

# LA CALIDAD AGRONÓMICA DE LAS AGUAS DE RIEGO

Manuel Vidal Bardán \*

El interés por la calidad del agua de riego surge como consecuencia del crecimiento continuo que experimenta la superficie de regadío en nuestro país y que ha supuesto, entre 1970 y 1986, un incremento del 40% aproximadamente. Frente a esta demanda creciente se ha impuesto la utilización de aguas de muy diversa procedencia; no solamente las aguas superficiales y subterráneas, clásicamente destinadas con esta finalidad, sino también, en algunos casos, la reutilización de aguas residuales. Por todo ello, el éxito de un sistema de explotación de regadío, hoy día, depende no sólo de la cantidad y de la oportunidad del suministro de agua, sino también de su aptitud para el riego.

En este contexto surge el concepto de «calidad del agua de riego» como el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que definen su adecuación o no para tal uso. En su origen, la aceptación clásica del término «calidad del agua» hacía únicamente referencia a la salinidad; modernamente se incluyen dos aspectos más: evolución de la peligrosidad potencial que comporta su uso y la estrategia de manejo del riego que reduzcan los riesgos.

El enfoque de todas estas cuestiones ha variado considerablemente desde los primeros estudios iniciados por Hilgard hasta las modernas normas FAO. Básicamente se establecen cuatro categorías de problemas relacionados con la calidad del agua de riego:

- el riesgo de salinidad
- el riesgo de sodicidad
- el riesgo de fitotoxicidad, y
- un conjunto de cuestiones que podríamos denominar como problemas varios.

## 1. Salinidad

El primer aspecto a considerar en relación con la calidad es la salinidad, considerada en su doble vertiente: naturaleza

y contenido total de sales. Los constituyentes salinos son principalmente cationes de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Na}^+$  y en menor proporción el  $\text{K}^+$ ; entre los aniones más frecuentes figuran los  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{CO}_3$   $\text{H}^-$ , encontrándose proporciones más reducidas de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{F}^-$ . La mayoría proceden de la disolución y alteración de rocas calizas, yesos y, en algunos casos, de margas y arcillas que contienen sales solubles.

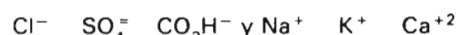
Según el comportamiento de las sales y su efecto sobre los cultivos se las agrupa en dos categorías (Cuadro nº 1). Las sales poco solubles, de producto de solubilidad bajo, que precipitan a concentraciones inferiores a las que pueden producir daños a las plantas, como son los  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ,  $\text{CO}_3\text{Mg}$  y  $\text{SO}_4\text{Ca}$ . El otro grupo lo constituyen las sales muy solubles o sales más solubles que el yeso, o también denominadas sales perjudiciales, del tipo del  $\text{ClNa}$ ,  $\text{Cl}_2\text{Mg}$ ,  $\text{SO}_4\text{Na}_2$ ,  $\text{SO}_4\text{Mg}$ ,  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  y el  $\text{CO}_3\text{HNa}$ .

Por lo general, los contenidos medios de sales de las aguas de riego constituyen cantidades pequeñas como para producir daños directos sobre los cultivos. Se trata de cantidades reducidas pero, a la vez, significativas para que el propio riego pueda convertirse en una de las principales

fuentes de sales del medio de cultivo y, en ocasiones, la causa principal de salinización secundaria que experimenta el suelo.

Otra posible fuente de sales es el aporte capilar de las aguas freáticas, que tienen, por lo general, mayor concentración de sales por estar en contacto directo con la litofacies, aunque su composición pueda variar más que en el caso de las aguas superficiales (Fotografía nº 1).

El problema de la salinidad del agua y, por tanto, los daños y los efectos que origina surgen como consecuencia de la evolución que experimenta el agua de riego en el suelo; es decir, del comportamiento seguido por el agua una vez aplicada en el terreno. Esta evolución se traduce en una progresiva concentración de sales en la solución del suelo, en donde los componentes muy solubles o perjudiciales tienden a permanecer en disolución mientras que los  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ,  $\text{CO}_3\text{Mg}$  y  $\text{SO}_4\text{Ca}$  suelen precipitar. Como consecuencia, en la composición de sales disueltas predominan:



Es decir, tienden a permanecer en solución aquellos aniones y cationes de menor potencial iónico o gran capacidad de

**Cuadro nº 1**

Solubilidad máxima

Sal	Solubilidad máxima		
	P.e. (g)	g/l	meq/l
$\text{SO}_4\text{Mg}$	60,19	262	4352
$\text{SO}_4\text{Na}_2$	71,03	430	6054
$\text{SO}_4\text{Ca}$	68,07	2,04	30
$\text{ClNa}$	58,45	318	5440
$\text{Cl}_2\text{Mg}$	47,62	353	7413
$\text{CO}_3\text{Na}_2$	53,00	441	8320
$\text{CO}_3\text{HNa}$	42,01	137	3261
$\text{CO}_3\text{Ca}$ y $\text{CO}_3\text{Mg}$	---	---	10

(\*) E.T.S.I. Agrónomos de Lugo  
Avda. de Madrid-81 Lugo



Foto n° 1

hidratación y, por tanto, de baja energía de adsorción por el complejo de cambio. La salinidad del agua de riego puede expresarse de los siguientes modos:

- 1) de manera ponderal, en g/l o mg/l (ppm).
- 2) como suma de meq/l de sus componentes.
- 3) lo más frecuente es expresarla mediante la conductividad eléctrica (CE) que presenta, en unidades de mmhos/cm o  $\mu\text{mhos/cm}$ .

El laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (USSL) obtuvo una serie de correlaciones que permiten contrastar los resultados obtenidos del análisis del agua de riego. Estas correlaciones establecen:

- 1)  $\Sigma$  cationes =  $\Sigma$  aniones, expresados en meq/l.
- 2) El valor numérico de la relación CE ( $\mu\text{mhos/cm}$ ): cationes o de aniones (meq/l) = 100 para la mayoría de las aguas; este valor desciende a 80 en el caso de aguas ricas en  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$  de  $\text{Ca}^{+2}$  y de  $\text{Mg}^{+2}$ , mientras que en aguas con  $\text{Cl}^-$  y ricas en  $\text{Na}^+$  la relación llega a 110.
- 3) El valor del total de sólidos disueltos (TSD), en ppm, dividido por la CE ( $\mu\text{mhos/cm}$ ) es aproximadamente 0,64, aunque parezca algo más exacta la correlación:  $\text{CE (mmhos/cm)} = \text{cationes o aniones (meq/l)} : 12$ .
- 4) Las dos últimas correlaciones dan lugar a:

$$\frac{\text{TSD (ppm)}}{\Sigma \text{ cationes}} \approx 64$$

- 5) La presión osmótica generada por las sales, expresada en atmóferas:  $\text{PO} \approx 0,36 \text{ CE (mmhos/cm)}$ .
- 6) Las correlaciones 3ª y 5ª originan, a su vez:

$$\frac{\text{PO (atm.)}}{\text{TSD (g/l)}} = 0,56$$

- 7) La combinación de 1ª y 5ª proporcionan la última relación del tipo:

$$\frac{\text{PO (atm.)}}{\Sigma \text{ cationes}} = 36 \times 10^{-3}$$

La progresiva concentración de sales solubles, como resultado de la evolución del agua de riego, conduce a un incremento de la presión osmótica de la solución del suelo. De esta forma, cuanto mayor es la concentración salina a la que se llega, mayor es la PO que las raíces de la planta han de superar para extraer el agua. Se puede llegar a una situación en la que la energía con la que el agua está retenida por el suelo, es decir, la suma del potencial osmótico de las raíces, disminuyendo con éllo la disponibilidad del agua y apareciendo, como resultado, los síntomas del déficit hídrico.

Con objeto de asegurar la alimentación hídrica del cultivo, a medida que aumenta el potencial osmótico debe disminuir la tensión matricial para que el potencial hídrico resultante no sea prohibitivo para la planta. Se llega, de esta manera, a la necesidad de establecer un régimen de humedad, a través del riego, que permita:

- 1) reducir la concentración excesiva de sales.
- 2) eliminar, mediante el lavado y arrastre, las sales aportadas por la propia agua de riego.

Como consecuencia, cuanto más salina es el agua, mayor debe de ser el volumen de agua aplicado en el riego. Por tanto, para prevenir y reducir el riego de salinización secundaria originada por el agua de riego, es preciso disponer de do-

taciones de riego que cubran, a la vez, las necesidades de consumo y las necesidades de lavado. Este requerimiento impone, como consecuencia, prever un sistema de drenaje que sea capaz de evacuar tanto el excedente de agua que el suelo no es capaz de retener como las sales acumuladas (fotografía n° 2).

La fracción del lavado, definida como «la fracción del agua de riego que debe percolar a través de la zona radicular para controlar la salinidad», quedaría expresada mediante:

$$\text{FL} = \frac{\text{Ld}}{\text{Lr}}$$

donde Ld y Lr representan los volúmenes de agua, expresados como lámina o altura de agua, que drena de la zona radicular y el aplicado en el riego respectivamente. Como la concentración o, lo que es lo mismo, su CE es inversamente proporcional al volumen de la solución, la FL puede expresarse también como:

$$\text{FL} = \frac{\text{CE}_a}{\text{CE}_z}$$

en donde  $\text{CE}_z$ , representa la CE que se alcanza en la solución del suelo y, por tanto, la salinidad que ha de tolerar el cultivo, siendo  $\text{CE}_a$  la salinidad del agua de riego.

Las determinaciones de la  $\text{CE}_z$ , son, en general, difíciles de realizar dado que los volúmenes de solución real que se pueden obtener en condiciones de humedad com-

Foto n° 2



# AGRICULTURA MODERNA

preñida entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento resultan insuficientes por tratarse de agua energicamente retenida por el suelo. Por lo tanto, aunque lo que interesa y resulta lógico determinar es la salinidad real que ha de tolerar el cultivo, sin embargo, se opta por realizar una medida indirecta de esta salinidad a través de la CE del extracto de saturación ( $CE_x$ ). En cualquier caso, la  $CE_x$  es una estimación insuficiente de esta salinidad real pero, por otra parte, es una determinación fácil de realizar por medio de la técnica de laboratorio conocida como la pasta saturada del suelo. También, hay que tener en cuenta la  $CE_{zr}$  y  $CE_x$  guardan entre sí una relación del tipo:

$$CE_{zr} = \frac{P}{Hv} CE_x$$

en donde  $Hv$  representa la humedad volumétrica en que se encuentra la zona radicular.

Como para condiciones normales de suelo, es decir, tratándose de texturas francas que varíen de franco-arenosas a franco-arcillosas se admite que la porosidad total  $P \approx 2 Hv$  bajo condiciones de capacidad de campo, podemos considerar que:

$$CE_{zr} = 2 CE_x^{(1)}$$

Bajo este supuesto, la salinidad que ha de tolerar el cultivo puede representarse mediante su correspondiente valor de  $CE_x$ . De igual modo, podríamos evaluar la progresiva concentración salina que experimenta el agua de riego si establecemos un modelo de extracción de agua por la planta; es decir, si fijamos lo que se conoce como el patrón de extracción, que sería el que desarrolla el cultivo en condiciones normales de riego. Con este nuevo supuesto, se considera que el 40% de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) se extrae en el primer cuarto de la profundidad radicular, el 30% del agua es consumida en el segundo cuarto, el 20% en el tercero y, finalmente, el 10% restante de la  $ET_c$  se extrae en último cuarto de la profundidad radicular. Si junto con este patrón de extracción normal, consideramos que la FL originada por el sistema de riego es del 15-20% del agua total aplicada, es decir, del 80-85% del agua es utilizada para cubrir las necesidades hídricas y el 15-20% restante para cubrir el lavado o lixiviación de las sales por drenaje interno, se deduce que la CE promedio de la zona radicular  $CE_{zr} = 3 CE_a^{(2)}$ , obteniéndose  $CE$  crecientes con la profundidad a medida que disminuye la FL en cada una de las profundidades consideradas. Las relaciones (1) y (2) permiten reducir, a su vez, una tercera, del tipo:  $CE_x = 1,5 CE_a^{(3)}$ , siempre bajo los supuestos anteriormente considerados.

