

## 4. MANEJO DE AGUAS

José Vicente López V.\*

### 4.1 INTRODUCCION

Con un sistema de riego y/o drenaje adecuado o sea en óptimas condiciones de diseño y de manejo, se espera un aumento de producción por unidad de superficie, ya que el riego y el drenaje proporcionan condiciones óptimas para su desarrollo y producción; también una ampliación de los tiempos hábiles de cultivo, dando la oportunidad de sacar un número mayor de cosechas por año.

El riego es considerado como "indispensable" en áreas desérticas o sea en aquellas donde las lluvias son menores de 250 milímetros de precipitación por año.

Es considerado como "complementario" cuando es utilizado para regular cosechas, o sea cuando ocurren pérdidas parciales o totales por sequía no prevista dentro del periodo vegetativo, para obtener dos o más cosechas por año cuando el clima lo permite.

Accesorio cuando a pesar de que se utiliza agua en el cultivo, no es el fin último, es practicado especialmente para lavado de suelos salinos, control de heladas, etc.

---

\* Ingeniero Agrónomo calificado en riegos. Programa de Desarrollo de Recursos de Agua y Tierra, ICA Tibaitatá.

#### 4.2 Parámetros de diseño para un sistema de riego

Los parámetros a determinar dependen de las condiciones naturales propias de la finca, proyecto o región donde se deba trabajar, en lo referente a riego y/o drenaje. Es posible encontrar regiones donde el problema claramente establecido sea el riego; por el contrario en otras áreas sea únicamente de drenaje, en otras puede ser un problema mixto en el sentido de ocurrir sobre ellas periodos con problemas de riego y/o drenaje alternado.

#### 4.3 Capacidad de retención de humedad

Se denomina como agua aprovechable, agua útil, agua disponible, se define también como el contenido de humedad en base a volumen entre capacidad de campo y punto de marchitamiento.

El método más común es el de las curvas características de retención de humedad.

Se llama característica, pues es propia de cada suelo y de cada horizonte del mismo suelo.

Se determina a partir de muestras no disturbadas, saturadas, sometidas a un procedimiento de extracción del agua por medio de presiones ascendentes y pesajes sucesivos.

La mayor utilidad de estas curvas está en el control de la humedad del suelo bajo el riego, pues una vez se decida sobre ella la tensión a la cual debe aplicarse el riego, puede determinarse la lámina a aplicar, y por medio de tensiómetros, el momento en que se ha de ordenar el riego.

#### 4.4 Capacidad de campo

Es quizá uno de los parámetros más importantes en riego y por ello se debe prestar especial cuidado en su determinación. Se dice que es el punto de equilibrio que se alcanza en un suelo, después de haber sido saturado en el campo y dejado drenar a dos días si los suelos son livianos, tres días en suelos medios y de tres a cinco días en suelos de texturas pesadas.

Se dice también que en los suelos livianos la capacidad de campo corresponde generalmente al agua retenida a un décimo de bar de tensión y que en los medios o pesados a la retenida entre un tercio y un medio de bar.

#### 4.5 Punto de marchitamiento permanente

En general se toma como el porcentaje de humedad en base a volumen retenido a 15 bares de tensión, extractado de la curva de retención de humedad.

Con los datos de punto de marchitamiento y el de capacidad de campo, se calcula el porcentaje de humedad en base a volumen aprovechable, o agua aprovechable (A.A.) .

$$\% \text{ Hv A.A} = \text{CC} - \text{PM}$$

Recuérdese que las curvas, así como los datos de capacidad de campo, deben obtenerse por lo menos de los horizontes del suelo que sean o puedan ser explorados por las raíces.

#### Densidad aparente

"Este parámetro es medible por dos métodos : el de la parafina, muy conocido y por el de cilindro de volumen constante, determinador. Este segundo método es el más apropiado por el tamaño de las muestras y por ser el volumen constante ". (Ref. 4 ) .

Generalmente se utilizan anillos de 6 cms. de largo por 5.2 cms. de diámetro.

