

ZUBÍA. Monográfico	10	157-171	Logroño	1998
--------------------	----	---------	---------	------

APTITUD PARA EL RIEGO DE LAS AGUAS DEL SISTEMA OJA-TIRÓN (LA RIOJA)

M. Andrades Rodríguez*
I. Pérez Moreno*
E. Martínez Villar*
R. García Gómez*

RESUMEN

El presente trabajo analiza la aptitud potencial de las aguas de los ríos Oja y Tirón para el riego.

El estudio se ha llevado a cabo en diez puntos situados a lo largo de ambos ríos durante un año, con frecuencia estacional.

El análisis de los resultados permite definir las limitaciones que el uso del agua pueda tener. Así, existe riesgo alto de salinización en el Tirón y de medio a bajo en el Oja; no se detectan problemas de infiltración en el Oja y sí en el Tirón que puede llegar a medio. El sodio presenta toxicidad de ligera a moderada en un tramo del Tirón.

Palabras claves: agua superficial, parámetros químicos, agua de riego, calidad de agua.

ABSTRACT

In this study we analysed potential aptitude for irrigation of waters of rivers Oja and Tirón. Samples were taken in ten points along each river during a period of one year and with seasonal frequency. Our results allow determination of possible usages of water. High risk of salinization of river Tirón and medium to low risk in river

* Dpto. Agricultura y Alimentación. Universidad de La Rioja. Avda. de La Paz, 105. 26004-Logroño. (La Rioja). Esta investigación ha sido subvencionada por la Consejería de Salud, Consumo y Bienestar Social del Gobierno de La Rioja..

Oja were detected. No problem of infiltration was detected in river Oja, meanwhile medium risk of infiltration was detected in river Tirón. Sodium content reached low to moderate toxicity levels in a stretch of river Tirón.

Key Words: Surface waters, chemical parameters, water of irrigation, water quality.

0. INTRODUCCIÓN

La evaluación de la calidad del agua para el riego puede abordarse desde distintos puntos de vista: desde clasificaciones generales hasta valores específicos de calidad para un determinado ión, cultivo y área. Desde cualquier ámbito, tres parámetros químicos son aceptados como criterios a tener en cuenta: la salinidad, la sodicidad y la toxicidad a iones específicos (tabla 1).

Problema potencial	Grado de restricción de uso		
	Nulo	Ligero a moderado	Elevado
1. Salinidad (afecta al rendimiento de los cultivos) CE (dS/m a 25°C)	< 0,7	0,7-3,0	> 3,0
2. Sodicidad (afecta a la infiltración y permeabilidad del suelo) SAR=0-3 y CE= SAR=3-6 y CE= SAR=6-12 y CE= SAR=12-20 y CE= SAR=20-40 y CE=	> 0,7 > 1,2 > 1,9 > 2,9 > 5,0	0,7-0,2 1,2-0,3 1,9-0,5 2,9-1,3 5,0-2,9	< 0,2 < 0,3 < 0,5 < 1,3 < 2,9
3. Toxicidad iónica específica (afecta al rendimiento de los cultivos sensibles) a) Sodio (Na ⁺) Riego por superficie (SAR) Riego por aspersión (meq/l) b) Cloruro (Cl ⁻) Riego por superficie (meq/l) Riego por aspersión (meq/l) c) Boro (B) (mg/l)	< 3 < 3 < 4 < 3 < 0,7	3-9 > 3 4-10 > 3 0,7-3,0	> 9 > 10

Tabla 1. Criterios para la interpretación de la calidad de las aguas para el riego (Ayers y Westcot, 1987)

La salinidad del agua es el criterio primordial de calidad y representa el efecto negativo que las sales tienen sobre el rendimiento de los cultivos, por restringir la absorción de agua por las raíces. Determina, en gran medida, la disponibilidad del agua para la planta, a través de su efecto osmótico y la disminución del potencial total del agua en el suelo. Se mide mediante la conductividad eléctrica (CE) y se suele expresar en decisiemens/metro (dS/m) a 25 °C. Un dS/m equivale, aproximadamente, a 640 miligramos de sales por litro de solución (mg/l).

La salinidad del agua de riego es un factor limitante que afecta a cada cultivo de manera diferente, existiendo un valor máximo de la conductividad eléctrica a partir del cual comienza a provocar una disminución de los rendimientos (tabla 2).