Esta última relación presenta un notable interés dado que permite relacionar la salinidad del agua de riego con la salinidad real y que ha de tolerar el cultivo, viniendo esta última representada por la salinidad de su extracto de saturación. Esta salinidad real ( $CE_x$ ) sería la que se genera por la utilización de aguas de riego de determinado contenido salino ( $CE_a$ ) y, por tanto, permite estimar el riesgo de salinización existente a largo plazo por el uso de aguas de riego de determinada salinidad.

La conocida fórmula de Maas y Hoffman (1977) relaciona el grado de salinidad con los rendimientos potenciales de los cultivos. Su expresión y representación gráfica (cuadro n.º 2) nos informan acerca de la disminución lineal que experimentan tanto el crecimiento vegetativo como los rendimientos potenciales conforme aumenta la salinidad del suelo, expresándose ésta por medio de su valor equivalente de  $CE_x$ . El parámetro «a» representa la salinidad umbral o grado de tolerancia del cultivo que no afecta al rendimiento final, y con el que se espera producciones del 100%; el parámetro «b» expresa el nivel de sensibilidad del cultivo a la salinidad y, por lo tanto, la disminución del rendimiento por incremento unitario de aquella salinidad (cuadro n.º 2).

Esta ecuación junto con la relación (3) permitieron a Ayers y Westcot elaborar las tablas de tolerancia relativa de los diferentes cultivos (cuadro n.º 3) en relación con los rendimientos y para diferentes condiciones de salinidad real, expresada por sus valores equivalentes de  $CE_x$  o  $CE_a$ .

Para la mayoría de los cultivos, el período de germinación representa la fase menos tolerante a la salinidad. En la fotografía n.º 3 se observa unas semillas de cebada, cultivo considerado como muy tolerante (cuadro n.º 3), pero que, sin embargo, no pudo prosperar en condiciones de suelo de elevado contenido salino.

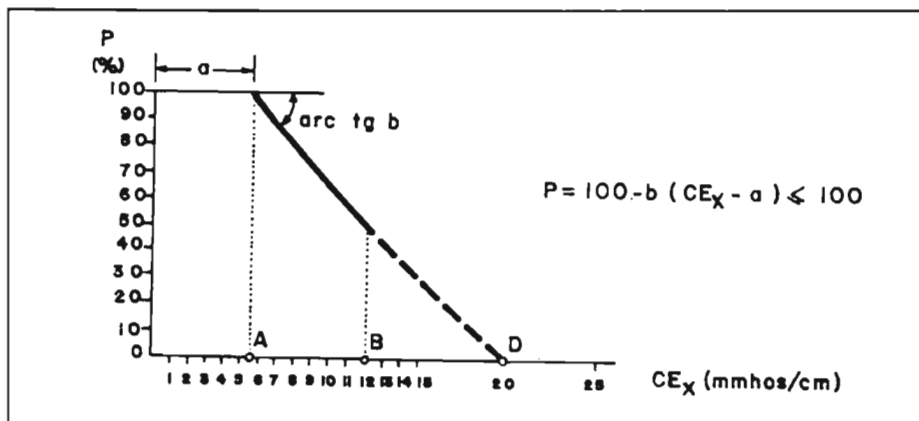
## 2. Alcalinidad

El segundo problema relacionado con la calidad del agua hace referencia al riesgo de alcalinización o sodificación, que suele ir asociado con los problemas de infiltración del agua en el suelo.

La fotografía n.º 4 nos revela las condiciones de encharcamiento más o menos prolongado que puede generar la progresiva disminución de la permeabilidad del suelo de cultivo, como consecuencia, a su vez, de la utilización de agua de riego con elevado contenido de sodio.

Por edafología conocemos el efecto dis-

Cuadro n.º 2



Cuadro n.º 3

CULTIVOS EXTENSIVOS	RENDIMIENTO POTENCIAL									
	100% ECx	ECa	90% ECx	ECa	75% ECx	ECa	50% ECx	ECa	0% ECx	ECa
Cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> )	8,0	5,3	10	6,7	13	8,7	18	12	28	19
Algodón ( <i>Gossypium hirsutum</i> )	7,7	5,1	9,6	6,4	13	8,4	17	12	27	18
Remolacha Azucarera ( <i>Beta vulgaris</i> )	7,0	4,7	8,7	5,8	11	7,5	15	10	24	16
Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> )	6,8	4,5	7,4	5,0	8,4	5,6	9,9	6,7	13	8,7
Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> )	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,3	13	8,7	20	13
Trigo duro ( <i>Triticum turgidum</i> )	5,7	3,8	7,6	5,0	10	6,9	15	10	24	16
Soya, soja ( <i>Glycine max</i> )	5,5	3,3	5,5	3,7	6,3	4,2	7,5	5,0	10	6,7
Caupías ( <i>Vigna unguiculata</i> )	4,9	3,3	5,7	3,8	7,0	4,7	9,1	6,0	13	8,8
Maní, cacahuete ( <i>Arachis hypogaea</i> )	3,2	2,1	3,5	2,4	4,1	2,7	4,9	3,3	6,6	4,4
Arroz ( <i>Oriza sativa</i> )	3,3	2,0	3,8	2,6	5,1	3,4	7,2	4,8	11	7,6
Caña de Azúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> )	1,7	1,1	3,4	2,3	5,9	4,0	10	6,8	19	12
Maíz ( <i>Zea mays</i> )	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10	6,2
Lino ( <i>Linum usitatissimum</i> )	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10	6,7
Frijoles ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	4,2





**Du Pont investiga.  
Vd. y la Naturaleza ponen  
el resto.**

Protección de Cultivos.

DU PONT IBERICA, S.A. Departamento Protección Cultivos. Tuset 23, 3º. 08006 Barcelona. Tel. 200 73 11 - 209 63 11. Telex: 50883 DUPO E.

