

CLASIFICACION Y USO DE LAS AGUAS DE RIEGO

Ing. Javier Sánchez V.
FERTITEC S.A.

I. INTRODUCCION

El agua es un elemento esencial para el desarrollo agrícola sostenible; su aprovechamiento, utilización y conservación racionales constituyen elementos en cualquier estrategia de desarrollo. Según FAO (1992), el índice medio de expansión del riego fue del uno por ciento al año a principios de cada década de los sesenta alcanzando un máximo de 2.3 por ciento desde 1972 a 1975. Desde entonces, el índice de expansión se ha reducido y actualmente es inferior al uno por ciento anual.

El suelo por otra parte, es un factor que debe ser tomado en cuenta en segunda instancia en todo programa de riego especialmente en cuanto a sus características físico-químicas iniciales. El clima, igualmente afecta el uso y manejo del agua de riego debido principalmente a la temperatura, precipitación, evaporación, etc. El cultivo, como objetivo final de toda actividad agrícola deberá estar en función directa de los tres factores antes mencionados, básicamente enfocados desde el punto de vista de la tolerancia relativa a la salinidad y sequía.

Finalmente las prácticas de riego y drenaje así como las prácticas culturales en general, son las que están más directamente controladas por el hombre, deberán estar orientadas, al manejo racional del agua, del suelo y del cultivo, teniendo como objetivo final la obtención de rendimientos económicamente rentables sin deterioro de los mismos.

II. FACTORES ECOLOGICOS

1. COMPOSICION QUIMICA DEL AGUA (Calidad)

La calidad de los constituyentes del agua de riego están relacionados al análisis y anticipo de cuatro problemas: salinidad, permeabilidad, toxicidad (por absorción radicular y foliar) y problemas misceláneos.

a) Salinidad

La salinidad es una medida de la cantidad de sales disueltas en el agua de riego. La conductividad eléctrica (CE) es una de las más usadas, en tanto que el total de sólidos disueltos (TDS) lo es en menor proporción.

La reducción del crecimiento de los cultivos por la salinidad es causado por el potencial osmótico (PO) ya que reduce la capacidad de las raíces de las plantas a extraer agua del suelo. La disponibilidad del agua en el suelo está relacionada a la suma del potencial métrico y potencial osmótico.

El daño por sales vía foliar puede ocurrir en el riego por aspersión, éste daño depende de la salinidad del agua, sensibilidad del cultivo, frecuencia de aspersión y de factores medioambientales (temperatura, humedad relativa, luz, etc).

Algunos factores de conversión son usados para las aguas basados sobre todo en el tipo y cantidad de sales:

- C.E. en dS/m x 640 = Total de Sólidos Disueltos (TSD) en ppm (mg/l)
- C.E. en dS/m x 0.36 = Presión Osmótica Total (P.O.) en KPa
- C.E. en dS/m x 10 = Concentración (C) $\sum$ Aniones = $\sum$ Cationes en meq/l.

NOTA : Estos factores correlacionan bien entre los rangos de 0.5 a 1.5 dS/m de salinidad

- **Componentes solubles del agua de riego**

1) Constituyentes Mayores (en función de su origen)

- a) Agua de Lluvia
 - Gases disueltos (N_2 , Ar, O_2 , CO_2)
- b) Agua Superficial
 - Mayores constituyentes (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-)
- c) Aguas Subterráneas
- d) Agua de Mar $\rightarrow Cl^- = 55\%$, $Na^+ = 30\%$,
 $SO_4^{2-} = 7\%$, $Mg^{2+} = 3.7\%$,
 $K^+ = 1.1\%$

2) Constituyentes Menores

Li, Rb, Co, Be, Sr, Ba, Ra, etc
 Se, Ar, Sb, Cu, Co, Ni, Zn, Ti, Zr, Vn, Cr, Mo.

3) Variaciones Estacionales.

b) Permeabilidad

Los problemas de permeabilidad pueden estar relacionados a dos factores en el análisis del agua de riego:

- **Baja salinidad (baja CE)**

Aguas puras no pueden penetrar en el suelo como las aguas contienen sales.