Cultivo	CE	Cultivo	CE
Cebada	5,3	Alfalfa	1,3
Algodón	5,1	Naranja	1,1
Sorgo	4,5	Maíz	1,1
Trigo	4,0	Melocotón	1,1
Soja	3,3	Almendro	1,0
Festuca	2,6	Vid	1,0
Arroz	2,0	Lechuga	0,8
Tomate	1,7	Cebolla	0,8
Pepino	1,7	Judía verde	0,8

Tabla 2. Tolerancia de diferentes cultivos a la salinidad del agua de riego. Valores de CE (dS/m a 25°C) a partir de los cuales los rendimientos de los cultivos comienzan a descender (Ayers y Westcot, 1987).

Aunque estos valores pueden modificarse debido al elevado número de variables que afectan al rendimiento de las plantas, la experiencia indica que, en general, el orden relativo de tolerancia presentado en esta tabla se mantiene (Aragües, 1989).

La sodicidad del agua de riego es otro de los parámetros de especial significación, debido al efecto del ión sodio sobre la permeabilidad del suelo. Se expresa generalmente a través del término “relación de adsorción de sodio” (SAR). Se obtiene a partir de las concentraciones de iones sodio (Na⁺), calcio (Ca⁺⁺) y magnesio (Mg⁺⁺) en el agua de riego mediante la ecuación:

$$SAR = Na^+ / [(Ca^{++} + Mg^{++}) / 2]^{1/2}$$

expresando las concentraciones en meq/l.

El riesgo de sodicidad se debe al efecto negativo que elevados valores del SAR tienen sobre la estabilidad estructural de los suelos ya que restringe su capacidad para conducir el agua: disminuye la infiltración, la conductividad hidráulica y la permeabilidad, lo que origina problemas de encharcamiento, escorrentía, erosión, falta de aireación, etc.

Sin embargo, este problema potencial depende a su vez de la salinidad (CE) del agua de riego, ya que conforme disminuye la CE decrece la infiltración del agua en el suelo. Esto es debido a que las aguas de baja salinidad tienden a dispersar o desagregar las partículas del suelo, produciendo el taponamiento o reducción de sus poros conductores, mientras que las aguas de elevada salinidad tienden a flocular o a agregar estas partículas manteniendo, por lo tanto, en buen estado los poros del suelo.

La figura 1 representa gráficamente la relación que existe entre la conductividad hidráulica del suelo y la CE y SAR del agua de riego, así como las zonas preferentes de hinchamiento y dispersión (Oster y Rhoades, 1984).

Hay múltiples combinaciones de CE-SAR para las que la permeabilidad puede ser buena o estable o, por el contrario, pobre o inestable, siendo tanto mejor o peor cuanto más alejados estén los valores de la línea divisoria. Esta gráfica manifiesta también que, incluso para aguas de riego con SAR igual a cero, es preciso cierta concentración de sales para evitar el descenso de conductividad hidráulica. El hecho de que la separación entre las zonas de permeabilidad buena y pobre no sea nítida, refleja la variabilidad del comportamiento de los suelos y la existencia de otras variables que afectan a estas relaciones.

Sin embargo, en la determinación del SAR no se consideran los cambios de concentración de calcio que pueden aparecer en la solución del suelo por su precipitación o disolución después del riego. Por esto, se utiliza otro parámetro, la relación de adsorción de sodio ajustada (SAR aj.), en el que se ajusta la concentración del calcio en el agua al valor de equilibrio esperado después del riego, incluyendo además el efecto del CO₂, del bicarbonato y de la salinidad sobre el calcio que antes del riego se encontraba en la solución del suelo. El SAR aj. permite prever los problemas de infiltración por concentraciones relativamente altas de sodio o bajas de calcio en el agua de riego. Se calcula mediante la expresión:

$$\text{SAR aj.} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^0 + \text{Mg}^{++}) / 2]^{1/2}$$

expresando las concentraciones de los distintos elementos en meq/l; y donde el valor de Ca⁰ hace referencia al contenido de calcio en el agua de riego, corregido por la salinidad del agua, por el contenido de bicarbonato en relación al propio contenido en calcio (HCO₃/Ca) y por la presión parcial de CO₂ ejercida en los primeros milímetros del suelo.

