

## CONCEPTOS SOBRE ADECUACION DE TIERRAS AGRICOLAS

HELIODORO BUSTAMANTE MUÑOZ\*

### INTRODUCCION

pp. 5-35

La finalidad de estas notas consiste en exponer en forma bastante resumida una serie de conceptos y principios generales que en un momento dado pueden ser útiles a todos aquellos colegas que se encuentren al frente de tan importante actividad.

No sobra anotar que cada proyecto de adecuación de tierras tiene sus características propias y sus condiciones diferentes por lo que no es exagerado decir que cada uno es una experiencia nueva y una nueva fuente de aprendizaje.

Así mismo es fundamental considerar el aspecto económico y la liquidez de la empresa; la adecuación de tierras puede ser muy rentable económicamente, pero si una entidad no puede asumir los costos calculados, lógicamente no se puede emprender, o en su defecto hacerlo por etapas siempre y cuando, la secuencia y coordinación de ellas no den lugar a obras inconclusas que con el tiempo se deterioran<sup>o</sup> se destruyen.

Finalmente hay que aceptar que esta actividad es costosa y que produce beneficios a corto plazo.

### 1. ESTUDIOS BASICOS

Es bastante común observar en muchos estudios, tabulados en forma sistemática, una infinidad de datos que se presentan de diferentes maneras, llámense cuadros, gráficos, etc., que sin lugar a dudas enriquecen el texto, pero que no son utilizados o empleados para los objetivos del estudio. A nivel práctico y local, como ingenios o fincas se deben recopilar los datos y efectuar las pruebas que sean indispensables, a menos que

---

\* Ingeniero Agrónomo, M.S., Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia, Seccional Medellín.

se disponga de tiempo y se puedan hacer otras, para fines futuros. A nivel regional o zonal se encuentra como ejemplo, en muchos informes, inventarios de hospitales, escuelas, que cuando se hacen las proyecciones no se tienen en cuenta para nada; así mismo cuando se habla de finca es frecuente reportar temperaturas extremas, número de aguaceros por mes, cuya información derivada de ellos no se utiliza.

## 1.1 CLIMATOLOGICOS.

### 1.1.1 Precipitación.

Tanto los requerimientos de agua para riego, como los excesos de agua a drenar superficialmente dependen de la cantidad y distribución de las lluvias.

Para su consideración se deben inventariar las estaciones pluviométricas y pluviográficas, conocer los registros y el número de años.

Lo ideal es poseer registros completos de más de 20 años, pero en el país los datos son escasos y en muchos casos no son muy confiables, de donde nace una práctica muy común que consiste en recoger datos incompletos por ejemplo de 3-4 años y con ellos deducir regímenes y tendencias, meses secos y meses lluviosos. De aquí surge una reflexión extrema; ¿se parte de la ignorancia total desestimando esos registros o se utilizan con el riesgo de hacer inferencias erróneas?

Ya pasando a la utilización, los promedios mensuales tabulados y graficados permiten conocer meses secos y lluviosos que a su vez, como una buena aproximación definen épocas de siembra y cosecha (Figura 1).

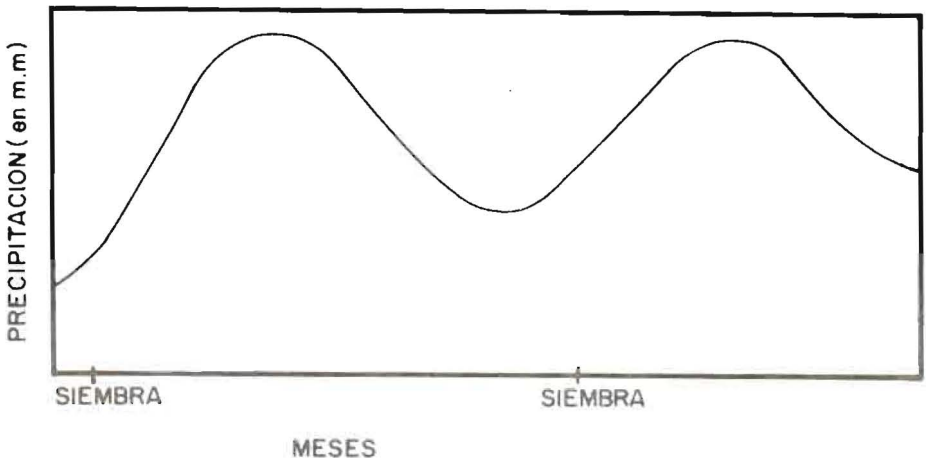


FIGURA 1

Para efecto de riego y drenajes es necesario definir los riesgos que se quieren correr en función de los objetivos que se buscan; por ejemplo por las inversiones y el valor del cultivo se deben correr menores riesgos en hortalizas que en pastos; por lo tanto si se trabaja con promedios, significa que en uno de dos años se espera que la lluvia supere el promedio o en otras palabras que al utilizarse ese parámetro para cálculo de riego y drenaje, se espera que en un año exista deficiencia.

Entonces ese riesgo tal como está planteado quizá se pueda correr en pastos, porque los daños tal vez no sean significativos, pero para hortalizas es inaceptable; entonces el parámetro a considerar en el diseño debe tener un valor que se espera sea superado al menos en el 60-70 u 80% de los eventos en el caso de riego, y para efecto de drenaje el análisis debe ser similar, pero considerando un nivel de probabilidad acorde con sus exigencias.

Por estas consideraciones se debe hacer un estudio de probabilidades tal como se ilustra en las Figuras 2 y 3.

### 1.1.2 Temperatura.

Este factor se registra en grados centígrados como promedia, máxima y mínima. Hay que anotar que los promedios anuales, mensuales y aún diarios en el trópico varían muy poco, en cambio durante el día existen fluctuaciones que se deben tener en cuenta para algunos cultivos como la caña de azúcar.

| Año  | Precipitación<br>mm | Número de<br>orden | Frecuencia<br>$F = \frac{r}{n + 1}$ | Período de retorno<br>$T = \frac{1}{F}$ |
|------|---------------------|--------------------|-------------------------------------|---|
| 1953 | 105                 | 1                  | 4.8                                 | 22                                      |
| 1962 | 101                 | 2                  | 9.5                                 | 10.5                                    |
| 1966 | 90                  | 3                  | 14.3                                | 6.9                                     |
| 1951 | 86                  | 4                  | 19.1                                | 5.2                                     |
| 1964 | 80                  | 5                  | 23.9                                | 4.2                                     |
| 1952 | 75                  | 6                  | 28.6                                | 3.5                                     |
| 1965 | 74                  | 7                  | 33.4                                | 3.0                                     |
| 1963 | 70                  | 8                  | 38.1                                | 2.6                                     |
| 1960 | 69                  | 9                  | 42.8                                | 2.3                                     |
| 1950 | 68                  | 10                 | 47.6                                | 2.1                                     |
| 1958 | 65                  | 11                 | 52.2                                | 1.9                                     |
| 1956 | 64                  | 12                 | 57.1                                | 1.8                                     |
| 1948 | 61                  | 13                 | 61.9                                | 1.6                                     |
| 1949 | 61                  | 14                 | 66.8                                | 1.5                                     |
| 1959 | 53                  | 15                 | 71.5                                | 1.4                                     |
| 1967 | 52                  | 16                 | 76.1                                | 1.3                                     |
| 1954 | 48                  | 17                 | 81.0                                | 1.2                                     |
| 1957 | 47                  | 18                 | 85.7                                | 1.2                                     |
| 1961 | 46                  | 19                 | 90.5                                | 1.1                                     |
| 1955 | 35                  | 20                 | 95.2                                | 1.0                                     |

FIGURA 2. Ordenamiento de mayor a menor de las lluvias de enero.

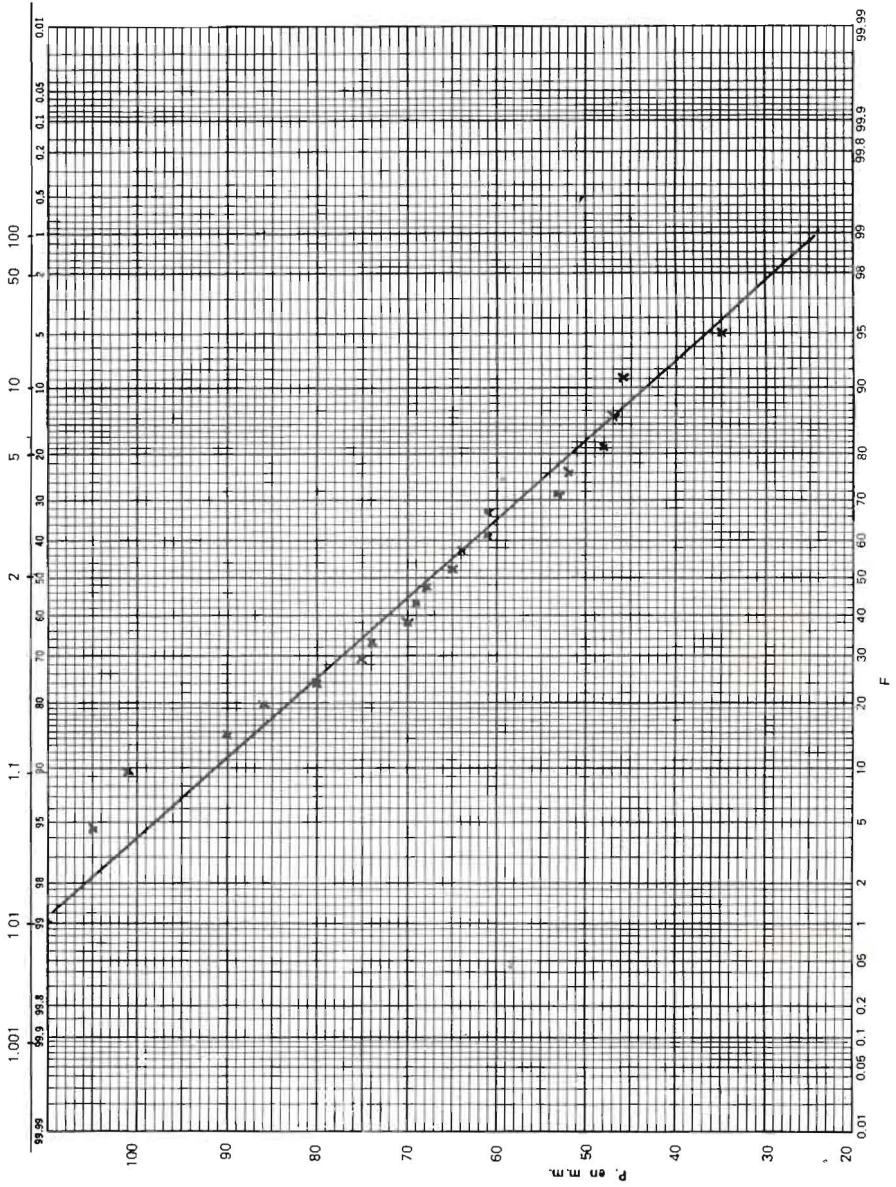


FIGURA 3.