- **Alto sodio (alto RAS)**

Aguas con alto sodio (Alta Relación de Absorción de Sodio. RAS) usadas por el riego muchas veces resultan en problemas de permeabilidad en el suelo debido a los altos niveles de Na con respecto al nivel del Ca y Mg; el RAS es expresado y calculado como:

$$RAS = Na \div \sqrt{(Ca + Mg)} \div 2$$

El RAS es usado para estimar el problema de permeabilidad esperado en el suelo después de un período de uso del agua de riego de un RAS alto; éste es medido en el suelo por el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable). El PSI es un problema potencial, puede ser que se desarrolle o no. El PSI es calculado por la ecuación:

$$\text{PSI} = \frac{100 (0.0126 + 0.01475 \text{ RAS})}{A + (-0.0126 + 0.01475 \text{ RAS})}$$

El sodio es uno de los factores que influyen en la calidad de agua, por su efecto en el suelo y en la planta. Varios métodos han sido propuestos para expresar el peligro de sodio, siendo el porcentaje de sodio soluble el más usado y que es calculado por la fórmula:

$$\text{PSS} = \frac{[\text{Na}^+] \text{ meq/l}}{\sum \text{Cationes meq/l}} \times 100$$

Para aguas que tienen menos de 10 meq/l de sales totales el límite permisible es 80% y para aguas en mayor contenido de sales, 60% es considerado como peligroso.

LANGELIER (En: FAO, 1973) ha definido el índice de saturación como el pH actual del agua (pHa) menos el pH (obtenido por el cálculo) en el cual el agua tendrá cuando está en equilibrio con el CaCO_3 (pHc).

Para aguas de $\uparrow\text{CO}_3$ y sin CSR y usando el índice modificado de Langelier, la ecuación sería:

$$\text{ESP} = 2\text{SAR} + 2\text{SAR} (8.4 - \text{pHc})$$

En esta ecuación tentativa el término “(8.4 – pHc)” es análogo al índice Langelier excepto que 8.4, es el aproximado al pH leído de suelos no sódicos en equilibrio con CaCO_3 , es sustituido por el actual valor de pH (pHa).

c) Toxicidad

Los problemas de toxicidad están referidos a los constituyentes (iones) en el suelo o agua que pueden ser tomados y acumulados por las plantas hasta concentraciones altas, causando daño a los cultivos o baja en su rendimiento. El grado del daño depende de la asimilación y la sensibilidad del cultivo. Por ejemplo, árboles frutales u ornamentales leñosos generalmente son más sensitivos al cloro (Cl), sodio (Na) y Boro (B) que muchas plantas anuales.

El riego por aspersión por otro lado, en cultivos sensibles puede complicar aún más el problema de toxicidad por absorción de sodio y cloro a través de las hojas.

Cada ión constituyente del agua de riego, juega un papel importante y particular en el suelo y en la planta. Por tratarse de iones que causan

daños drásticos en las plantas, tocaremos en forma muy resumida el efecto específico de algunos iones.

- **Cloro (Cl).-** El cloro es movido por la corriente transpiratoria y acumulado en las hojas, cuando excede la tolerancia del cultivo, se produce daño en las hojas o secadote las mismas. Normalmente ocurre en las puntas de las hojas jóvenes y baja progresivamente. En casos extremos puede haber necrosis y caída de hojas. Toxicidad de cloro puede ocurrir por absorción directa durante el riego por aspersión.

Desde que el ión cloro, no tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo y no es absorbido sobre el complejo de cambio. Se considera que el agua puede ser dividida en cuatro grupos de acuerdo a su contenido de cloro.

C.E.w dS/m	$\bar{Cl}_w$ meq/l	TEXTURA DEL SUELO		
		ARENOSOS	FRANCOS	ARCILLOSOS
< 1.2	< 6	Cl ₁	Cl ₁	Cl ₁
1.2 – 1.5	6 - 7.5	Cl ₁	Cl ₁	Cl ₂
1.5 – 1.75	7.5 – 9.0	Cl ₁	Cl ₁	Cl ₃
1.75 - 2.25	20 – 15.0	Cl ₁	Cl ₂	Cl ₄

Cl₁ = No dañino; Cl₂ = bajo riesgo; Cl₃ = mediano riesgo;
Cl₄ = Peligroso.

- **Sodio (Na).-** Su toxicidad no es fácilmente diagnosticada como el cloro, pero se han reportado casos usando aguas con alta concentración de sodio (alto % Na o alto RAS).