**DU PONT**



# INGENIESE LAS PARA VENIR

Del 10 al 14 de Junio de 1991



III CONGRESO NACIONAL DE  
INGENIERIA TECNICA Y  
SOCIEDAD EN EL UMBRAL  
DEL SIGLO XXI.

Del 10 al 14 de Junio de  
1991. Madrid. Palacio  
de Congresos y Exposi-  
ciones. Haga ya su reser-  
va en: Instituto de la  
Ingeniería de España.  
General Arrando, 38.  
28010 Madrid.

Infórmese:  
Tel. 91 / 319 67 97.



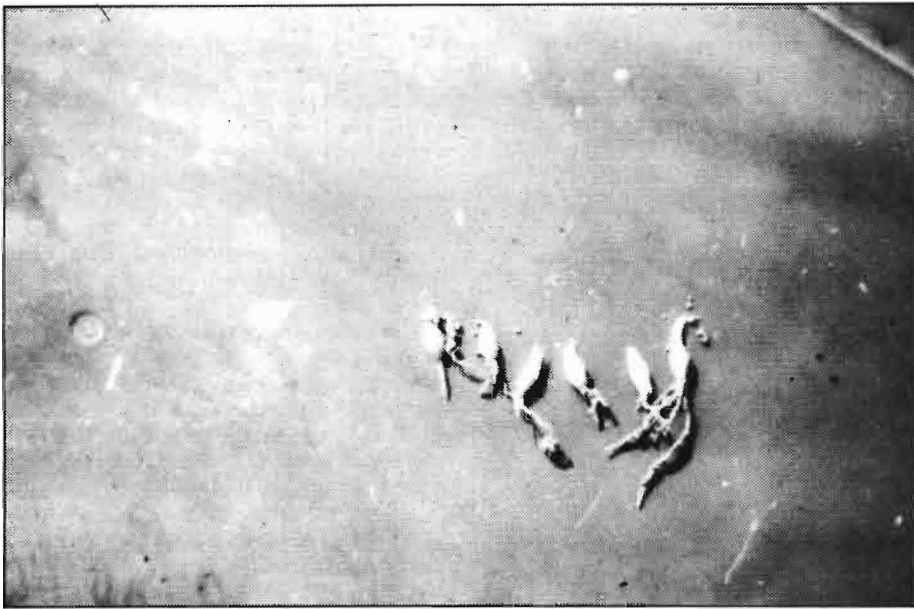


Foto n° 3

persante que tiene el sodio sobre la fracción coloidal del suelo, acentuando las fuerzas de repulsión entre sus partículas elementales. Cuando las aguas de riego tienen contenidos altos de  $\text{Na}^+$ , este elemento tiende a acumularse en los primeros centímetros de profundidad, en donde sus agregados experimentan procesos de humectación e hinchamiento que logran taponar y obturar los poros, reduciendo de esta manera la permeabilidad superficial. Como resultado final, surge el deterioro de la estructura y la aparición de horizontes compactados, generalmente de estructura masiva (fotografía n° 5), que dificultan, en definitiva, la infiltración del agua. Las consecuencias se asemejan al efecto producido por la salinidad: reducción del suministro de agua a la planta. En el caso de la salinidad lo que disminuye es la disponibilidad misma del agua, mientras que en el caso de sodicidad lo que se produce es una reducción del total de agua infiltrada en la zona radicular. Estos efectos no dependen únicamente de la concentración de sodio y, por tanto, del porcentaje de sodio intercambiable (PSI), sino también de los cationes restantes del complejo de cambio y, muy especialmente del contenido de  $\text{Na}^+$  con relación al  $\text{Mg}^{+2}$ .

El USSL pudo comprobar que el riesgo de alcalinización se podía predecir bien mediante el índice SAR (relación de adsorción de sodio), cuya expresión es del tipo:

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

expresando cada uno de los elementos en unidades de meq/l. En definitiva, el índice SAR representa la actividad relativa del  $\text{Na}^+$ , contenido tanto en la solución del suelo como en el agua de riego, en las reacciones de intercambio catiónico.

Por la propia formulación de este índice, se deduce que al concentrarse el agua de riego, como resultado de su evolución en el suelo, el índice SAR resultante aumenta en la raíz cuadrada del valor de la concentración que experimenta.

Este índice ha sido uno de los procedimientos más utilizados para predecir y evaluar el riesgo de alcalinización y los problemas de infiltración que se originan por el uso de aguas de riego de elevado contenido de  $\text{Na}^+$ . Sin embargo, este índice presenta ciertos inconvenientes que es preciso resaltar y que no se consideraron en su formulación original; entre ellos, destacamos los tres más importantes.

1) Se considera que el  $\text{Ca}^{+2}$  y el  $\text{Mg}^{+2}$  presentan la misma selectividad de intercambio, lo que no es exacto. El calcio, a causa de su mayor potencial iónico, tiende



Foto n° 4



Foto n° 5



a ser más enérgicamente retenido que el magnesio. Por esta razón, el riesgo de sodificación y los posibles trastornos de infiltración se acentúan al aumentar el valor del SAR del agua de riego ( $SAR_a$ ), y para el mismo valor del  $SAR_a$  la peligrosidad crece cuando la relación  $Ca/Mg < 1$ .

2) Por otra parte, no tiene en cuenta la formación de posibles precipitados de sales poco solubles, como son los carbonatos de calcio y de magnesio, y el sulfato de calcio, que se producen al concentrarse el agua de riego una vez incorporada al terreno de cultivo. Estos precipitados retiran cationes de calcio y de magnesio de la solución del suelo, aumentando, como resultado, el valor del SAR.

Por lo tanto, los precipitados de sales poco solubles mejoran la calidad del agua de riego desde el punto de vista de la salinidad, pero sucede exactamente lo contrario desde el punto de vista de la alcalinización.

3) Esta expresión tampoco tiene en cuenta el efecto floculante y global del conjunto de todas las sales del agua de riego, que se opone precisamente al efecto dispersante del  $Na^+$ .

Todo ello es consecuencia de que al aumentar la salinidad total ( $CE_a$ ), disminuye el gradiente de cationes absorbidos que tiende a difundirlos hacia la solución del suelo, disminuyendo, como resultado, las fuerzas de repulsión que actúan entre las partículas de la fracción coloidal.

