

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
" RIEGO Y DRENAJE "

Del 16 al 27 de junio, 1980

M A T E R I A	PROFESOR	FECHA	HORARIO
1. Problemática de las áreas de riego	Dr. Jesús Takeda Inuma	16 de junio	De 17.00 a 21.00 h.
2. Relaciones de agua-suelo-planta-clima	Dr. Jesús Takeda Inuma	17 de junio 18 de junio	De 17.00 a 21.00 h. De 17.00 a 21.00 h.
3. Diseño de Métodos de Riego	Ing. Luis Oscar Ramírez	19 de junio 20 de junio	De 17.00 a 21.00 h. De 17.00 a 21.00 h.
4. Suelos con problemas de sales	Dr. Vicente Lee Rodríguez	23 de junio	De 17.00 a 21.00 h.
5. Prevención del ensalitramiento y recuperación de suelos ensalitrados en áreas bajo riego	Dr. Vicente Lee Rodríguez	24 de junio	De 17.00 a 21.00 h.
6. Principios generales de drenaje	Ing. Primitivo Macías Márquez	25 de junio	De 17.00 a 21.00 h.
7. Detección de los problemas de drenaje	Ing. Primitivo Macías Márquez	26 de junio	De 17.00 a 21.00 h.
8. Drenaje parcelario	Ing. Primitivo Macías Márquez	27 de junio	De 17.00 a 21.00 h.



DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO

" RIEGO Y DRENAJE "

1980

1. DR. VICENTE LEE RODRIGUEZ
Subdirector
Centro Nacional de Métodos Avanzados
de Riego
Dirección General de Distritos y Unidades de Riego, SARH.
Región Lagunera
Lerdo, Dgo.
Tel. 9117147295

2. ING. PRIMITIVO MACIAS MARQUEZ
Jefe
Distrito de Riego No. 81, S.A.R.H.
Montecristo No. 1
Campeche, Cam.
Tel. 6-42-53

3. ING. LUIS OSCAR RAMIREZ
Jefe del Departamento de Planeación y Programación
Sub-dirección de Operación
Dirección General de Distritos y Unidades de Riego, SARH.
Reforma No. 51-11° piso
México, D. F.
Tel. 546-05-38

4. DR. JESUS TAKEDA INUMA
Secretario Técnico
Dirección General de Distritos y Unidades de Riego, SARH.
Reforma No. 69-11° piso
México, D. F.
Tel. 592-27-50 y 546-70-43





centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



R I E G O Y D R E N A J E

PROBLEMATICA DE LAS AREAS DE
R I E G O

DR. JESUS TAKEDA INUMA

JUNIO, 1980



CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL SUELO EN RELACION CON EL RIEGO.

DEFINICIONES.

Riego.- Es la aplicación artificial de agua al suelo agrícola con el fin de suministrar a las especies vegetales, la humedad necesaria para su desarrollo.

Suelo Agrícola.- Es un cuerpo natural intemperizado, de composición y dimensiones dinámicas, que proporciona el soporte y parte del sustento de las plantas, cuando contiene cantidades adecuadas de aire y agua.

COMPONENTES DEL SUELO.

- a) Material mineral.
- b) Material orgánico muerto
- c) Material orgánico vivo (flora y fauna microbiana)
- d) Agua
- e) Gases atmosféricos.

FACTORES DE FORMACION DEL SUELO.

- a) Roca
- b) Clima.

- c) Organismos.
- d) Relieve
- e) Tiempo

CARACTERISTICAS Y CUALIDADES DEL SUELO.

El estudio del suelo en relación con el riego comprende la descripción tanto de sus características como de sus cualidades

Por características del suelo se entienden todos - aquellos aspectos que se pueden ver y medir.

Se entiende por cualidades aquellas interacciones - que resultan de una o más características del suelo con el medio ambiente.

Las cualidades son las inferencias e interpretaciones, basadas en una o varias características combinadas. - Las características y cualidades de mayor importancia y uso en el estudio del suelo son las siguientes:

Características:

- a) Mineralógicas y biológicas.
- b) Morfológicas
- c) Físicas
- d) Químicas

Cualidades:

- a) Fertilidad.
- b) Físicas.
- c) Drenaje.
- d) Productividad.

1.- CARACTERISTICAS MINERALOGICAS Y BIOLOGICAS.

Se mencionan las siguientes:

Composición molecular, calor de dilatación, grado de intemperización, densidad real, color, etc.

Se describe a continuación la que mayor relación directa guarda con el riego.

1.1.- Color.

Es la impresión visual que produce un cuerpo al reflejar la luz que en él incide. Con el fin de homogeneizar esta impresión se usan en su clasificación tablas de colores que poseen un sistema numérico que incluye:

- a) Coloración.
- b) Brillo.
- c) Pureza.

EJEMPLO:

La descripción del color del suelo, se ha-

ce tanto para el color principal, como para cualquier mancha o moteado presente.

El contenido de humedad influye en el color del suelo, por lo que generalmente se ma en condición húme da (capacidad de campo) y en seco (secado al aire), grandes diferencias en color según el estado de humedad indican cier ta mineralogía ó condiciones especiales del suelo.

Inferencias del color del suelo en relación con el riego.

- a) Determina en gran parte la cantidad de calor absorbida por el suelo.
- b) Para un mismo suelo se puede inferir el contenido de humedad o excesos temporales.
- c) Es indicador del grado de fertilidad del suelo.

2.- CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS.

2.1.- Textura.

La textura es la disposición y proporción de los diferentes tamaños de partículas de que se compone un suelo.

El material del suelo está constituido, -- por partículas de diversos tamaños que para su estudio se --

agrupan en:

NOMBRE	TAMAÑO
Arena	2.0 - 0.05 mm.
Limos	0.05 - .002 mm.
Arcilla	0.002 mm. ó menor.

Los tipos de textura adoptados para clasificar los suelos en los Distritos de Riego son los indicados en la Fig. NO. 1. Los mismos que se usan universalmente y -- que pueden agruparse en tres clases: ligeras, medias y pesadas.

Los métodos más usuales para determinarlos son: Al tacto y con el hidrómetro de Boyoucos (ver anexo).

La experiencia señala la posibilidad de diferenciar perfectamente hasta seis tipos de texturas con el primer método y con el segundo todas las señaladas en la figura No. 1.

Inferencias de la textura del suelo con relación al riego.

a. Capacidad de retención de humedad y nutrientes. Estos valores aún cuando están influenciados por

otras características del suelo como la estructura, el contenido de material orgánico, tipo de arcilla, cationes, etc. - tienen altas correlaciones directas con los contenidos de arcilla; aumentando con la proporción de ésta.

b. En general los suelos de textura intermedia poseen rangos más amplios de la condición friable (laborable), que les permite ser trabajados con mayor contenido de humedad.

c. La textura influye también grandemente en los siguientes aspectos: Infiltración, permeabilidad, penetración de raíces, aireación, etc.

2.2.- Estructura

La estructura es la propiedad que tienen los suelos de estabilizar los agregados que posee y es la forma como se agrupan las partículas constitutivas del suelo.

Su descripción incluye: forma, tamaño, grado de estabilidad y las cavidades presentes.

Las principales formas de estructura son:

a) Esferoidal.

- b) Blocosa.
- c) Prismática.
- d) Laminar.
- e) Granular (la mejor de todas)

En general la descripción, estimación y clasificación de la estructura se hace directamente sobre el perfil del suelo, en el estado lo más natural posible. Resalta el hecho de que puede existir el caso en que se manifieste una estructura generalizada y grande (estructura primaria) que al recibir una presión externa le aparezcan líneas de debilidad que producen otro tipo de estructura más pequeña (estructura secundaria). Ejemplo: Prismas que se rompen en bloques.

El tamaño de los agregados varía según su forma:

ABREVIATURA	DESCRIPCION	ANGULAR	GRANULAR
M.F.	Muy fina	Menor de 15 mm.	Menor de 1 mm.
M.	Media	10 - 20 mm.	2.5 mm.
M.G.	Muy grande	Mayor de 50 mm.	Mayor de 10 mm.

Grado de estabilidad es la facilidad con que se pueden separar los agregados y la comparación que se

- b) Blocosa.
- c) Prismática.
- d) Laminar.
- e) Granular (la mejor de todas)

En general la descripción, estimación y clasificación de la estructura se hace directamente sobre el perfil del suelo, en el estado lo más natural posible. Resalta el hecho de que puede existir el caso en que se manifieste una estructura generalizada y grande (estructura primaria) que al recibir una presión externa le aparezcan líneas de debilidad que producen otro tipo de estructura más pequeña (estructura secundaria). Ejemplo: Prismas que se rompen en bloques.