Síntomas de toxicidad típicos como “chamuscado” y muerte de tejidos y, quemaduras fuera del borde de las hojas son encontrados (contrariamente al cloro). Es corregida si se aumenta suficientemente el calcio al suelo.

- **Boro (B).-** El Boro, a diferencia del Sodio, es un elemento esencial para el desarrollo de la planta y es necesario relativamente en cantidades mínimas; sin embargo, si está presente en apreciables cantidades que la necesaria, causa toxicidad. Los síntomas de toxicidad son normalmente mostrados en las hojas viejas como amarillamiento, parcelamiento o secado del tejidote las hojas, de las puntas y bordes hacia adentro.

d) Misceláneos

Otros problemas severos relacionados a la calidad del agua de riego ocurre con frecuencia como una situación especial. Esto incluye alta concentración de nitratos (N-NO₃) y amonio (N-NH₄⁺) que pueden causar problemas de un excesivo desarrollo vegetativo, detenimiento y retraso de la madurez.

En el riego por aspersión las aguas, usualmente son depositadas sobre frutos y hojas los que reciben las sales de bicarbonatos (HCO₃⁻), yeso (CaSO₄) o hierro (Fe). Otros problemas están asociados con un pH normal.

Sustancias orgánicas suspendidas como también sedimentos inorgánicos causan problemas en el sistema de riego, a través de atoros en la entrada, cabezal de aspersores y en goteros. Ellos pueden causar daño a la bomba misma si ésta no tiene un filtro para excluirlos.

2. **CULTIVOS**

Cualquier organismo es el resultado de la interacción de su dotación genética innata y del medio ambiente en el que existe la intervención de la técnica agronómica para cambiar los procesos naturales. Bajo estas circunstancias, el mantenimiento de una producción creciente de alimentos puede enfocarse bajo sus estrategias.

- a) Mejorar biológica conducente a seleccionar variedades de plantas con mayor tolerancia a la salinidad y a la sequía.
- b) Mejorar tecnológicamente conducente a:
 - Un control de la salinidad de los suelos irrigados en función de la tolerancia de los cultivos.
 - Empleo de sistemas de riego de alta frecuencia que permitan una mejor distribución y acumulación de sales en el suelo sin deterioro de los rendimientos.
 - Prácticas de cultivos que maximicen la eficiencia de utilización de agua en agricultura de secano.

La evaluación de las aguas muchas veces esta basada sobre la tolerancia de un cultivo en partículas a la concentración total de sales o de un ión específico.

Al respecto, Mass (1986) sostiene que la tolerancia de las plantas a la salinidad es apreciada por uno de estos tres factores:

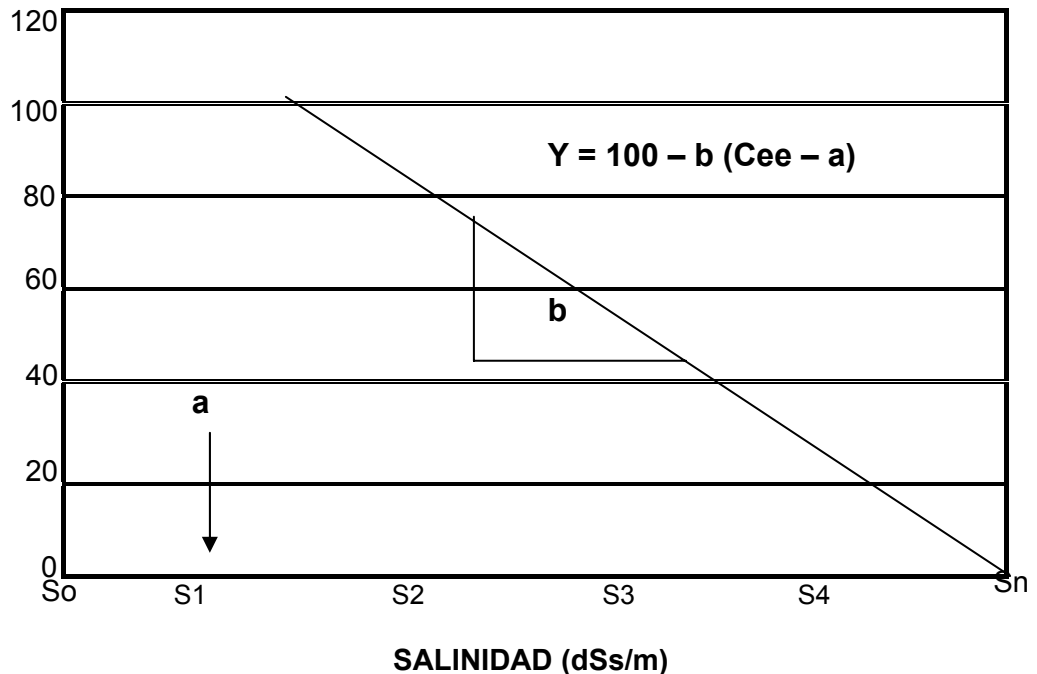
- 1º) La HABILIDAD de las plantas o sobrevivir sobre sales solubles.
- 2º) El crecimiento o rendimiento ABSOLUTO y,
- 3º) El crecimiento o rendimiento RELATIVO de suelos salinos con respecto al rendimiento sobre suelos no salinos Mass y Hoffman (en Mass, 1986) proponen el siguiente esquema y formula:

$$Y = 100 - b (C.E.e - a)$$

Donde:

Y	=	Rendimiento relativo
b	=	Pendiente: Porcentaje de disminución del rendimiento por cada unidad de sales de incremento (%)
a	=	Umbral de tolerancia de Sales por cultivo (dS/m) C.E.a = Conductividad Eléctrica del suelo (dS/m)

FIGURA 1: RESPUESTA DE LOS CULTIVOS A LA SALINIDAD
(Mass & Hoffman. En: Mass, 1984)



3. SUELOS

El comportamiento de un suelo en contacto con el agua salada depende de las propiedades físicas iniciales del suelo y el contenido de sales del agua. Por lo tanto, la composición inicial del suelo, influye en las propiedades de cambio durante el contacto agua – suelo.

Las sales presentes en las aguas de riego y en la solución del suelo provienen en última instancia de los procesos de meteorización química de los minerales de la corteza terrestre, en cuya acción intervienen el agua y el CO_2 derivados de la actividad biológica. Condiciones de alta humedad y temperatura pueden acelerar dicho proceso.

En el proceso de salinización revisten particular importancia los cambios que pueden ocurrir en la composición de la solución suelo por la precipitación de ciertas sales de solubilidad limitada, tales como, carbonatos de Ca y Mg y sulfatos de Ca. En cualquier caso, las condiciones que favorezcan dicho proceso, como el predominio de bicarbonatos en el agua, pérdida de CO_2 , mal drenaje, etc, contribuyen a un enriquecimiento relativo de Na en la solución suelo y consecuentemente en el complejo de cambio.

Por lo tanto, la definición de suelos afectados por sales conduce muchas veces a confusión por la variedad de términos utilizados.

El término “suelo salino” ($C.E. > 4$ dS/m, $pH < 8.5$ y $PSI < 15$) debe usarse solo para referirnos a la acumulación de sales totales, predominantemente sulfatos y cloruros de Ca, Mg y Na en cantidades que afectan a las plantas fundamentalmente por la alta concentración osmótica de la solución suelo y la consiguiente limitación impuesta a la absorción de agua pero que no incidan en forma desfavorable sobre las propiedades físicas del suelo ni aún después de eliminarlas por lixiviación con agua.

La definición “suelo sódico” (C.E.< 4 dS/m, pH, 8.5 – 10.0 y PSI>15) debe reservarse para aquellos cuya acumulación de sodio en solución y en forma intercambiable, haya conducido a un deterioro tal de sus propiedades físicas, que se hace difícil el manejo práctico del riego, especialmente en el sentido de lograr la penetración y almacenamiento en el suelo del agua requerida para el cultivo, todo lo cual se traduce en la imposibilidad de producir económicamente.

Debemos calificar a un suelo como “salino – sódico” (C.E. > 4 dS/m, pH≤ 8.5 y PSI > 15) cuando existen suficientes sales en solución, fundamentalmente sulfato de Na, para afectar la absorción de agua por las plantas y la producción económica de los cultivos y que al ser lixiviados con agua sufren un deterioro marcado de sus propiedades físicas, que les da características de suelos sódicos.