Por lo tanto, la permeabilidad relativa mejora a medida que aumenta la salinidad total, y se reduce cuando disminuye ésta o cuando aumenta la proporción de  $Na^+$  respecto de  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$ . El efecto combinado del SAR y de la CE del agua de riego sobre la permeabilidad lo podemos observar en la gráfica n° 1; aguas de baja salinidad pueden resultar potencialmente tan peligrosas como aquellas que presentan alto contenido en  $Na^+$  (Gráfico n° 1).

A causa de los inconvenientes que presenta la expresión original del parámetro SAR para evaluar correctamente la peligrosidad del  $Na^+$  que aporta el agua de riego, Bower (1968) modificó este índice y definió el SAR ajustado, dado por la expresión:  $SAR_{aj} = SAR [1 + 8,4 pH_c]$ .

El factor de ajuste corrige el valor del SAR original, siendo 8,4 el valor del pH del agua destilada y en equilibrio con el  $CO_3Ca$ , y  $pH_c$  representa el pH teórico del agua de riego en contacto con la calca y en equilibrio con el  $CO_2$  del suelo.

El  $SAR_{aj}$  tiene en cuenta los posibles precipitados de  $CO_3Ca$  que puedan producirse y, por tanto, estima un valor más real del SAR. Sin embargo, sigue presentando ciertos inconvenientes, tales como: no considerar los precipitados de  $SO_4Ca$ , y seguir equiparando la selectividad del intercambio del  $Ca^{+2}$  y del  $Mg^{+2}$ , cuando la acción del  $Ca^{+2}$  es más semejante a la del  $K^+$  y la del  $Mg^{+2}$  a la del  $Na^+$ .

Las experiencias de Suárez y Oster demuestran que, en general, el  $SAR_{aj}$  sobrestima el riesgo de alcalinización del agua de riego. Por ello, la FAO aconseja actualmente predecir estos problemas mediante el denominado SAR corregido, propuesto por Suárez (1981), y cuya expresión es:  $SAR^o$

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

donde  $Ca^o$  es el calcio corregido en función de la salinidad y  $CO_3H^-/Ca$  del agua, así como por la presión parcial del  $CO_2$  del suelo.

### 3. Fitotoxicidad

Se habla de toxicidad específica de iones, cuando los daños que aparecen en las plantas o la disminución que experimentan los rendimientos de los cultivos no obedecen propiamente a una reducción de la disponibilidad del agua, asociada con los efectos osmóticos que originan las sales solubles, sino que se trata, más bien, de trastornos relacionados con la absorción de determinados iones, que la planta extrae conjuntamente con el agua del suelo.

Es un problema extremadamente complejo y de diferente naturaleza del de la salinidad y alcalinidad. En principio, todos los iones presentes en el agua de riego:  $Na^+$ ,

$K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{=}$ ,  $CO_3H^-$ ,  $CO_3^{=}$ , etc., son capaces de inducir toxicidad cuando se encuentran en concentraciones elevadas, aunque la presión osmótica de la solución del suelo pueda enmascarar los efectos específicos de cada uno de aquellos elementos.

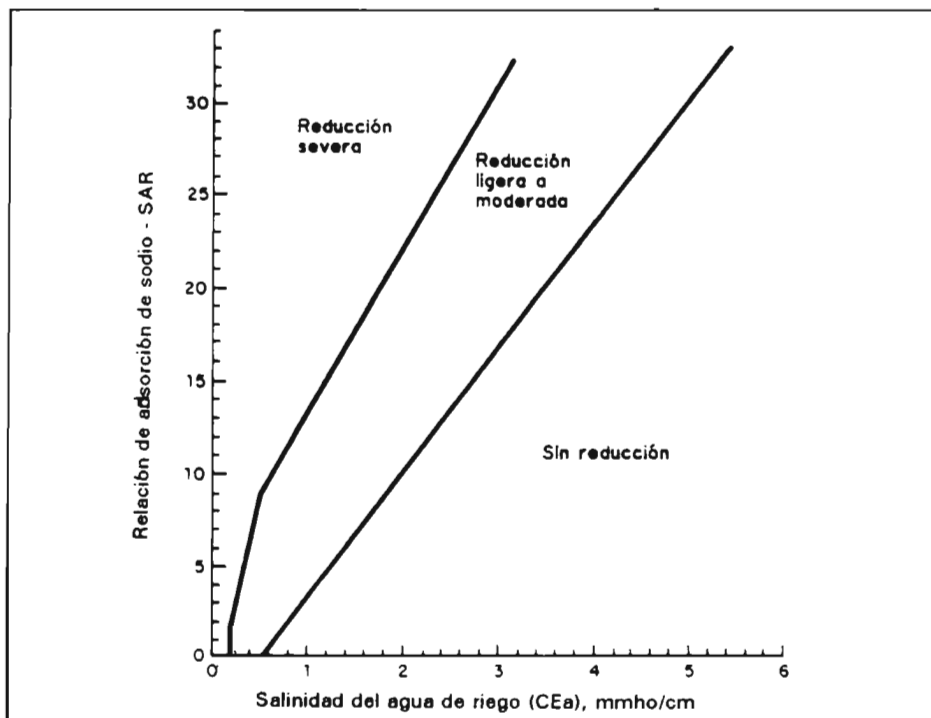
Los iones que con mayor frecuencia producen efectos tóxicos son el cloro, el sodio y el boro, pudiéndose manifestar cada uno de estos de manera individual o conjuntamente.

El mecanismo de toxicidad se inicia por la absorción de cantidades significativas de estos elementos que, una vez transportados o traslocados a las hojas, se concentran a causa de la transpiración. El cloro y el sodio presentan, además, una absorción foliar y directa que incrementa la acumulación de estos iones en las hojas. Esta es la razón por la que los síntomas de toxicidad se expresan, en primer lugar, en aquellas zonas de transpiración intensa, como son las puntas y bordes de las hojas.

Por lo general, los problemas de fitotoxicidad surgen con mayor frecuencia en las especies arbóreas o plantas leñosas de hoja perenne que en las especies anuales que resultan ser más tolerantes que las primeras.