Finalmente, desde el punto de vista de la toxicidad iónica, cabe señalar que ciertos iones ejercen un efecto específico sobre la planta, disminuyendo su crecimiento y producción, independientemente del efecto osmótico antes mencionado. Los elementos más tóxicos en este sentido son el cloro (Cl⁻), el sodio (Na⁺) y el boro (B). Sus efectos sobre la nutrición de la planta se producen por su presencia en exceso, lo que origina un desequilibrio en la absorción de otros iones.

1. METODOLOGÍA

Las muestras fueron recogidas en los ríos Oja y Tirón, los afluentes más occidentales del río Ebro en La Rioja, de donde proceden mayoritariamente las aguas de riego que se utilizan en sus respectivos valles.

Se realizó un muestreo por cada una de las estaciones del año (desde la primavera de 1996 hasta el invierno de 1997), de 10 a 12 de la mañana y a lo largo del curso de los ríos. Se consideraron un total de 10 puntos de muestreo, designándose con números cardinales correlativos según el sentido de la corriente (figura 2).

Para conseguir una analítica fiable se procuró que transcurriese el menor tiempo posible entre la recogida de las muestras y los análisis químicos pertinentes, de forma que no se alterase la composición original de las mismas. A su vez se estudió la pluviometría de los días anteriores a las fechas de muestreo, para poder detectar posibles diluciones.

Para la valoración de la calidad química, se determinaron los siguientes parámetros, indicándose el método utilizado y las unidades en que se expresan los resultados:

1. Conductividad eléctrica a 25 °C. Conductimetría. dS/m.
2. pH. pHmetría.
3. Calcio. Espectofotometría por absorción atómica. meq/l.
4. Magnesio. Espectofotometría por absorción atómica. meq/l.
5. Sodio. Espectofotometría de absorción atómica por emisión. meq/l.
6. Sulfatos. Método gravimétrico. mg/l
7. Bicarbonatos. Valoración con HCl. meq/l.
8. Cloruros. Valoración de Mohr. mg/l.

Los criterios utilizados para evaluar la calidad química de las aguas para el riego son los de las clasificaciones USDA (1954) y USDA aj. (USDA, 1954, utilizando la relación de adsorción de sodio ajustada).

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. CLASIFICACIÓN DEL AGUA DEL RÍO TIRÓN

En la tabla 3 aparecen los valores obtenidos para cada uno de los parámetros analizados en el río Tirón, mientras que en la tabla 4 se exponen los valores de la CE, SAR y SAR aj., así como las limitaciones que presenta el agua para su uso.

	Punto de muestreo	pH	CE dS/m	Ca ⁺⁺ meq/l	Mg ⁺⁺ meq/l	Na ⁺ meq/l	Cl ⁻ meq/l	SO ₄ meq/l	CO ₃ H meq/l
PRIMAVERA	S1	8,58	0,957	6,77	1,29	2,33	0,66	7,08	2,82
	S2	8,50	0,896	6,09	1,33	2,10	0,66	6,66	2,17
	S3	8,30	0,763	5,06	1,11	1,69	0,55	5,52	2,06
	S4	8,17	0,782	5,24	1,11	1,75	0,55	5,31	2,26
	S5	8,08	0,615	4,19	1,07	1,24	0,49	4,06	2,08
VERANO	S1	8,19	1,754	11,44	2,28	7,22	1,62	14,20	3,85
	S2	8,37	1,470	10,73	2,45	5,78	1,50	13,48	3,15
	S3	8,11	1,155	7,76	1,87	3,83	1,03	9,27	2,72
	S4	7,99	1,188	7,88	1,89	3,74	1,12	9,30	2,82
	S5	8,17	0,802	5,54	1,40	1,65	0,73	4,63	2,63
OTOÑO	S1	8,22	1,458	9,23	1,87	4,76	1,35	12,29	3,75
	S2	8,18	1,551	9,81	2,22	4,97	1,43	13,77	3,46
	S3	8,01	1,515	9,65	2,22	4,87	1,44	12,87	3,54
	S4	8,03	1,495	9,58	2,21	4,50	1,41	12,80	3,58
	S5	8,08	1,109	7,18	1,81	2,95	1,00	7,82	3,12
INVIERNO	S1	8,06	1,427	9,63	1,98	3,61	1,09	11,82	2,68
	S2	7,96	1,502	10,80	2,41	3,09	1,23	12,55	2,74
	S3	7,99	1,302	9,18	2,04	2,57	1,05	10,37	2,57
	S4	7,72	1,311	9,16	2,08	2,52	1,07	10,10	2,57
	S5	7,88	1,026	6,93	1,84	1,75	0,97	7,05	2,41

Tabla 3. Valores de los distintos parámetros químicos a lo largo del curso del río Tirón.