Finalmente, en los casos particulares de acumulaciones tóxicas (para ciertos cultivos) de elementos como Cl, Na, B, etc., debemos referirnos a suelos afectados por cada uno de estos iones en particular.

El término “régimen constante de sales” promedia el cambio en el contenido de sales durante un largo periodo, generalmente un año. Este régimen es determinado por la cantidad de agua de riego, su contenido de sales y el peso de un volumen de suelo. Esa correlación es expresada por la ecuación:

$$d = b - [a + \frac{CV}{Mp} \cdot 10^{-5}]$$

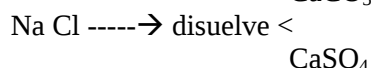
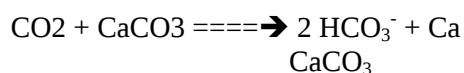
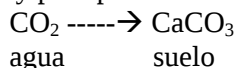
Donde:

- a = Contenido de sales solubles en el suelo al inicio (g/100g)
- b = Contenido de sales solubles en el suelo al final (g/100g)
- c = Contenido de Sales en el agua de riego (g/l) (kg/m³)
- d = “régimen constante de sales” (g/100g)
- V = Cantidad de agua de riego aplicada (m³/ha)
- M = Espesor de la capa del suelo (m)
- ρ = Peso de un volumen de suelo.

CAMBIOS EN EL SUELO POR EFECTOS DEL AGUA DE RIEGO

- a) Dilución de la solución suelo
 - { 4-8 gr/l lig. salino
 - { 20-30 gr/l med. salino
 - { 100-300 gr/l ext. Salino

- b) Disolución y precipitación de algunos componentes químicos.



- c) Aleación Temporal Aumenta después del riego
 - Efecto de dilución

4. CLIMA

La evapotranspiración y la lluvia son dos elementos climáticos más considerados cuando se evalúa el SUMINISTRO del agua de riego. La evapotranspiración ET (cultivo) indica la tasa de evapotranspiración de un cultivo extenso de enfermedades, que crece en un campo extenso (una o mas hectáreas) en condiciones optimas de suelos, incluida la fertilidad y una agua suficiente, en el que se llega a un potencial de plena producción con arreglo al medio vegetativo dado.

La lluvia a su vez, aporta en algunos casos, grandes cantidades de agua las mismas que deben ser evaluadas (en calidad y cantidad), finalmente ser consideradas en otro programa de riego. La cantidad de agua a aplicar a un cultivo en una estación dada, estará en función de la exapotranspiración, afectando el régimen de riego y consecuentemente la dinámica estacional de sales en el perfil.

5. MANEJO DEL RIEGO DE DRENAJE

El método de riego influencia la acumulación de sales en el suelo y en la planta; aplicaciones pequeñas de agua menores que el uso consuntivo, resultan en una acumulación de sales en la zona radicular. Incrementos en la aplicación tienden a lavar las sales fuera de la zona radicular y se puede encontrar un equilibrio de sales entre el suelo y el agua.

El “requerimiento de lixiviación” de sales del suelo, utilizando métodos de riego, que por su frecuencia y control preciso, permitan por un lado, que gran parte de las sales se acumulen y precipiten en partes de las zonas mas profundas del suelo y provoquen por otro lado, un mayor desarrollo y actividad radicular, con la mayor absorción de agua para riego y drenaje, pero solo es aplicable en situaciones donde sea económico y practico el control preciso de esos sistemas de riego. El requerimiento de lixiviación puede ser expresado matemáticamente de la siguiente manera:

$$R.L. = \frac{C.E.ar}{C.E.ad} \times 100$$

Donde:

R.L. = Requerimiento de lixiviación

C.E.ar = Conductividad Eléctrica del agua de riego (dS/m)

C.E.ad = Conductividad Ecléctica del agua de drenaje (dS/m),
e igual al Umbral de tolerancia de sales de un cultivo
dado.

En el cuadro 1, se presenta un resumen del requerimiento de lixiviación (RL) para diferenciar valores de C.E.ad con diferentes valores de C.E.ar.