El tamaño de los agregados varía según su forma:

ABREVIATURA	DESCRIPCION	ANGULAR	GRANULAR
M.F.	Muy fina	Menor de 15 mm.	Menor de 1 mm.
M.	Media	10 - 20 mm.	2.5 mm.
M.G.	Muy grande	Mayor de 50 mm.	Mayor de 10 mm.

Grado de estabilidad es la facilidad con que se pueden separar los agregados y la comparación que se

hace a un mismo estado de humedad, así se tiene.

0 -	Sin estructura
1 -	Débil
2 -	Moderado
3 -	Fuerte

Las cavidades en general representan los orificios del suelo, generalmente relacionados con la estructura o forma de los agregados presentes, así se tiene canales, planos y cavidades de empaquetamiento.

Inferencias de la estructura del suelo en relación con el riego.

- a) Capacidad de entrada y conducción del agua del suelo.
- b) Grado de aereación.
- c) Posibilidad de penetración de raíces.
- d) Facilidad de laboreo.

2.3.- Consistencia.

Es la propiedad del suelo de resistirse a ser formado o manipulado. Esta es una función del contenido de humedad, textura, contenido de humus, etc.

Su caracterización se efectúa generalmente

hace a un mismo estado de humedad, así se tiene.

0 -	Sin estructura
1 -	Débil
2 -	Moderado
3 -	Fuerte

Las cavidades en general representan los orificios del suelo, generalmente relacionados con la estructura o forma de los agregados presentes, así se tiene canales, planos y cavidades de empaquetamiento.

Inferencias de la estructura del suelo en relación con el riego.

- a) Capacidad de entrada y conducción del agua del suelo.
- b) Grado de aereación.
- c) Posibilidad de penetración de raíces.
- d) Facilidad de laboreo.

2.3.- Consistencia.

Es la propiedad del suelo de resistirse a ser formado o manipulado. Esta es una función del contenido de humedad, textura, contenido de humus, etc.

Su caracterización se efectúa generalmente

en el campo y en las condiciones siguientes: en seco (al -- aire), húmedo (capacidad de campo) y mojado (saturación).

Los tipos de consistencia más empleados son:

Seco	Húmedo	Mojado
0 - Suelto	0 - Suelto	0 - No plástico
1 - Suave	1 - Muy friable	1 - Ligeramente
2 - Ligeramente duro	2 - Friable	plástico
3 - Duro	3 - Firme	2 - Plástico
4 - Muy duro	4 - Muy firme	3 - Muy plástico
5 - Extremadamente duro	5 - Extremadamente firme	

Las inferencias más comunes de la consistencia con relación al riego son:

- a) Presencia de capas duras (impermeabilidad)
- b) Estimación de friabilidad (condiciones favorables para el laboreo).
- c) Grado de estabilidad (resistencia a la erosión)

3.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.

3.1.- Densidad aparente (Da)

En la relación del peso de un volumen dado del suelo seco (secado a la estufa), incluido el espacio de

poros, entre el peso de un volúmen igual de agua.

$$D_a = \frac{P.S.S.}{V_t \times p.e.}$$

P.S.S. = Peso del volúmen de suelo seco.

V_t = Volúmen total (cm^3)

p.e. = Peso específico del agua a $4^\circ C = 1.0 \text{ gr/cm}^3$.

D_a = Densidad aparente (adimensional).

En general la D_a de los suelos adquiere valores, entre 0.7 y 2.0; los valores superiores a 1.8 se considera que reflejan condiciones de compactación.

Los métodos para su determinación varían con el grado de precisión deseado, pero los más usuales incluyen; terrón parafinado, cilindros inalterados, excavado radiación, etc.

En los Distritos de Riego el método más difundido es: el llamado de excavado señalándose la conveniencia de emplear el método de laboratorio de cilindros inalterados.

Inferencias de la Densidad Aparente de los suelos, en relación al riego.

- a) Permite detectar y cuantificar capas endurecidas del suelo, que dificultan la aplicación del

riego.

- b) Es un dato básico para estimar la porosidad del suelo.
- c) Permite estimar la capacidad de retención de -- humedad del suelo.
- d) Permite estimar la lámina retenida después de -- un riego o la lámina de riego por aplicar.

3.2.- Espesor del suelo (Pr)

Se denomina suelo propiamente dicho desde el punto de vista del desarrollo de cultivos del riego, -- aquella parte del perfil donde se desarrollan las raíces.

El espesor del suelo depende de los siguientes factores: Origen, Roca, Clima, Organismos, Relieve y -- Tiempo. Debiendo agregarse que con fines de riego este debe limitarse además por condiciones especiales tales como: presencia de capas impermeables, presencia de niveles freáticos elevados y patrones del desarrollo radicular de los cultivos. Este se expresa en medidas de longitud y su valor -- con relación al riego se determina de la interpretación con junta de los patrones radiculares del cultivo y las limitaciones físicas de los suelos.

3.3.- Humedad del suelo (% H)

Es la relación porcentual que existe en un momento entre el peso del agua que contiene el suelo y el peso del suelo secado a la estufa.

Es importante conocer el contenido de humedad de un suelo a fin de determinar el agua faltante para llegar a la retención óptima (Capacidad de Campo), la lámina de riego por aplicar y el momento adecuado del riego.

El contenido de humedad (en base de peso) se determina en una muestra de suelo y se expresa en porcentaje con relación al peso del suelo seco:

$$\% H = \frac{PSH - PSS}{PSS} 100$$

$$P_A = PSH - PSS$$

% H = Porcentaje de humedad del suelo (Adimensional)

PSH - Peso del suelo húmedo (gr)

PSS - Peso del suelo seco (gr)

P_A - Peso del agua (gr)

3.3.1.- Características de retención de humedad del suelo.

Las características de mayor uso que rela-

cionan al suelo y el agua son: Porcentaje de Saturación, Capacidad de Campo y el punto de Marchitez Permanente. Estos se definen como sigue:

Porcentaje de Saturación. Es el contenido de humedad de un suelo inmediatamente después de un riego pesado ó una lluvia fuerte y antes de haber drenado el agua en exceso por la acción de la gravedad (cuando se llenan incluso los poros no capilares).

Capacidad de Campo. Es el contenido de humedad del suelo inmediatamente después de que ha dejado de eliminar agua por acción de la gravedad. Esta condición ocurre en el campo aproximadamente a los dos días luego de haberse mojado bien el suelo.

Punto de Marchitamiento Permanente. Es el contenido de humedad del suelo, en el cual las plantas perecen por no poder absorber más humedad; la marchitez alcanzada no se recupera si se les coloca en una atmósfera húmeda y oscura. El girasol es la especie que se utiliza para efectuar estos ensayos.

La práctica ha demostrado que existe una -- relación muy aproximada entre estas tres constantes para un

mismo suelo y es:

$$4 \text{ P.M.P.} = 2 \text{ C. C.} = 1 \text{ S. A. T.}$$

Existen diversos métodos directos e indirectos para la estimación de estas características, con diferente grado de precisión, mencionándose aquí aquellos que bajo las condiciones propias de los Distritos de Riego han sido aceptados más ampliamente, al ofrecer una exactitud -- aceptable, de acuerdo con su facilidad de operación y costo. Estos métodos son los siguientes:

Al tacto	Bloques de yeso
Método del girasol	Aquatron de neutrones
Membrana y olla de presión	Turgencia relativa
Speedy	Columnas
Tensiómetros	Conductividad térmica, etc.

En los laboratorios de los Distritos de Riego del País, la determinación de la C.C. y P.M.P. se hace con presiones de 0.3 atmósferas para la C.C. y 15 atmósferas para el punto de marchitamiento permanente.

3.3.2.- Humedad Aprovechable (H.A.)

Desde el punto de vista agrícola, la humedad aprovechable es la diferencia entre los límites máximo

ESTIMACION AL TACTO DE LA HUMEDAD APROVECHABLE DEL SUELO

ESQUEMA BASICO

Porcentaje de Humedad Aprovechable	TEXTURA DEL SUELO		
	LIGERA	MEDIA	PESADA
0	Seco suelto, se pasa a través de los dedos	Polvoso, seco en algunos casos en costras - que se quiebran fácilmente.	Duro agrietado algunas veces con costras sueltas sobre la superficie.
25 a 50	Apariencia seca, no se forma <u>bola</u> bajo presión de la mano.	Algo costroso, pero -- forma una bola bajo presión de la mano.	Algo moldeado o forma una bola bajo presión de la mano.
50 a 75	Tiente a formar una <u>bo</u> la bajo presión, pero no es estable.	Forma una <u>bola</u> bajo presión de la mano, -- algo plástico, algunas veces brilla bajo presión.	Forma una <u>bola</u> bajo presión, forma tiras de suelo al moldearlo con los dedos.
75 a 100	Forma una bola de poca estabilidad bajo presión, no presenta brillo.	Forma una bola bajo presión y es muy moldeable brilla fácilmente si tiene mucha arcilla.	Fácilmente forma tiras de suelo al moldearlo con los dedos, es lustroso.
100	Al comprimirlo en la mano no aparece agua sobre el suelo pero deja húmeda la mano.		
Más de 100	Escurre agua al amasarlo.	Puede escurrir agua al comprimirlo.	lodoso y escurre agua sobre la superficie.