APTITUD PARA EL RIEGO DE LAS AGUAS DEL SISTEMA OJA-TIRÓN (LA RIOJA)

	Punto muestreo	CE	SAR	SAR aj.	Restricción uso según disponi- bilidad de agua	Restricción uso según la infiltración	Conductividad hidráulica
PRIMA VERA	S1	0,957	1,16	2,35	ligero o moderado	ninguna	estable
	S2	0,896	1,09	2,10	ligero o moderado	ninguna	estable
	S3	0,763	0,96	1,78	ligero o moderado	ninguna	estable
	S4	0,782	0,98	1,91	ligero o moderado	ninguna	estable
	S5	0,815	0,76	1,43	ninguno	ligero o moderado	estable
VERANO	S1	1,754	2,76	6,45	ligero o moderado	ninguna	estable
	S2	1,470	2,25	5,32	ligero o moderado	ninguna	estable
	S3	1,155	1,74	3,66	ligero o moderado	ninguna	estable
	S4	1,188	1,69	3,55	ligero o moderado	ninguna	estable
	S5	0,802	0,89	1,81	ligero o moderado	ninguna	estable
OTOÑO	S1	1,458	2,02	4,61	ligero o moderado	ninguna	estable
	S2	1,551	2,03	4,62	ligero o moderado	ninguna	estable
	S3	1,515	2,00	4,56	ligero o moderado	ninguna	estable
	S4	1,495	1,86	4,23	ligero o moderado	ninguna	estable
	S5	1,109	1,39	2,95	ligero o moderado	ninguna	estable
INVIERNO	S1	1,427	1,50	3,27	ligero o moderado	ninguna	estable
	S2	1,502	1,20	2,74	ligero o moderado	ninguna	estable
	S3	1,302	1,08	2,38	ligero o moderado	ninguna	estable
	S4	1,311	1,06	2,34	ligero o moderado	ninguna	estable
	S5	1,026	0,83	1,69	ligero o moderado	ninguna	estable

Tabla 4. Valores de la CE, SAR y SAR aj., así como limitaciones al uso del agua a lo largo de los puntos de muestreo del río Tirón.

La máxima conductividad eléctrica (1,754 dS/m) se obtiene en el primer punto de muestreo, aguas arriba de la localidad de Tormantos, durante el verano. Respecto al SAR y SAR aj., los valores máximos (2,76 y 6,45 respectivamente) se encuentran también en el mismo punto y momento.

La semisuma de iones presenta una concentración de 13,35 meq/l. Sulfatos y bicarbonatos son los aniones mayoritarios, 69,94% y 22,31% respectivamente, seguidos de los cloruros (no alcanzan el 8%). El calcio predomina entre los cationes, (61,77%), seguido del sodio (24,15%) y del magnesio (14,04%).

Estos iones proceden en su mayor parte de la disolución de las sales que forman el lecho del río. Se trata de materiales blandos del Mioceno prioritariamente, tipo margas (arcillas, carbonatos de calcio), yesos (sulfatos de calcio) y sulfato de sodio (minas de Cerezo del río Tirón).

A lo largo del cauce se detecta una ligera pendiente descendente de la CE, SAR y SAR aj., (figura 3).

La presa de Leiva, localizada entre los puntos de muestreo S1 y S2, parece no ejercer ningún efecto moderador sobre la CE, ya que no se observa un descenso importante aguas abajo de ella. A la altura de Anguciana el Tirón se une al Oja (entre S4 y S5) por lo que disminuyen los valores de los parámetros estudiados debido a un efecto de dilución (como veremos el Oja presenta valores muy inferiores).

Atendiendo a la calidad para el uso agrícola de estas aguas, se ha evaluado el problema potencial que supone su salinidad, en cuanto que afecta a la disponibilidad del agua para las plantas (tabla 1). La CE es alta para todas las muestras (oscila entre 1,754 y 0,615 dS/m), y por tanto presentan un grado de restricción en su uso, en general, de ligero a moderado (tabla 4). Ante este problema se requiere un especial cuidado en la selección de cultivos en función de su tolerancia hacia este parámetro (tabla 2) y en las técnicas utilizadas.