Obtenida la muestra, en el laboratorio se halla el peso del suelo seco y se halla densidad aparente que es igual al peso del suelo seco sobre el volumen de la muestra.

$$Da = \frac{P s s}{V m.}$$

Se utiliza en el cálculo de humedad en base a volumen y en el cálculo de lámina de riego.

$$\% \text{ HPss} = \frac{\text{peso suelo húmedo} - \text{peso suelo seco}}{\text{peso suelo seco}}$$

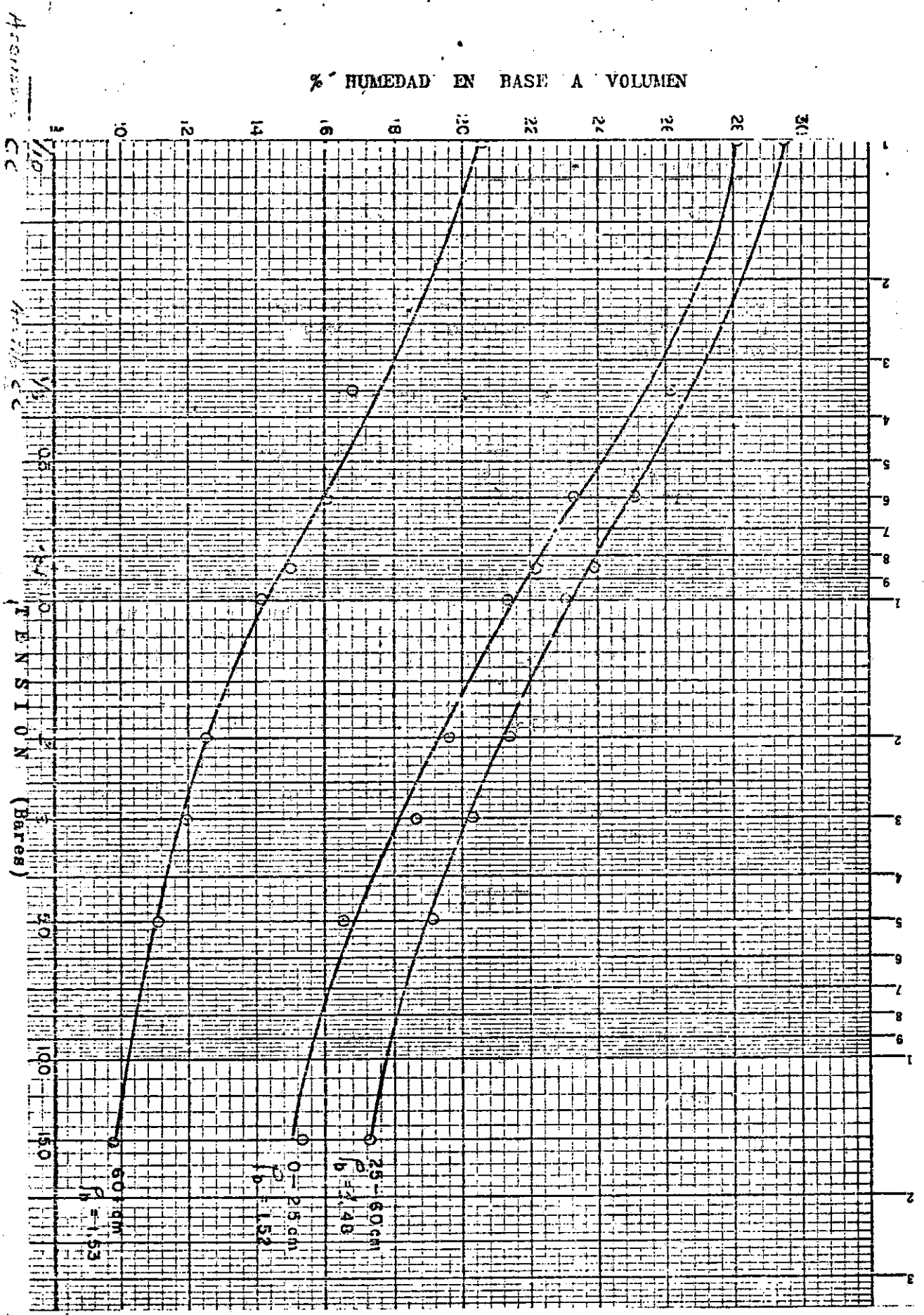
$$\% \text{ Hv} = \% \text{ HPss} \times Da$$

$$Lr = \% \text{ Hv} \times Pr$$

*V<sub>b</sub> = densidad aparente*

CURVA CARACTERISTICA DE RETENCION DE HUMEDAD

% HUMEDAD EN BASE A VOLUMEN



Atmosfera CC

Humedad CC

TENSION (Bares)

0-25 cm  
V<sub>b</sub> = 1.53

25-60 cm  
V<sub>b</sub> = 1.48

60-150 cm  
V<sub>b</sub> = 1.48

% HPss = % humedad en base a peso de suelo seco

Da = densidad aparente

% Hv = % humedad en base a volumen

Lr = lámina de riego.

