| | Nitratos | 45.0 | 0.720 | Calcio | 12.0 | 0.599 |
| | Sulfatos | 15.0 | 0.310 | Magnesio | 12.0 | 0.988 |
| | Cloruros | 168 | 4.74 | | | |
| V4 | Carbonatos | 28.0 | 0.933 | Sodio | 87.00 | 3.78 |
| | Bicarbonatos | 134 | 2.20 | Potasio | 7.00 | 0.170 |
| | Nitratos | 254 | 4.10 | Calcio | 99.0 | 4.94 |
| | Sulfatos | 383 | 7.98 | Magnesio | 66.0 | 5.43 |
| | Cloruros | 95.0 | 5.43 | | | |
| V5 | Carbonatos | 0.000 | 0.000 | Sodio | 188 | 8.17 |
| | Bicarbonatos | 234 | 3.81 | Potasio | 0.000 | 0.000 |
| | Nitratos | 16.0 | 0.260 | Calcio | 65.0 | 3.24 |
| | Sulfatos | 65.0 | 1.35 | Magnesio | 58.0 | 4.77 |
| | Cloruros | 372 | 10.49 | | | |
| V6 | Carbonatos | 2.00 | 0.000 | Sodio | 555 | 24.1 |
| | Bicarbonatos | 8.00 | 0.130 | Potasio | 290 | 7.42 |
| | Nitratos | 1699 | 27.4 | Calcio | 271 | 13.52 |
| | Sulfatos | 371 | 7.72 | Magnesio | 198 | 16.30 |
| | Cloruros | 758 | 21.4 | | | |

| | | | | | | |
|------------|--------------|-------|--------|----------|------|-------|
| V7 | Carbonatos | 0.000 | 0.000 | Sodio | 78.0 | 3.39 |
| | Bicarbonatos | 4.00 | 0.070 | Potasio | 274 | 7.01 |
| | Nitratos | 1103 | 17.760 | Calcio | 201 | 10.0 |
| | Sulfatos | 130 | 2.700 | Magnesio | 54.0 | 4.44 |
| | Cloruros | 124 | 3.500 | | | |
| V8 | Carbonatos | 0.000 | 0.000 | Sodio | 91.0 | 3.96 |
| | Bicarbonatos | 0.730 | 23.0 | Potasio | 4.00 | 0.102 |
| | Nitratos | 0.130 | 8.00 | Calcio | 63.0 | 3.14 |
| | Sulfatos | 0.980 | 47.0 | Magnesio | 45.0 | 3.70 |
| | Cloruros | 4.29 | 152 | | | |
| V9 | Carbonatos | 0.070 | 2.00 | Sodio | 33.0 | 1.43 |
| | Bicarbonatos | 0.080 | 5.00 | Potasio | 1.00 | 0.026 |
| | Nitratos | 0.030 | 2.00 | Calcio | 13.0 | 0.649 |
| | Sulfatos | 0.810 | 39.0 | Magnesio | 3.00 | 0.247 |
| | Cloruros | 2.85 | 101 | | | |
| V10 | Carbonatos | 0.000 | 0.000 | Sodio | 622 | 27.0 |
| | Bicarbonatos | 0.420 | 26.0 | Potasio | 15.0 | 0.384 |
| | Nitratos | 1.84 | 114 | Calcio | 116 | 5.79 |
| | Sulfatos | 5.82 | 280 | Magnesio | 134 | 11.0 |
| | Cloruros | 31.0 | 1098 | | | |

Teniendo en cuenta los datos de la tabla 4.4 así como las indicaciones de uso y sugerencias de la norma Riverside a continuación se muestra un informe realizado para las 5 clases de aguas establecidas.

Clase C2-S1: muestras V1, V3 y V9

Las aguas que pertenecen a esta clase se caracterizan por ser de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad. El bajo contenido en sodio las hace ser aptas para el riego en la mayoría de los casos, sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles a este ión.

A la vista de la tabla 4.4 podemos indicar que la concentración que presentan los aniones y cationes de las muestras V1, V3 y V9 se encuentran dentro del rango normal.

Clase C3-S1: muestras V4, V5, V8

Las características comunes de esta clase de aguas son su alta salinidad pudiendo utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavarlo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.

Al ser de bajo contenido en sodio, al igual que el grupo anteriormente comentado, son apta para el riego en la mayoría de los casos, aunque pueden dar problemas para las especies más sensibles.