La toxicidad más frecuente es la producida por el cloro del agua de riego. Se trata de un elemento que no es absorbido por el complejo de cambio, que se bloquea con dificultad, lo que permite, por otra parte, prevenir su toxicidad mediante prácticas de lavado que controlen y eviten su acu-

Gráfica n° 1



mulación en el suelo. Un caso concreto de toxicidad por cloro es la que presenta la planta de tabaco, en la que la calidad de la labor y, sobre todo, su combustión se ven ya afectados por concentraciones de 1 meq/l.

El efecto del sodio es más difícil de diagnosticar que el del cloro. Al igual que ocurre con el riesgo de alcalinización, la fitotoxicidad por sodio no sólo depende de su concentración absoluta, sino también de su contenido en relación con el calcio. Por esta razón, el nivel de tolerancia de los cultivos se relaciona, en la práctica, con el PSI y con el valor del SAR del agua de riego. Normalmente, los problemas de toxicidad por  $\text{Na}^+$  surgen con los valores de PSI más bajos que los que originan problemas de infiltración de agua en el suelo. Como su desplazamiento con la solución del suelo es menor que el del cloro, exige fracciones de lavado más voluminosas.

El boro, siendo un elemento esencial, le ocurre lo que a otros oligoelementos, en los que se pasa con facilidad del nivel óptimo al nivel de toxicidad. Estos problemas aparecen preferentemente por excesos de este elemento en el agua de riego, más que por el propio contenido de boro presente en el suelo; y, por otro parte, los niveles de toxicidad son más frecuentes en las aguas subterráneas que en las aguas superficiales. Su lixiviación resulta mucho más difícil de realizar que en los dos casos anteriores, requiriendo necesidades de lavado de orden de 3 - 4 veces superiores, lo que puede hacer impracticable este método de prevención frente a dicha fitotoxicidad.

Por último, cabría destacar algunos casos particulares de la problemática relacionada con la calidad del agua de riego. En primer lugar, los excesos de nitrógeno constituyen un peligro que va asociado con la reutilización de aguas residuales para el riego, en las que son frecuentes los contenidos elevados de  $\text{N}^-$  amoniacal. Este N actúa como un elemento perturbador que retrasa la madurez, sobreestimula el crecimiento o rebaja la calidad de las cosechas. Otro caso lo constituyen aquellas aguas que contienen cantidades importantes de sales poco solubles de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ , como pueden serlo el yeso o el  $(\text{CO}_3\text{H})_2$ . Cuando el riego es por aspersión, estas sales pueden producir incrustaciones y depósitos blancos sobre las hojas, frutos y flores que, aunque no constituyan por sí mismos una toxicidad potencial, rebajan la calidad de los productos. En tercer lugar, se consideran aquellas aguas de riego que presentan elevadas proporciones de magnesio. También, esta circunstancia suele inducir, a largo plazo, problemas de mala infiltración, dado que el efecto del magnesio se asemeja más al del sodio y, como consecuencia, resulta más dispersante que el calcio.

#### 4. La clasificación del agua de riego

Al objeto de evaluar de manera global la calidad del agua de riego, se han propuesto diversos sistemas de clasificación en base a uno o más riesgos o categorías de problemas que hemos venido considerando. Estas clasificaciones tratan, en definitiva, de caracterizar el agua de riego desde un punto de vista práctico.

Las normas Green, que aparecen en el diagrama nº 1, son las más simples de todas por ser las más antiguas. En abscisas se representa la salinidad o concentración expresada como suma de sales en meq/l y en ordenadas se representa la propor-

ción de  $\text{Na}^+$  con relación a las bases totales, expresándose todas ellas en meq/l.

El diagrama nº 2 corresponde a la clasificación de Wilcox. Esta clasificación representa una novedad con relación a la anterior por expresar la salinidad del agua como CE a 25°C, y en unidades de  $\mu\text{mhos/cm}$ . Sigue manteniendo para la alcalinidad el mismo criterio del porcentaje de  $\text{Na}^+$ .

Las normas Riverside, establecidas en 1954 por el USSL, quedan reflejadas en el diagrama nº 3. En abscisas se representan, en coordenadas logarítmicas, los valores de  $\text{CE}_m$  en  $\mu\text{mhos/cm}$ . a 25°C, y en ordenadas se introduce el índice  $\text{SAR}_a$ . De este modo se establecen 4 grados de riesgo de salinidad y 4 grados de riesgo de alcalinización, proporcionando en total 16 categorías de aguas que se caracterizan por una fórmula del tipo  $\text{C}_1 \text{S}_1$  (la C hace referencia a la salinidad y la S a la sodicidad).

Las rectas que separan grados distintos de alcalinización representan las ecuaciones de la ley de acción de masas entre cationes solubles e intercambiables. Estas rectas diagonales se trazaron, originalmente, con pendiente negativa a modo de propuesta provisional que realizó el USSL, porque así parecía confirmarlo las experiencias que hasta entonces se tenían.

El propósito con que diseñó este diagrama, establecía los siguientes supuestos:

- 1) Que las precipitaciones no eliminaban sales.
- 2) Que las sales extraídas por las plantas representaban unas cantidades insignificantes.

