

109427 CATALOGADO

N/315

REGISTRO DE INFORMACION TECNICA

CODIGO INTERNO (P.A.S. - E - 1)

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROGRAMA DE LAS NACIONES

UNIDAS PARA EL DESARROLLO

P L A N A G U A S U B T E R R A N E A

REPUBLICA ARGENTINA

(PROVINCIA DE SAN JUAN)



CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO. SU CLASIFICACION

por

Pedro Lohn

Hidrogeoquímico

(Argentina)

Este informe se eleva al Consejo Federal de Inversiones previo a su aprobación por las Naciones Unidas o por el Programa de Naciones Unidas para el desarrollo y por lo tanto no representa necesariamente los puntos de vista de estas organizaciones.

JUNIO 1969

Impreso en Argentina - Printed in Argentine

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

(c) 1970 CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

Alsina 1401 Buenos Aires República Argentina

I N D I C E

	<u>PAG.</u>
A. OBJETIVOS.	1
B. COLABORACION	2
C. GENERALIDADES. EL AGUA PARA RIEGO.	2
D. EFECTOS DE LA SALINIDAD SOBRE LAS PLANTAS.	3
E. EFECTO IONICO SOBRE LAS PLANTAS.	4
F. TOLERANCIA DE LAS PLANTAS A LA SALINIDAD, AL SODIO Y AL BORO	5
G. EFECTO DE LAS SALES E IONES SOBRE LOS SUELOS	10
H. CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO.	11
1. PELIGROSIDAD SALINA	12
2. PELIGROSIDAD SODICA	13
3. CARBONATO DE SODIO RESIDUAL	16
4. ELEMENTOS MENORES. BORO	18
I. SISTEMAS DE CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO	19
J. SISTEMA DE CLASIFICACION PROPUESTO	25
K. EJEMPLO DE APLICACION.	29
BIBLIOGRAFIA	31

TABLAS

1. TOLERANCIA DE LAS PLANTAS A LA SALINIDAD	6
2. TOLERANCIA DE LAS PLANTAS AL SODIO EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE (PSI)	8
3. TOLERANCIA DE LAS PLANTAS AL BORO.	9
4. CLASES DE CONDUCTIVIDAD DEL AGUA PARA RIEGO.	14
5. LIMITES DE LA CONDUCTIVIDAD DEL AGUA PARA RIEGO EN FUNCION DE LA TOLERANCIA DE LOS CULTIVOS Y DE LA TEXTURA DE LOS SUELOS	15
6. CLASES DE PELIGROSIDAD SODICA DEL AGUA PARA RIEGO.	17
7. LIMITES PARA EL CARBONATO DE SODIO RESIDUAL EN AGUAS PARA RIEGO.	18
8. LIMITES PARA EL BORO EN EL AGUA PARA RIEGO	19

	<u>PAG.</u>
9. CLASIFICACION CUALITATIVA PARA AGUAS PARA IRRIGACION.	20
10. CLASIFICACION PROVISORIA PARA LA SALINIDAD POTENCIAL DE AGUAS PA- RA IRRIGACION	21
11. CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO.	23
12. CARACTERISTICAS DE LAS CLASES DE AGUA PARA RIEGO	24
13. CLASIFICACION PROPUESTA PARA EL AGUA PARA RIEGO.	27
14. LIMITACIONES EN EL USO DE LAS AGUAS PARA RIEGO SEGUN CLASES DE CALIDAD.	28

GRAFICO

1. SISTEMA PROPUESTO PARA LA CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO. SU CLASIFICACION

A. OBJETIVOS

Los estudios hidrogeoquímicos, que tratan de conocer el origen y evolución de los constituyentes químicos del agua en las diferentes áreas estudiadas por el Plan Agua Subterránea en las provincias de San Juan y Mendoza, permiten también determinar sus posibilidades de uso y muy particularmente su aplicación al riego.

En las zonas más cultivadas de la provincia de San Juan, ubicada en la región árida del Noroeste argentino, debido a la poca precipitación pluvial (85 mm de promedio anual) debe recurrirse al agua superficial y subterránea como únicas fuentes de aprovisionamiento para riego. En el caso del Valle Tulum, importante zona agrícola, el agua proviene principalmente del río San Juan y de dos importantes cuencas subterráneas denominadas Tulum y Ullum-Zonda. En estas regiones las escasas lluvias no son suficientes para provocar una corrección natural de los suelos afectados por el uso de aguas más o menos mineralizadas.

Esta situación implica la necesidad de conocer anticipadamente la calidad del agua y sus variaciones, a fin de adecuar técnicamente su aplicación.

Es por ello que la sección Hidrogeoquímica del P.A.S. ha dado preferencia en sus estudios al uso agrícola del agua, debido a la importancia económica que reviste para las provincias mencionadas.

Este conocimiento previo permitirá a los organismos técnicos adecuar los programas agrícolas, a fin de lograr los más óptimos rendimientos de los cultivos además de prevenir la salinización y el deterioro de los suelos. Les será posible también prescribir las técnicas de riego más adecuadas en cuanto se refiere a los volúmenes necesarios, a los requerimientos de lixiviación y al mejoramiento de la calidad del agua a utilizar.

En este estudio se tratarán sólo algunos de los factores más importantes que deben tenerse en cuenta para determinar la calidad de un agua para riego, proponiendo un sistema de clasificación práctico que pueda ser aplicado de inmediato, aún cuando deba ser ajustado en función de la dinámica del agua y de las características agronómicas más importantes, y que aún no se conocen en detalle en las áreas de trabajo. Principalmente se pretende que el sistema permita conocer las posibilidades del uso del agua, mediante su representación en mapas de calidad tal como serán descritos en trabajos posteriores.

B. COLABORACION

Muy valiosa ha sido la colaboración y el intercambio de ideas mantenido sobre la calidad de las aguas para riego con Mr. Robert Flannery, especialista en conservación de suelos de la F.A.O. (Food and Agriculture Organization) de las Naciones Unidas.

C. GENERALIDADES. EL AGUA PARA RIEGO

Muchos son los autores (ver cita bibliográfica) que han tratado en detalle los efectos que produce cada constituyente químico del agua utilizada para riego, tanto sobre las características físico-químicas de los suelos como sobre las plantas. Por ello sólo se mencionarán en forma resumida algunos de los aspectos que deben tenerse en cuenta para determinar la calidad.

En general la calidad de un agua es evaluada por los efectos que producen las sales disueltas sobre los suelos y las plantas, aunque para determinar correctamente la aptitud es necesario considerar varios otros factores que no están directamente relacionados con la composición química.

De estos factores químicamente independientes, los más importantes son la evaporación a través de los suelos, los niveles freáticos, las condiciones de drenaje, las técnicas de riego, la textura de los suelos, la transpiración de las plantas, el aprovechamiento y la tolerancia selectiva a las sales

por diferentes especies y el clima.

En las áreas de trabajo del P.A.S. se ha observado que es común considerar a estos distintos elementos de juicio en forma independiente, cuando en realidad todos ellos se combinan para producir determinados efectos sobre los cultivos. Estos efectos que pueden ser positivos o negativos, dependen en gran parte de las características químicas del agua utilizada para riego. Un agua será de calidad óptima cuando su contenido salino provea sólo los elementos necesarios para el desarrollo de las plantas y mantenga a los suelos en condiciones adecuadas para lograr la máxima productividad.

Por lo general la cantidad de sales disueltas en un agua es superior a la requerida por algunas especies de plantas, pero no siempre se llega a concentraciones tales como para producir un peligro inmediato para los cultivos, aunque éste puede incrementarse a medida que aumenta el número de riegos, si su aplicación no es tecnicada adecuadamente.