#### 4.6 Velocidad de infiltración

Los métodos de medida de este parámetro en el campo son bien conocidos. Sin embargo, deben tenerse muy en cuenta que el método de la medida de infiltración debe corresponder al método de riego que se vaya a utilizar.

Por esta razón cuando se va a regar por melgas, o por cualquiera de los métodos de inundación, se utiliza el método de anillos o cilindros concéntricos.

Este método también es aplicable cuando se va a regar por aspersión, multiplicando los valores de  $I$  por un coeficiente igual a 0.8 ó a 0.9.

Cuando se va a regar por surcos, caso muy general en Colombia, se requiere tomar los datos de prueba de infiltración por surcos.

Existen varias clasificaciones de infiltración; entre ellas la siguiente:

|                      | I (cm/h.)   |
|----------------------|-------------|
| Muy rápida           | > 25.4      |
| Rápida               | 12.7 - 25.4 |
| Moderadamente rápida | 6.3 - 12.7  |
| Moderada             | 2 - 6.3     |
| Moderadamente lenta  | 0.5 - 2.0   |
| Lenta                | 0.1 - 0.5   |
| Muy lenta            | < 0.1       |

#### 4.7 Relaciones agua-suelo-planta

##### a. Clase de cultivo

En especial se debe tener en cuenta el sistema de siembra y las prácticas culturales complementarias que deban aprovecharse para la aplicación del agua o que por el contrario la limiten.

- b. Cantidad y calidad del agua disponible para regar.
- c. Retención del agua por el suelo, agua aprovechable por las plantas, velocidad de infiltración y presencia de salinidad.

Como puede verse, existe una gran diferencia entre echar agua al ojo y regar técnicamente. Es probable que en ambas formas se obtengan beneficios, pero regando técnicamente éstos serán siempre mayores porque hay economía en los gastos, mejores producciones, conservación del suelo, pues el agua se aplica técnicamente para satisfacer las necesidades del cultivo y evitar los daños que este sufra tanto por falta de agua como por exceso de ella.

#### 4.8 ADAPTACION, LIMITACIONES Y VENTAJAS DE LOS METODOS DE RIEGO POR SUPERFICIE.

| ADAPTACION<br>SURCOS  | LIMITACIONES  | VENTAJAS   |
|---|---|--|
| 1. Todos los cultivos en hilera   | 1. Requerimientos moderados de mano de obra para riego.   | 1. Aplicación uniforme de agua.  |
| 2. Todos los suelos regados.  | 2. El diseño es esencial para lograr altas eficiencias  | 2. Alta eficiencia de aplicación de agua.  |
| 3. Pendiente hasta 5% con cultivos en hilera y hasta del 15% con surcos en contorno | 3. Algo de pérdidas por escurrimiento al pie; generalmente se requiere para uniforme aplicación del agua. | 3. Buen control del agua de riego.   |
|   | 4. Peligro de erosión pluvial con pendientes fuertes.   | 4. Equipos de control como tubos, sifones y compuertas disponibles a bajo costo. |

#### 4.9 Profundidad efectiva

Es aquella a la cual la mayoría de las raíces alimentadoras de las plantas extraen la humedad, según lo indique el patrón de extracción.

PROFUNDIDADES DE LAS RAICES DE LAS PRINCIPALES HORTALIZAS PARA SUELO MODERADAMENTE PERMEABLE, PROFUNDO Y DE TEXTURA MEDIA.