Al observar los datos de la tabla 4.4 se observa que:

La muestra V4 es la que tiene una concentración muy elevada de sulfatos y nitratos.

La muestra V5 presenta el contenido más alto en iones bicarbonato y cloruro, siendo su grado de toxicidad con respecto a estos últimos mayor que el resto de las muestras de este grupo, razón por la que habría que tener muchas precaución en su uso.

El agua V8, en general, contiene valores más bajos de concentración de todos los iones en comparación con las muestras V4 y V5.

Clase C4-S1: muestras V2, V7

Son aguas de salinidad muy alta que en muchos casos no son aptas para el riego. Sólo deben usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad. Al ser del nivel 1 en sodio, estas muestras no presentan problemas de sodicidad en el suelo.

Teniendo en cuenta que estas muestras tienen bajos valores de pH (inferiores a 6,5) y elevado contenido en sulfatos (tabla 4.4) podría ser indicativo de algún tipo de contaminación por metales.

El elevado contenido en cloruros, iones sodio así como en nitratos representan una seria amenaza para las cosechas.

La presencia tan elevada de nitratos, superior a 1000 mg/L en ambas muestras, podría suponer bajo el punto de vista medioambiental una potencial contaminación del medio hídrico, especialmente si el sistema de riego empleado es por aspersión o a mantas. Como es conocido, los iones nitrato se lixivian con facilidad y pueden alcanzar a los acuíferos o ser lavados mediante escorrentía llegando a las aguas superficiales y producir fenómenos de eutrofización.

Hay que señalar que la elevada dureza de este agua junto con la presencia de una gran cantidad de iones sulfatos puede, por un lado, dar problemas de corrosión de ciertos materiales, y por otro, provocar la aparición de precipitados de sulfato de calcio en la superficie del suelo dando lugar a su degradación.

Por último, habría que señalar que dado el bajo pH de estas aguas su uso puede dar lugar a la disolución de minerales solubles y sales presentes en el suelo de cultivo liberando iones tóxicos para las plantas, y además con el peligro potencial de contaminar el medio acuático, bien por lixiviación o escorrentía.

Clase C4-S3: muestra V10

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, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad. Su alto contenido en sodio puede originar gran peligro de acumulación en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia

orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de este ión en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.

Del análisis de los datos de la tabla 4.4 se observa que en relación con el contenido en cationes esta agua posee también elevadas cantidades de iones calcio y magnesio lo que justifica su gran dureza. En relación a los aniones se observa altos niveles de cloruros, nitratos y sulfatos.

Teniendo en cuenta todo lo indicado, este agua no se recomienda por los altos niveles de iones tóxicos para los cultivos, los problemas que puede originar de degradación del suelo por sodificación y por último por su potencial impacto de contaminación por nitratos en las aguas.

Clase C5-S2: muestra 6

Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.

El contenido de los iones tóxicos (sodio, cloruros y nitratos) es muy elevado en todos los casos. Los niveles de calcio y magnesio son también muy altos, siendo por tanto un agua de gran dureza.

Con el fin de preservar las cosechas, la degradación del suelo por sodificación y la calidad de los acuíferos y las aguas superficiales frente a la contaminación por nitratos, se desaconseja su utilización como agua de riego.

5. CONCLUSIONES

Los estudios llevados a cabo, permiten establecer las siguientes conclusiones:

- Los indicadores de calidad establecidos en base a las recomendaciones encontradas en bibliografía fueron: pH, conductividad, dureza, SAR e Índice de Scott. Como norma de calidad se ha elegido la de Riverside por ser la de mayor difusión
- Los valores de pH pusieron de manifiesto el amplio intervalo de pH que presentaban las muestras de Vicar, variando entre 5,9 y 9,9. Las muestras V2 y V7 dieron valores de pH inferiores a los límites normales establecidos según la FAO.
- La aplicación de la Norma Riverside ha permitido hacer una estimación de riesgo de salinización de las muestras de agua encontrándose que las muestras: V1, V3 y V9, presentan un riesgo medio de salinización; V4, V5 y V8 alto; V2, V7 y V10 muy alto y la muestra V6 excesivamente alto. Por tanto, las restricciones en cuanto a su uso como aguas de riego serían más duras para aquellas de mayor salinidad.
- Igualmente esta norma ha permitido hacer una estimación del riesgo de sodicidad, pudiendo en este caso establecer dos clases: muestras de bajo grado de sodicidad (V1 a V5, V7 a V8) y medio-alto (V10 y V6).
- Las muestras de agua V2, V6, V7 y V10 tienen un elevado contenido en nitratos por lo que su uso puede dar lugar a problemas de contaminación por nitratos en las aguas tanto subterráneas como superficiales.
- La presencia de altas concentraciones de iones sulfato en las muestras V2 y V7 unido a su bajo pH podría ser señal de que presentan algún tipo de contaminación por metales. Estas muestras pueden además producir problemas de solubilización de minerales y sales del suelo liberando iones tóxicos para los cultivos y con el peligro potencial de contaminar las aguas.