Para tener una idea de cuales son las características químicas que es necesario considerar para determinar la calidad de un agua, se verán algunos de los efectos que ésta y las sales acumuladas en el suelo producen sobre las plantas.

D. EFFECTOS DE LA SALINIDAD SOBRE LAS PLANTAS

Las sales disueltas en el agua pueden afectar al crecimiento de las plantas por diversas causas: provocando un incremento de la presión osmótica de la solución del suelo, alterando la nutrición mineral y/o acumulando en los tejidos vegetales a ciertos elementos en concentraciones tóxicas,

Cuando se riega un suelo se produce en la zona radicular la solución del suelo, cuyas sales disueltas provocan una determinada presión osmótica, de la cual depende que las membranas semipermeables del sistema radicular dejen o no pasar a los elementos necesarios para su desarrollo.

Existe una estrecha y compleja relación entre la solución del suelo

y el contenido salino del agua para riego (1). Se ha determinado que la presión osmótica (PO) desarrollada por esta solución es función directa de su conductividad específica (CE_e) y puede evaluarse prácticamente mediante la ecuación:

$$PO \text{ (atmósfera)} = 0.36 \cdot CE_e \cdot 10^3 \text{ (milimhos/cm } 25^\circ C).$$

En general, el valor de CE_e aumenta a medida que se incrementa el número de riegos y el agua es más salina, habiéndose establecido experimentalmente que este valor es 2 a 10 veces mayor que la conductividad del agua aplicada.

Esta relación demuestra que la presión osmótica puede ser disminuída mediante la utilización de un agua de baja mineralización y por la aplicación de volúmenes adecuados a fin de que provoquen una correcta lixiviación, de forma tal que las sales en exceso puedan eliminarse mediante un drenaje correcto.

La salinidad de la solución del suelo retarda también al crecimiento de las plantas por afectar directamente a su nutrición, efectos que difieren de una especie a otra, tanto por sus distintas necesidades como por la diferente capacidad que tienen para absorber a determinados iones.

E. EFEECTO IONICO SOBRE LAS PLANTAS

El desarrollo de las plantas está afectado también por causas independientes del valor de la presión osmótica, y son las que están relacionadas con la cantidad y con el tipo de iones presentes en la solución del suelo. Los principales iones encontrados en esta solución son el calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), cloruro (Cl), sulfato (SO_4), bicarbonato (HCO_3) nitrato (NO_3), boro (B) y litio (Li). Algunos de estos iones pueden ser tóxicos para las plantas o bien pueden alterar su nutrición normal.

Los iones calcio, magnesio, potasio, sulfato y nitrato son los elementos comunes que en general no afectan a las plantas. En cambio el sodio, el cloruro, el bicarbonato, el boro y el litio producen en la mayoría de los ca-

Los efectos nocivos, dependiendo su intensidad de la concentración en que se encuentren. El sodio y el cloruro pueden ser tóxicos para las plantas sensibles a estos elementos, aún para valores de la concentración de la solución del suelo, o mejor dicho, para valores de la presión osmótica inferiores a los límites perjudiciales.

Algunos autores han determinado que el bicarbonato afecta a ciertas especies de plantas, aunque estos efectos no son muy comunes debido a las concentraciones encontradas en los suelos (17).

Se ha comprobado que el boro es necesario para el desarrollo de las plantas en muy bajas cantidades, siendo tóxico para mayores concentraciones. A pesar de que el agua contenga un bajo contenido, si las condiciones de riego, clima y drenaje lo permiten, el boro se acumula por absorción en el suelo en cantidades que pueden llegar a ser peligrosas para los cultivos. En las regiones áridas el boro constituye a veces un problema significativo, y es en ellas en donde se encuentran las mayores extensiones con síntomas de intoxicación, más aún, teniendo en cuenta que las fuentes naturales de aprovisionamiento de agua contienen en general tenores importantes de este elemento.

F. TOLERANCIA DE LAS PLANTAS A LA SALINIDAD, AL SODIO Y AL BORO

La tolerancia de las plantas, es decir, la mayor o menor capacidad para tolerar una determinada cantidad de sales del medio ambiente en que se desarrollan, varía según las diferentes especies.

En base a los rendimientos relativos de diferentes cultivos en suelos salinos y no salinos, el U.S. Salinity Laboratory Staff (1954)(1) ha confeccionado la tabla 1, y dentro de cada grupo ha ubicado a las especies en orden de creciente a su tolerancia a las sales. El límite superior, indicado en valores de la conductividad del extracto de saturación de los suelos (CE_e), representa el nivel en donde se debe esperar una disminución del 50% en el rendimiento de los cultivos en comparación a los que podrían obtenerse en un suelo de una salinidad menor (indicada por el límite inferior).

TABLA 1

TOLERANCIA DE LAS PLANTAS A LA SALINIDAD

FRUTALES		
Muy tolerantes	Medianamente tolerantes	Poco tolerantes
$CE_e \times 10^6 = 12.000$ Palmera datilera $CE_e \times 10^6 = 10.000$	$CE_e \times 10^6 = 10.000$ Granada Higuera Olivo Vid Melón $CE_e \times 10^6 = 4.000$	$CE_e \times 10^6 = 4.000$ Peral Manzano Naranja Toronja Ciruelo Almendro Durazno Fresa Limonero
HORTALIZAS		
$CE_e \times 10^6 = 12.000$ Remolacha Col rosada Espárrago Espinaca $CE_e \times 10^6 = 10.000$	$CE_e \times 10^6 = 10.000$ Tomate Brócoli Col Coliflor Lechuga Maíz dulce Papa Zanahoria Cebolla Arveja Calabaza Pepino $CE_e \times 10^6 = 4.000$	$CE_e \times 10^6 = 4.000$ Rábano Apio Poroto $CE_e \times 10^6 = 3.000$
CULTIVOS COMUNES		
$CE_e \times 10^6 = 16.000$ Cebada Remolacha azucarera Nabo Algodón $CE_e \times 10^6 = 10.000$	$CE_e \times 10^6 = 10.000$ Centeno (grano) Trigo (grano) Avena (grano) Sorgo (grano) Maíz Lino Girasol $CE_e \times 10^6 = 6.000$	$CE_e \times 10^6 = 4.000$ Alubias

Para emplear estos datos es necesario tener en cuenta que los factores climáticos y las técnicas de riego pueden hacer variar los límites dados para algunas especies. Los efectos de la salinidad sobre las plantas varían también de acuerdo a la etapa en que se encuentra su desarrollo. Existen especies en donde es importante tener una baja salinidad en la solución del suelo durante la germinación, mientras que existen otras en donde la salinidad es perjudicial durante la floración (17). Esta circunstancia facilita técnicamente el uso de aguas con diferente mineralización, dado que puede controlarse la salinidad mediante técnicas especiales, de tal forma que ésta tenga el valor adecuado durante los períodos críticos para el crecimiento de las plantas.

Los suelos de acuerdo a sus características físico-químicas poseen una determinada cantidad de iones intercambiables, siendo el sodio el de más interés por ser el que afecta en un mayor grado tanto a las buenas condiciones de los mismos como a las plantas. La concentración de sodio presente en los suelos está controlada en general por reacciones de intercambio iónico y por ello los valores límites para este elemento son evaluados en términos del porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

Pearson, G.A. (1960)(tabla 2) ha proporcionado datos sobre la diferente tolerancia de las plantas al sodio y los límites están dados en función del valor de PSI, el que está teóricamente vinculado con el contenido de sodio del agua para riego (RAS). Los valores dados en esta tabla deben ser analizados cuidadosamente antes de ser aplicados pues la salinidad altera la influencia que ejerce el sodio.(2)

Por otro lado en la tabla 3 se dan los límites de tolerancia para el boro en aguas para riego y para diferentes especies de plantas (1). El efecto de este elemento ha sido estudiado ampliamente por diversos autores y muy particularmente por Eaton, F.M. (1935)(3) y Wilcox (1960)(4). Como sus efectos dependen en gran medida de las condiciones climáticas, las técnicas de riego y las condiciones de drenaje, los límites señalados tampoco son fijos.