NOTA.- Observese que en todas las texturas del suelo forman una "bola" cuando la Humedad Aprovechable está a un 50%. Esta característica originó la Prueba de campo para riego que se desarrolla en los 5 puntos siguientes.

- 1o.- Tomar un puñado de tierra (de debajo de los 5 ó 10 cm. sueltos superficiales).
- 2o.- Apretarla firmemente. Si no forma bola, riéguese de inmediato.
- 3o.- Si forma bola, déjese caer a suelo duro desde la altura del hombro.
- 4o.- Si la bola se "desflora" al caer, es tiempo de regar dentro de los siguientes 7 días.
- 5o.- Si la "bola" al caer no se deshace, no es tiempo de regar.

Para esta práctica preparense muestras de suelo de humedad aprovechable conocida.

de humedad que puede retener un suelo (C.C.) y el mínimo de humedad en que las plantas pueden desarrollar sin llegar a perecer.

es decir: $H A = C.C. - P.M.P.$

3.3.2.1.- Nivel de Humedad Aprovechable (N.H.A.)

Es un término práctico, que da idea de los esfuerzos que las plantas hacen en la extracción del agua del suelo, en beneficio de un mejor desarrollo y decremento de las posibilidades del marchitamiento de los mismos.

Generalmente se expresa como una fracción de la humedad aprovechable.

La inferencia más importante de la interrelación de las características físicas del suelo con relación al riego es la determinación de la lámina de riego, que a continuación se define.

Lámina de Riego.

En un momento dado es la altura de agua -- que es necesario aplicar artificialmente a un volumen de suelo, para que este llene su capacidad de retención de humedad (Capacidad de Campo). Su expresión matemática es la siguiente:

$$L_r = \frac{P_r \times D_a \cdot (C.C. - P_s.)}{100}$$

L_r = Lámina de riego en cm.

P_r = Profundidad radicular en cm.

D_a = Densidad aparente relativa (Adimensional)

C.C. = Capacidad de Campo en Porciento

$P_s.$ = Humedad existente en porciento.

3.4.- VELOCIDAD DE INFILTRACION.

Después de una aplicación de Riego, el -- agua comienza a descender al través del suelo en forma vertical y horizontal por razón de la gravedad, y la diferencia de tensión capilar existente. Este movimiento descendente del agua en el suelo se denomina INFILTRACION, fenómeno que varía con el tipo de suelo, el contenido de humedad, -- con las labores culturales del mismo, etc. Es más rápida en suelos con menor contenido de humedad. A medida que la humedad de las capas superiores del suelo aumenta por razón del Riego, el grado de infiltración decrece debido a la mayor -- resistencia que el agua produce, a la reducción en el diámetro de los poros del suelo y por el incremento de la longitud del flujo, hasta alcanzar un valor casi constante al -- que se llama INFILTRACION BASICA (Ib). La Infiltración se mide en unidades de velocidad de lámina ó sea cm/Hora. Este

fenómeno expresado gráficamente nos da una gráfica parecida a la Fig. 2.

4.- CARACTERISTICAS QUIMICAS.

Las características químicas de importancia para el riego son:

4.1.- Potencial Hidrógeno (pH)

Este es un índice de acidéz ó alcalinidad del suelo.

En forma general sabemos que los suelos deben poseer valores de pH entre 6 y 7 para encontrarse en las mejores condiciones químicas en cuanto a la disponibilidad de los principales nutrientes requeridos por la mayoría de los cultivos.

La determinación de este índice es relativamente fácil, pero su caracterización requiere conocer su variabilidad en el tiempo.

En los suelos que poseen una mineralogía similar el pH es uno de los mejores indicadores del nivel de saturación de bases que posee el suelo y por lo tanto un índice de su fertilidad.

Según los conceptos modernos de acidez, valores de pH inferiores a 5.5 indican en los suelos minerales, la presencia del ión Al^{+++} , tóxico para el crecimiento radicular. Por el contrario, valores superiores de 8.5 se producen cuando el ión Na^+ se encuentra en abundantes cantidades, lo que nos permite inferir dificultades relacionadas con la defloculación de los suelos.

4.2.- Materia Orgánica (M.O.)

El contenido de M.O. juega un papel fundamental en las propiedades físicas y químicas de los suelos. Participa en la estabilización de los agregados, disminuyendo la densidad aparente y aumentando la porosidad, influyendo así en las características de retención de humedad de los suelos.

La Materia Orgánica de los suelos aumenta la capacidad de intercambio de iones, llegando a proporcionar más del 50 por ciento de dicha capacidad. Aumenta la capacidad amortiguadora del suelo, reduciendo la posibilidad de cambios bruscos en el pH.

Generalmente el contenido de Materia Orgánica se obtiene de una manera indirecta a través de la de-

Según los conceptos modernos de acidez, valores de pH inferiores a 5.5 indican en los suelos minerales, la presencia del ión Al^{+++} , tóxico para el crecimiento radicular. Por el contrario, valores superiores de 8.5 se producen cuando el ión Na^+ se encuentra en abundantes cantidades, lo que nos permite inferir dificultades relacionadas con la defloculación de los suelos.

4.2.- Materia Orgánica (M.O.)

El contenido de M.O. juega un papel fundamental en las propiedades físicas y químicas de los suelos. Participa en la estabilización de los agregados, disminuyendo la densidad aparente y aumentando la porosidad, influyendo así en las características de retención de humedad de los suelos.

La Materia Orgánica de los suelos aumenta la capacidad de intercambio de iones, llegando a proporcionar más del 50 por ciento de dicha capacidad. Aumenta la capacidad amortiguadora del suelo, reduciendo la posibilidad de cambios bruscos en el pH.

Generalmente el contenido de Materia Orgánica se obtiene de una manera indirecta a través de la de-

terminación del carbón osmótico.

4.3.- Conductividad Eléctrica (C.E.)

Es una estimación del contenido de sales del suelo.

El exceso de sales en un suelo produce fuerzas (Presión osmótica) de considerable magnitud que disminuye relativamente su rango de humedad aprovechable.

Su determinación es relativamente sencilla y su interpretación en relación al suelo se facilita grandemente al relacionarlo con el pH.

4.4.- Cationes intercambiables.

Un análisis de la cantidad y proporción en que se encuentran los principales cationes del suelo, indicarán posibles problemas tanto nutricionales como de física del suelo.

CUALIDADES IMPORTANTES DEL SUELO EN RELACION CON EL RIEGO.

1. Fertilidad.

Se refiere a la capacidad balanceada del suelo para abastecer de compuestos químicos las demandas planteadas por el desarrollo de cultivos específicos, cuan-

do los demás factores del crecimiento son favorables. Para estimar esta cualidad se considera no solamente la disponibilidad de los principales nutrientes, sino también la capacidad de intercambios de cationes, la saturación de bases, la presencia de sales y elementos tóxicos, etc.

Debe tenerse presente que la fertilidad -- actual de un suelo tiene un valor relativo y temporal, por lo que su estimación debe basarse en las características -- más estables del suelo.

2. Condición Física.

Esta cualidad es el resumen de sus características físicas y morfológicas (estructura, retención de humedad, aereación, etc.). Su estimación se hace generalmente a partir del estado de agregación del suelo, la distribución de poros por tamaño, penetrabilidad y comprensibilidad del suelo.

DRENAJE.

Este se refiere a la cuantía con que el exceso de agua es removida del suelo, en función del tiempo.

Su estimación se hace a partir de las características de la pendiente, textura, estructura, color, profundidad del manto freático, densidad aparente, etc.

Clases de drenaje.

Muy pobre.

Algo pobre.

Moderadamente bueno.

Bueno.

Algo excesivo.

Excesivamente drenados.

4. Productividad.

Es la potencialidad del suelo para producir plantas bajo sistemas de manejo definidas, su estimación se hace a través de los rendimientos obtenidos con la interacción tecnológica establecida para ese suelo y sintetiza las cualidades de fertilidad, condición física y drenaje.