Por otro lado, se ha estudiado como afectaría a la infiltración y permeabilidad del suelo el uso de estas aguas para el riego (tabla 1). Los valores de CE y SAR indican que, en general el Tirón (el SAR oscila entre 0,76 y 2,76 y la CE entre 1,754 y 0,615 dS/m) no presenta ningún grado de restricción en su uso (tabla 4). La conductividad hidráulica del suelo, es decir, su capacidad para conducir el agua, se mantiene estable en todos los casos (figura 1; tabla 4).

En relación con las concentraciones de iones específicos, aparece un riesgo de ligero a moderado con respecto al sodio, en la mayoría de los puntos de muestreo, sobre todo en S1 y S2, durante el verano, el otoño y el invierno.

Clasificando las aguas en función de sus valores medios de CE y SAR (USDA, 1954) se constata que, en relación al riesgo de inducir fenómenos de sodificación todas las aguas se clasifican como “bajas en sodio” (tipo S₁). Si se considera el riesgo de salinización, se observa que el río Tirón presenta aguas de salinidad alta (tipo C₃) excepto el punto S5 en el muestreo de primavera (riesgo bajo). Por esto, se clasifican predominantemente como aguas de tipo C₃S₁.

Estos resultados indican que es más probable que existan problemas de salinización que de permeabilidad. Aún así, el riesgo de que se generen los primeros no es excesivamente alto y pueden controlarse mediante adecuadas prácticas de manejo.

Si se tiene en cuenta la posibilidad de que se den precipitaciones, es decir, utilizando la clasificación USDA aj., el riesgo de salinización permanece invariable

(aguas mayoritariamente tipo C₃), mientras que el de sodicidad aumenta durante el verano en los puntos de muestreo S1 y S2, donde las aguas pasan de ser tipo C₃S₁ (según USDA) a C₃S₁ (según USDA aj.).

2.2. CLASIFICACIÓN DEL AGUA DEL RÍO OJA

Los resultados analíticos obtenidos en los muestreos llevados en el río Oja se presentan en la tabla 5, mientras que en la tabla 6 se exponen los valores de la CE, SAR y SAER aj., y las limitaciones al uso del agua.

	Punto de muestreo	pH	CE dS/m	Ca ⁺⁺ meq/l	Mg ⁺⁺ meq/l	Na ⁺ meq/l	Cl ⁻ meq/l	SO ₄ ⁻ meq/l	CO ₃ H ⁻ meq/l
PRIMAVERA	S6	7,23	0,051	0,44	0,22	0,20	0,07	0,13	0,56
	S7	7,49	0,122	0,86	0,40	0,26	0,09	0,35	0,96
	S8	7,21	0,181	1,30	0,45	0,36	0,18	0,38	1,34
	S9	8,38	0,184	1,26	0,44	0,31	0,17	0,33	1,29
	S10	7,65	0,308	1,15	0,68	0,37	0,30	0,75	1,66
VERANO	S6	-	-	-	-	-	-	-	-
	S7	7,51	0,271	2,07	0,72	0,34	0,16	0,73	1,81
	S8	-	-	-	-	-	-	-	-
	S9	7,94	0,428	3,33	0,95	0,45	0,55	1,23	2,16
	S10	7,71	0,291	2,29	0,67	0,38	0,24	0,65	2,00
OTOÑO	S6	7,15	0,052	0,51	0,26	0,19	0,06	0,13	0,56
	S7	8,08	0,212	1,48	0,58	0,34	0,18	0,65	1,37
	S8	-	-	-	-	-	-	-	-
	S9	7,31	0,431	3,23	0,95	0,34	0,51	1,43	2,10
	S10	7,36	0,342	2,44	0,74	0,42	0,43	0,96	1,82
INVIERNO	S6	7,11	0,045	0,31	0,14	0,08	0,03	0,10	0,59
	S7	7,61	0,173	1,03	0,41	0,16	0,09	0,57	1,05
	S8	7,39	0,184	1,18	0,43	0,15	0,11	0,64	1,14
	S9	7,28	0,312	1,66	0,48	0,49	0,35	0,66	2,28
	S10	7,73	0,417	2,73	0,84	0,35	0,58	1,30	1,71

Tabla 5. Medidas de los distintos parámetros químicos a lo largo del curso del río Oja.