Los valores de temperatura son especialmente empleados para el cálculo de Uso Consumtivo.

### 1.1.3 Humedad relativa.

Se trabaja con promedios mensuales y se expresa en porcentaje cuando se utiliza para deducir la tolerancia de las plantas a este factor como en el caso del cacao y sus enfermedades; igualmente para determinación de Uso Consumtivo.

### 1.1.4 Radiación solar.

Es el factor que más influye en la evaporación del agua; depende de la declinación solar y la latitud del lugar. Desafortunadamente en el país muy pocas estaciones poseen los aparatos para registrarla como solarímetros, actinómetros y se tiene que echar mano entonces de valores ya tabulados en función de la latitud y la época del año. Se mide en Langleys por día,  $\text{cal/cm}^2/\text{día}$ ,  $\text{mm/día}$ .

Para convertir  $\text{cal/cm}^2\text{m}$  a  $\text{mm H}_2\text{O/hora}$ , se procede así: Ej.  $0.8 \text{ cal/cm}^2\text{.m}$

$$\frac{0.8 \text{ cal}}{\text{cm}^2 \times \text{min}} \times \frac{1 \text{ gm/H}_2\text{O}}{585 \text{ cal}} \times \frac{1 \text{ cm}^3 \text{ H}_2\text{O}}{1 \text{ gm H}_2\text{O}} \times \frac{60 \text{ m}}{1 \text{ hora}} = 0,082 \text{ cm H}_2\text{O/hora}$$

es igual a  $0.82 \text{ mm H}_2\text{O/hora}$ .

De donde se desprende que  $0.82 \text{ mm H}_2\text{O/hora} \approx 1 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$ .

El calor latente de vaporización, o sea la energía para el cambio de 1 gm de agua líquida a vapor a  $20^\circ\text{C}$  son 585 cal.

### 1.1.5 Brillo solar.

Refleja la intensidad de la nubosidad de la zona o el predio; es afectado principalmente por la proximidad de las cordilleras; al igual que la humedad relativa se expresa en porcentaje.

## 1.2 EDAFOLOGICOS.

### 1.2.1 Reconocimiento y Clasificación de Suelos.

Agrupación sistemática de los suelos por sus propiedades físicas, químicas y biológicas y la siguiente elaboración de mapas temáticos como de profundidades efectivas, salinidad, alcalinidad, pedregosidad, etc.

A este nivel es deseable y recomendable estudios a nivel de detalle.

### 1.2.2 Infiltración.

La mejor forma de medirla es por medio de parcelas en el mismo campo, mediante un balance entre el agua aplicada y retenida en la superficie, pero esta tarea es dispendiosa y requiere mecanismos de medición y de control que limitan la utilización del método. Comúnmente se emplean cilindros concéntricos para medir el flujo del agua a través del suelo.

La determinación de la velocidad de la infiltración en función del tiempo permite conocer la capacidad del suelo para absorber agua, cualidad que lleva a definir entre otros el tiempo de riego.

La representación de los resultados se ilustra en las Figuras 4 y 5.

| Tiempo transcurrido<br>(minutos) | Lámina acumulada (mm) |               | Infiltración<br>(mm/hora) |
|----------------------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|
|                                  | Infiltrómetro         | Infiltrómetro |                           |
|                                  | 1                     | 2             |                           |
| 1                                | 5                     | 4             | 240                       |
| 2                                | 7                     | 6             | 120                       |
| 3                                | 9                     | 8             | 120                       |
| 5                                | 11                    | 10            | 60                        |
| 10                               | 15                    | 13            | 36                        |
| 20                               | 20                    | 19            | 36                        |
| 30                               | 25                    | 24            | 30                        |
| 45                               | 27                    | 28            | 16                        |
| 60                               | 30                    | 30            | 8                         |
| 90                               | 36                    | 33            | 6                         |
| 120                              | 39                    | 36            | 6                         |
| 150                              | 42                    | 39            | 6                         |
| 180                              | 44                    | 42            | 6                         |
| 210                              | 46                    | 45            | 6                         |
| 240                              | 48                    | 47            | 4                         |

FIGURA 4. Prueba de Infiltración

La representación gráfica que se ajusta mejor a los datos se muestra en la Figura 5.

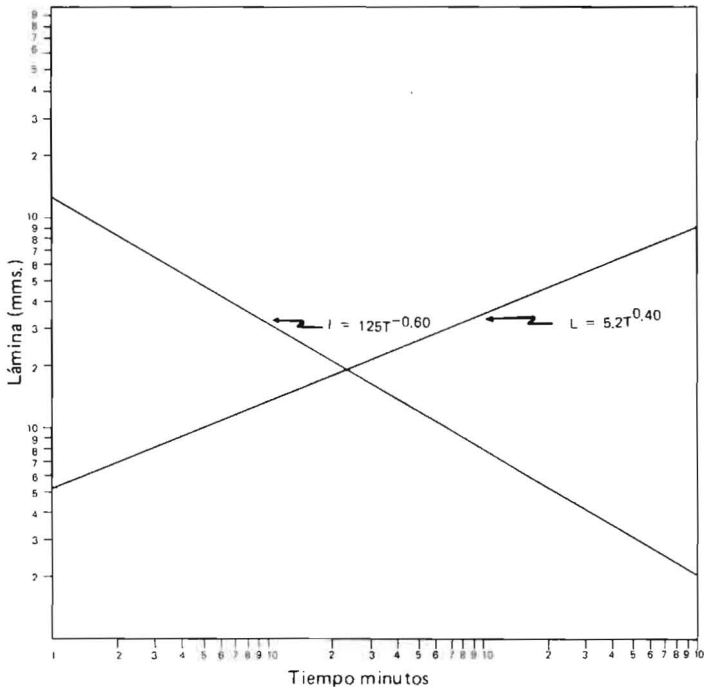


FIGURA 5. Prueba de Infiltración.

La ecuación de la recta de la infiltración instantánea es de la forma  $I = KT^n$ , que al reemplazar de la gráfica es

$$I = 125 T^{-0.60} \text{ en mm/hora}$$

Integrando la expresión original se obtiene la lámina acumulada, o sea

$$L = \frac{K}{n+1} T^{n+1}$$

$$L = 5.2 T^{0.40} \text{ (se divide por 60)}$$

De la ecuación anterior resulta que el tiempo de riego ( $T_r$ ) para aplicar una lámina  $L$  es:

$$T_r = \left[ \frac{60 L (n+1)}{K} \right]^{\frac{1}{n+1}}$$

### 1.2.3 Conductividad hidráulica.

La cualidad que tiene el suelo para transmitir el agua a través del perfil se determina en laboratorio con muestras alteradas. Este método precisamente por la alteración de la muestra ofrece resultados que deben analizarse con un buen criterio antes de su utilización.

En forma resumida la determinación de la conductividad hidráulica con permeámetros de altura constante se basa en la Ley de Darcy para el movimiento del agua en el suelo que tiene en cuenta el volumen del líquido que fluye a través de una muestra de suelo por unidad de tiempo ( $t$ ), la sección transversal del suelo ( $A$ ) con relación a la duración del movimiento, la pérdida de altura piezométrica ( $h_L$ ) y la longitud de la columna de agua ( $L$ ).

$$K = \frac{Q L}{A h_L}$$

Si la sección de un permeámetro es de  $0.11 \text{ m}^2$ , el caudal que pasó a través de él fue de  $0.0095 \text{ m}^3/0.4$  horas, con una pérdida piezométrica de  $0.30 \text{ m}$  de suelo; la columna de agua es de  $0.72 \text{ m}$ .

$$K = \frac{0.0095 \times 0.30}{0.4 \times 0.72 \times 0.11} \times 0.09 \text{ m/hora}$$

Para la determinación en el campo, cuando el nivel freático se encuentra por encima de la capa a determinar se procede de la siguiente manera:

Se abre un hueco en el terreno de diámetro conocido hasta la profundidad deseada.

Cuando el agua en el hueco está en equilibrio con el agua subterránea, parte de ella es achicada. El agua subterránea entonces empieza a filtrarse hacia el hueco y la tasa con que asciende es medida. La conductividad hidráulica del suelo se computa por una fórmula o un gráfico, describiendo la relación mutua entre la tasa del ascenso y las condiciones del agua subterránea y la geometría del hueco. Este método mide el promedio de la conductividad hidráulica de una columna de suelo de 30 cm de radio con rango de amplitud de la tabla de agua subterránea hasta 20 cm por debajo del fondo del hueco, o de un estrato relativamente impermeable, si éste ocurre dentro de los 20 cm del fondo.