TABLA 2

TOLERANCIA DE LAS PLANTAS AL SODIO EN FUNCION
DEL PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE (PSI)

SENSIBILIDAD DE LAS PLANTAS	VALORES DEL PSI	PLANTAS	RESPUESTA DEL CRECIMIENTO BAJO CONDICIONES DE CAMPO
Extremadamente sensibles	2-10	Frutas caducas Nogal Citrus Palta	Síntomas de intoxicación por sodio para bajos valores del PSI.
Sensibles	10-20	Haba	Crecimiento alterado para bajos valores del PSI a pesar de la estructura favorable del suelo.
Modéradamente tolerantes	20-40	Trébol Avena Arroz	Mal desarrollo de las plantas debido a factores de nutrición y a una mala estructura de los suelos.
Tolerantes	40-60	Trigo Algodón Alfalfa Cebada Tomate Remolacha	Crecimiento deficiente debido generalmente a una mala estructura de los suelos.
Muy tolerantes	más de 60	Gramíneas	Crecimiento deficiente debido generalmente a una mala estructura de los suelos.



TABLA 3

TOLERANCIA DE LAS PLANTAS AL BORO

TOLERANTES	SEMITOLERANTES	SENSIBLES
4.0 mg/l	2.0 mg/l	1.0 mg/l
Tamarix (Tamarix Aphylla)	Girasol (espontáneo)	Nogal (negro y p _{er} sico o inglés)
Palma (Phoenix canariensis)	Algodón (Scala y Pima)	Olmo americano
Espárrago	Papa	Ciruela
Palmera datilera (P.dactylifera)	Tomate	Peral
Remolacha azucarera	Arveja	Manzano
Remolacha forrajera	Rábano	Vid
Alfalfa	Rosa silvestre	Higuera
Gladiolo	Olivo	Níspero
Haba	Cebada	Cerezo
Cebolla	Trigo	Durazno
Nabo	Mafz	Damasco
Col	Sorgo	Zarzamora sin espinas
Lechuga	Avena	Naranja
Zanahoria	Zinnia	Palta
	Calabaza	Pomelo
	Ají	Limonero
	Camote	
	Poroto lima	
2.0 mg/l	1.0 mg/l	0.3 mg/l

Como en general, el origen de este elemento en los suelos proviene del agua para riego, en algunas zonas el boro adquiere una mayor importancia debido a los tenores que contienen las aguas empleadas, tanto subterráneas como superficiales, aunque para gran parte de las áreas de trabajo del P.A.S. no existe una mayor experiencia respecto a la relación boro-agua-suelo.

Como todas las tablas incluidas en este párrafo han sido confeccionadas de acuerdo a experiencias realizadas en los Estados Unidos, será necesario adecuarlas para las plantas más cultivadas y para las condiciones regionales encontradas en cada zona en particular.

G. EFECTO DE LAS SALES E IONES SOBRE LOS SUELOS

Gran parte de las propiedades físicas de los suelos dependen de los tipos de iones intercambiables presentes en los mismos. Algunos de estos iones producen efectos negativos, ya sea directamente como el sodio o indirectamente como el bicarbonato.

El sodio hace a los suelos impermeables y quebradizos, en cambio el calcio y posiblemente el magnesio, en concentraciones adecuadas confieren buenas condiciones de textura y permeabilidad. Según N. Nijensohn (5) no es posible establecer una equivalencia directa entre el calcio y el magnesio por ser diferentes los intercambios $\text{Na} \rightarrow \text{Ca}$ y $\text{Na} \rightarrow \text{Mg}$. Es así que este autor sostiene que el magnesio que interviene en las reacciones de intercambio, confiere a los suelos propiedades similares a los producidos por el sodio.

El potasio que tiene un comportamiento químico similar al del sodio (ambos pertenecen al grupo de los metales alcalinos) no produce efectos tan importantes debido a sus bajas concentraciones.

Por su salinidad y sus contenidos iónicos, los suelos pueden clasificarse en salinos, sódicos y salinos-sódicos.

Cada uno de estos tipos de suelos puede producir determinados efectos sobre las plantas, independientemente de los efectos tóxicos que pueden producir las sales o los iones acumulados en la solución del suelo.

En general se define como suelos salinos aquellos que contienen una concentración tal de sales que afectan la productividad de las plantas, en cambio los sódicos son los que alteran el desarrollo y la productividad debido a una cantidad excesiva en su sodio intercambiable. La combinación de los dos define a los salinos-sódicos.

Las sales solubles que contienen los suelos salinos regulan la presión osmótica de la solución del suelo y por lo tanto afectan a las plantas a medida que aumenta su concentración. En general la permeabilidad de estos suelos es igual o mayor que la de los no salinos de iguales características.

Por el contrario, en los suelos sódicos el sodio altera sus características físico-químicas, disminuyendo su permeabilidad y haciéndolos quebradizos, lo que impide un desarrollo normal de las plantas principalmente por falta de una correcta aireación y por dificultar el pasaje de agua. Por otro lado la hidrólisis del sodio intercambiable da al suelo un pH alcalino superior a 8.5 debido a la formación de hidróxido de sodio. Este medio destruye fácilmente a la materia orgánica la que por evaporación es depositada en la superficie en forma de una mancha negra, impermeable, denominada álcali negro y que caracteriza a este tipo de suelos. Estas condiciones hacen difícil la práctica común de la agricultura y la solución de los problemas es muy complicada y costosa.

Los suelos salinos-sódicos se caracterizan por poseer propiedades comunes a los dos tipos vistos. Su elevada cantidad de sales hace que la alcalinidad no aumente a un pH superior a 8.5, pero cuando se corrige la salinidad de estos suelos por lavados, se produce un aumento de la alcalinidad hasta el punto de obtener suelos sódicos exclusivamente. Las características de los suelos salinos-sódicos dificultan su manejo y corrección.

H. CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

Tal como se ha visto, un agua contiene sales disueltas que pueden alterar las características de los suelos en forma beneficiosa o no para los cultivos. Las alteraciones físico-químicas que ocurren dependen tanto de la

concentración salina como del tipo de iones que contiene. Además el agua puede también influir marcadamente en la nutrición de las plantas por proveer elementos en cantidades tóxicas.

En los párrafos anteriores se ha mencionado en forma muy resumida los efectos que producen las sales y los iones sobre las plantas y los suelos. Esto permite en cierto grado conocer la magnitud de los límites para el contenido iónico de un agua que será utilizada para riego.

Los principales iones que deben ser considerados para evaluar la calidad del agua son los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio, y los aniones sulfato, cloruro y bicarbonato, y los elementos menores boro y litio.

Para definir la calidad del agua en base a estos componentes químicos se consideran diversos parámetros, muchos de los cuales han sido deducidos a partir de la ley de acción de masas que regula en su mayoría a las reacciones entre el agua y el suelo.

1. PELIGROSIDAD SALINA

El efecto que producen las sales disueltas en el agua se mide en función de su contenido mineral total, ya sea mediante la medida de la conductividad eléctrica específica o por el residuo de evaporación (sólidos disueltos). Esto es posible debido a la relación que en general existe entre los dos, ya que son directamente proporcionales entre sí mediante un factor que depende además de la salinidad total, de los iones presentes. Por ejemplo, para la cuenca Tulum en la provincia de San Juan, se ha encontrado que la relación más probable es la siguiente (14):

$$SD \text{ (mg/l)} = 0.73 \cdot CE \text{ (micromhos/cm } 25^{\circ}\text{C)}$$

La peligrosidad salina se refiere al posible incremento de la concentración de la solución del suelo, o sea, al aumento de la presión osmótica producida por el aporte de sales del agua. Se han propuesto diversos límites para ella, siendo los más conocidos en este medio los de C.S. Scofield (6) y L.V. Wilcox (7), del Laboratorio de Salinidad de Riverside (1) con la

modificación de D.W. Thorne y H.B. Peterson (8) y las variantes introducidas por N. Nijensohn (5). En el Water Quality Criteria (9) se pueden encontrar algunos otros.