| CULTIVO   | PROFUNDIDAD RADICULAR<br>cms. | TIPO DE SUELO       | ZONA RADICULAR<br>cms.                       | DISPOSICION DE AGUA<br>mm. |
|-----------|-------------------------------|---------------------|--|----------------------------|
| Remolacha | 60-90                         |                     |  |                            |
| Brócoli   | 60                            |                     |  |                            |
| Col       | 60                            |                     |  |                            |
| Zanahoria | 60-90                         |                     |  |                            |
| Coliflor  | 60                            |                     |  |                            |
| Pepino    | 60-90                         |                     |  |                            |
| Lechuga   | 30-45                         |                     |  |                            |
| Cebollas  | 45                            |                     |  |                            |
| Rábanos   | 30-45                         |                     |  |                            |
| Espinaca  | 60                            |                     |  |                            |
| Fresas    | 80-120                        |                     |  |                            |
| Tomate    | 150-200                       |                     |  |                            |
| Nabo      | 90                            |                     |  |                            |
|           |                               |                     | Espinaca, arveja, remolacha, zanahoria, etc. |                            |
|           |                               | Arena fina          | 50   | 50                         |
|           |                               | Blanco-arenoso fino | 50   | 75                         |
|           |                               | Franco-limoso       | 62   | 125                        |
|           |                               | Franco arcilloso    | 40   | 100                        |
|           |                               | Arcilloso           | 25   | 75                         |

#### 4.10 Evapotranspiración

Dentro de las fórmulas empíricas más conocidas y usadas está la de Hargreaves expresada :

$$Et = 17.4 D Tc (1.0-Hn) K$$

- Et = Evapotranspiración  
 K = Coeficiente del cultivo  
 D = Coeficiente duración del día para el mes  
 Tc = Temperatura media mensual °C  
 Hn = Humedad relativa medida al medio día.

Realmente esta fórmula correlaciona la evapotranspiración con la evaporación medida en el tanque tipo A, pudiéndose describir :

$$E_t = KE_v$$

Siendo  $E_v$  la evaporación en el tanque, lo cual indica que cuando no se dispone de datos de medidas de evaporación en el tanque, esta se estima por medio de la fórmula, en función de D, T y  $H_n$ .

VALORES DEL COEFICIENTE K - FORMULA DE HARGREAVES

| Estación de crecimiento<br>% | Grupo A | Grupo B | Grupo C | Grupo D |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| 0                            | 0       | 0       | 0       | 0       |
| 5                            | 0.20    | 0.15    | 0.12    | 0.08    |
| 10                           | 0.36    | 0.27    | 0.22    | 0.15    |
| 15                           | 0.50    | 0.38    | 0.30    | 0.19    |
| 20                           | 0.64    | 0.48    | 0.38    | 0.27    |
| 25                           | 0.75    | 0.56    | 0.45    | 0.33    |
| 30                           | 0.84    | 0.63    | 0.50    | 0.40    |
| 35                           | 0.92    | 0.69    | 0.55    | 0.46    |
| 40                           | 0.97    | 0.73    | 0.58    | 0.52    |
| 45                           | 0.99    | 0.74    | 0.60    | 0.58    |
| 50                           | 1.00    | 0.75    | 0.60    | 0.65    |
| 55                           | 1.00    | 0.75    | 0.60    | 0.71    |
| 60                           | 0.99    | 0.74    | 0.60    | 0.77    |
| 65                           | 0.96    | 0.72    | 0.58    | 0.82    |
| 70                           | 0.91    | 0.68    | 0.55    | 0.88    |
| 75                           | 0.85    | 0.64    | 0.51    | 0.90    |
| 80                           | 0.75    | 0.56    | 0.45    | 0.90    |
| 85                           | 0.60    | 0.45    | 0.36    | 0.80    |
| 90                           | 0.46    | 0.35    | 0.28    | 0.70    |
| 95                           | 0.28    | 0.21    | 0.17    | 0.60    |
| 100                          | 0       | 0       | 0       | 0       |

Grupo A : Papa, remolacha azucarera y tomate

Grupo B : Olivo, durazno, ciruelas

Grupo C : Zanahoria, vides

Grupo D : Espárragos, apio, lino.

#### 4.11 Calidad del agua

Boro : Límites permisibles para concentraciones de Boro en las diferentes clases de agua para riego.

| Clases de agua con respecto al Boro | Cosechas sensibles<br>mg. por l. | C. semi-tolerantes<br>mg. por l. | C.Tolerantes<br>mg. por l. |
|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Excelentes                          | menos de 0.33                    | menos de 0.77                    | menos de 1.00              |
| Buenas                              | 0.33 a 0.67                      | 0.67 a 1.33                      | 1.00 a 2.00                |
| Permisibles                         | 0.68 a 1.00                      | 1.34 a 2.00                      | 2.01 a 3.00                |
| Dudosas                             | 1.01 a 1.25                      | 2.01 a 2.50                      | 3.01 a 3.75                |
| Inaceptables                        | más de 1.25                      | más de 2.50                      | más de 3.75                |