6. BIBLIOGRAFÍA

Ayers R. S., and D. W. Westcot. FAO Irrigation and drainage paper. *Water Quality for Agriculture*. nº 29 Roma, p. 156 (1985).

Callejon Serafin M. 2013. El modelo de horticultura intensiva de Almería ante la crisis actual. Ed.Cajamar Caja Rural, Almería.

Cánovas Cuenca J.1986. Calidad Agronómica de las agua de riego. Ed. Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

Conserjería. Plan del sector hortícola de Almería. Unidad de Prospectiva de la Conserjería. 2000. Disponible en web. [consultado con fecha de junio de 2014]:

http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/prospectiva/Frutas%20y%20hortalizas3_doc.pdf

Cruz-Guzmán Alcalá, M. 2007. La contaminación de suelos y aguas. Su prevención con nuevas sustancias naturales. Ed. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Sevilla.

FAO.El estado mundial de la agricultura y de la alimentación. Colecciones FAO,nº 32, (2000). Disponible en web [consultado con fecha de abril de 2014]:

<http://www.fao.org/docrep/017/x4400s/x4400s.pdf>

FAOSTAT. Series cronológicas y de datos con relación a la alimentación y la agricultura: Anuario Estadístico de la FAO 2012. Disponible en web [consultado con fecha de abril de 2014]

<http://www.fao.org/economic/ess/ess-publications/ess-yearbook/yearbook2012/es/>

García, I. y Dorronsoro, C. Contaminación por fitosanitarios. Plaguicidas. Disponible en web. [consultado con fecha de marzo de 2014]:

<http://edafologia.ugr.es/conta/tema00/progr.htm>

Garcia Alvaro, O. Criterios modernos para evaluacion de la calidad del agua de riego. International Plant Nutrition Institute. IAH. nº 6, p 27 (2012).

Garcia, O. A. 2002. Magnesium affected soils in Colombia. Transactions 17th Congress of Soils Science. Paper 2193, Bangkok, Thailand.

Läuchli y Epstein. 1990. Calcium, salinity and the plasma membrane. In: Calcium in Plant Growth. Ed: Leonard and P.K. Hepler, Vol. 4.

Lopez Bellido, L. 1994. Caracterizacion de los sistemas de produccion horticola de invernaderos en la provincia de Almeria. Ed. FIAPA e IFA - Almeria.

Maroni, J. R. Las nuevas tecnologías y su impacto sobre la producción agraria. Disponible en web [consultado con fecha de junio de 2014]:

<http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/14/3AM14.htm>

Molina Herrera, J. y Fernandez Aguilera, F. 1994. Informe económico de la provincia de Almeria. Ed.Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación de Almería, Almeria.

Palacio y Aceves 1970, Del Valle 1992 y Aguilera y Martinez Porta 2010.
Disponible en web [consultado con fecha de junio de 2014]

<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31418/1/josemanuelperezleon.pdf> //
Trabajo de experiencia recepcional .

Rhoades J.D. Leaching requirement for exchangeable sodium control. *Soil Science Society America Proceeding*, nº 32. p 652 (1974)

Ros Orta, S. (2001). La empresa de Jardinería y paisajismo. Ed.Mundi Prensa Madrid

Tolón Becerra A.,Lasta Bravo, X. La agricultura intensiva del poniente almeriense. Diagnostico e instrumentos de gestion ambiental. M+A, Revista Electronic@de Medio Ambiente, nº 8, (2010).

Ucles-Aguilera, D; Aznar-Sanchez, J.A. 2005. El sector industrial I: Las industrias de Almería, Ed. Cajamar, Almeria.

USDA. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agriculture Handbook. nº 60 L.A. Ed. Richards.