De acuerdo a la clasificación de Riverside y a las modificaciones de D.W. Thorne y H.B. Peterson se consideran 6 clases de salinidad para el agua destinada al riego, y a cada clase le corresponden las limitaciones mencionadas en la tabla 4 (1).

También J.H. Durand (10), ha establecido límites para la salinidad del agua en función de la textura de los suelos y de la tolerancia específica de las plantas (tabla 5). Estos límites, establecidos para valores de la conductividad específica del extracto de saturación del suelo (CE_e), también están relacionados con la conductividad específica del agua para riego. La tabla, que permite apreciar la variabilidad de los límites para la salinidad del agua en relación con los suelos, justifica la imposibilidad de establecer valores fijos, además de proporcionar un elemento útil para planificar racionalmente el uso del agua.

2. PELIGROSIDAD SODICA

La peligrosidad sódica, es decir el efecto desfavorable que produce el sodio contenido en el agua para riego, ha sido evaluada principalmente por medio del porcentaje de sodio soluble (PSS) y la relación de adsorción de sodio (RAS), cuyas expresiones son respectivamente:

$$PSS = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100 \text{ en me/l}$$

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (\text{en me/l.})$$

El PSS ha sido utilizado años atrás por L.V. Wilcox para describir el efecto del sodio (7) mientras que en la actualidad se usa preferentemente

TABLA 4

CLASES DE CONDUCTIVIDAD DEL AGUA PARA RIEGO

- C1 (hasta 250 micromhos): Puede usarse para la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos, sin que sea probable que se desarrollen condiciones de salinidad que puedan afectar los rendimientos normales. Salvo en los casos de suelos muy poco permeables, donde se requerirá una cierta práctica de lixiviación, la técnica rutinaria de riego man tiene la salinidad en niveles muy bajos.
- C2 (250-750 micromhos): Puede usarse para riego de todos los cultivos, salvo los extremadamente sensibles a la salinidad, cuando éstos se ha llan en suelos de alta a mediana permeabilidad. Con suelos de baja permeabilidad deberá ocasionalmente, efectuarse algún lavado. Es conveniente la elección de cultivos de moderada tolerancia a la salinidad. En condiciones normales, la técnica común de riego es suficiente para la lixiviación requerida.
- C3 (750-2.250 micromhos): Debe ser usada únicamente en suelos de moderada a buena permeabilidad. Para prevenir acumulaciones salinas peligrosas es necesario aplicar regularmente lavados. Deben elegirse cultivos de moderada a buena tolerancia a la salinidad.
- C4 (2.250 a 4.000 micromhos): Solamente debe ser usada en suelos de bue na permeabilidad, y donde pueda lixivarse regularmente para impedir la acumulación salina. Únicamente deben ser regados con estas aguas cultivos con buena tolerancia a la salinidad.
- C5 (4.000 a 6.000 micromhos): Generalmente estas aguas son inapropiadas para el riego. Podrían usarse sólo en suelos muy permeables y con cul tivos de alta resistencia a la salinidad.
- C6 (más de 6.000 micromhos): No debe usarse para riego.

TABLA 5

LÍMITE DE LA CONDUCTIVIDAD DEL AGUA PARA RIEGO EN FUNCIÓN DE LA TOLERANCIA DE LOS CULTIVOS Y DE LA TEXTURA DE LOS SUELOS

Textura	I			II			III		
	Plantas poco tolerantes a la salinidad CE _e menos de 4.000 micromhos/cm a 25° C			Plantas semitolerantes a la salinidad CE _e de 4.000-10.000 micromhos/cm a 25° C			Plantas tolerantes a la salinidad CE _e más de 10.000 micromhos/cm a 25° C		
	CE _e menos de 4.000 micromhos/cm a 25° C	CE _e de 4.000-10.000 micromhos/cm a 25° C	Plantas tolerantes a la salinidad	Plantas semitolerantes a la salinidad	Plantas tolerantes a la salinidad	Palmeras	Hortalizas	Forrajes	Cultivos Extensivos
	Límite superior de la conductividad específica del agua para riego (micromhos/cm a 25°C)								
Arenosa	2.500	6.500	15.500-20.000	8.000	12.000	10.000			
Limo-arenosa	1.600	4.000	6.000-10.000	4.500	7.000	6.000			
Limosa	1.000	3.000	8.000	3.500	5.000	4.500			
Arcillosa (irrigación continua)	800	2.000	-----	-----	-----	-----			
Limo-arcillosa	800	2.000	6.000	2.400	-----	3.500			
Arcillosa (irrigación normal)	400	1.000	3.000	1.800	1.800	1.600			

CE_e = Conductividad específica del extracto de saturación del suelo

TABLA 6

CLASES DE PELIGROSIDAD SÓDICA DEL AGUA PARA RIEGO

- S1 (Peligrosidad Sódica Baja): Desde un RAS de 10 hasta un RAS de 2, para clases de peligrosidad salina de C1 a C5 respectivamente. Puede usarse en casi todos los suelos sin peligro que el nivel de sodio intercambiable suba demasiado. Sin embargo, plantas muy sensibles al sodio, como frutales de carozos y avocados, pueden llegar a acumular cantidades nocivas de este catión.
- S2 (Peligrosidad Sódica Mediana): Desde RAS 10-18 hasta RAS 2-6, según las clases de peligrosidad salina. En suelos de textura fina y especialmente en condiciones de drenaje restringido, presentan un apreciable peligro de sodificación. La presencia de yeso en el suelo atenúa su peligrosidad. Puede usarse esta agua en suelos de textura gruesa y en suelos orgánicos de buena permeabilidad.
- S3 (Peligrosidad Sódica Alta): Desde RAS 18 a 26 hasta RAS 6 a 10, según las clases de peligrosidad salina. Puede provocar niveles dañinos de sodio intercambiable en casi todos los suelos, los que requerirán un manejo especial: buen drenaje, alta lixiviación y agregados de materia orgánica. Suelos yesosos pueden no sodificarse excesivamente con estas aguas. A veces se hace necesaria la aplicación de correctores, como el yeso, para reemplazar el sodio intercambiable. Esto último ya no es práctico cuando las aguas son de elevada salinidad.
- S4 (Peligrosidad Sódica Muy Alta): Desde RAS 26 ó RAS 10, según las clases de peligrosidad salina. Estas aguas son en general inadecuadas para riego, salvo el caso de aquéllas que por su baja salinidad permiten que la solubilidad del calcio del suelo (del carbonato o yeso) o del yeso agregado impidan la excesiva sodificación.

al RAS (1). Se ha establecido experimentalmente que el PSS no debe exceder del 50-60% en las aguas utilizadas para riego. El Laboratorio de Salinidad de Riverside ha agrupado a los valores del RAS (5), en cuatro clases, corrigiéndoles las limitaciones de la tabla 6.

El RAS está vinculado con el PSI de la solución del suelo mediante la siguiente ecuación empírica (1):

$$\text{PSI} = \frac{100(-0.0126 + 0.1475 \text{ RAS})}{1 + (-0.0126 + 0.1475 \text{ RAS})}$$

Para que esta relación sea válida es necesario que el agua para riego esté en equilibrio con la solución del suelo. Como la solución es en general más concentrada, la relación no siempre se ajusta a las condiciones de campo y, por lo tanto, no es real una equivalencia directa entre el PSI y el RAS.