#### 4.12 Tolerancia relativa al Boro de ciertas hortalizas

| Tolerantes     | Semitolerantes | Sensibles      |
|----------------|----------------|----------------|
| 4.0 mg. por l. | 2.0 mg. por l. | 1.0 mg. por l. |
| Espárrago      | Papa           | Naranja        |
| Remolacha      | Tomate         | Toronja        |
| Habas          | Rábano         | Limonero       |
| Nabo           |                |                |
| Cebolla        |                |                |
| Col            |                |                |
| Lechuga        |                |                |
| Zanahoria      |                |                |
| 2.0 mg. por l  | 1.0 mg. por l  | 0.3 mg. por l  |

El Boro se encuentra en la mayoría de las aguas naturales, y es de gran importancia para el desarrollo normal de las plantas, sin embargo, la fijación de concentraciones aceptables, en el agua de riego, tiene el inconveniente de que el límite tolerable depende básicamente del cultivo.

#### 4.13 Tolerancia de los cultivos a las sales

Hay muchas variaciones en la tolerancia a las sales en varios cultivos;

aún más, la tolerancia de las sales puede ser diferente, en los varios estados de crecimiento para el mismo cultivo.

La mejor manera de medir la tolerancia de los cultivos a las sales es por el rendimiento relativo obtenido en un suelo salino en comparación con un suelo no salino bajo condiciones similares de crecimiento.

| HORTALIZAS | REDUCCION DE RENDIMIENTO |     |     |
|------------|--------------------------|-----|-----|
|            | 10%                      | 25% | 50% |
|            | CE $\mu$ mhos por cms.   |     |     |
| Espinaca   | 5                        | 7   | 8   |
| Tomate     | 4                        | 7   | 8   |
| Brócoli    | 4                        | 6   | 8   |
| Col        | 2.5                      | 4   | 7   |
| Papa       | 2.5                      | 4   | 6   |
| Maíz       | 2.5                      | 4   | 6   |
| Lechuga    | 2                        | 3   | 5   |
| Pimiento   | 2                        | 3   | 5   |
| Cebolla    | 2                        | 3.5 | 4   |
| Zanahoria  | 1.5                      | 2.5 | 4   |
| Fríjol     | 1.5                      | 2   | 3.5 |

#### 4.14 Concentración total de sales

Expresada en términos de conductividad eléctrica (C E) en micromhos/cm. ó milimhos/cm. a 25°C.

En la práctica la C E del extracto de saturación de un suelo varía entre 2-10 veces mayor que el agua de riego, debido a la utilización del agua por las raíces y dependiendo de las condiciones de riego y drenaje.

Agua con C E  $\leq$  de 750  $\mu$  mhos/cm. son utilizables para riego.

Agua con C E entre 250 y 750  $\mu$  mhos/cm.; cultivos muy sensitivos a las sales (hortalizas) pueden ser afectados por el uso de esta agua.

Agua con C E entre 750-2.250  $\mu$  mhos/cm. pueden ser usadas en la mayoría de los cultivos bajo buenas condiciones de manejo de riego y drenaje.

Agua con C E  $>$  2.250 preferiblemente no usarlas.

#### 4.15 Proporción relativa de sodio

Si entre los cationes presentes en el agua (Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio), predomina el ion sodio hay posibilidad de desarrollar condiciones sódicas en el suelo, caracterizadas por un alto porcentaje de sodio cambiante ( P.S.C.) en el complejo de cambio. Fig. 3-1.

$$\text{P.S.C.} = \frac{\% \text{ Na (meq/100 gr. de suelo)}}{\text{E Cationes (meq/100 gr. de suelo)}}$$

Esto traería como consecuencia deteriorización severa de la estructura del suelo, dependiendo del tipo de suelo, presencia de yeso y cal en el suelo, etc. se caracteriza el suelo por su baja permeabilidad y difícil manejo.

Si la proporción relativa de Na en el agua es alta, el peligro de Na es alto.

Si predominan Ca y Mg el peligro es bajo.

Las concentraciones de Na, Ca y Mg son expresadas en Meq/li; y la relación de adsorción de sodio por RAS.

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

#### 4.16 Carbonato de Sodio residual

Al usar aguas altamente concentradas en bicarbonatos, tiende a precipitarse el Ca y el Mg en forma de carbonatos, a medida que la solución del suelo se concentra debido al consumo por las plantas; la proporción relativa de sodio en la humedad del suelo es aumentada y por tanto el peligro de sodio.