USO CONSUNTIVO DEL AGUA EN LOS CULTIVOS.

1.- Concepto General.

El Uso Consuntivo es la cantidad de agua que usan las plantas para nacer, desarrollarse y producir-- económicamente, en el caso de especies agrícolas y forestales.

2.- Componentes del Uso Consuntivo.

El Uso Consuntivo está constituido por el agua que transpiran las plantas a través de las hojas, el agua que se evapora directamente del suelo y el agua que -- constituye los tejidos de las plantas. En virtud de que -- los dos primeros componentes constituyen casi el 99% del -- uso consuntivo es común y además correcto, mencionar el término "evapotranspiración real" al hacer referencia al uso -- consuntivo.

2.1.- Evapotranspiración Potencial.- Según Penman: es la cantidad de agua que consume un cultivo -- de talla baja y uniforme, que cubre totalmente el suelo y -- que siempre está provisto de humedad abundante. Lógicamente la cantidad de agua consumida en esta forma será mayor que la

de uso consuntivo.

3.- Factores que lo determinan.

Los factores fundamentales que influyen para que el uso consuntivo tenga un determinado valor son:

3.1.- Clima: Temperatura, humedad relativa, vientos, latitud, luminosidad y precipitación.

3.2.- Cultivo: Especie, variedad, ciclo vegetativo, hábitos radicales, etc..

3.3.- Suelo: Textura, estructura, profundidad del nivel freático, capacidad de retención de humedad.

3.4.- Agua de Riego: Su calidad y disponibilidad, prácticas de riego.

Indudablemente que todos estos factores influyen en la cantidad de agua que usan los cultivos; pero los de mayor influencia son: la temperatura, la humedad relativa, los vientos, la latitud del lugar, la luminosidad y el cultivo en si.

4.- Métodos para estimarlo.

Los métodos más comunes para estimar el -

uso consuntivo se pueden clasificar en dos grandes grupos: Métodos Teóricos o Indirectos y Métodos Directos.

4.1.- Entre los teóricos o indirectos se pueden mencionar:

- 4.1.1.- Hargreaves.
- 4.1.2.- Lowry-Johnson.
- 4.1.3.- Penman
- 4.1.4.- Crassy-Christansen
- 4.1.5.- Thornthwaite
- 4.1.6.- Blaney y Criddle,
- 4.1.7.- Método Racional.

La mayor parte de estos métodos son demasiado teóricos y deducidos bajo condiciones diferentes a -- las que se presentan en nuestro país; además de que precisan de una serie de datos que generalmente no se tienen a -- disposición. Los métodos que más se usan por ser los más -- aplicables a nuestras zonas de riego son:

4.1.6.- Método de Blaney y Criddle.

Harry F. Blaney y Waine D. Criddle, - --

propusieron una fórmula en el Oeste de E.U.A., en la cual se emplean la temperatura media mensual, el fotoperíodo diario y un factor cultivo, con lo cual se puede estimar el uso consuntivo.

La expresión general es la siguiente:

$$U = K.F.$$

U = Uso consuntivo en cm.

K = Factor Cultivo, que depende del tipo de cultivo y la proximidad del lugar al mar.

$$F = \sum_{1}^{n} f$$

n = número de meses del ciclo vegetativo del cultivo.

$$f = p \frac{(t + 17.8)}{21.8}$$

t = Temperatura media mensual en °C

p = Porcentaje de horas luz del mes, con respecto al total anual.

Coefficiente de corrección "K_t"

En virtud de que esta fórmula daba valores muy elevados, por haber sido deducida en una región desértica. Phelan, introdujo una corrección por temperatura "K_t" que se calcula como sigue:

$$K_t = 0.03114t + 0.2396$$

t = Temperatura media mensual en °C.

Por otro lado, considerando que la expresión general de este método sólo permite obtener valores del uso consuntivo en períodos no menores de 30 días y en virtud de que "K" es una constante que varía en función del desarrollo del cultivo, se han obtenido curvas de variación de K en función precisamente del desarrollo del cultivo; que permite obtener valores de U.C. en el período que se desee, por lo cual el factor K se transforma en K_d; y por lo tanto la expresión final de la fórmula tal como se usa actualmente es la siguiente:

$$U.C. = K_d \times K_t \times F$$

Naturalmente para poder aplicar esta fórmula, es necesario tener las curvas de coeficiente de desarrollo "K_d" para cada cultivo, las cuales deben obtenerse para cada lugar y para cada cultivo ó para lugares similares.

En el Memorandum Técnico No. 231 de la Dirección General de Distritos de Riego se ilustra la aplicación de este procedimiento:

4.1.7.- Método Racional.

Este método es una modificación ventajosa del anterior y consiste en usar una curva cuyas ordenadas contienen valores de " K_t " similar al coeficiente de desarrollo y en las abscisas, el porcentaje de desarrollo del cultivo.

Las ventajas estriban en que:

- 1o.- Elimina el cálculo del valor K_t .
- 2o.- En lugar de tener una curva para cada cultivo, Hansen obtuvo, conjugando curvas de muchos cultivos obtenidos en muchos lugares del mundo, una curva promedio para todos los cultivos, en la cual se señalan los tramos de esta curva que corresponden a cada uno de ellos, según la forma como se aproveche; por esta razón el método también se llama, de la "curva única". Esto se ha hecho considerando básicamente, que casi todas las plantas cultivadas presentan etapas de crecimiento, floración y fructificación, con sub-etapas de fruto fresco y fruto maduro y --

fruto seco.

En el Anexo No. 1 se presenta una secuencia de cálculo a seguir en la aplicación de este método.

Este método y el de Blaney y Criddle son los que se aplican actualmente en todos los Distritos de Riego principalmente porque se tienen datos de temperatura y además porque con ellos se obtienen valores de uso consuntivo razonablemente aceptables para su aplicación práctica; pero como no se tienen las curvas de " K_d ", coeficiente de desarrollo para todos los cultivos, la tendencia es generalizar el método de la "curva única".

4.2.- Métodos Directos.

Estos métodos miden directamente la evapotranspiración potencial de las plantas y desde luego adolecen de una serie de dificultades para su aplicación; según la metodología que se ha de emplear, el cultivo ó calidad del agua de riego; la climatología del lugar y naturalmente según el sistema y aparatos que se utilicen.

Además de lo anterior, estos métodos solo son aplicables en zonas donde ya se tiene agricultura --

establecida, por lo tanto no proporcionan datos para estimaciones previas, en zonas nuevas sino solo regiones similares.

En cambio de lo anterior, tienen las grandes ventajas de proporcionar datos mucho más apegados a la realidad que los teóricos y sobre todo sirven precisamente para afirmar localmente los métodos teóricos.

Los más comunes usados son los siguientes:

4.2.1.- Método Lisimétrico (Uso de lisímetro).

Este método sirve para determinar la evapotranspiración potencial y consiste en el uso de un aparato llamado lisímetro con un gran recipiente que se llena de suelo, en el que se siembra el cultivo por estudiar. El consumo de agua por las plantas se determina pesando diariamente el conjunto de suelo, plantas, agua y aparato y por diferencia de pesadas se obtiene el valor buscado.

La reposición de agua se hace por medio de tanques de alimentación en forma automática.

Las desventajas de este método son:

1.- Alto costo.

2.- Altera las condiciones naturales del suelo.

3.- Se provoca un desarrollo anormal de las raíces, porque se concentran hacia el tubo de aplicación del agua, por haber más humedad.

4.- No se puede aplicar a plantas que -- tengan un sistema radicular mayor que las dimensiones del tanque que contiene el suelo.

Actualmente pueden mencionarse como ventajas la facilidad de las mediciones y aplicación de agua; pero a su vez estos aparatos más fáciles de manejar son -- más caros.

4.2.2.- Evapotranspirómetro de Thornthwaite.

Con este aparato se determina en forma -- directa la "evapotranspiración potencial" de los cultivos. Fue ideado por Thornthwaite y consta de lo siguiente:

a.- Tanque evapotranspirador de fierro galvanizado, con área rectangular de 4 metros cuadrados y 90 cm. de profundidad. Este tanque va hundido hasta el nivel del suelo, el cual, se llena de tierra donde posteriormente se siembran las plantas. En el fondo tiene un lecho de grava que ayuda a eliminar el exceso de agua.

b.- Tubería subterránea ramificada para conducir el agua al suelo.

c.- Tanque alimentador en donde se mide y se agrega diariamente el agua consumida.

d.- Tanque regulador, situado entre el alimentador y el evapotranspirador.

e.- Tanque de excedentes, que recoge los excesos de agua generalmente provocados por lluvia.

f.- Junto a los tanques de excedentes y de alimentación, se colocan hidrómetros que permiten tener las medidas exactas del agua.

g.- Tubería que conecta a todo el sistema.