De todos modos, esta ecuación permite, en base al contenido de sodio del agua, utilizar los valores del PSI dados en la tabla 2.

La permeabilidad de los suelos regados de acuerdo a L.D. Donnen (11), depende además de la salinidad total del agua y del contenido de sodio, de la cantidad de bicarbonatos. Por ello este autor propone otro parámetro empírico denominado Índice de Permeabilidad, cuya expresión es la siguiente:

$$\text{IP} = \frac{\text{Na}^+ + \sqrt{\text{HCO}_3^-}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+} \times 100 \quad (\text{en me/l})$$

A pesar de que este índice agrupa a gran parte de los elementos químicos que afectan la permeabilidad de los suelos y en particular al sodio, no es posible aplicarlo aún en nuestro medio, por falta de las experiencias necesarias para determinar sus ventajas o inconvenientes respecto al PSS o al RAS.

3. CARBONATO DE SODIO RESIDUAL

Quando las aguas utilizadas para la irrigación contienen elevadas

cantidades de iones bicarbonato (HCO_3) existe en los suelos la tendencia de precipitar como carbonato de calcio (CO_3Ca): F.M. Eaton (12), le atribuye a estos bicarbonatos efectos negativos debido a que cuando ocurre esta precipitación, disminuye la cantidad de calcio y aumenta la de sodio y por consiguiente los valores del RAS y del porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

Para evaluar estos efectos, Eaton ha propuesto el factor denominado Carbonato de Sodio Residual, cuya expresión es la siguiente:

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

expresando la concentración de los iones en me/l.

En la tabla 7 figuran los límites para el CSR.

TABLA 7

LIMITES PARA EL CARBONATO DE SODIO RESIDUAL EN AGUAS PARA RIEGO

VALOR DEL CSR me/l	CALIDAD DEL AGUA
Menos de 1.25	buena
1.25 - 2.50	marginal
Más de 2.50	inadecuada

Debe tenerse en cuenta que como la precipitación de CaCO_3 en los suelos está regulada por procesos complejos, tal como la composición química del agua, técnicas de riego, suelos y clima, los mismos no son valores fijos.

4. ELEMENTOS MENORES. BORO

Dentro de los elementos menores se incluye generalmente a aquellos denominados fitotóxicos, como el boro y el litio. En cuanto a este último no existe aún la suficiente cantidad de datos como para poder predecir su influencia en algunas áreas estudiadas por el P.A.S.

En general las concentraciones de boro contenidas en el agua son bajas y sólo aquellas asociadas a ciertos ambientes geológicos pueden tener concentraciones de importancia, superiores a los 5-10 mg/l. Esto se debe a que los compuestos del boro tienen en su mayoría una solubilidad tal, que permite que se disuelvan en el agua en cantidades que en muchos casos resultan perjudiciales a ciertos cultivos.

Para la mayoría de los casos y de acuerdo a distintos autores, es conocido que el boro debe encontrarse en las aguas para riego utilizadas continuamente en concentraciones inferiores a los 0.5 mg/l (9), dependiendo esta cantidad de la tolerancia de las plantas.

De acuerdo a la tabla 8, C.S. Scoffield (6) propuso para el agua los siguientes límites según el contenido de boro, mientras que Eaton determinó la diferente tolerancia de algunos cultivos a este elemento (tabla 3).

TABLA 8

LIMITES PARA EL BORO EN EL AGUA PARA RIEGO

Clase por boro	Cultivos sensibles mg/l	Cultivos semitolerantes mg/l	Cultivos tolerantes mg/l
1	menos de 0.33	menos de 0.67	menos de 1.00
2	0.33 a 0.67	0.67 a 1.33	1.00 a 2.00
3	0.67 a 1.00	1.33 a 2.00	2.00 a 3.00
4	1.00 a 1.25	2.00 a 2.50	3.00 a 3.75
5	más de 1.25	más de 2.50	más de 3.75

I. SISTEMAS DE CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO

Ya desde el año 1931 se han propuesto diversas clasificaciones para definir la calidad del agua para riego, aunque ninguna ha sido hasta ahora aceptada universalmente. En general las clasificaciones propuestas son establecidas según experiencias regionales de los Estados Unidos, lo que hace que sea

aplicables más en una región que en otra. La principal razón de esto se debe a que los sistemas incluyen en su mayoría sólo parte de todos los factores que deben tenerse en cuenta para determinar la aptitud de un agua, y por ello no siempre se adecúan a todas las condiciones encontradas.

En su casi totalidad las distintas clasificaciones se basan principalmente en los parámetros químicos del agua y no agrupan entre otras características importantes a las técnicas de riego, el clima y los suelos, que son como se ha visto, las que hacen variar en un mayor grado a los límites establecidos para algunos elementos químicos.

En 1943, L.V. Wilcox y O.C. Magistad (13) proponen en California, Estados Unidos, un sistema basado en tres clases, tal como figura en la tabla 9.

TABLA 9

CLASIFICACION CUALITATIVA PARA AGUAS PARA IRRIGACION

(Wilcox, L.V. y Magistad, O.C.)

PARAMETROS QUIMICOS	CLASE I	CLASE II	CLASE III
	Excelente a buena	Buena a regular	Regular a mala
K.10 ⁵ a 25° C	menos que 100	100 - 300	más que 300
Boro (ppm)	menos que 0.5	0.5 - 2.0	más que 2.0
Sodio (PSS)	menos que 60	60 - 75	más que 75
Cloruro (me/l)	menos que 5	5 - 10	más que 10

En 1948, L.V. Wilcox (7) propone una nueva clasificación basada en el porcentaje de sodio soluble, y mediante un gráfico en función de la conductividad específica del agua, determina cinco clases.

El U.S. Regional Salinity Laboratory publica en 1954 en *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils* (1) un sistema establecido en base a la relación de adsorción de sodio y a la salinidad del agua. De acuerdo a un gráfico en donde intervienen estos dos parámetros (ver gráfico 1), surgen 16 clases de agua. Esta clasificación que ha tenido una gran aceptación tampoco es la más conveniente considerada en forma individual.

Según la diferente solubilidad de las sales del agua y de acuerdo a las reacciones que ocurren en la solución del suelo, L.D. Donnen (15) define la Salinidad Potencial (SP) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$SP = Cl^{-} + \frac{1}{2} SO_4^{2-} \quad (\text{en me/l.})$$

Esta expresión incluye a la totalidad de los cloruros y a la mitad de los sulfatos, debido a que las sales formadas por iones cloruros son mucho más solubles que las formadas por sulfatos y por lo tanto éstas, contribuyen en una menor medida a la salinidad remanente de la solución del suelo. Los límites para la salinidad potencial están dados en la tabla 10 y dan otra posibilidad de clasificar a un agua para riego.

TABLA 10

CLASIFICACION PROVISORIA PARA LA SALINIDAD POTENCIAL DE AGUAS PARA IRRIGACION

CONDICIONES	C L A S E S		
	1 (me/l)	2 (me/l)	3 (me/l)
A. Debe esperarse una escasa lixiviación de los suelos debido a una baja relación de percolación.	3	3-5	5 +
B. Alguna lixiviación pero restringida. Percolación profunda o drenaje lento.	5	5-10	10 +
C. Suelos francos. Fácil percolación profunda del agua.	7	7-15	15 +

Posteriormente, este mismo autor (11) propone el denominado Índice de Permeabilidad (IP) y clasifica en cinco clases a las aguas según la concentración iónica total (en me/l) y la permeabilidad de los suelos. Este sistema incluye además de los factores químicos a las características de los suelos según diferentes texturas.