Es más peligroso cuando la concentración de los iones carbonato y bicarbonato exceden los iones calcio y magnesio.

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ residual} = (\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$$

Las concentraciones de los iones son expresadas en me/li.

Aguas con más de 2.5 me/li de carbonato de sodio residual, no son aptas para el riego.

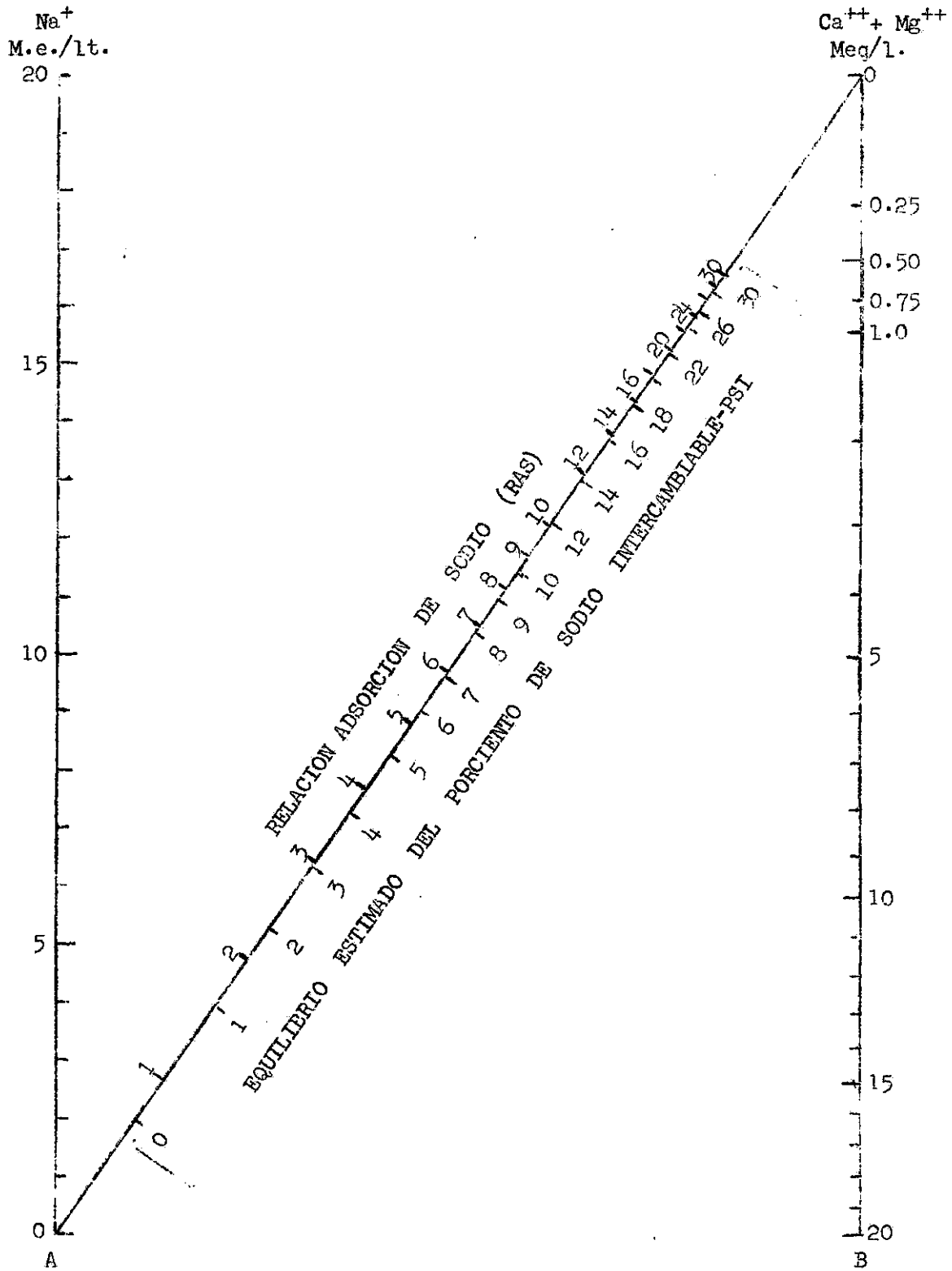


Figura 3-1. Nomograma para determinar el valor de la RAS del agua para riego y para estimar el valor correspondiente para el PSI del suelo que está en equilibrio con dicha agua.