CUADRO 1: REQUERIMIENTOS DE LAVADO CON RELACION A LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL AGUA DE RIEGO Y DEL AGUA DE DRENAJE. (Ayers and Westcott, 1985)

C.E.ar	Requerimientos de lavado para valores máximos indicados de la conductividad eléctrica del agua de drenaje en la parte mas baja de la zona radicular			
dS/m	4dS/m	8dS/m	12dS/m	16dS/m
0.10	2.5	1.2	0.8	0.6
0.25	6.2	3.1	2.1	1.6
0.75	18.8	9.4	6.2	4.7
2.25	56.2	28.1	16.8	14.1
5.00	--	62.5	41.7	31.2

Cuando en exceso de agua de riego o lluvia que penetra en el suelo no se elimina, debido al déficit de drenaje interno, su efecto sobre la salinización puede ser contraproducente, al provocar en algunos casos un incremento más acelerado de ella y en otros al ascenso de sales acumuladas en el sub-suelo hasta la capa superficial. Ambos son originados al subir el nivel freático, cuando el déficit en drenaje interno se debe más que todo a la baja permeabilidad de algún estrato en el perfil del suelo. Para evitar eso, se prevee un sistema de drenaje, capaz de eliminar el exceso de agua (requerimiento de drenaje) el mismo que dependerá tanto del requerimiento de lixiviación como de las propiedades hidrológicas del suelo.

ANEXO:

PRINCIPALES CONTRIBUCIONES FISICAS, QUIMICAS Y BIOLOGICAS QUE PUEDEN OBSTRUIR UN SISTEMA DE RIEGO PRO ABSORCION

A. FISICAS Sólidos en Suspensión	B. QUIMICAS Precipitados	C. BIOLOGICAS Bacterias Algas
1. ORGANICAS a. Plantas acuáticas (fitoplankton) b. Animales acuáticos (zooplankton) c. Bacterias	1. Carbonatos de Calcio y Magnesio 2. Sulfato de Calcio 3. Hidróxidos de metales pesados óxidos, carbonatos silicatos y sulfatos	1. Filamentos 2. Mucosa 3. Deposiciones a. Fierro b. Azufre c. Manganeseo
2. INORGANICAS a. Arena b. Limo c. Arcilla	4. Fertilizantes a. Fosfato b. Amonio Acuoso c. Fe, Zn, Cu, Mn	