En 1967, R.D. Flannery (16) propone al Plan Agua Subterránea una clasificación en cinco clases (tabla 11) en el que intervienen las siguientes características químicas del agua:

- a. La concentración total de sales solubles expresada en términos de la conductividad específica, en micromhos/cm a 25° C (CE).
- b. La proporción de sodio en relación al total de cationes, en términos de la relación de adsorción de sodio (RAS).
- c. La concentración de boro, en partes por millón (ppm) o lo que es prácticamente igual en mg/l.
- d. La concentración de bicarbonatos, expresada como carbonato de sodio residual (CSR), en me/l.

La relación entre la salinidad y la peligrosidad sódica se deduce siguiendo el criterio del U.S. Regional Salinity Laboratory mediante el uso del gráfico 1, y la clase $C_i - S_i$ que resulta es combinada con los otros parámetros en la forma indicada en la tabla 11. La clase definitiva se obtiene teniendo en cuenta que esta clasificación establece que la peor de las características determina la calidad del agua. Automáticamente el peor factor hace descender la calidad del agua a la clase inferior.

Además este autor ha establecido que las limitaciones de cada clase son las dadas en la tabla 12.

Según experimentaciones realizadas con numerosos análisis químicos de muestras de agua subterránea tomadas de diferentes ambientes geológicos, se ha preferido adoptar la clasificación propuesta por R.D. Flannery, aunque ha sido modificada para adaptarla a las condiciones regionales de las áreas estudiadas por el P.A.S.

TABLA 11

CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO (FLANNERY, R.D.)

Clase	Descripción	Peligrosidad salina y sódica (álcali) C _i -S _i	Contenido de boro (ppm)	Carbonato de so- dio residual (me/l)
I	Excelente	C1-S1	menos de 1,00	menos de 0,63
II	Buena	C1-S2, C2-S1, C2-S2	1,00 - 2,00	0,63 - 1,23
III	Regular	C1-S3, C2-S3, C3-S1, C3-S2, C3-S3	2,00 - 3,00	1,23 - 1,88
IV	Mala	C1-S4, C2-S4, C3-S4, C4-S1, C4-S2, C4-S3, C4-S4	3,00 - 3,75	1,88 - 2,50
V	Inútil	SAR más de 30. Con- ductividad eléctrica más de 5.000 micro- mhos/cm ó 3.200 ppm.	más de 3,75	más de 2,50

TABLA 12

CARACTERISTICAS DE LAS CLASES DE AGUA PARA RIEGO

(Flannery, R.D.)

Clase I - EXCELENTE: El agua no tiene limitaciones en su uso para la casi totalidad de las plantas en la mayoría de los suelos. Pocas probabilidades de desarrollo de sales tóxicas, niveles de álcalis o boro en los suelos.

Clase II - BUENA: Agua con pocas limitaciones en su uso. Pueden cultivarse plantas con mederada tolerancia a las sales y al boro. En suelos poco permeables pueden desarrollarse niveles peligrosos de álcalis a menos que existan fuentes de calcio soluble en sus perfiles.

Clase III - REGULAR: Agua con mayores limitaciones en su uso. Sólo pueden cultivarse plantas con tolerancias elevadas a las sales y al boro. Deben practicarse frecuentes técnicas de controles especiales de sales y álcalis, tales como lixiviación, adición de mejoradores o materia orgánica. Un primer requerimiento en todas aquellas áreas en donde se usa esta clase de agua es un drenaje adecuado.

Clase IV - MALA: Aguas con severas limitaciones para su uso. Pueden usarse eventualmente y sólo bajo circunstancias especiales, tal como sería con cultivos de plantas muy tolerantes a las sales, en suelos muy permeables con un drenaje adecuado, y con una aplicación de un exceso de agua para proveer una lixiviación considerable. El desarrollo de un peligro sódico puede esperarse cuando esta agua es usada para proveer una considerable lixiviación. El desarrollo de una peligrosidad alcalina puede producirse con el uso de esta agua excepto en el caso de condiciones medias o bajas de salinidad (C_1 y C_2) donde la adición de mejoradores puede ser de gran ayuda para prevenir estos efectos peligrosos.

Clase V - INUTIL: El agua es inútil para propósitos de riego bajo cualquier circunstancia o condiciones.



Cabe mencionar que la clasificación de L.D. Donnen que se utiliza dice de permeabilidad en base a la textura de los suelos, no ha podido ser analizada en detalle por carecer de mayores datos de las condiciones de los suelos en las diferentes zonas investigadas, lo que hace imposible por ahora opinar sobre sus ventajas.

J. SISTEMA DE CLASIFICACION PROPUESTO

Una de las principales ventajas del sistema de clasificación de R.D. Flannery es el de agrupar en clases de agua a los parámetros químicos más importantes necesarios para definir su aptitud. Esto permite hacer estudios de interpretación de áreas extensas mediante su aplicación a mapas de calidad.

A través la clasificación de unos 1500 análisis ejecutados por el laboratorio químico del P.A.S. surgió la necesidad de introducir algunas modificaciones a este sistema. Algunos de los principales inconvenientes encontrados pueden puntualizarse como sigue:

1. La concentración de boro ha sido establecida para el grupo de plantas denominadas tolerantes y dentro de la cual se consideran especies no muy abundantes en las áreas investigadas. En ellas la agricultura está integrada primariamente por especies sensibles o semitolerantes al boro, tal como el caso de la vid cuya tolerancia máxima es aceptada actualmente en 1 mg/l.

En algunas zonas, en donde las concentraciones de boro son más altas que las normales, como en los Valles Fértil y Bermejo de la provincia de San Juan, la aptitud del agua bajo este aspecto, varía fundamentalmente según los diferentes cultivos a la que se aplique.

2. El efecto del sodio sobre los suelos ha sido establecido en función únicamente del RAS. Para algunas aguas se ha determinado que a pesar de tener un valor por debajo de los límites señalados como perjudiciales, tienen un porcentaje de sodio soluble (PSS) superior al 80%, el que en general es considerado como perjudicial. La experiencia en estas zonas señala que efectivamente existen suelos sódicos o salino-sódicos producidos por el uso de estas aguas.

3. Para algunos tipos es posible que esta clasificación en cinco clases sea demasiado estricta, pues clasifica en clases más desfavorables a aguas utilizadas por largo tiempo sin inconvenientes. Tal es el caso que ocurriría con aguas de la provincia de Mendoza.

4. Los tenores de cloruros y sulfatos no son tenidos en cuenta, aún cuando tienen una importancia considerable tanto por sus efectos directos como indirectos.

En base a estas observaciones a la clasificación de R.D. Flannery y a la experiencia regional obtenida hasta el momento, se ha propuesto una modificación de tal forma que incluya al tenor de boro en relación con la diferente tolerancia de las plantas. En cuanto a los límites se mantendrán los clásicos hasta tanto se logren más datos de estas zonas de cultivo.

Para introducir modificaciones al sistema según los efectos del sodio, será necesario realizar mayores experiencias locales para determinar cual o cuales de los parámetros ya definidos (PSS, RAS o IP) son los más adecuados para reflejar la acción de este elemento. Igual criterio se seguirá para decidir entre un sistema con tres o cinco clases, aunque tal vez deba usarse uno distinto de acuerdo a las aguas típicas que se encuentren en cada lugar.

De todos modos y teniendo en cuenta los fines prácticos que persiguen los trabajos hidrogeológicos del P.A.S., la clasificación que se propone se ajusta bastante a las condiciones reales, tal como lo ha demostrado la experiencia de cinco años de labor.

La clasificación y las limitaciones para cada clase están dadas en las tablas 13 y 14 respectivamente.