Aguas con 1.25 a 2.5 me/li de carbonato de Na residual, son de dudosa utilización.

Aguas con  $\leq 1.25$  me/li son probablemente buenas.

En el diagrama para clasificación de las aguas para riego (Fig. 3.2) en base a C E (C) y RAS (S) se pueden apreciar sus límites de bajo a muy alto.

#### 4.17 Cantidad de agua

Esta cantidad es estimada en base al consumo diario por parte de la planta que para la Sabana de Bogotá se estima que sea de 3 mm. por día; para el Valle del Cauca y la Costa de 5 mm. por día y para el Tolima de 6 mm. por día.

Esto significa que por ejemplo para la Sabana, las hortalizas para que cumplan sus normales condiciones fisiológicas y para un adecuado rendimiento están sacando diariamente por hectárea  $30 \text{ m}^3$  de agua.

Para suplir esta necesidad se dispone como fuente más importante de las aguas lluvias. En otras palabras se requerirían lluvias mensuales de 90 mm.

#### 4.18 Métodos de riego

Se pueden clasificar en :

Métodos superficiales  
Métodos subsuperficiales  
Método por aspersión.

En el riego por superficie y en el riego por aspersión, el agua penetra desde la superficie y se repone a intervalos de tiempo, generalmente de varios días, toda vez que la lámina de agua consumida alcanza un espesor adecuado para su manejo eficiente. En el método por sub-irrigación, el agua asciende por capilaridad desde un plano freático controlado, que se ubica próximo a la base del sistema radicular a medida que es consumida por los cultivos.

El método de riego junto con el de aspersión que puede llegar inclusive a ser más utilizado para hortalizas, es el riego por surcos.

Es el método que tiene mayores requerimientos especialmente en lo referente a pendiente, caudal máximo permisible y longitud por surco.