La medición de la tasa de ascenso del nivel de agua debe empezar inmediatamente después de achicar. Se puede registrar el tiempo para intervalos fijos de ascenso, o el ascenso para intervalos fijos de tiempo. La primera técnica requiere el uso de cronómetros, mientras que el segundo que es el acostumbrado en Holanda, necesita solamente un reloj con buen segundero. Normalmente se toman cinco lecturas, ya que éstas darán un valor promedio confiable para la tasa de ascenso y además proporcionan un chequeo contra irregularidades. El intervalo de tiempo al cual se toman las lecturas del nivel de agua, es usualmente de 5-30 segundos, dependiendo de la conductividad hidráulica del suelo y debe corresponder a un ascenso de aproximadamente 1 cm en el nivel del agua. Una buena guía es que la tasa de ascenso en mm/seg, en un hueco de 8 cm, de diámetro a una profundidad de 70 cm abajo de la capa freática, es igual aproximadamente al valor K del suelo en m/día. Debe tenerse cuidado de completar las mediciones antes de que el 25% del volumen de agua removido del hueco haya sido reemplazada por flujo de agua subterránea. Después de esto una capa freática considerable en forma de embudo, se desarrolla alrededor y dentro del hueco. Tal efecto no se ha tenido en cuenta en las fórmulas o cartas de flujo desarrolladas para el método de hueco-barrenado y en consecuencia deberá chequearse que  $\Delta h < 1/4 h (t_1)$  (Figura 6).

Esta relación ha sido derivado numéricamente por la relación técnica y es dada como

$$K = C \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

donde

K = Conductividad hidráulica (m/día)

C = Factor Geométrico = f (h, H, r, s) (Figuras 6, 7 y 8).

$\frac{\Delta h}{\Delta t}$  = Tasa de ascenso del nivel de agua (cm/s).

S >  $\frac{1}{2}$  H, en la Figura 7 una relación similar aplicada.

Cuando S = 0. El uso de esas figuras puede ilustrarse con el siguiente ejemplo.

Las Figuras ilustran el procedimiento. (7, 8, 9).



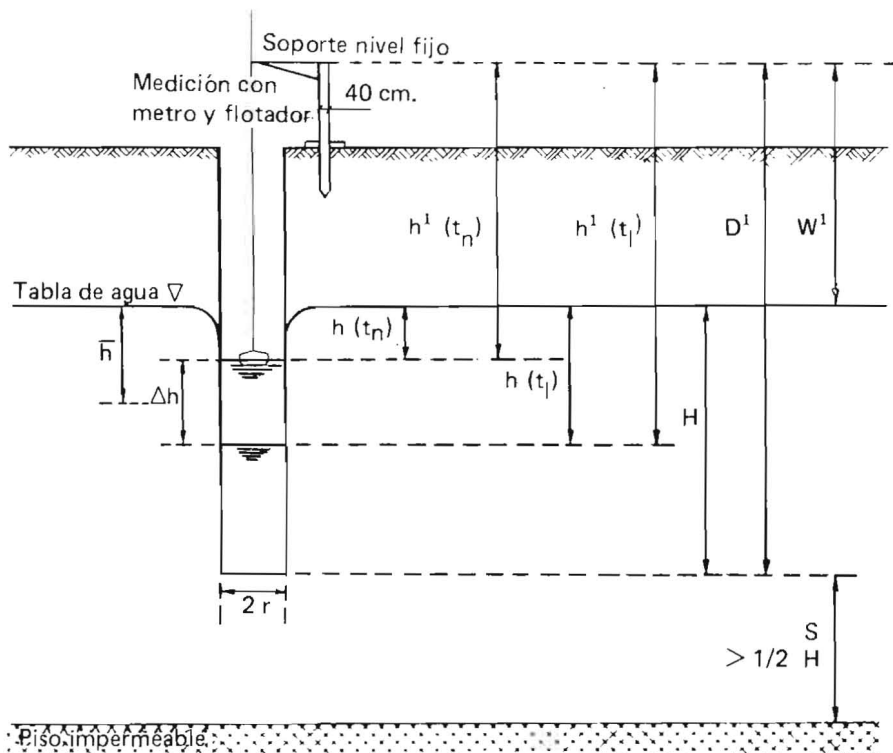


FIGURA 6. Método del Hueco Taladrado con Barreno.  $D'$  = profundidad de agujero barrenado debajo del nivel del soporte;  $W'$  = profundidad de la tabla de agua debajo del nivel del soporte;  $H = D' - W'$  = profundidad del hueco barrenado debajo de la tabla de agua;  $h'(t_1)$ ,  $h'(t_n)$  = profundidad de la tabla de agua en el hueco debajo del nivel del soporte al tiempo de la primera lectura ( $t_1$ ) y después de algunas lecturas ( $t_n$ ).

Usualmente se toman cerca de cinco lecturas;  $\Delta h = h'(t_1) - h'(t_n) = h(t_1) - h(t_n)$  = ascenso del nivel del agua en el hueco durante el tiempo de las mediciones;  $\bar{h} = h(t_1) - 1/2 \Delta h$  = cabeza promedio durante el tiempo de mediciones;  $S$  = profundidad del piso impermeable abajo del fondo del hueco;  $r$  = radio.

#### 1.2.4 Densidad aparente.

Es fundamental para el cálculo de la capacidad de almacenamiento del suelo y determina el peso de las partículas sólidas en un volumen total de la muestra de suelo, se da en  $\text{gr/cm}^3$  usualmente.

$$D_a = \frac{P_s}{V_t}$$

En donde  $P_s$ : peso del hueco secado a  $105^\circ\text{C}$  y  $V_t$ : volumen conocido.

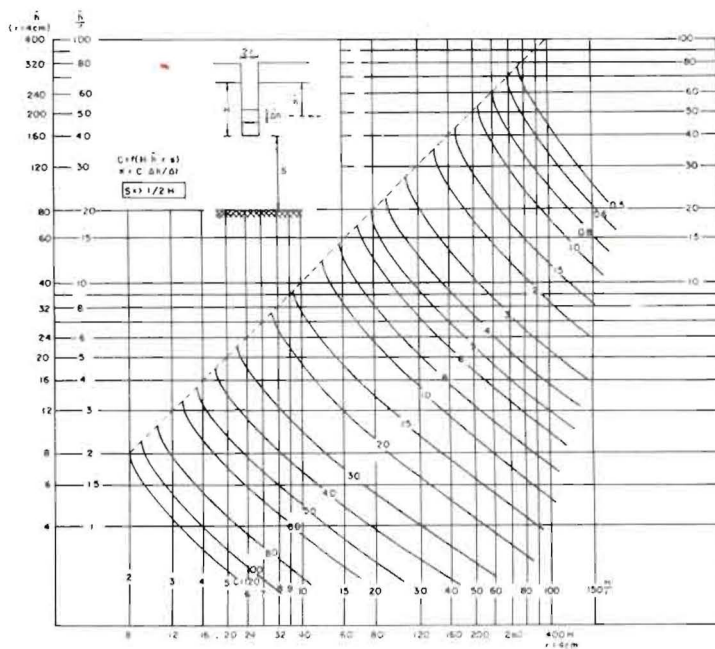


FIGURA 7. Nomograma para determinación de  $C$  para el método del hueco taladrado con barreno (según Ernest, 1950).

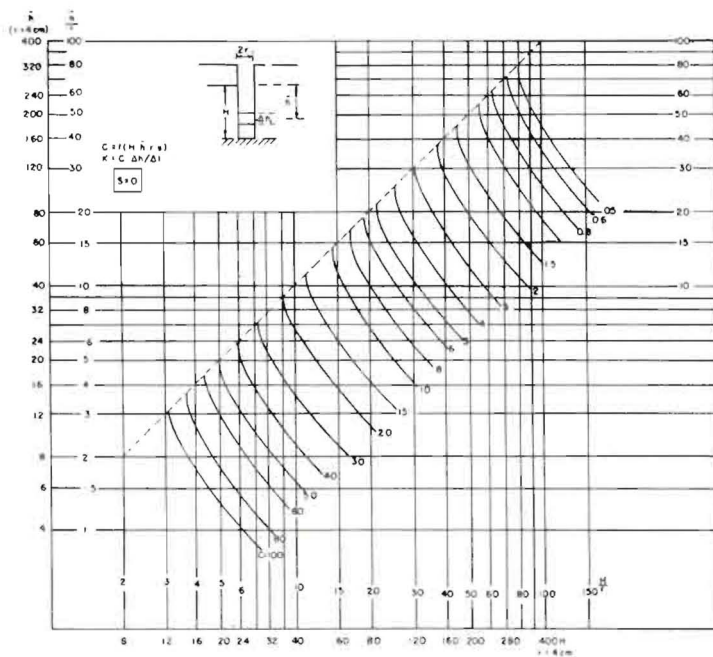


FIGURA 8. Nomograma para determinación de  $C$  para el método del hueco taladrado con barreno (según Ernest, 1950).

| No. SITUACION            |              |            | FECHA        | TECNICO   |
|--------------------------|--------------|------------|--------------|---|
| $D^1 = 240$ cm           |              |            | $r = 4$ cm   |   |
| $W^1 = 114$ cm           |              |            | $S = > 1/2H$ |   |
| $H = D^1 - W^1 = 126$ cm |              |            |              |   |
| $i$                      | $t_j$        | $h^1(t_j)$ | $\Delta h$   |   |
| <b>Segundo</b>           | <b>cm</b>    | <b>cm</b>  |              |   |
| 1                        | 0            | 145.2      | —            | $\Delta t = t_6 - t_1 = 50$ seg.                          |
| 2                        | 10           | 144.0      | 1.2          | $\Delta h = h^1(t_j) - h^1(t_6) = 5.6$ cm                 |
| 3                        | 20           | 142.8      | 1.1          | $h(t_j) = h^1(t_j) - W^1 = 145.2 - 114 = 31.2$ cm         |
| 4                        | 30           | 141.7      | 1.1          | Revisar $\Delta h < 1/4h(t_j)$ ( $5.6 < 7.8$ )            |
| 5                        | 40           | 140.6      | 1.1          | $\bar{h} = h(t_j) - 1/2 \Delta h = 31.2 - 2.8 = 28.4$ cm  |
| 6                        | 50           | 139.6      | 1.1          | $H/r = 31.5$ $C = 60$ (leer en la Fig. 7)                 |
|                          |              |            |              | $\bar{h} r = 1.7$   |
|                          |              |            |              | $\Delta h / \Delta t = \frac{5.6}{50} = 0.11$             |
|                          | $\Delta h =$ | 5.6        | 5.6          | $K = C \Delta h / \Delta t = 60 \times 0.11 = 0.66$ m/día |