Hay que tener presente que esta clasificación como en general todas, son establecidas para condiciones medias en la textura del suelo, velocidad de infiltración, drenaje, clima y tipos de cultivos entre otras. El sistema establece que la peor característica define la calidad del agua, mientras que para el boro hay que tener en cuenta el tipo de cultivo al que se aplique el agua.

TABLA 13

CLASIFICACION PROPUESTA PARA EL AGUA PARA RIEGO

(Flannery, R.D. modificada por Lohn, P.)

Clase	Aptitud	Peligrosidad salina Peligrosidad sódica C _i - S _i	Carbonato de sodio residual (CSR) (me/l)	Boro (mg/l)		
				PLANTAS		
				Sensibles S	Semitolerantes ST	Tolerantes T
I	Excelente	C1-S1	menos de 0,63	menos de 0,33	menos de 0,67	menos de 1,00
II	Buena	C1-S2, C2-S1, C2-S2	0,63 - 1,25	0,33 a 0,67	0,67 a 1,33	1,00 a 2,00
III	Buena a regular	C1-S3, C2-S3, C3-S1, C3-S2, C3-S3	1,25 - 1,88	0,67 a 1,00	1,33 a 2,00	2,00 a 3,00
IV	Regular a mala	C1-S4, C2-S4, C3-S4, C4-S1, C4-S2, C4-S3, C4-S4	1,88 - 2,50	1,00 a 1,25	2,00 a 2,50	3,00 a 3,75
V	Inútil	CE más de 5.000 mi-cromhos/cm RAS más de 30 SD más de 3.650 mg/l	más de 2,50	más de 1,25	más de 2,50	más de 3,75

SD = sólidos disueltos calculados en base a su relación con la conductividad específica.

TABLA 14

LIMITACIONES EN EL USO DE LAS AGUAS PARA RIEGO SEGUN CLASES DE CALIDAD

Clase I - EXCELENTE: El agua puede aplicarse a la mayoría de los cultivos y suelos sin que existan posibilidades de que se desarrollen condiciones de salinidad ni de que se aumente el nivel de sodio intercambiable. En suelos de muy poca permeabilidad será necesario provocar cierta lixiviación para mantener bajo a los niveles salinos. En general no se producirán inconvenientes con el boro, lo que dependerá del tipo de plantas que se cultiven. El carbonato de sodio residual no es perjudicial.

Clase II - BUENA: El agua puede aplicarse en general a todos los cultivos con excepción de los muy sensibles a la salinidad. En suelos poco permeables deberá efectuarse algún lavado. Con drenaje restringido y en suelos de textura fina puede producirse alguna sodificación, la aplicación de mejoradores en el suelo disminuirá este peligro. Estos inconvenientes no se presentarán en suelos de textura gruesa y suelos orgánicos con buena permeabilidad. El efecto del boro estará en función de la tolerancia de los cultivos. La cantidad de bicarbonatos es tal que en condiciones adecuadas no producirá un aumento de los niveles sódicos.

Clase III - BUENA A REGULAR: El agua es aplicable a cultivos con moderada a buena tolerancia a las sales. Para prevenir acumulaciones salinas es necesario realizar lavados periódicos y el agua de esta clase no deberá utilizarse en suelos poco permeables.

De acuerdo a las concentraciones de sodio podrán aumentar los valores del sodio intercambiable en casi todos los suelos, siendo a veces necesario aplicar correctores para reemplazar al mismo. Los suelos deberán tener un buen drenaje y ser manejados adecuadamente.

Los cultivos deben adecuarse a las concentraciones de boro, pudiendo producirse algunos inconvenientes con plantas sensibles.

Las cantidades de bicarbonatos pueden en algunos casos aumentar la cantidad relativa de sodio.

Clase IV - REGULAR A MALA: El agua debe usarse en suelos de muy buena permeabilidad y en donde se puedan practicar regularmente técnicas de lixiviación a fin de evitar acumulaciones salinas. Los cultivos deberán ser en general muy tolerantes a las sales.

Deben esperarse altos niveles sódicos salvo en el caso particular de suelos con un contenido importante de calcio, o donde sean empleados correctores adecuados.

Deberá tenerse presente el contenido de boro a fin de evitar intoxicaciones de las plantas.

Generalmente el carbonato de sodio residual es alto y ello resultará perjudicial debido a que producirá un aumento del sodio.

Clase V - INUTIL: El agua es en general inapropiada para el riego. Para casos excepcionales de suelos extremadamente permeables y con cultivos muy resistentes a las sales puede aplicarse mediante técnicas especiales de riego. El boro y el carbonato de sodio residual son en general perjudiciales en condiciones normales.

La utilidad de esta clase de agua dependerá de varios factores independientes de sus características químicas.

K. EJEMPLO DE APLICACION

Para que se vean claramente los inconvenientes que existen para clasificar un agua por su contenido de boro mediante el sistema de R.D. Flannery, y poder apreciar la diferencia con el sistema propuesto, se darán algunos ejemplos.

Un agua con una conductividad específica de 220 micromhos/cm a 25° C, un RAS de 6 y un contenido de boro de 0,80 mg/l, sería de clase I según la clasificación de Flannery (tabla 11), mientras que por el sistema propuesto (gráfico 1) sería clase III para las plantas sensibles, II para las semitolerantes y I sólo para las tolerantes al boro, aún cuando por su contenido salino y sódico, sea aplicable a los tres tipos de plantas. Es decir que por es

te sistema el agua quedaría clasificada como sigue:

Clase I, $C_1 - S_1$ (T)

Clase II, $C_1 - S_1$ (ST)

Clase III, $C_1 - S_1$ (S)

indicando las letras entre paréntesis la diferente tolerancia de los cultivos al boro: T = tolerantes, ST = semitolerantes y S = sensibles.

En el caso de que la peor característica no fuera el carbonato de sodio residual ni el boro, y el agua fuese aplicable a cualquier tipo de plantas según el tenor de este elemento, no se agregará ninguna letra a la clase determinada, por ejemplo II $C_2 S_2$. Por lo tanto esta clase significa que la peor característica ha sido la conductividad y el RAS.

Una tercera posibilidad sería por ejemplo, un agua de clase: III $C_2 S_1$, que indicaría mediante los sub-índices de la combinación $C_i - S_i$ que la conductividad y el RAS son de clase II, como además no se agrega ninguna letra respecto a la tolerancia de las plantas al boro, su concentración tampoco será la determinante de la clase, lo que significa en definitiva que el valor del CSR es el que hace pasar la clase II a III.