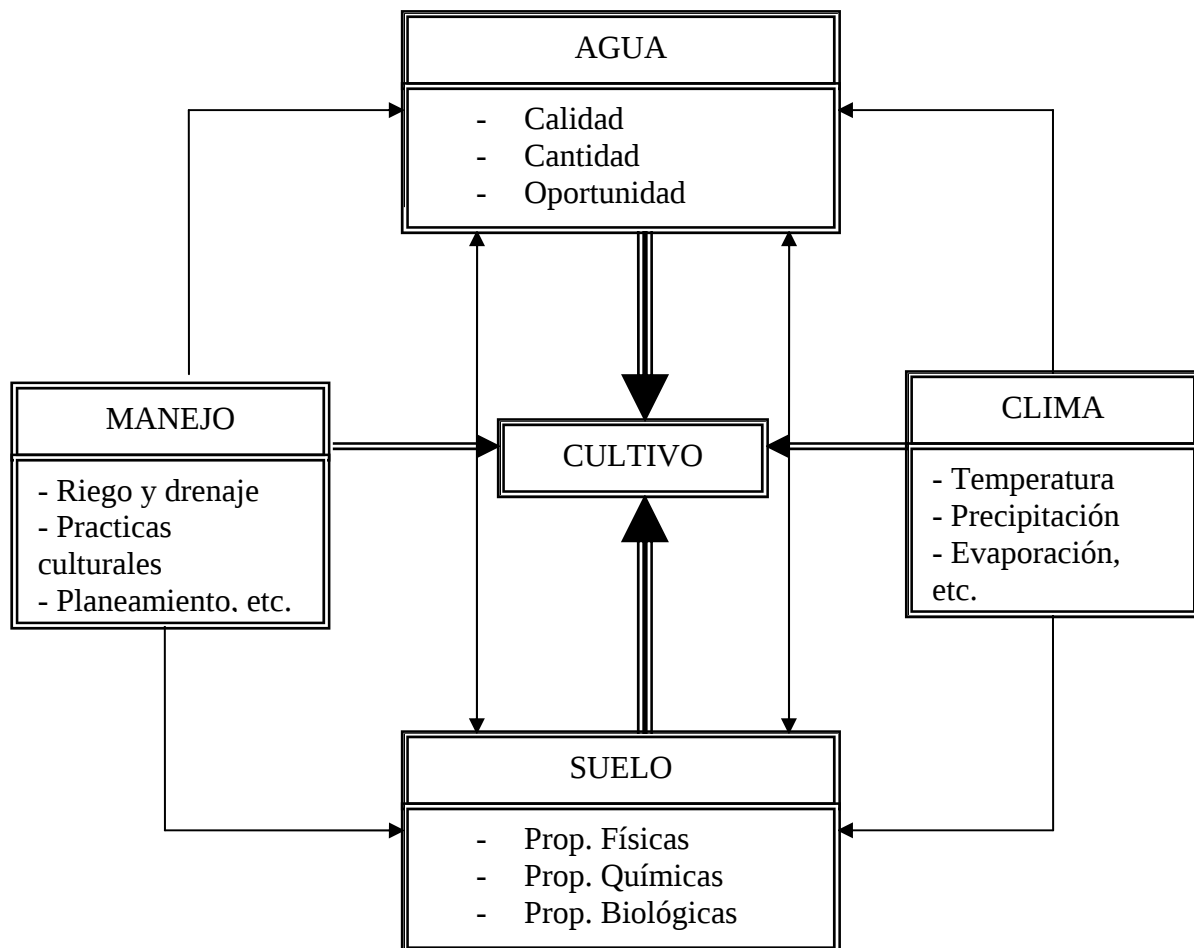


Figura 1: Esquema de producción de cultivos con énfasis en el manejo ecológico del agua de riego.

III BIBLIOGRAFIA

- ARAGUEZ, J. (1983) The quality and Availability of Water used in Irrigation System. In: Proceeding Nutrient Balance and used for fertilizer in semi arid and arid Regions. International Potash Institute. Pp: 315-323. Switzerland.
- AYERS, R.S. and D.W. WESTCOTT. 1985. Water Quality for agriculture. FAO. Irrigation and Drainage Paper 29. Rev. 1, Rome. Italy. 174p.
- FARHAM, D.S; R.S. AYERS and R.F. HASEK. 1979. Water Quality affects ornamental plant production. University of California. Division of Agricultural Sciences Leaflet 2995. 15 p.
- FAO. 1992. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Políticas y Acción de la FAO. Estocolmo 1972 – Río 1992. FAO Italia. 89 p.
- KADISH, A. and J.D. RHOLADES. 1989. Saline Water: sources, usages, problems Prospect. Proceedings of Water, Soil and Crop Management relating to the use of saline water. 9 -13 October. FAO Rome. Pp. 9-18.
- MASS, E.V. 1984. Salt tolerance of plants. Applied Agricultural Research. Vol.1, Nº 1, pp. 20-21.
- MEIRI, A. and Z. PLAUT. 1985. Crop production and management under saline conditions. Plant and Soil. 89:253-271.
- NATIONAL ACADEMY PRESS. 1990. Saline Agriculture. Salt – tolerance plants for developing countries. Washington. 143 p.
- RHOADES, J.D. 1983. Using saline water for irrigation. In: Proceeding of international workshop on Salt-Affected Soil of Latin American. Pp 22-52. Maracoy.
- RHOLADES, J.D. 1989. Principal effects of salts on saline and plants. Proceeding of water soil and crop management relating to the use of saline water. 9-13 October. FAO, Rome. Pp. 19-33.
- SALOMON, K. 1985. Water salinity production functions. ASAE, Vol. 28 (6): Nov-Dec.
- SHAINBERG, I. and I.D. Oster (1978) Quality of Irrigation Water. International Irrigation Information Center. IIIC Publication No.2 Volcany Center. Israel. 65p.
- SMITH, D.G.; B.L. William and E.G. Fox (1985) Water Quality Standards. In: Ocean out-fall and book. Water and Soil miscellaneous publications No.5 y 6 RI.Z.
- SUAREZ, D.L. and I. LEBRON. 1993. Water quality criteria for irrigation with highly saline water. In: Towards the rational of high salinity tolerant plants. Vol.: 389-397.
- Wolff, P. 1988. Ecological Aspects Irrigated Agriculture. Proceeding. Resource Conservation and Desertification Control in the near East. FAO GTZ-UNESCO. RFA.

GG-JSV-FT.
Enero/2007