La máxima CE (0,431 dS/m) se ha registrado en el punto de muestreo S9, entre Santo Domingo y Castañares, mientras que la mínima (0,045 dS/m) en el punto S6, aguas arriba de Ezcaray (tabla 5). En cuanto al SAR y SAR aj., los valores máximos son 0,47 y 0,72 respectivamente, en el punto de muestreo S9 (tabla 6).

Son aguas pobres en sales, pues la semisuma de iones es de 2,29 meq/l. Los aniones mayoritarios son los bicarbonatos y los sulfatos (65,51% y 25,44% respectivamente), seguidos de los cloruros (9,05%). El calcio predomina entre los cationes (63,24%), seguido del magnesio (23,02%) y del sodio (13,74%).

El Oja, hasta Ezcaray atraviesa materiales cuarcíticos, pobres en sales solubles y sus aguas oligotrofas se van enriqueciendo en aniones y cationes a partir de Ezcaray donde atraviesa materiales secundarios tipo caliza, dolomías y areniscas (explican el enriquecimiento en calcio y magnesio a partir del punto de muestreo S7. Los valores más altos se dan en el punto S10 tras aflorar el basamento margoso impermeable del acuífero. Al efecto del lavado se une la acción de los vertidos.

En lo que respecta a la evolución de la CE, SAR y SAR aj. a lo largo del cauce (figura 4) se observa que tanto la salinidad como la sodicidad aumentan muy suavemente desde el punto S6 hasta el punto S10, como consecuencia de los vertidos producidos a lo largo de su cauce, fundamentalmente de tipo urbano.

Las aguas del Oja no presentan ningún problema de salinidad, ya que la CE es siempre inferior a 0,7 dS/m (tabla 5). Sin embargo sí se encuentran restricciones de ligeras a elevadas al uso de estas aguas para el riego, ya que el SAR oscila entre 0,17 y 0,47 y la CE entre 0,051 y 0,431 dS/m. Aunque no hay riesgo de sodicidad, el bajo contenido en sales de estas aguas puede provocar disminución seria de la infiltración. La conductividad hidráulica de estos suelos o su capacidad para conducir el agua se verá modificada hacia la inestabilidad por dispersión de arcillas o bien de manera variable estabilidad-inestabilidad (tabla 1 y figura 1).

La concentración de sodio no supone problemas a nivel de toxicidad ni por riego en superficie ni por aspersión, ya que el SAR es en todos los casos inferior a 3.

APTITUD PARA EL RIEGO DE LAS AGUAS DEL SISTEMA OJA-TIRÓN (LA RIOJA)

	Punto muestreo	CE	SAR	SAR aj.	Restricción uso según disponi- bilidad de agua	Restricción uso según la infiltración	Conductividad hidráulica
PRIMAVERA	S6	0,051	0,34	0,16	ninguno	severo	inestable
	S7	0,122	0,33	0,32	ninguno	severo	inestable
	S8	0,181	0,38	0,47	ninguno	severo	inestable
	S9	0,184	0,34	0,42	ninguno	severo	inestable
	S10	0,308	0,31	0,47	ninguno	ligero o moderado	variable
VERANO	S6	-	-	-	-	-	-
	S7	0,271	0,29	0,43	ninguno	ligero o moderado	variable
	S8	-	-	-	-	-	-
	S9	0,428	0,31	0,61	ninguno	ligero o moderado	variable
	S10	0,291	0,31	0,50	ninguno	ligero o moderado	variable
OTOÑO	S6	0,052	0,30	0,14	ninguno	severo	inestable
	S7	0,212	0,33	0,44	ninguno	ligero o moderado	inestable
	S8	-	-	-	-	-	-
	S9	0,431	0,27	0,49	ninguno	ligero o moderado	variable
	S10	0,342	0,33	0,53	ninguno	ligero o moderado	variable
INVIERNO	S6	0,045	0,17	0,05	ninguno	severo	inestable
	S7	0,173	0,19	0,20	ninguno	severo	inestable
	S8	0,184	0,17	0,20	ninguno	severo	inestable
	S9	0,312	0,47	0,72	ninguno	ligero o moderado	variable
	S10	0,417	0,26	0,42	ninguno	ligero o moderado	variable

Tabla 6. Valores de la CE, SAR y SAR aj., así como limitaciones al uso del agua a lo largo de los puntos de muestreo del río Oja.

Clasificando las aguas según los criterios USDA (1954) se ha encontrado que en todos los puntos de muestreo las aguas son tipo S_1 , es decir, “bajas en sodio”, por lo que el riesgo de sodificación es bajo. Considerando el riesgo de salinización el río Oja presenta salinidad entre baja (tipo C_1) y media (tipo C_2).