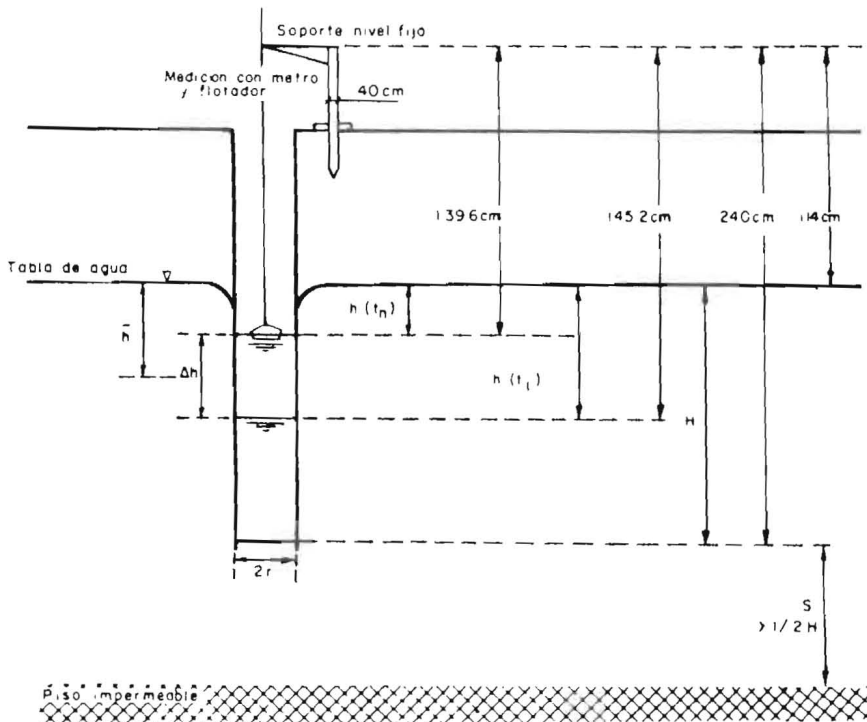


FIGURA 9. Ejemplo de mediciones para el método del hueco taladrado con barreno.

### 1.3 CULTIVOS.

Para fines prácticos se da a continuación en la Figura 10 la profundidad en las cuales se encuentra el mayor porcentaje de raíces efectivas.

| CULTIVOS   | PROFUNDIDAD RADICULAR (m) |
|--|---------------------------|
| Alfalfa  | 1.20 a 1.80               |
| Frijol   | 0.90                      |
| Remolacha  | 0.60 a 0.90               |
| Banano   | 0.60 a 0.80               |
| Pasto  | 0.60                      |
| Pastos Forrajeros                                | 0.90 a 1.20               |
| Frambuesa y Mora                                 | 1.20 a 1.80               |
| Col  | 0.60                      |
| Melón  | 1.20 a 1.50               |
| Zanahoria  | 0.60 a 0.90               |
| Coliflor   | 0.60                      |
| Cítricos (suelos pesados)                        | 0.80 a 1.00               |
| Cítricos (suelos medios)                         | 1.20 a 1.50               |
| Maíz dulce                                       | 0.90                      |
| Maíz   | 0.90 a 1.20               |
| Caña de azúcar                                   | 1.00                      |
| Algodón  | 1.20 a 1.80               |
| Pepino   | 0.60 a 0.90               |
| Cereales de grano pequeño: (trigo, cebada, etc.) | 0.90 a 1.20               |
| Sorgo  | 0.90 a 1.20               |
| Vid  | 0.90 a 1.20               |
| Trébol ladino                                    | 0.60                      |
| Lechuga  | 0.30 a 0.45               |
| Cebolla  | 0.45                      |
| Maní   | 0.60                      |
| Arveja   | 0.90 a 1.20               |
| Papa   | 0.90 a 1.20               |
| Rábano   | 0.30 a 0.45               |
| Soya   | 0.90 a 1.20               |
| Calabacita                                       | 0.90                      |
| Fresa  | 0.80 a 1.20               |
| Tabaco   | 1.20                      |
| Tomate   | 1.50 a 2.00               |
| Sandía   | 1.50 a 1.80               |

FIGURA 10. Profundidades de las raíces de los principales cultivos.

## 2. ADECUACION DE TIERRAS

Adecuación en términos simples significa acción o efecto de proporcionar o acomodar una cosa a otra; por extensión y a manera de ensayo de definición, adecuación de tierras agrícolas consiste en crear o proporcionar las condiciones necesarias para la eficiente explotación del campo.

Entonces se puede pensar en una adecuación integral que signifique para una área determinada, protección contra las inundaciones, el drenaje de los campos, desmonte de los terrenos, nivelación de la superficie, suministro de agua para riego, construcción de vías para el manejo de los cultivos o las explotaciones pecuarias, centro de acopio.

Igualmente es válido para otros, como concepto de adecuación el solo desmonte, el drenaje u otra actividad tomada independientemente.

Para las pautas consignadas en este documento se hará mención de las obras más tradicionales, sin que esto signifique menosprecio por las demás.

Si se toma como ejemplo un valle aluvial, que se vaya a cultivar, una secuencia lógica de las obras de adecuación puede ser:

- Control contra inundaciones.
- Desmonte.
- Drenaje.
- Nivelación.
- Riego.

Es importante insistir que todas las labores de adecuación tienen un costo que es una función de los riesgos que se desee correr; en la misma medida que se reducen los riesgos, aumentan los costos.

### 2.1 PROTECCION CONTRA INUNDACIONES.

#### Objetivos

En general los objetivos principales contra las inundaciones se pueden resumir en tres, a saber:

1. Prevención de daños agrícolas, pecuarios, infraestructura y vidas humanas.
2. Protección con el fin de mejorar las actividades internas del área protegida y ofrecer seguridad a las inversiones.
3. Prevenir la contaminación y mejorar las condiciones de salubridad.

## Métodos de Protección.

La prevención contra las inundaciones debe obedecer básicamente al postulado siguiente: el caudal del río debe ser inferior a su capacidad de descarga sin desbordamiento, es decir que:

$$Q_m < C B H^{3/2} S^{1/2} \text{ en donde} \quad (1)$$

- Q<sub>m</sub>** : Caudal contra el cual se debe proteger.  
**C** : Coeficiente de Chezy (función de rugosidad y profundidad).  
**B** : Ancho del cauce.  
**H** : Profundidad promedio del cauce.  
**S** : Pendiente del nivel de agua en el río.

### 2.1.1 Construcción de diques.

Es un método bastante utilizado y consiste principalmente en aumentar H. Los diques son obras relativamente sencillas que aumentan considerablemente la capacidad de descarga de un cauce con el fin de impedir desbordamientos. El confinamiento de un río, influye en los caudales aguas abajo por la eliminación del área de inundación que tiene influencia amortiguadora.

Otra consecuencia notable en la protección con diques, es que impide en muchos casos drenar por gravedad aguas negras o lluvias al río desde el área protegida en época de crecientes y además requiere una inspección frecuente.

Igualmente hay que considerar los efectos de oleaje cuando se presentan, la dinámica de los sedimentos y los ataques del mismo río al dique.

### Localización.

Es necesario localizar el dique a cierta distancia del cauce del río, de preferencia sobre el dique natural que forman con el tiempo los ríos; sin embargo dicho dique en algunas regiones por efecto del proceso dinámico de formación del suelo, se separa considerablemente y por esta razón en tierras agrícolas costosas tiene el proyectista que separarse de este criterio y acogerse para este efecto en la expresión (1).

### Trazado.

En general como el lecho mayor es menos profundo que el lecho menor, la capacidad de descarga se debe calcular separadamente (Figura 11).

Para el lecho menor:

$$Q_1 = C_1 B_1 H_1^{3/2} S^{1/2}$$

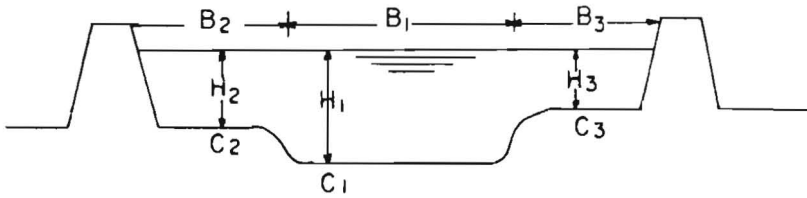


FIGURA 11. Lechos menor y mayor.

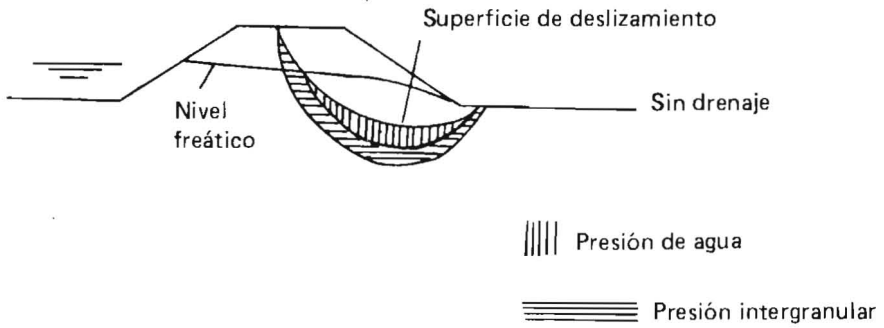


FIGURA 12.