La cantidad de agua consumida (U.C.) -- será la que se agrega al tanque alimentador (A_2) más la lluvia LL, menos la cantidad medida en el tanque de excedentes A_e .

$$U.C. = A_2 + LL - A_e$$

Para el buen funcionamiento del aparato se recomienda que los tanques alimentador, regulador y de excedentes, estén bajo una caseta, para disminuir los efectos de evaporación en ellos y además, que alrededor del tanque evapotranspirador, haya sembrado cultivo del mismo que está en estudio.

La limitante de este método es que presenta dificultades en la operación del equipo y como no se puede aplicar más que a un cultivo al mismo tiempo, a la presente resulta costoso.

4.2.3.- Método gravimétrico.

Este método consiste esencialmente en tomar muestras de suelo a diferentes profundidades y medir su contenido de humedad entre un muestreo y otro. Se aplica principalmente en terrenos bien drenados; es decir, en lugares donde no haya aportaciones de agua subterránea.

En virtud de que este método por su economía y facilidad de aplicación, es el que más se puede -- utilizar, en el anexo No. 2 se indica el procedimiento general de aplicación.

5.- Información existente:

La información climatológica que existe actualmente en los Distritos, permite aplicar adecuadamente la fórmula de Blaney y Criddle. Además y a manera de información general, el memorándum Técnico No. 273 de la Dirección General de Distritos de Riego, están calculados los usos consuntivos para la mayor parte de los cultivos básicos de cada Distrito. Estos datos fueron obtenidos -- aplicando la fórmula de Blaney y Criddle.

6.- Aplicación de los Usos Consuntivos.

1o.- Los Usos Consuntivos son un -- auxiliar valiosísimo para determinar la posible área de -- riego ante determinado volumen disponible de agua.

2o.- Sirve para elaborar calendarios

teóricos de riego de cultivos; es decir, fijarles láminas e intervalos de riego que en función de las eficiencias de riego, a nivel parcelario y de conducción, permitirán determinar en los planes de riego, los calendarios de extracción de volúmenes.

30.- Permite estimar las eficiencias de riego a nivel parcelario las cuales son sumamente útiles en la elaboración de los planes de riego, considerando que:

$$\text{Eficiencia parcelaria} = \frac{\text{U.C.}}{\text{Lámina Neta}} \times 100$$

40.- En el caso de que se tenga agua para riego con altos contenidos de sales en solución, el uso consuntivo permite determinar las láminas de sobreriego necesarias para prevenir problemas de ensalitramiento en los suelos.

50.- Estimación de volúmenes que serán necesarios para auxiliar a los cultivos en el caso en que las lluvias aporten gran cantidad de requerimientos hídricos.

6.- Determinación en grandes áreas (cuencas) de los posibles volúmenes de agua a drenar.

7o.- Seleccionar los cultivos más adecuados, para zonas de agricultura de temporal.

8o.- Por último y considerando lo antes expuesto, se puede decir que es imperioso el conocimiento de los usos consuntivos de los cultivos, puesto que permiten determinar en forma general la eficiencia con la que se está aprovechando el agua y por lo mismo, planear debidamente el mejoramiento y superación de todo el conjunto de elementos que intervienen en el desarrollo de un Distrito de Riego.

ANEXO No. 1
APLICACION DEL METODO RACIONAL PARA EL
CALCULO DEL USO CONSUNTIVO.

1.- METODOLOGIA.

Se sugiere la siguiente metodología para el cálculo del uso consuntivo.

1.- Obtener para cada uno de los meses el -- factor "f" Blaney - Criddle como el producto de los factores: "p" por ciento teórico de horas luz en función de la latitud y el mes (Tabla 1) y $(\frac{T + 17.8}{21.8})$, donde "T" es la temperatura media en grados centígrados (Tabla2).

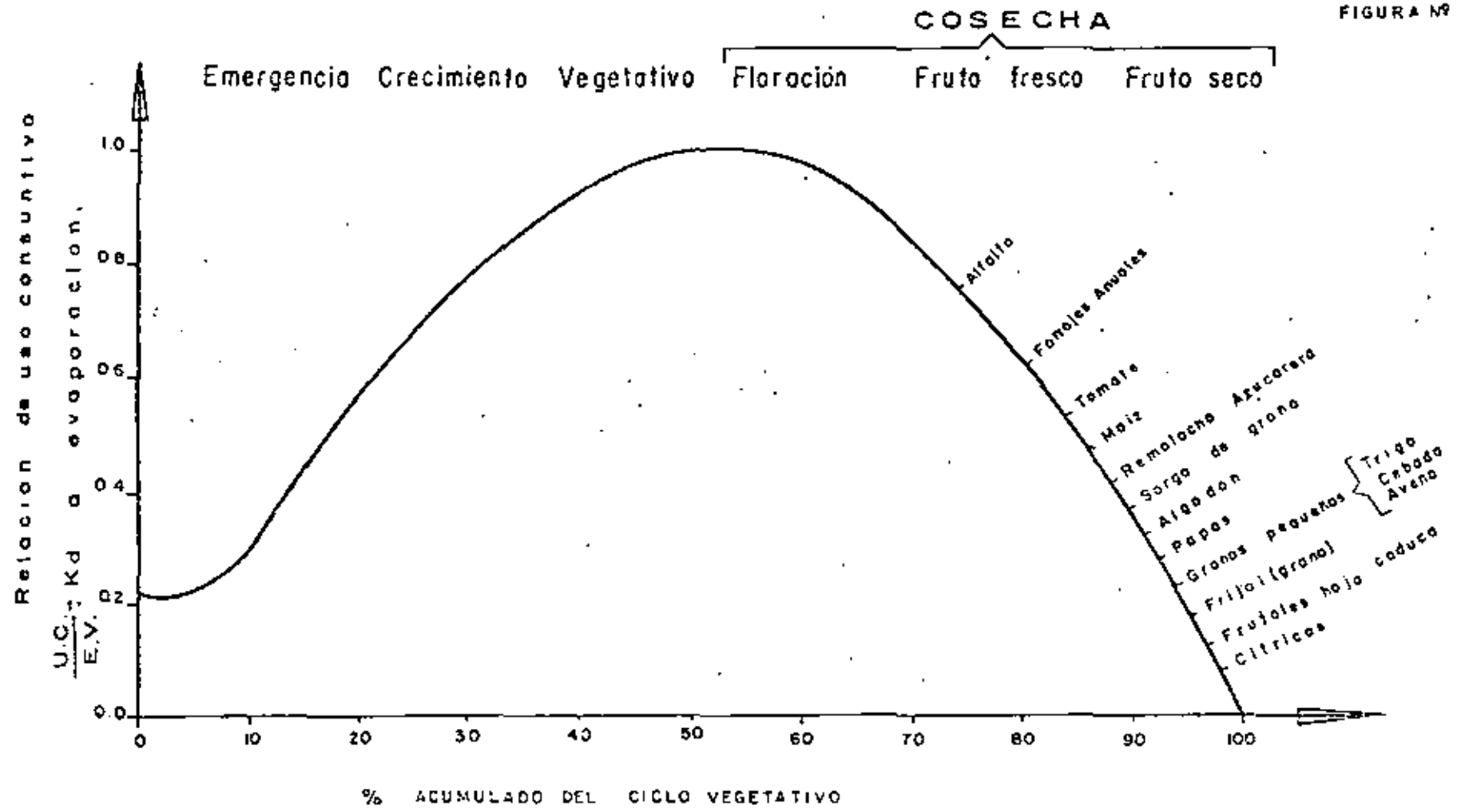
2.- Calcular K_d , coeficiente de la etapa de desarrollo del cultivo propuesto por V.E. Hansen, para lo cual es necesario:

2.1.- Precisar en décimos el tramo de curva correspondiente al período vegetativo real del cultivo y dividirlo entre el número de meses que dura en el campo, para obtener como cociente la porción en décimas de período vegetativo que corresponde a cada mes (figura 1.)

2.2.- Calcular sobre la curva para cada ---

VALORES DE LA EXPRESION $\left(\frac{T + 17.8}{21.8} \right)$ EN RELACION
 CON TEMPERATURAS MEDIAS EN °C PARA USARSE EN LA -
 FORMULA DE BLANEY Y CRIDDLE.