Si se tiene en cuenta la clasificación USDA aj. Se observa que el riesgo de salinización permanece invariable, al igual que ocurría en el río Tirón. Los puntos

de muestreo están incluidos en los tipos de salinidad de baja a media y de sodicidad baja (C_1S_1 y C_2S_1).

3. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos al clasificar las aguas del río Oja y Tirón según USDA (1954) y USDA aj. (USDA 1954) se observa que, desde el punto de vista del riesgo de salinización, las aguas del Oja se consideran de riesgo nulo a bajo, mientras que las del Tirón presentan un riesgo alto.

Si se considera el riesgo de sodificación, en el Oja aparece como bajo y en el Tirón varía de bajo a medio.

4. BIBLIOGRAFÍA

Aragües, R., 1989. Calidad de las aguas para el riego. *Boletín agropecuario*. (13),37-42.

Ayers, R.S., Wescott, D.W., 1987. *La calidad del agua en la agricultura*. FAO. Roma.

Oster, J.D., Rhoades, J.D., 1984. Water management for salinity and sodicity control. Cap. 7. En "G.S. Petty grove y Takashi Asano. *Irrigation with reclaimed municipal waste water. A guidance manual*" Calif. St. Water Res. Control Board. Sacramento.

USDA. 1954. U.S. Salinity Laboratory Staff (1973). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Limusa, México (traducción de la edición 1954). 1-172.

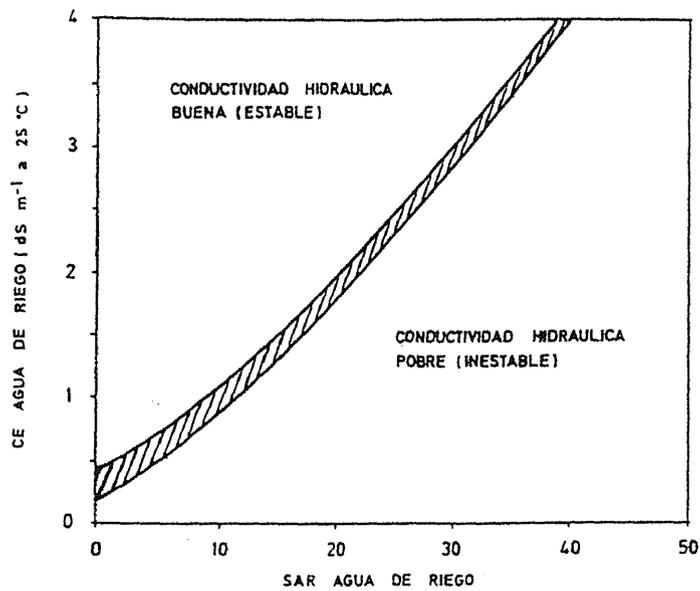


Figura 1. Relación entre la CE y SAR del agua de riego y su efecto sobre la conductividad hidráulica de un amplio espectro de suelos (Oster y Rhoades, 1984).