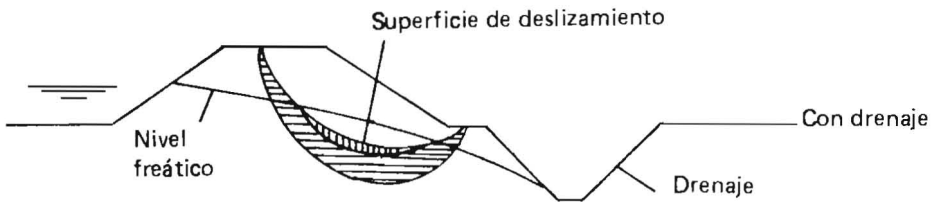


FIGURA 13. Influencia de drenaje sobre estabilidad.

Para ambos lados del lecho mayor:

$$Q_2 = C_2 B_2 H_2^{3/2} S^{1/2}$$

$$Q_3 = C_3 B_3 H_3^{3/2} S^{1/2}$$

Al agrupar se obtiene el caudal total Q:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = (C_1 B_1 H_1^{3/2} + C_2 B_2 H_2^{3/2} + C_3 B_3 H_3^{3/2}) S^{1/2}$$

### Sección transversal, dimensiones.

El desbordamiento de un río sobre el dique causa daño o deterioro por socavación o por saturación y lógicamente puede causar su derrumbe.

Para prevenir estos posibles efectos, el dique debe tener una altura (nivel de cresta) con un borde libre cuyo cálculo debe obedecer a los siguientes factores:

- a) Oleaje por viento. Despreciable para efectos prácticos.
- b) Cambios en el nivel del agua por colmatación del cauce.
- c) Asentamientos y compactación del dique.
- d) Daños que ocasionaría una posible falla de la obra.

Para diques construidos a lo largo de los ríos, el borde libre en general puede variar entre 1.0 - 1.5 m y en casos especiales menos.

El ancho de la cresta depende de la estabilidad y prevención de infiltraciones subterráneas excesivas; sin embargo como casi siempre se requiere construir una vía carretable no sólo como medio de inspección, sino también de comunicación de los predios agrícolas, entonces su ancho está supeditado a esta condición que podría ser, a manera de ejemplo entre 3.0 y 3.5 m con ciertas bahías para facilitar el tráfico vehicular.

La inclinación de los taludes depende principalmente de la calidad de los materiales empleados en su construcción; puede ser con una relación 3:1 y hasta en casos muy especiales de 1.5:1.

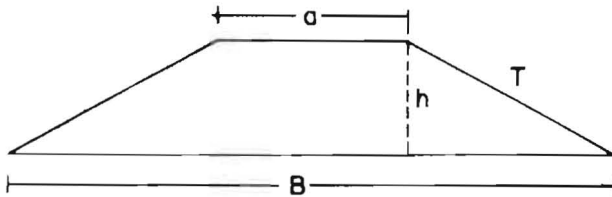
Los taludes exteriores se protegen contra la erosión con césped, aunque en tramos expuestos a fuertes corrientes (curvas cóncavas) se hace necesario muchas veces proteger con enrocados o ladrillos de barro o concreto.

El material para la construcción del cuerpo del dique debe ser arcilla o un material de una textura y características que aseguren cierta impermeabilización. Este aspecto, el de la calidad del material, es bien difícil de lograr económicamente, pues quien se decida a construir un dique para proteger tierras agrícolas tiene que utilizar el material de origen aluvial depositado en los terrenos adyacentes; por costos, es muy difícil transportar material de calidad de sitios distantes.



## Construcción

Aceptando de antemano que el material para construcción se va a obtener del préstamo de una banda paralela a su localización, se determina en primer lugar el drenaje del dique y del subsuelo para reducir las presiones en el agua freática (Figuras 12 y 13), el volumen requerido para la construcción de un metro lineal de dique se ilustra en la Figura 14.



$$\begin{aligned} a &= 3 \text{ m.} \\ h &= 2 \text{ m} \\ T &= 2:1 (Z:I) \end{aligned}$$

$$B = 2(hz) + a = 11 \text{ m.}$$

$$A = \left(\frac{B+a}{2}\right)h = 14 \text{ m}^2$$

$$\text{Vol/m.l} = 14 \text{ m}^3$$

FIGURA 14

Como se observa en el ejemplo, un metro lineal de dique requerirá  $14 \text{ m}^3$  compactados de material; entonces estimando un 40% por este efecto, sería necesario disponer de  $20 \text{ m}^3$  de material.

Ya el Ingeniero Agrónomo o Agrícola determinará el área de la zona de préstamo en función de la profundidad de corte aceptable y del microrelieve del lugar.

Conociendo la profundidad efectiva de los suelos se remueve la capa vegetal del área de préstamo, se construye el dique y posteriormente se recubre esta zona con el material previamente recogido, resultado del descapote.

El dique se construye por capas delgadas, compactadas con vibros o los llamados "pata de cabra".

### Mejora del cauce.

Significa el aumento de la sección transversal (B y H), corte de meandros (S) o reducción de la rugosidad por eliminación de vegetación (C). Este método es válido principalmente para pequeños ríos y arroyos.

### Campos controlados de inundación.

Las ciénagas y pantanos constituyen embalses naturales para las crecientes, pero a pesar de ello su efectividad no es muy eficiente porque frecuentemente se encuentran llenos cuando llegan las crecientes o sea copada su capacidad de almacenamiento.

Controlando por medio de estructuras los caudales de entrada y profundizando los drenajes naturales de ellas como caños, zanjas, se adecuaría para este fin.

## Embalses en montañas, rellenos.

Son otros métodos que a nivel de empresarios particulares o empresas agroindustriales son de difícil ejecución.

### 2.2 DESMONTE.

Esta labor debe considerar la densidad y el tamaño de la cubierta vegetal, pues define en cierta forma los costos y el tipo de maquinaria a utilizar.

Para una vegetación arbórea, arbustiva o rastrojo se necesita una maquinaria específica; para el primer caso y en términos generales se necesita buldózer; para arbustiva es posible que un rastra-arado sea suficiente, y en el caso de rastrojo, la guadaña puede cumplir esa labor. Cuando se emplee buldózer debe evitarse hasta el máximo los largos recorridos, de otra parte con la guadaña debe procurarse el otro extremo, o sea amplitud de la zona.

### 2.3 DRENAJE.

Se debe considerar el drenaje superficial o sea el de aguas lluvias y aquel otro para regular el nivel freático o sea el drenaje interno.

En el drenaje superficial y en lo que se refiere a la infraestructura primaria y secundaria, prácticamente depende de la topografía y el relieve su localización y espaciamiento, pero el drenaje a nivel predial sin desconocer el micro-relieve debe obedecer a la tolerancia de los cultivos al exceso de humedad, debe tener en cuenta la velocidad de infiltración, uso consuntivo y el período de retorno (análisis similar al que se vio para la precipitación, pero ya para el número de días de tolerancia).

Como criterio para escoger los períodos donde se cree que se pueden presentar mayores problemas por deficiente drenaje superficial, se puede pensar en los meses más lluviosos; sin embargo dicho criterio no garantiza la elección adoptada, pues en meses llamados secos se pueden presentar aguaceros muy intensos.

De todas formas es sano el principio de escoger los meses históricamente más lluviosos.

Es básico determinar entonces el llamado coeficiente de drenaje o sea el caudal que en un número de días se debe evacuar por cada hectárea.

En las Figuras 15 y 16, se observa el procedimiento.

El drenaje interno se realiza por medio de canales o tubería enterrada; en cualesquiera de los sistemas se debe tener en cuenta:

- a) Cantidad e intensidad en la precipitación u otras fuentes de recarga.
- b) Evaporación y pérdidas por percolación.
- c) Propiedades del suelo (permeabilidad, capacidad de almacenamiento, grosor de capas permeables).
- d) Profundidad, espaciamiento y medidas del dren.

Para drenaje en condiciones de flujo permanente, o sea cuando la tasa de descarga a través del dren es igual a la tasa de alimentación del agua subterránea, se emplean varias ecuaciones a saber:

a) Cuando el canal se localiza sobre un piso impermeable.

$$R = q = \frac{4K (H^2 - D^2)}{L^2} \quad (1)$$

R = Tasa de descarga por unidad de área (m/día)

q = Descarga al dren (m/día)

K = Conductividad hidráulica del suelo (m/día)

H = Altura sobre el piso impermeable de la tabla de agua en su punto medio (m).

D = Altura sobre la capa impermeable del nivel del agua en el dren (m).

L = Espaciamiento de drenes (m).

Si  $H - D = h$ , entonces  $H + D = 2h$ ; (1) se convierte en:

$$q = \frac{8K (D + 1/2h) h}{L^2} = \frac{8KDh + 4Kh^2}{L^2} \quad (2)$$

El valor de  $D + 1/2h$  se puede considerar como el espesor promedio de la capa de suelo a través de la cual fluye el agua (Figura 17), entonces

$$q = \frac{8K \bar{D} h}{L^2} \quad (3)$$

En donde  $K\bar{D}$  es la transmisividad del agua a través del estrato.