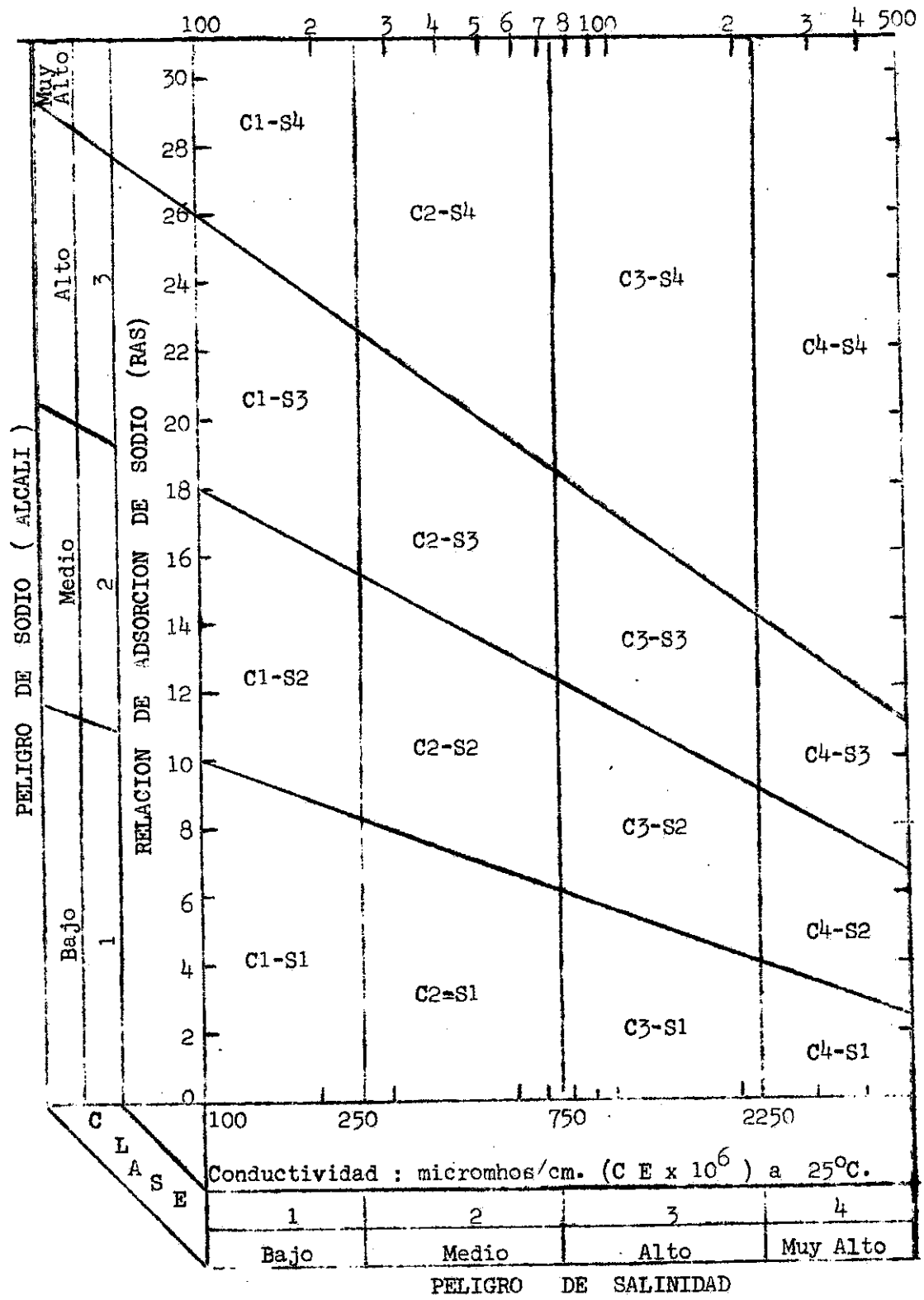


Figura 3-2. Diagrama para la clasificación de las aguas para riego.

$$Q = \frac{0.613}{5} = \text{li/sg.}$$

Q = Caudal por surco en li/sg.

S = Pendiente del surco.

Longitud y caudal máximos recomendables en surcos de riego, según la pendiente y la textura del suelo.

| Pendiente del surco en % | Caudal li/sg. | Longitud de los surcos en metros según textura          |     |     |       |     |     |      |     |     |
|--------------------------|---------------|---|-----|-----|-------|-----|-----|------|-----|-----|
|                          |               | GRUESA  |     |     | MEDIA |     |     | FINA |     |     |
|                          |               | Espesor de la lámina de agua necesaria en un riego (cm) |     |     |       |     |     |      |     |     |
|                          |               | 5   | 10  | 15  | 5     | 10  | 15  | 5    | 10  | 15  |
| 0.25                     | 2.5           | 150   | 220 | 265 | 250   | 350 | 440 | 320  | 460 | 535 |
| 0.50                     | 1.25          | 105   | 145 | 180 | 170   | 245 | 300 | 225  | 310 | 380 |
| 0.75                     | 0.83          | 80  | 115 | 145 | 140   | 190 | 235 | 175  | 250 | 305 |
| 1.00                     | 0.83          | 70  | 100 | 120 | 115   | 165 | 200 | 150  | 230 | 260 |
| 1.50                     | 0.42          | 60  | 80  | 100 | 95    | 130 | 160 | 120  | 175 | 215 |
| 2.00                     | 0.23          | 50  | 70  | 85  | 80    | 110 | 140 | 105  | 145 | 185 |
| 3.00                     | 0.21          | 40  | 55  | 65  | 65    | 90  | 110 | 90   | 120 | 145 |
| 5.00                     | 0.12          | 30  | 40  | 50  | 50    | 70  | 85  | 65   | 90  | 105 |

#### Módulos de riego

Cuando se riega por gravedad o por superficie, un regador puede manejar entre 70 y 250 litros por segundo.

## 4.19 BIBLIOGRAFIA

1. CASTILLO, C.E., 1970. Calidad del agua de acuerdo a su uso. Dirección de obras hidráulicas. Caracas. Cap. VI part. 2.
2. CURSO NACIONAL DE DRENAJE DE TIERRAS AGRICOLAS, 2<sup>do</sup>, Lima, Feb. 4 Marz. 20, 1969. Cap. 4.1 Suelos salinos y sódicos. Centro de drenaje y recuperación de tierras, Lima.
3. AVELLA T. A., Notas para un curso de adecuación de tierras. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá.
4. AVELLA T., A. 1973. Análisis de parámetros importantes para el diseño y planeación del riego. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá.
5. BLAIR F., E. 1957. Manual de Riegos y avenamientos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Lima. pp. 364.
6. GRASSI, C. 1972. Métodos de riego. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Agua y Tierras. Material de enseñanza Doc. No. 72. Mérida pp. 269.