T _c	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
3	0.954	0.959	0.963	0.968	0.972	0.977	0.982	0.986	0.991	0.995
4	1.000	1.005	1.009	1.014	1.018	1.023	1.028	1.032	1.037	1.041
5	1.046	1.051	1.055	1.060	1.064	1.069	1.074	1.078	1.083	1.087
6	1.092	1.097	1.101	1.106	1.110	1.115	1.120	1.124	1.129	1.133
7	1.138	1.143	1.147	1.152	1.156	1.161	1.166	1.170	1.175	1.179
8	1.184	1.189	1.193	1.198	1.202	1.207	1.212	1.216	1.221	1.225
9	1.230	1.235	1.239	1.244	1.248	1.253	1.258	1.262	1.267	1.271
10	1.276	1.281	1.285	1.290	1.294	1.299	1.304	1.308	1.313	1.317
11	1.322	1.327	1.331	1.336	1.340	1.345	1.350	1.354	1.359	1.363
12	1.368	1.373	1.377	1.382	1.386	1.391	1.396	1.400	1.405	1.409
13	1.414	1.419	1.423	1.428	1.432	1.437	1.442	1.446	1.451	1.455
14	1.460	1.465	1.469	1.474	1.478	1.483	1.488	1.492	1.497	1.501
15	1.506	1.511	1.515	1.520	1.524	1.529	1.534	1.538	1.543	1.547
16	1.552	1.557	1.561	1.566	1.570	1.575	1.580	1.584	1.589	1.595
17	1.598	1.603	1.607	1.612	1.616	1.621	1.626	1.630	1.635	1.639
18	1.644	1.649	1.643	1.662	1.667	1.672	1.676	1.681	1.681	1.685
19	1.690	1.695	1.699	1.704	1.708	1.713	1.718	1.722	1.727	1.731
20	1.736	1.741	1.745	1.750	1.754	1.759	1.764	1.768	1.773	1.777
21	1.782	1.787	1.791	1.796	1.800	1.805	1.810	1.814	1.819	1.823
22	1.826	1.833	1.837	1.842	1.846	1.851	1.856	1.860	1.865	1.869
23	1.877	1.879	1.883	1.888	1.892	1.897	1.902	1.906	1.911	1.915
24	1.920	1.925	1.929	1.934	1.938	1.943	1.948	1.952	1.957	1.961
25	1.966	1.971	1.975	1.980	1.984	1.989	1.994	1.998	2.003	2.007
26	2.012	2.017	2.021	2.026	2.030	2.035	2.040	2.044	2.049	2.053
27	2.058	2.063	2.067	2.072	2.076	2.081	2.086	2.090	2.095	2.099
28	2.104	2.109	2.113	2.118	2.122	2.127	2.132	2.136	2.141	2.145
29	2.150	2.155	2.159	2.164	2.168	2.173	2.178	2.182	2.187	2.191
30	2.196	2.201	2.205	2.210	2.214	2.219	2.224	2.228	2.233	2.237
31	2.242	2.247	2.251	2.256	2.260	2.265	2.270	2.274	2.279	2.283
32	2.288	2.293	2.297	2.302	2.306	2.311	2.316	2.320	2.325	2.329
33	2.334	2.339	2.343	2.348	2.352	2.357	2.362	2.366	2.371	2.375
34	2.380	2.385	2.389	2.394	2.398	2.403	2.408	2.412	2.417	2.421
35	2.426	2.431	2.431	2.436	2.440	2.445	2.450	2.454	2.459	2.463



CURVA GENERAL QUE COMPARA LA RELACION DE USO CONSUNTIVO A EVAPORACION ($\frac{U.C.}{E.V.}$) CON EL PORCIENTO ACUMULADO DEL CICLO VEGETATIVO.

mes una ordenada media (promedio de 3 ó 4 ordenadas del intervalo) lo cual representa el valor mensual de K_d .

2.3.- El uso consuntivo será el producto de $f \times K_d$.

$$UC = f \times K_d$$

3.- Obtención del coeficiente de ajuste --
"J".- Aunque el método de Blaney - Criddle y sus coeficientes por cultivos han sido usados en diferentes partes del mundo obteniendo relativamente buena aproximación, estos valores deben estar sujetos a rectificación cada vez que se tengan referencias experimentales confiables. Por esa razón, es necesario ajustar los valores de usos consuntivos obtenidos en el punto 2, aplicando para ello un factor J que se calcula de la siguiente manera:

3.a.- Obteniendo el cociente de la suma de los usos consuntivos mensuales calculados en el punto 2.3 entre la suma de las f correspondientes.

$$C = \frac{\sum UC \text{ mensual}}{\sum f \text{ mensual}}$$

3.b.- Tomar de la tabla 2, o de alguna referencia experimental, el valor propuesto del coeficiente global K calcular $J = \frac{K}{C}$

4.- Aplicar a los usos consuntivos mensuales obtenidos en el punto 2.3. el coeficiente J, y obtener así el uso consuntivo ajustado.

$$UC' = UC \times J.$$

II.- EJEMPLO DE CALCULO.

CULTIVO: Algodón.

CICLO VEG.: 210 días desde la siembra -- hasta la última pizca.

MESES QUE COMPRENDE: febrero, marzo, -- abril, mayo, junio julio, y agosto,

DECIMOS DE PERIODO VEGETATIVO POR CADA -- MES; $9.1/7 = 1.3.$

LUGAR: Distrito de Riego No. 38-Navojoa, Son.

LAT. NTE. = $27^{\circ}00'$

1.- Obtención de "f" para cada mes.

Meses	T	$\frac{T + 17.8}{21.8}$	P	"f"
Feb.	16.8	1.589	7.09	11.266

Mar.	18.4	1.667	8.38	13.969
Abr.	21.2	1.791	8.65	15.492
May.	23.5	1.897	9.40	17.832
Jun.	27.8	2.095	9.32	19.525
Jul.	30.2	2.205	9.52	20.991
Ag.	30.4	2.214	8.13	20.214

2.- Cálculo de Kd.

$$Kd_1 = \frac{.20 + 0.22 + 0.37}{3} = 0.26$$

$$Kd_2 = \frac{0.37 + 0.51 + 0.68}{3} = 0.52$$

$$Kd_3 = \frac{0.68 + 0.80 + 0.90}{3} = 0.79$$

$$Kd_4 = \frac{0.90 + 0.96 + 1.0}{3} = 0.95$$

$$Kd_5 = \frac{1.0 + 0.96 + 0.9}{3} = 0.95$$

$$Kd_6 = \frac{0.9 + 0.8 + 0.65}{3} = 0.78$$

$$Kd_7 = \frac{0.65 + 0.49 + 0.33}{3} = 0.49$$

3.- Cálculo del U.C. mensual:

Mes	f	Kd	U.C.
Feb	11.266	0.26	2.93
Mar.	13.969	0.52	7.26
Abr.	15.492	0.79	12.24
May.	17.832	0.95	16.94
Jun.	19.525	0.95	18.55
Jul.	20.991	0.78	16.37
Ag.	<u>20.210</u>	0.40	<u>9.90</u>
	$\Sigma f = 119.289$		$\Sigma U.C. = 84.19$

4.- Cálculo de "C".

$$C = \frac{\Sigma U.C.}{\Sigma f} = \frac{84.19}{119.289} = 0.70$$

5.- Cálculo de "J"

$$J = \frac{K}{C}$$

Como el Distrito de Riego No. 38 está en zona costera, $K = 0.60$ (de la tabla No. 3) por tanto:

$$J = \frac{0.60}{0.70} = 0.85$$

6.- Obtención de los usos consuntivos ajustados:

$$U.C.' = U.C. \times J$$

Mes	U.C.	J	U.C. ajustados	U.C. acum.
Feb.	2.93	0.85	2.49 cm.	2.49 cm.
Mar.	7.26	0.85	6.17 "	8.66 "
Abr.	12.24	0.85	10.40 "	19.06 "
May.	16.94	0.85	14.40 "	33.46 "
Jun.	18.55	0.85	15.77 "	49.23 "
Jul.	16.37	0.85	13.91 "	63.14 "
Ag.	9.90	0.85	<u>8.41</u> "	<u>71.55</u> "
			71.55	

7.- U.C. total = 71.55 cm.

8.- Elaboración de los calendarios --
teórico y práctico de riegos.

Elaborando la gráfica de los usos consuntivos acumulados se puede obtener el calendario teórico de riegos para el cultivo en cuestión.