Diagrama nº 1

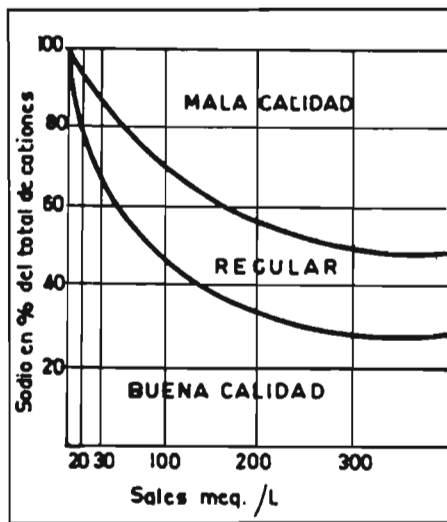
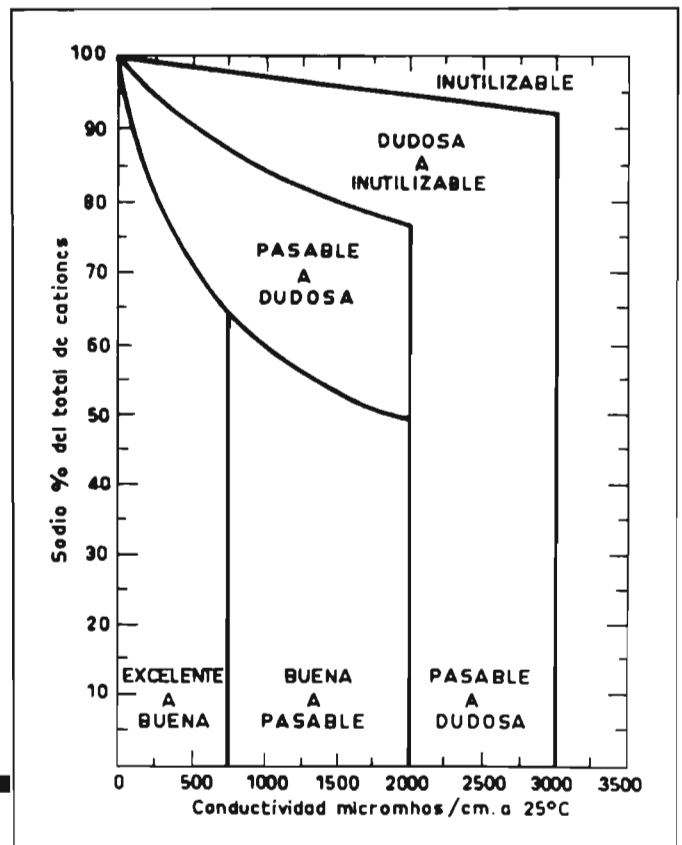


Diagrama nº 2





# AGRICULTURA MODERNA

3) Que no se produjeren precipitados de sales cálcicas ni magnéticas.

4) Que a medida que se concentra el agua de riego en el suelo, su composición relativa permanece constante, al igual que la proporción de  $\text{Na}^+$  respecto al  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ . Sin embargo, a pesar de no considerar los precipitados de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ , tiene en cuenta que al concentrarse el agua o, lo que es lo mismo, al aumentar la CE, el valor del SAR (dada su expresión matemática) aumenta precisamente en la raíz cuadrada de su concentración; es decir, al concentrarse el agua de riego aumenta el riesgo de alcalinización.

Las normas Riverside no consideran el efecto floculante de las restantes sales contenidas en el agua de riego. Además del binomio salinidad-alcalinidad, tiene en cuenta: el contenido de boro y el índice denominado Carbonato Sódico Residual (CSR). El CSR es la diferencia entre la suma de  $\text{CO}_3^-$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , y la de  $\text{Ca}^{+2}$  más  $\text{Mg}^{+2}$ . Este índice asume que todo el  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  pueden precipitar y, por tanto, también evalúa el riesgo de alcalinización.

Las normas Riverside consideran que las aguas de riego con 2.250  $\mu\text{mhos/cm.}$ , aproximadamente 1,44 g/l de sales totales, son inadecuadas para el riego. Sin embargo, nuevas experiencias acerca de la tolerancia de los cultivos a la salinidad han

sugerido que este límite es demasiado restrictivo. Por ésto, Thorne y Peterson propusieron la ampliación de la escala de salinización hasta los 6.000  $\mu\text{mhos/cm.}$  (diagrama n° 4); de esta manera, se crea una quinta clase de salinidad ( $\text{C}_5$ ) y, en consecuencia, un total de 20 categorías de agua.

En 1961, Kanwar propuso otra nueva ampliación del límite de la escala de salinidad, ya que según sus experiencias, se pueden regar cultivos muy resistentes a la sal con aguas comprendidas entre los 5.000 y 20.000  $\mu\text{mhos/cm.}$ , siempre y cuando se trate de suelos arenosos, bien drenados y en los que la concentración final de la solución del suelo no resulte mayor de 1,5 veces la del agua de riego, alcanzándose, de esta manera, los 30.000  $\mu\text{mhos/cm}$  que representan el límite de la ósmosis.

Finalmente, en el cuadro n° 4 se recogen, de forma resumida, el conjunto de directrices técnicas propuestas actualmente por la FAO. Constituyen una segunda versión, que modifica la anterior de 1976, y que ha sido preparada por Ayers y Westcott a petición de aquel organismo. Estos autores recopilaron y reelaboraron la información existente tanto en el USSL, como en el Comité de Consultores de la Universidad de California, además de las expe-

riencias de Bernstein, y las de Mass y Hoffman.

En estas normas se relaciona la permeabilidad no sólo con el SAR, sino también con la salinidad total del agua de riego. De esta manera, para un valor dado del SAR, los problemas de infiltración se reducen a medida que aumenta de CE del agua.

En esta segunda versión de la FAO, se recomienda estimar el  $\text{SAR}_a$  por medio del SAR corregido ( $\text{SAR}^o$ ) propuesto por Suárez, y al que hemos hecho referencia anteriormente. Estas directrices establecen que el cultivo desarrolla un patrón de extracción normal (40, 30, 20 y 10% de la  $\text{ET}_o$ ), y que el sistema de riego de superficie o por aspersión utilizado facilita unas pérdidas por lavado comprendidas entre el 15-20% del agua aplicada.

## BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

- Ayers, R.S. y Westcott, D.W.; 1985: LA CALIDAD DEL AGUA PARA LA AGRICULTURA. FAO, estudio de riego y drenaje. N° 29. Roma.
- Catalán Lafuente; 1981: QUIMICA DEL AGUA. Editorial Blume. Madrid.
- Richards, L.A.; 1954: DIAGNOSIS AND IMPROVEMENT OF SALINE AND ALKALI SOILS. USDA. Agricultural Handbook, N° 60. USDA, Washington, D.C.
- Tamés, C.; 1965. UTILIZACION DE LAS AGUAS SALADAS PARA EL RIEGO. INIA. Madrid.