Cuando el canal o la tubería de drenaje interno está vacía  $D = 0$ .

$$q = \frac{4Kh^2}{L^2} \quad \text{Representa el flujo horizontal.}$$

Pero si  $D$  es mucho mayor con respecto a  $h$ , el segundo término de la ecuación (2) puede ser despreciado y

$$q = \frac{8KDh}{L^2} \quad \text{Representa el flujo por debajo del nivel del dren.}$$

Agrupando:

$$q = \frac{8K_1 Dh + 4K_2 h^2}{L^2} \quad \text{Para suelos de dos capas con K diferente.}$$

| INFILTRACION<br>mm/día | INFILTRACION<br>5 DIAS | Etp<br>5DIAS | P. RETORNO 4 AÑOS |                      |                               | P. RETORNO 5 AÑOS |                      |                               | P. RETORNO 10 AÑOS |                      |                               |
|------------------------|------------------------|--------------|-------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------|
|                        |                        |              | LLUVIAS<br>5 DIAS | C. DRENAJE<br>mm/día | C. DRENAJE<br>LIT/SEG.<br>HA. | LLUVIAS<br>5 DIAS | C. DRENAJE<br>mm/día | C. DRENAJE<br>LIT/SEG.<br>HA. | LLUVIAS<br>5 DIAS  | C. DRENAJE<br>mm/día | C. DRENAJE<br>LIT/SEG.<br>HA. |
| 3                      | 15.0                   | 20.5         | 176               | 28.1                 | 3.2                           | 184               | 29.7                 | 3.4                           | 207                | 34.3                 | 4.0                           |
| 5                      | 25.0                   | 20.5         | 176               | 26.1                 | 3.0                           | 184               | 27.7                 | 3.2                           | 207                | 32.3                 | 3.7                           |
| 7.5                    | 37.5                   | 20.5         | 176               | 23.6                 | 2.7                           | 184               | 25.2                 | 2.9                           | 207                | 29.8                 | 3.4                           |
| 10                     | 50.0                   | 20.5         | 176               | 21.1                 | 2.4                           | 184               | 22.6                 | 2.6                           | 207                | 27.3                 | 3.1                           |

FIGURA 15

DRENAJE DE AGUAS LLUVIAS

ESTACION CAUCASIA

|                    |      | JULIO |     |     |     |     | AGOSTO |     |     |     |     |
|--------------------|------|-------|-----|-----|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|
| Años<br>P. Retorno | Días | 1     | 2   | 3   | 4   | 5   | 1      | 2   | 3   | 4   | 5   |
|                    | 4    |       | 89  | 101 | 118 | 128 | 140    | 100 | 142 | 148 | 180 |
| 5                  |      | 91    | 106 | 122 | 134 | 146 | 104    | 149 | 155 | 189 | 205 |
| 10                 |      | 103   | 118 | 134 | 148 | 160 | 116    | 168 | 173 | 214 | 231 |
| 25                 |      | 116   | 130 | 148 | 164 | 176 | 127    | 187 | 192 | 240 | 260 |
| 50                 |      |       |     |     |     |     |        |     |     |     |     |
| 100                |      |       |     |     |     |     |        |     |     |     |     |

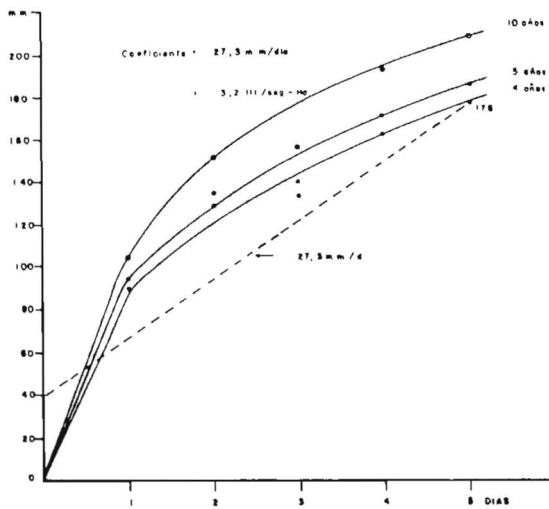
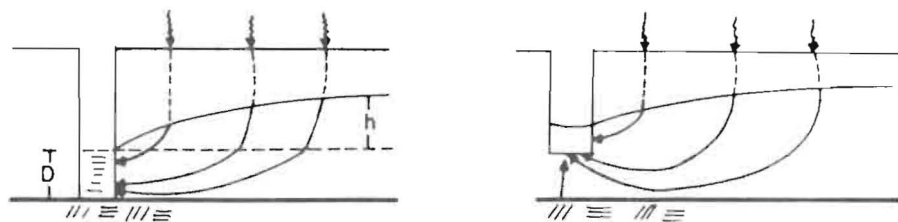


FIGURA 16



a) Canal sobre est. impermeable

b) Estrato impermeable profundo

FIGURA 17

b) Cuando el canal se localiza por encima de un estrato impermeable, se emplean las ecuaciones de Hooghout que para tuberías cuyo radio es ( $r$ ).

$$h = \frac{qL}{K} \left[ \frac{1}{\pi} \ln \frac{D}{r\sqrt{2}} + \frac{(L - D\sqrt{2})^2}{8DL} \right]$$

Despreciando el flujo por encima del nivel del dren.

$$q = \frac{8Kdh}{L^2} \quad d = \text{Profundidad equivalente.}$$

Con dos capas de conductividad diferentes:

$$q = \frac{8K_1 dh}{L^2} + \frac{4K_2 h^2}{L^2}$$

Existen igualmente otras ecuaciones como las Ernst, Kirkham, Dagan y otros.

Para condiciones de flujo no permanente como para drenar áreas con riegos periódicos o alta intensidad de la lluvia, se utilizan otras fórmulas, como la de Glover-Dumm.

$$L = \pi \left[ \frac{Kdt}{\mu} \right]^{1/2} \cdot \left[ \ln 1.16 \frac{h_0}{ht} \right]^{-1/2}$$

Ej: Una área se riega cada 10 días, el agua que se percola y alimenta el nivel freático es de 25 mm en cada riego ( $R_1 = 0.025$ ), la porosidad efectiva  $\mu = 0.05$ ; la recarga causa un incremento en la altura del nivel freático de 0.5 m ( $\Delta h = R_1/\mu$ ).

Como criterio se establece que la profundidad mínima del nivel de la tabla de agua es de 1 m. El dren tiene una profundidad de 1.8 m;  $h_0 = 1.8 - 1.0 = 0.8$ .

El nivel del agua debe ser abatido a 0.5 m antes del próximo riego, entonces  $h_{10} = h_0 - h = 0.8 - 0.5 = 0.3$  m.

Si la profundidad del horizonte impermeable está a 9.5 m  $K = 1$  m/día y la tubería a utilizar tiene un radio de 0.10 m.

Calcular el espaciamiento del dren.

$$\begin{aligned} K &= 1.0 \text{ m/día} & h_{10} &= 0.3 \text{ m} \\ D &= 9.5 - 1.8 = 7.7 & t &= 10 \text{ días} \\ \mu &= 0.05 & r &= 0.10 \text{ m} \\ h_0 &= 0.8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$L = \pi \left[ \frac{1.0 \times d \times 10}{0.05} \right]^{1/2} \left[ 1n \frac{1.16 \times 0.8}{0.3} \right]^{-1/2} \quad L = 41.8\sqrt{d}$$

Ensayando con  $L = 80$  m

De la Figura 18 con  $\frac{D}{\mu} = \frac{D}{\pi r} = \frac{7.7}{\pi \times 0.1} = 25$  y  $D = 7.7$   $d = 4.4$  sustituyendo  $L = 88$  m que es más que 80, entonces  $L$  debe ser mayor.

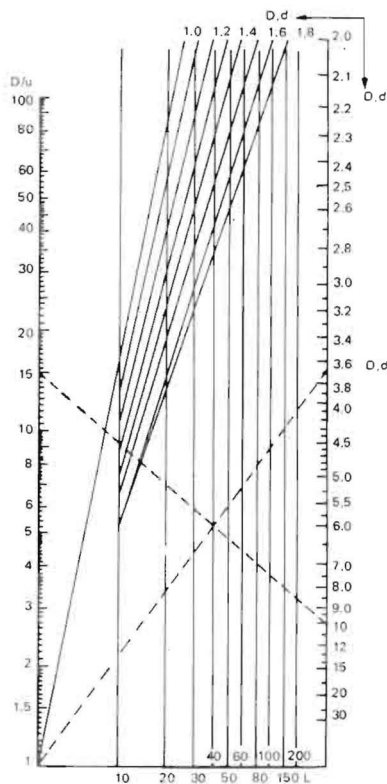


FIGURA 18. Nomograma para la determinación de la profundidad equivalente d (VAN BEERS).

Si se ensaya con  $L = 100$ :  $d = 4.8$  y  $L$  calculado es 92: menor que 100.

Entonces con  $L = 90$  m el calculado da también 90 m.

Otra fórmula bastante utilizada es la de Kraijenhoff Van de Leur que para su solución requiere de monogramas.

## 2.4 NIVELACION.

Puede decirse que nivelar consiste en emparejar, elevar a un mismo nivel o referencia; aplicado este concepto a las tierras para utilización agrícola, significa el relleno de los bajos o basines con tierra proveniente de las partes altas con el fin de tener una rasante con una pendiente uniforme.

En general no se pretende en forma alguna cambiar o modificar la pendiente natural de los terrenos, es en cierta medida lo que se podría llamar un refinamiento superficial es decir uniformizar el micro-relieve en áreas que dependen fundamentalmente del manejo. Se puede afirmar que a mayor área que se tome como unidad de nivelación, mayor es el volumen de tierras a remover por hectárea. Por esta razón en fincas se deben dividir los terrenos o "lotes" para nivelación, pero obedeciendo a un diseño integral.

Es vital, igualmente, la observancia estricta de la profundidad efectiva del suelo y su relación con el cultivo.

Se acepta igualmente que toda labor de nivelación afecta negativamente la fertilidad, pero se justifica si la productividad de los campos es incrementada por esta actividad, por los beneficios que ella acarrea como:

- Recuperación de áreas.
- Mayor eficiencia en la aplicación del agua de riego.
- Mejores facilidades para labores culturales y de mantenimiento del cultivo.
- Facilita grandemente la mecanización de la cosecha.
- Hace más eficiente el drenaje superficial.