En este caso, el calendario para el cultivo del algodón es el siguiente:

CALENDARIO TEORICO

No. de Riegos	Lámina teórica de riego cm.	Intervalo días
1o.	12.00	-
2o.	10.00	68
3o.	10.00	30
4o.	10.00	25
5o.	10.00	16
6o.	10.00	16
7o.	9.55	23
7	71.55	

CALCULO DE PAREDAES DE CIMENTO
E TUBO DE FERRO

PLA-5.5507

CUTIVO AUSELON

2M 2M 2M

2M 2M 2M

2M 2M 2M

2M 2M 2M

2M 2M 2M

2M 2M 2M

2M 2M 2M

2M 2M 2M

INTERVALO DE 0,50M 0,50M 0,50M 0,50M 0,50M 0,50M 0,50M 0,50M

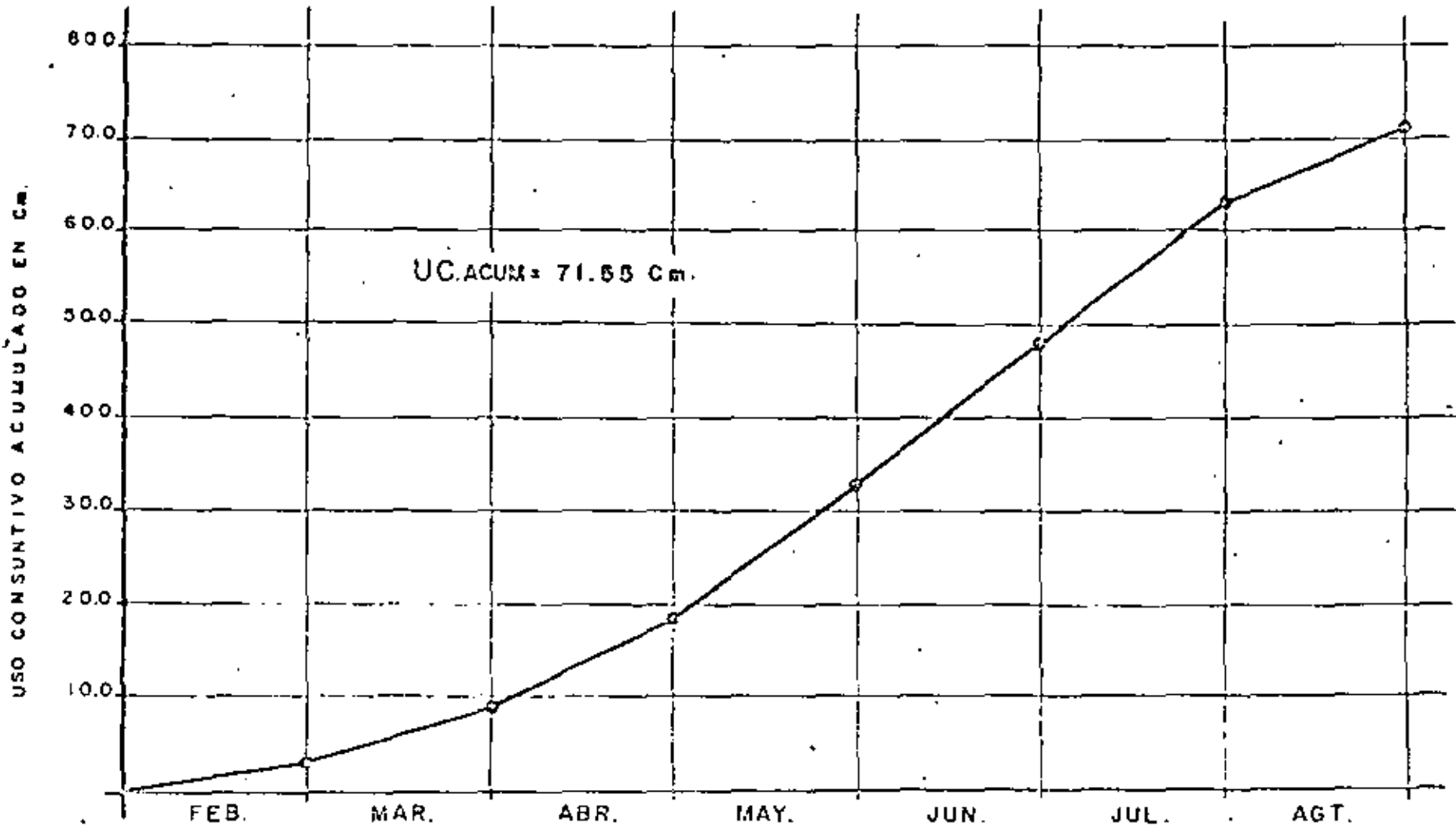
1 ANIMA DE CIMENTO

1 ANIMA DE CIMENTO

GRAFICA DEL USO CONSUNTIVO ACUMULADO

CULTIVO ALGODON

DISTRITO DE RIEGO Nº 38 RIO MAYO, SON.



Dividiendo las láminas teóricas de riego, entre la eficiencia, y aproximando los resultados a valores prácticos, se tendrán las láminas netas de riego.

Considerando en este caso una eficiencia parcelaria de 70%, se tienen las siguientes láminas netas de riego.

CALENDARIO PRACTICO

No. de Riegos	Lámina Neta cm.	Intervalo días
1o.	17.5	-
2o.	14.5	68
3o.	14.5	30
4o.	14.5	25
5o.	14.5	16
6o.	14.5	16
7o.	13.5	23
total: 7	103.5	

Casi siempre es necesario también ajustar los intervalos especialmente en los iniciales, en que algunas veces resultan muy grandes; lo cual es un error porque si bien es cierto que al principio, las plantas consumen poca agua, la profundidad radicular es pequeña.

VALOR DE "p" SEGUN LA LATITUD Y EL MES.

TABLA 1.

Lat. Norte	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
15°	7.94	7.37	8.44	8.45	8.98	8.80	9.03	8.83	8.27	8.26	7.75	7.88
16°	7.93	7.35	8.44	8.46	9.01	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17°	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80
18°	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	9.16	8.90	8.27	8.21	7.65	7.74
19°	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	8.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20°	7.74	7.26	8.41	8.53	9.14	9.00	9.23	8.95	8.29	8.17	7.59	7.66
21°	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22°	7.66	7.21	8.40	8.56	9.22	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55
23°	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24°	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25°	7.53	7.13	8.30	8.61	9.32	9.22	9.43	9.08	8.30	8.08	7.40	7.41
26°	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.35
27°	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28°	7.40	7.07	8.30	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.22	7.27
29°	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.20
30°	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
31°	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95	7.15	7.09
32°	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.95	7.11	7.05

Tomada de BLANEY Y CRIDDLE S.C.S.-P-96. U.S.D.A. Soil Conservation Service.

COEFICIENTE GLOBAL "K"

DE BLANEY Y CRIDDLE.

TABLA 3

CULTIVO	CICLO VEGETATIVO	VALORES DE K	
ALGODON	7 meses	0.60	a 0.65
ALFALFA	Entre heladas	0.80	a 0.85
	En invierno	0.60	
ARROZ	3 a 5 meses	1.00	a 1.20
CEREALES	3 meses	0.75	a 0.85
CITRICOS	7 meses	0.50	a 0.65
FRIJOL	3 meses	0.60	a 0.70
JITOMATE	4 meses	0.70	
MAIZ	4 meses	0.75	a 0.85
NOGALES	Todo el año	0.70	
PAPA	3 a 5 meses	0.65	a 0.70
PASTOS	Todo el año	0.75	
REMOLACHA	6 meses	0.65	a 0.75
SORGO	4 a 5 meses	0.70	
TREBOL LADINO	Todo el año	0.80	a 0.85

NOTA:

Los valores más pequeños, son para regiones costeras y los mayores, para zonas áridas (tomado de Blaney y Criddle, Determining - Water needs from climatological data U.S.D.A. Soil concervation Sevice. T.P. 96).

DETERMINACIÓN DEL USO CONSUNTIVO POR
EL METODO GRAVIMETRICO.

En este caso se expone el procedimiento general para parcelas de prueba o para terrenos de agricultores, ya que tratándose de lotes experimentales, aunque sea similar, los trabajos deberán realizarse de acuerdo con los instructivos específicos para cada experimento.

10.- Equipo:

a.- Botes de aluminio o frascos de vidrio, con capacidad para 100 gr. de muestra.

b.- Balanza de torsión para capacidad de 500 gr. y aproximación de un décimo de gramo. De preferencia utilizar balanza eléctrica de peso instantaneo.

c.- Para profundidades no mayores de 90 cm. usar barrena de tirabuzón; en profundidades mayores usar barrena Veihmeyer y en suelos muy arenosos, siempre usar barrena de caja.

d.- Estufa eléctrica con termostato pa--

ra controlar la temperatura a 110 °C constante y de circulación y tiro forzado.