Diagrama n° 3

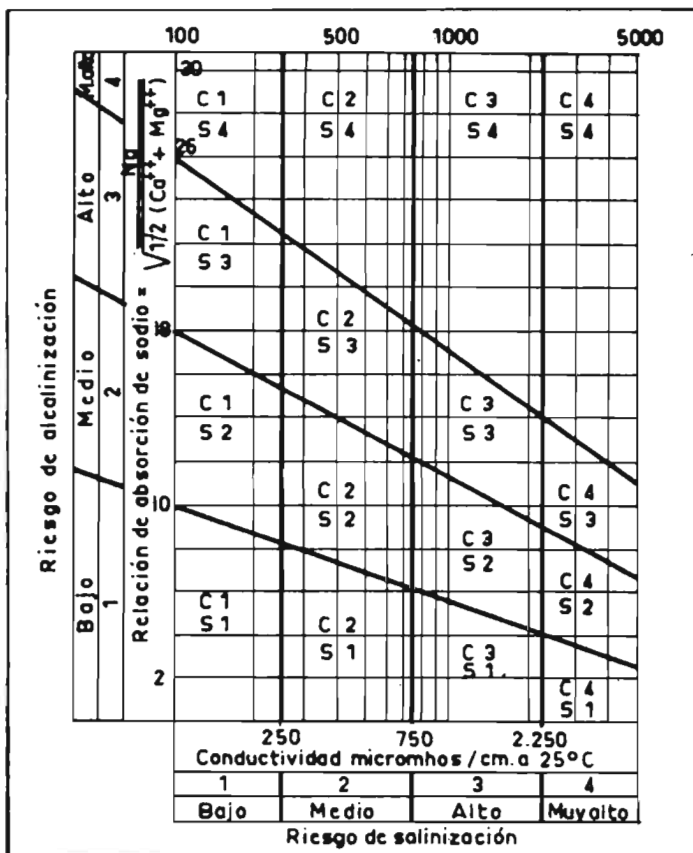
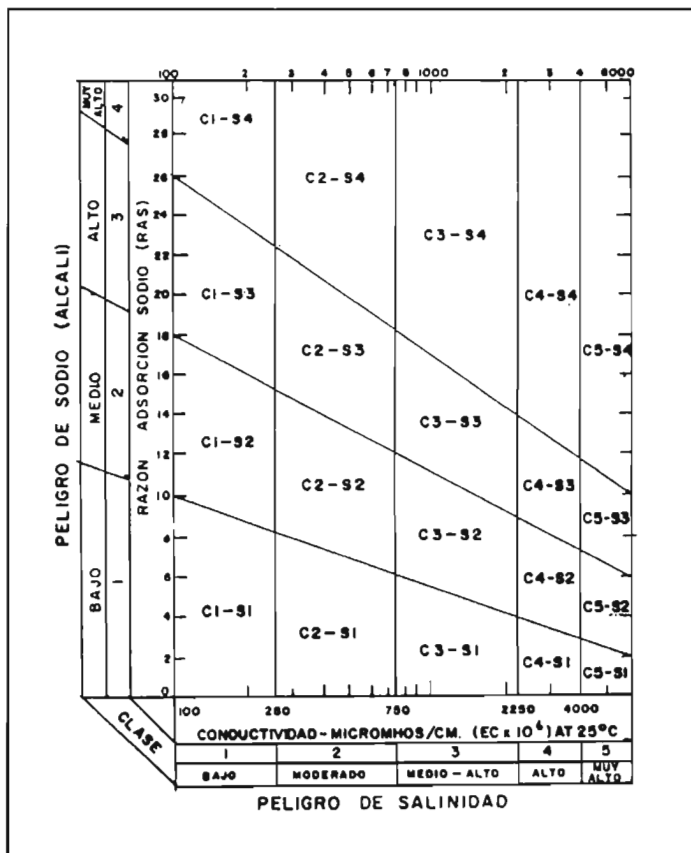


Diagrama n° 4



Cuadro nº 4

Problema Potencial	Unidades	Grado de Restricción de Uso		
		Ninguna	Ligera a Moderada	Severo
<b>Salinidad (afecta disponibilidad de agua para el cultivo) <sup>2</sup></b>				
Eca	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
(o) TSS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
<b>Infiltración (reduce infiltración; evaluar usando a la vez la Eca y el RAS)<sup>3</sup></b>				
RAS = 0 - 3 y Eca =	=	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
= 3 - 6	=	> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
= 6 - 12	=	> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
= 12 - 20	=	> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
= 20 - 40	=	> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
<b>Toxicidad de Iones Específicos (afecta cultivos sensibles)</b>				
<b>Sodio (Na)<sup>4</sup></b>				
riego por superficie	RAS	< 3	3 - 9	> 9
riego por aspersión	me/l	< 3	> 3	
<b>Cloro (Cl)<sup>4</sup></b>				
riego por superficie	me/l	< 4	4.0 - 10	> 10
riego por aspersión	me/l	< 3	> 3	
<b>Boro (B)<sup>5</sup></b>				
	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
<b>Oligoelementos (Tabla 21)</b>				
<b>Varios (afecta cultivos sensibles)</b>				
Nitrógeno (NO <sub>3</sub> - N) <sup>6</sup>	mg/l	< 5	5.0 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> ) (aspersión foliar únicamante)	me/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH		Amplitud Normal: 6.5 - 8.4		

d = prof. raíces

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

# VI FERIA INDUSTRIAL AGRICOLA Y GANADERA

## Certamen de Productos Agroalimentarios de Castilla-La Mancha

TALAVERA  
DE LA  
REINA, DEL  
14 AL 19  
DE MAYO.



Enclave de negocio

Junto al Mercado Nacional de Ganados más importante de España, en pleno centro geográfico del país, **36.000 metros cuadrados de exposición** dotados con todos los servicios **y más de 160 stands** se le brindan para convertirse en **el mejor escaparate para sus productos.**

Aún está a tiempo de hacer un buen negocio: asegurarse un espacio en FIAGA '91

Información: Teléfono 925/80 08 67  
Fax 925/80 11 64