### Planeación.

Debe consultar en primer término la disponibilidad de los recursos. Es bien conocida en el país la costumbre de iniciar obras que se deben interrumpir o suspender porque los costos desbordan totalmente la capacidad económica de la empresa; entonces es indispensable después de justificada económicamente la nivelación conocer cuál es el presupuesto o costo de la labor y la disponibilidad de dinero de la entidad.

Después de conciliar lo anterior se elabora un cronograma de actividades ya sea a nivel mensual o anual con los respectivos desembolsos, teniendo en cuenta que el trabajo se puede adelantar por etapas (por superficie o por labores), y luego se procede desde el punto de vista técnico.

- Estudio del perfil del suelo, especialmente en lo referente a profundidad efectiva con el fin de elaborar un mapa temático en donde se defina claramente por áreas cuál es la máxima longitud de cortes permisibles.
- Análisis de la topografía: planimétrica para establecer qué infraestructura se tiene que conservar por importancia, (casas, galpones, pozos, líneas de ferrocarril, servidumbre) propiedad (lotes o predios que penetren en forma de cuñas, vías) o conveniencia (zanjas profundas, canales) y altimétrica que define dirección, ubicación y profundidad de cauces naturales, ríos, arroyos, zonas altas bajas, pendiente natural, forma de la superficie.

Una secuencia lógica de los pasos a seguir posteriormente serían:

1. Localizar los sitios por donde se drenan las aguas y sus implicaciones con quienes las reciben.
2. Determinar caños, cauces u hondonadas que van a ser parte de la red primaria y secundaria del drenaje.
3. Identificar donde se requiera las fuentes de agua para riego, caudales, reglamentaciones existentes.
4. Si se va a regar, establecer unas rutas tentativas de canales de conducción y distribución.
5. Mediante análisis de las curvas de nivel, por paralelismo, densidad y forma, dividir el campo en unidades para su manejo como las suertes en caña de azúcar, que se subdividen a su vez en áreas más pequeñas para su nivelación.

### **Métodos.**

Son muchos los métodos que van desde el más simple que es aquél en donde a criterio de un operario de máquina se hacen cortes y rellenos donde lo cree conveniente, hasta los más elaborados que utilizan los computadores para efectuar los cálculos y representar gráficamente el campo en forma tridimensional. Algunos de ellos son:

1. Rectificación de curvas de nivel. A criterio del Ingeniero Agrónomo o Agrícola se enderezan las curvas en forma tal que sean más rectas o que se eliminen ciertos cambios bruscos en su orientación. Es un método bastante simple.
2. Perfiles simples. Consiste en tomar una serie de perfiles equidistantes en el campo y fijar una rasante con la pendiente requerida; cada perfil se asume representativo de una faja de terreno. Por tanteos se establece un equilibrio entre cortes.
3. Mínimos cuadrados (Centroide). Mediante una cuadrícula a 20 ó 30 m de lado se establecen las cotas en cada vértice, luego se calculan las pendientes naturales del terreno, como también las coordenadas y altura del centroide para generar un plano ideal en el que el volumen de cortes es igual al volumen de rellenos. Como se requiere un volumen adicional de tierra para compensar compactación y obtener material para terraplenes, entonces se baja el plano hasta lograr una relación de corte o relleno adecuada que puede ser 1.30 - 1.40.



Este método muy dispendioso anteriormente por sus cálculos, ahora con el avance de la sistematización y computación adquirió mayor vigencia.

En forma resumida el procedimiento de cálculo es el siguiente:

1. Localización del centroide. Es la intercepción de las diagonales en un rectángulo o cuadrado. Igualmente se puede localizar con la ayuda de unas coordenadas imaginarias, separadas de las primeras hileras y columnas, una distancia (D) igual a la de la cuadrícula (Figura 19). Como todos los lados de la cuadrícula son iguales, donde se requiere área (A) se puede utilizar D.

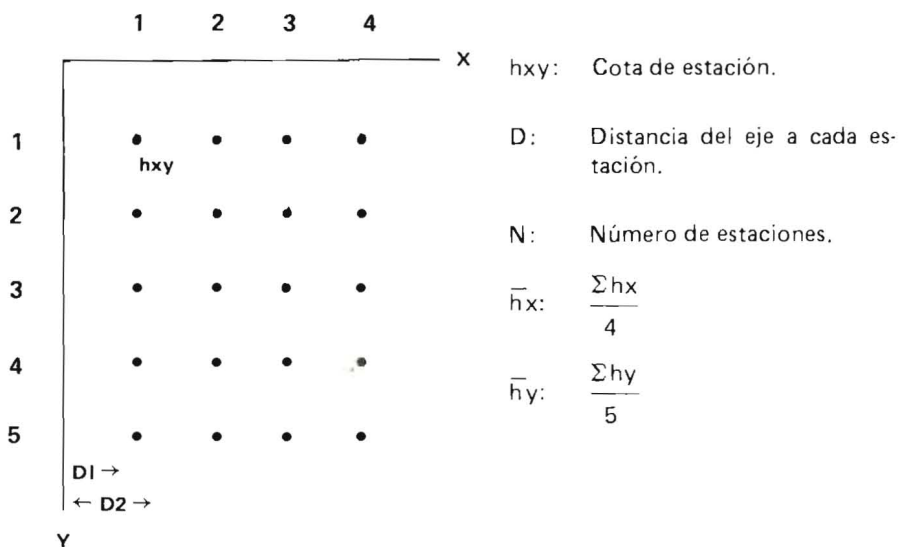


FIGURA 19

De acuerdo a las coordenadas, el centroide se ubica según ordenadas (Lx) y abscisas (Ly).

$$Lx = \frac{\sum Dx}{nx}$$

$$Ly = \frac{\sum Dy}{ny}$$

2. La altura del centroide (Hc). Se parte de la suposición que la altura de cada cuadrícula del terreno es la altura del centro de la misma.

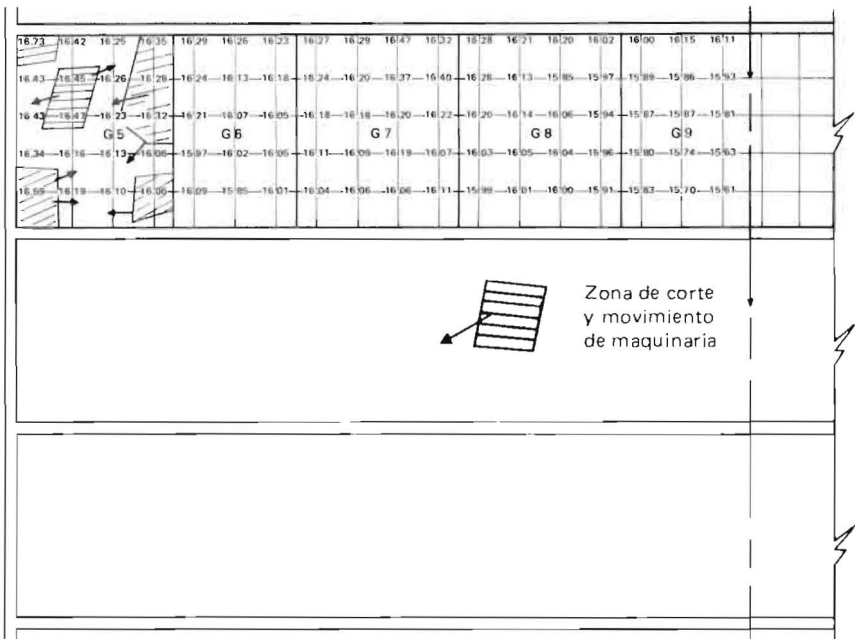
$$H_c = \frac{\sum (h_{xy} \times A)}{\sum A} = \frac{\sum h_{xy}}{n}$$

3. Pendientes longitudinal ( $S_y$ ) y transversal ( $S_x$ ). A menos que se pretenda tener el terreno con pendientes ya definidas, lo mejor desde el punto de vista agrícola es conservar las pendientes naturales, mediante planos que al pasar por la altura del centroide promedian cortes y rellenos.

$$S = \frac{\sum (D h^-) - \frac{(\sum D) (\sum h^-)}{n}}{\sum (D)^2 - \frac{(\sum D)^2}{n}}$$

4. Determinación de cortes y rellenos. Como se mencionó anteriormente es prudente una relación de corte o relleno superior a 1, entonces se baja el plano hasta encontrar una relación apropiada.

Las Figuras 20 y 21 ilustran con un ejemplo el procedimiento y la información que se deriva de un programa de computador.



PLAN DE NIVELACION DE LA RED

ITERACION N° 02

| Y / X   | 01    | 02          | 03        | 04          | SUMA X | PRON. X |
|---------|-------|-------------|-----------|-------------|--------|---------|
| 16.57   | 16.47 | 16.37       | 16.27     |             |        |         |
| 1 - 16  | 16.73 | 05 16.42    | .12 16.25 | -0.08 16.35 | 65.75  | 16.44   |
| 16.51   | 16.41 | 16.31       | 16.21     |             |        |         |
| 2 - 08  | 16.43 | -0.04 16.45 | 05 16.26  | -0.07 16.28 | 65.42  | 16.36   |
| 16.45   | 16.35 | 16.25       | 16.15     |             |        |         |
| 3 - 02  | 16.43 | -1.23 16.47 | 02 16.23  | -1.77 16.32 | 65.45  | 16.36   |
| 16.39   | 16.29 | 16.19       | 16.09     |             |        |         |
| 4 - 05  | 16.34 | 1.33 16.16  | 06 16.13  | 03 16.04    | 64.69  | 15.17   |
| 16.34   | 16.23 | 16.13       | 16.03     |             |        |         |
| 5 - 25  | 16.59 | 04 16.19    | 03 16.10  | -0.33 16.06 | 64.94  | 16.24   |
| SUMA Y  | 82.52 | 81.69       | 80.97     | 81.07       | 326.25 | 81.57   |
| PRON. Y | 16.50 | 16.34       | 16.19     | 16.21       | 65.24  | 16.50   |

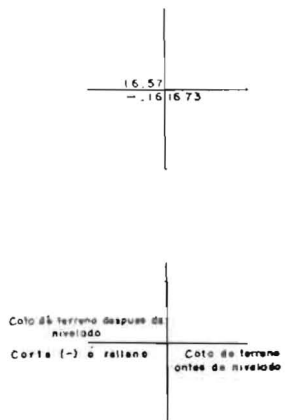


FIGURA 20. Distancia entre estacas en X = 30.00, en Y = 30.00, centroide en X = 2.50, Y = 3.00  
 Altura = 16.30, Delta = 0.10, Pendiente en X = 0.102000, Pendiente en Y = 0.059000, Volumen de Corte (M3) = 496.80, Volumen Relleno (M3) = 367.20, Relación = 1.35, Area Total 1.080 Has.  
 Corte/Ha. = 460.00, Relleno/Ha. = 340.00.