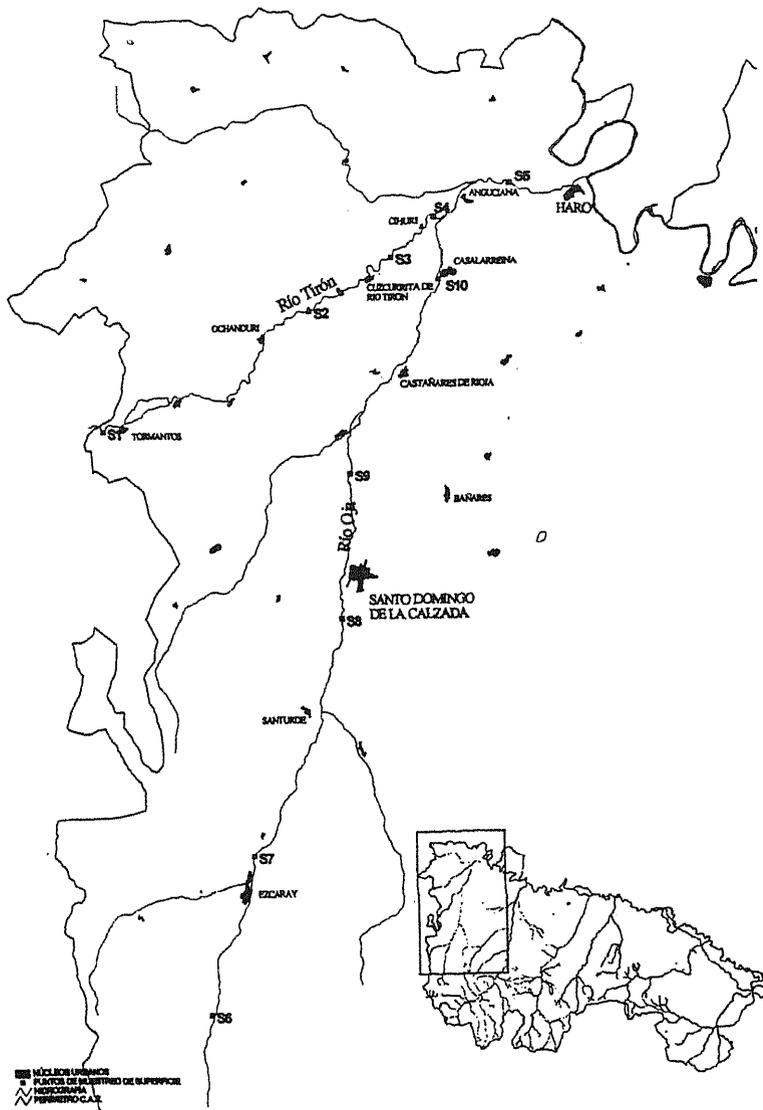


Figura 2. Localización de los puntos de muestreo.

APTITUD PARA EL RIEGO DE LAS AGUAS DEL SISTEMA OJA-TIRÓN (LA RIOJA)

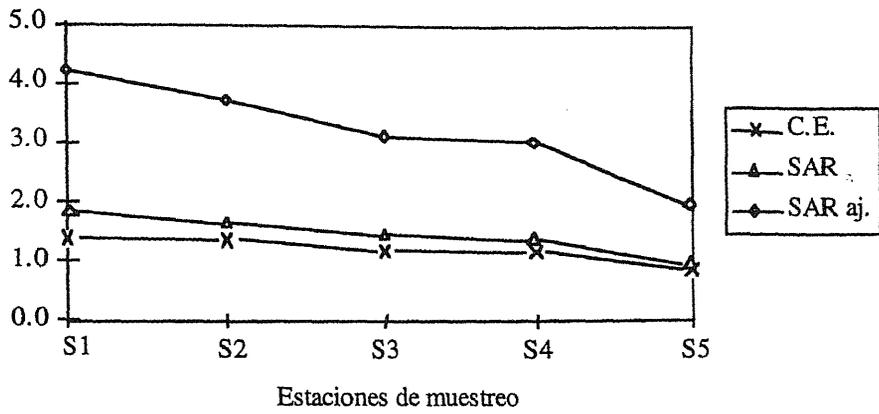


Figura 3. Evolución , aguas abajo, de CE, SAR y SAR aj. en aguas superficiales (río Tirón).

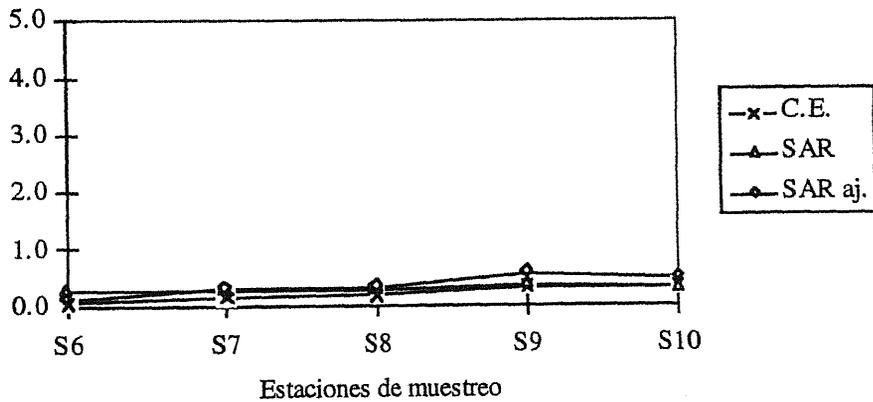


Figura 4. Evolución , aguas abajo, de CE, SAR y SAR aj. en aguas superficiales (río Oja).