PL/esv

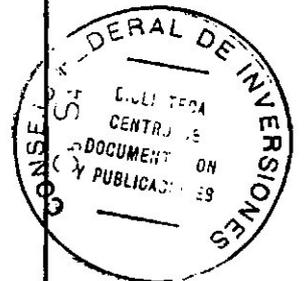
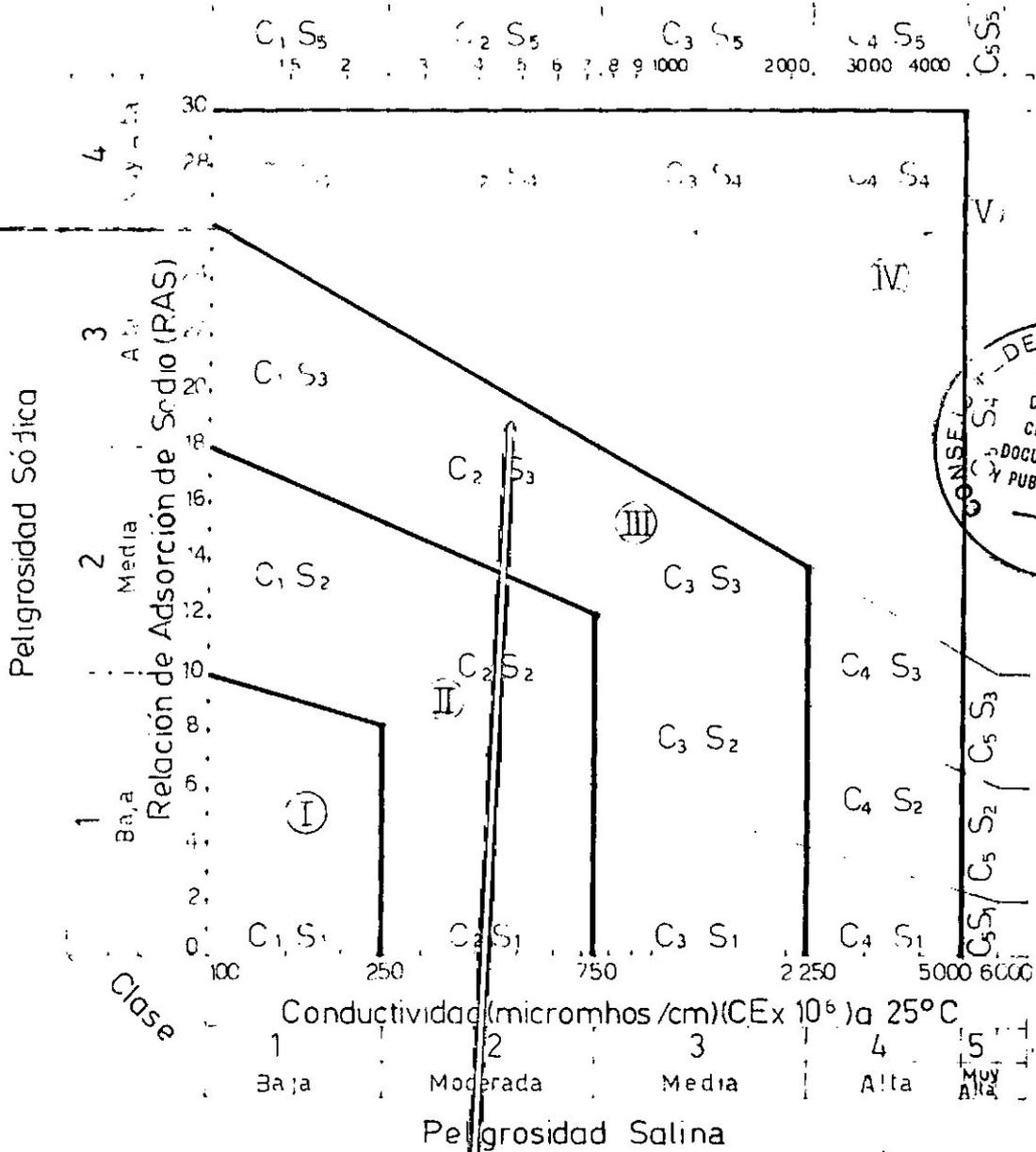
BIBLIOGRAFIA

- 1) UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, SALINITY LABORATORY STAFF -Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agricultural Hand Book N° 60 (1954).
- 2) PEARSON, G.A. -U.S. Department of Agriculture Informative Bull. 216 (1960).
- 3) EATON, F.M. -U.S. Department of Agriculture. Tech. Bull. 448 (1935).
- 4) WILCOX, L.V. -U.S. Department of Agriculture. Tech. Bull. 211 (1960).
- 5) NIJENSOHN, N. -Riego y Drenaje. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). República Argentina (1967).
- 6) SCOFFIELD, C.S. -The Salinity of Irrigation Waters. Smithsonian Report, 275 (1935).
- 7) WILCOX, L.V. -Quality of Waters for Irrigation Use. U.S. Department of Agriculture. Tech. Bull. 1962 (1948).
- 8) THORNE, D.W. and PETERSON, H.B. -Irrigated Soils, their Fertility and Management. 2nd. Edit. Blakiston Co. New York (1954).
- 9) WOLF and Mc KEE -Water Quality Criteria. The Resources Agency of California. State Water Quality Control Board Sacramento, California Publication N° 3.a (1963).
- 10) DURAND, J. H. -La Qualité de l'eau d'Irrigation. Sols Africains, IV (3).

- 11) DONNEN, L.D. -Water Quality Requirements for Agriculture. The National Symposium on Quality Standards for Natural Waters. School of Public Health, University of Michigan, Ann. Arbor (1966).
- 12) EATON, F.M. -Significance of Carbonates in Irrigation Waters. Soil Science 69, 123. Water Pollution Abs. (1950).
- 13) WILCOX, L.V. and MAGISTAD, O.C. -Interpretation of Analyses of Irrigation Waters and the Relative Tolerance of Crop Plants. U.S. Regional Salinity Laboratory (1943).
- 14) LOHN, P. -Relación entre el Contenido Salino y la Conductividad Específica del Agua Subterránea del Valle de Tulum. Provincia de San Juan. República Argentina. Informe SJ-I-E-2. Inédito. Plan Agua Subterránea (1969).
- 15) DONNEN, L.D. -The Influence of Crop and Soil and Percolating Waters. Proceeding 1961 Biennial Conference on Ground Water Recharge (1962)
- 16) FLANNERY, R.D. -A Suggested System of Classifying Irrigation Water for Quality Purposes Based on Four Criteria. Memorandum R-1, Plan Agua Subterránea San Juan, R. Argentina (1967).
- 17) ALLISON, L.E. -Advances in Agronomy. The University of Michigan, Ann. Arbor. Vol. 16 (1964).

Diagrama del Laboratorio de Salinidad de Riverside modificado por Thorne y Peterson

Referencia Manual de agricultura N° 50 Dpto. de Agricultura de E E U U.



Clasificación de R. Flannery (1967), modificada por P. Lohn (1969)

Clase	Aptitud	Peligrosidad salina - Peligrosidad sódica C _i - S _j	C S R (me/l)	Boro (mg/l)		
				S	ST	T
I	Excelente	C ₁ -S ₁	menos de 0.63	menos de 0.33	menos de 0.67	menos de 1.00
II	Buena	C ₁ -S ₂ , C ₂ -S ₁ , C ₂ -S ₂	0.63 - 1.25	0.33 - 0.67	0.67 - 1.33	1.00 - 2.00
III	Buena a regular	C ₁ -S ₃ , C ₂ -S ₃ , C ₃ -S ₁ , C ₃ -S ₂ , C ₃ -S ₃	1.25 - 1.88	0.67 - 1.00	1.33 - 2.00	2.00 - 3.00
IV	Regular a mala	C ₁ -S ₄ , C ₂ -S ₄ , C ₃ -S ₄ , C ₄ -S ₁ , C ₄ -S ₂ , C ₄ -S ₃ , C ₄ -S ₄	1.88 - 2.50	1.00 - 1.25	2.00 - 2.50	3.00 - 3.75
V	Inutil	CE > 5000 micromhos/cm RAS > 30 S.D. > 3.650 mg/l.	más de 2.50	más de 1.25	más de 2.50	más de 3.75

La característica más desfavorable determina a la clase para tener en cuenta los límites de concentración para el boro y que considerará la tolerancia de las plantas.

Límites sugeridos para clasificar un agua para riego.

C = Clase de conductividad (CE)
 S_i = Clase de adsorción de sodio (RAS)
 CE = Conductividad Específica
 SD = Sólidos Disueltos
 RAS = Relación de Adsorción de Sodio
 CSR = Carbonato de Sodio Residual
 Sensibilidad de las plantas al Boro
 S = Sensibles
 ST = Semitolerantes
 T = Tolerantes

CFI UNDP
PLAN AGUA SUBTERRANEA
 Provincia de San Juan - República Argentina
SISTEMA PROPUESTO PARA LA CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO
 Fecha: Agosto 1969 Gráfico: 1