PLAN DE NIVELACION DE LA RED.

| Y / X | 01                                 | 02                    | 03                                 | 04                                 | 05                                 | SUMX   | PRMX   |
|-------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------|--------|
| 1     | .43 <sup>-</sup><br>29.49<br>29.92 | .17<br>29.58<br>29.41 | .10<br>29.67<br>29.57              | .20 <sup>-</sup><br>29.76<br>29.96 | .16<br>29.85<br>29.69              | 148.55 | 29.71  |
| 2     | .08<br>29.37<br>29.29              | .01<br>29.45<br>29.44 | .08<br>29.54<br>29.46              | .06 <sup>-</sup><br>29.63<br>29.69 | .11<br>29.72<br>29.61              | 147.49 | 29.50  |
| 3     | .07 <sup>-</sup><br>29.24<br>29.31 | .21<br>29.33<br>29.12 | .01<br>29.42<br>29.41              | .14 <sup>-</sup><br>29.51<br>29.65 | .11 <sup>-</sup><br>29.60<br>29.71 | 147.20 | 29.44  |
| 4     | .02 <sup>-</sup><br>29.11<br>29.13 | .10<br>29.20<br>29.10 | .05 <sup>-</sup><br>29.29<br>29.34 | .04<br>29.38<br>29.34              | .16 <sup>-</sup><br>29.47<br>29.63 | 146.54 | 29.31  |
| SUMY  | 117.65                             | 117.07                | 117.78                             | 118.64                             | 118.64                             | 589.78 | 117.96 |
| PRMY  | 29.41                              | 29.27                 | 29.45                              | 29.66                              | 29.66                              | 147.45 | 29.48  |

Distancia entre estacas en X = 30.00, en Y = 30.00, Centroide en X = 3.00, Y = 2.50, Altura = 29.48.  
 Delta = 0.10, Pendiente en X = 0.089000, Pendiente en Y = -0.126000, Vol. Corte (M<sup>3</sup>), 669.60/  
 Vol. Relleno (M<sup>3</sup>), 577.80, Relación = 1,1b 1, Area Total 1,080 Has. Corte Ha = 620,00 Relleno/  
 Ha = 536,00.

FIGURA 21.

## 2.5 RIEGO.

Para el suministro de agua de riego a los cultivos se debe considerar la conducción, distribución y aplicación del agua.

En la conducción y distribución se debe tener en cuenta que el canal debe seguir aproximadamente una curva de nivel, con una pendiente tal que la velocidad del agua no produzca erosión ni colmatación en el lecho y domine una área grande. La capacidad depende de un gran número de factores que no son muy fáciles de estimar o cuantificar, entre ellos merecen citarse:

1. Necesidades de los cultivos.
2. Pérdidas.
3. Método de riego.
4. Habilidad de los operarios para el manejo del agua.
5. Cultivos (monocultivo, diversificación).
6. Distribución de la demanda.
7. Reglamentaciones.

Cuando no se disponga de la información necesaria se pueden tomar a manera de guía algunos coeficientes ya ampliamente comprobados, a saber:

|    |      |   |       |           |             |
|----|------|---|-------|-----------|-------------|
| De | 100  | a | 1000  | hectáreas | 1.8 l/s/ha. |
|    | 1000 | a | 2000  | hectáreas | 1.5 l/s/ha. |
|    | 2000 | a | 10000 | hectáreas | 1.2 l/s/ha. |

Para cultivos que consumen gran cantidad de agua como arroz y caña de azúcar esos módulos de riego se deben incrementar hasta 3.l/s/ha y hasta 2.l/s/ha respectivamente.

Las secciones de los canales de riego se deben calcular por tramos en razón del área que vayan cubriendo.

Unas condiciones que se deben tener en cuenta en el diseño de canales principales y secundarios son:

1. Cualesquiera que sea el caudal de un canal, cuando se represa el nivel del agua no debe rebasar el borde libre y además suministrar el caudal máximo a los laterales.
2. Los taludes en general se fijan de acuerdo con la consistencia del material que cruzan y varían entre 0.25:1 en rocas completamente sanas, a 2:1 en material poco estable.

En la aplicación es importante tener en cuenta la lámina, el tiempo de riego, uso consuntivo y frecuencia.

### Lámina (L).

Se define fundamentalmente por el criterio económico que fija el momento de riego cuando se alcanza la máxima productividad con el menor costo.

Existen dos extremos a saber: uno, al suministro ideal del recurso hídrico con muy alto costo y los rendimientos serían los máximos que por este insumo se lograrían, el otro consiste en suministrar a la planta agua mínima para que apenas sobreviva, con costos lógicamente muy bajos; entonces lo ideal económico es regar en un punto intermedio donde se optimice la relación rendimiento-costo; en ese momento se debe regar el suelo (MR). Entonces:

$$L = \frac{(CC - MR)}{100} D_a \cdot P_r$$

### Tiempo de riego (Tr).

Indica la duración continua de la aplicación del agua al suelo y se determina por la expresión ya vista (véase infiltración).

$$T_r = \left[ \frac{60 L (n + 1)}{K} \right] \frac{1}{n + 1}$$

### Uso Consuntivo (Evapotranspiración).

La cantidad de agua que se pierde por evaporación desde el suelo, transpiración por la planta y la que hace parte constitutiva de los tejidos se determina para fines prácticos por medio de fórmulas para cada etapa del ciclo vegetativo de la planta.

La gran mayoría de ellas son del modelo:

$$UC = EK$$

UC = Uso Consuntivo.

E = Evaporación.

K = Factor de cultivo.

Algunas fórmulas bastante conocidas

- Blaney - Criddle.

$$UC = K (0.457 t + 8.13)$$

- Christiansen - Hargreaves

$$E T_p = 0.324 R_T C_T C_V C_H C_S C_E$$

- Hargreaves

$$E_p = 17.4 dt (1.0 - 0.01 H_n)$$

- Hargreaves - Christiansen

$$E_p = 17.4dt (0.59 - 0.000055 H_n^2) (0.75 + 0.524 \sqrt{W})$$

- Penman

$$E = 0.35 (1 + 0.0098 W) (\ell_a - \ell_d)$$

t = Temperatura media mensual (°C).

p = Porcentaje mensual de horas, luz, día en el año.

K = Coeficiente de cultivo.

$ET_p$  = Evapotranspiración potencial.

$R_T$  = Radiación solar para una latitud (mm/mes).

$C_T$  = Coeficiente de temperatura ( $C_T = 0.463 + 425 (t/20) + 0.112 (t/20)^2$ )

$C_V$  = Coeficiente de velocidad viento ( $C_V = 0.672 + 0.406(V/6.7) - 0.078 (V/6.7)$ ).

$C_H$  = Coeficiente de humedad relativa ( $C_H = 1.035 + 0.240(H/0.6)^2 - 0.275 (H/0.6)^3$ )

$C_S$  = Coeficiente de brillo solar ( $C_S = 0.340 + 0.856 (S/0.8) - 0.196 (S/0.8)^2$ ).

$C_E$  = Coeficiente de elevación del lugar ( $C_E = 0.970 + 0.030 E/1.000$ ).

V = Velocidad promedio del viento (Km/hora).

H = Humedad relativa media mensual (%).

S = Horas de sol, media mensual expresada en decimal.

E = Elevación del lugar (m).

$E_p$  = Evaporación en tanque tipo A.

d = Duración promedio del día en el mes con relación a 12 horas.

$H_n$  = Humedad relativa media mensual a las 13:00 horas.

W = Velocidad del viento en millas por día.

$\ell_a$  = Presión de vapor a saturación a la temperatura del aire en mm de Hg.

$\ell_d$  = Presión de vapor actual en el aire en mm Hg.

### Frecuencia.

Determina cada cuántos días es necesario volver a llenar el depósito o almacén de agua que es el suelo para que sus existencias fluctúen entre dos valores previamente establecidos. Esa cantidad se podría definir como la humedad oportunamente aprovechable desde el punto de vista económico. O sea que:

$$F = \frac{L}{UC}$$

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BLAIR, F.E. Manual de riesgos y avenamientos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. OEA.
- BUSTAMANTE M., H. 1978. Diseño de campo. Ingenio Riopaila.
- BUSTAMANTE M., H. 1970. Estudio detallado de suelo: y clasificación de tierra para riego y drenaje. Sector Guamo. Espinal - Flandes. Departamento Tolima. IGAC.
- SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS. 1961. Instrucciones generales para la localización y diseño de canales y sus estructuras menores. 2da. edición. México.
- VAN BEERS, W. F. J. 1970. The auger hole method. Bull 1 ILRI, Wageningen. The Netherlands.
- VAN ASSEN I. 1975. Protección contra las inundaciones. Proyecto Cuenca Magdalena - Cauca. Convenio Colombo - Holandés. Seminario - Foro. Universidad de los Andes.
- WESSELING, J. 1976. Subsurface flow into drains. Lecture notes. 15<sup>th</sup>. Course on land drainage. Wageningen. Netherlands.