2o.- Elección de la parcela.

a.- Tamaño, no menor de 8 Ha. y --
si no es parcela de prueba, debe pertenecer a un buen agricultor. En el caso de parcelas mayores se escogerá una --
parte del lote que tenga más o menos estas dimensiones.

b.- De ser posible el lote debe --
ser de suelo homogéneo, o tener la misma estratificación en el perfil. Por lo menos en los sitios que se escojan --
para muestreo. Para ello, puede hacer un muestreo previo de exploración a fin de tener muestras para determinar la textura.

3o.- Muestreo:

a.- Sitios. En la parcela selec--
cionada o en la fracción que se haya determinado, se establecerán 3 sitios de muestreo localizados de acuerdo con --
la figura No. 1 adjunta. El dato definitivo será el promedio de los tres sitios.

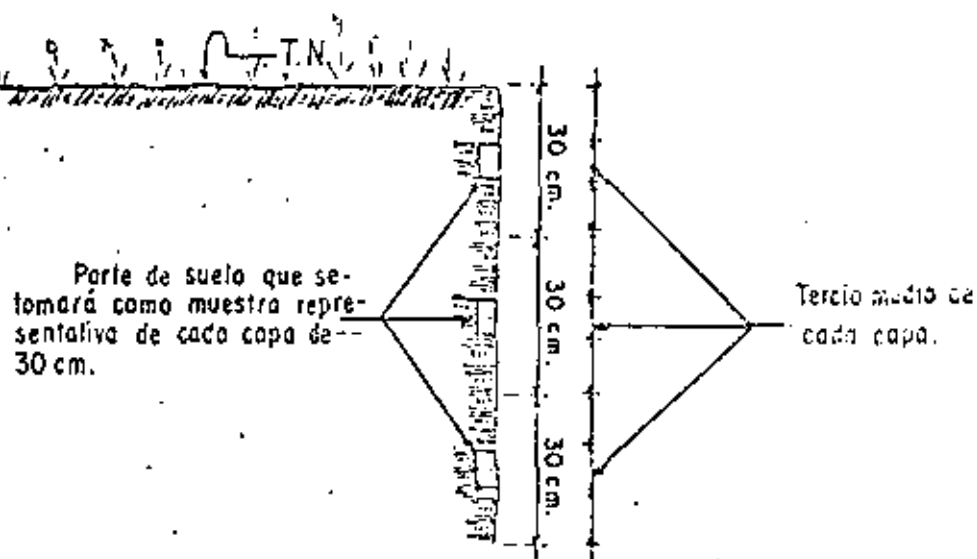
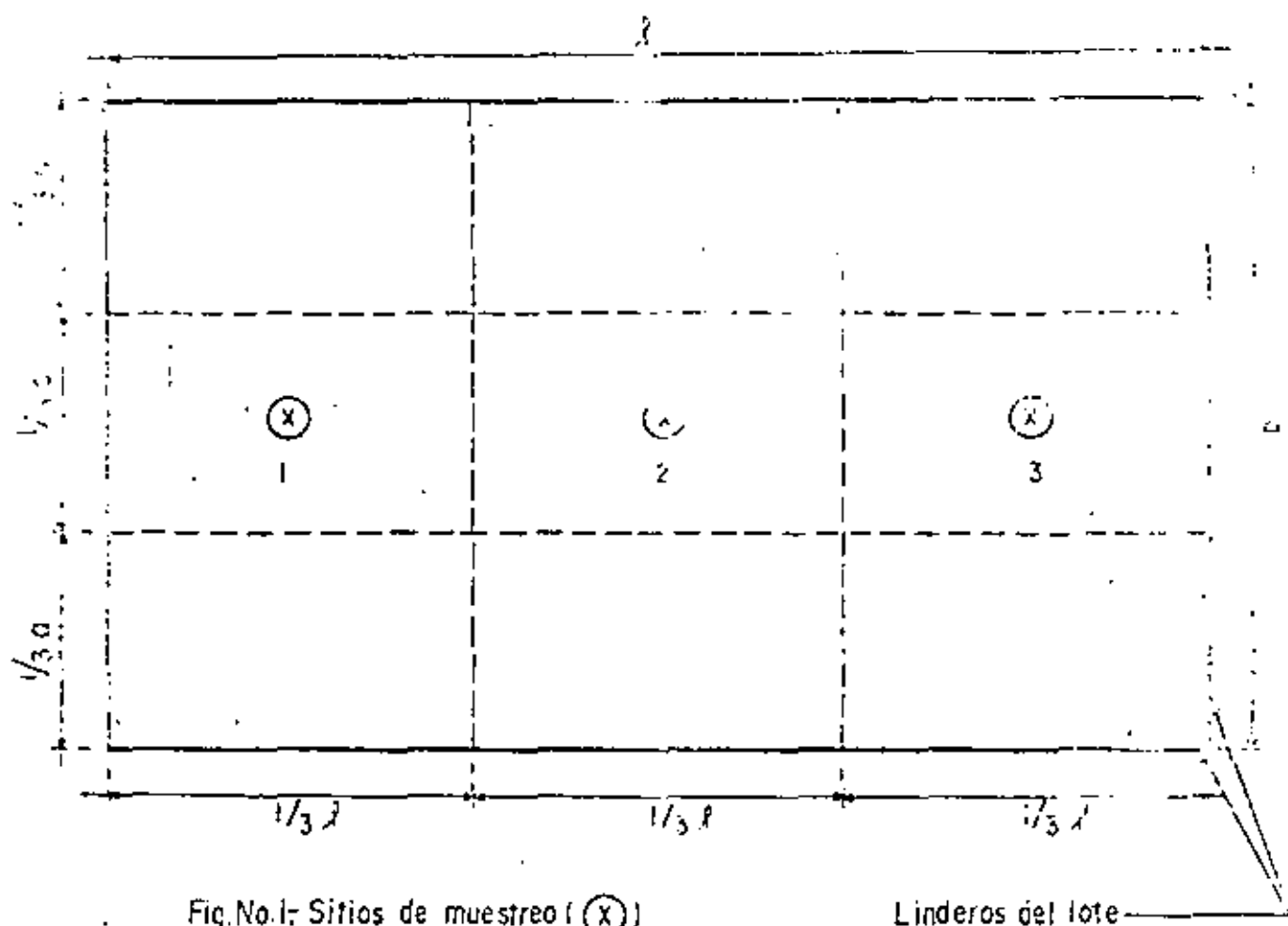


Fig.No.2: Lugar de donde se toma la muestra en sentido vertical (tercio medio de cada capa).

b.- Profundidad.- En cada sitio el muestreo se debe hacer por capas de 30 cm. hasta cubrir debidamente la profundidad que según el hábito radicular, tenga el cultivo.

c.- Frecuencia.- Muestrear 2 días consecutivos antes de cada riego y 2 días consecutivos después de cada riego tan pronto como lo permita el suelo; en el resto del tiempo cada 3er. día.

d.- En cada sitio se tomará como muestra representativa la tierra correspondiente al tercio medio de cada capa de 30 cm. Esta muestra se debe dividir en 2 partes cada una de las cuales se deposita en un bote o frasco apropiado para meterlo a la estufa. Además de lo anterior, sobre todo cuando se tienen varios lotes en observación, el muestreo debe hacerse siempre en el mismo orden para que cada parcela sea muestreada a la misma hora.

e.- Envase y transporte de las muestras. Las muestras se deben colocar en frascos de vidrio (tipo gerber) o en botes de lámina, con capacidad suficiente para alojar más o menos 100 gr. de suelo. Cada recipiente se debe numerar debidamente para tener un buen registro.

El transporte no debe hacerse con los recipientes sueltos, es conveniente colocarlos en cajas -- apropiadas de madera para, además de transportarlos ordenadamente, protegerlos contra quebraduras, aboyamientos y contra los rayos del sol, por lo cual, se recomienda colocar -- entre los recipientes y la tapa de la caja, una manta o costal húmedo.

40.- Determinación del contenido de humedad del suelo.

El contenido de humedad del suelo P_s , se expresa en % con respecto a peso de suelo seco, para ello:

a.- Inmediatamente que se llegue al laboratorio se pesa la muestra con todo y bote se obtiene P_{tsh} . (peso total de suelo húmedo más recipiente).

b.- Se somete el suelo a un proceso de secado colocándolo con el recipiente en una estufa a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que el peso sea constante (generalmente 24 horas son suficientes) después de lo cual se pesa y se obtiene P_{tss} (peso total de suelo seco más recipiente).

c.- Se deben tener previamente --

determinados los pesos de los recipientes P_b (datos que pueden tenerse en una tabla donde estén registrados los recipientes con sus números de identidad).

d.- Obtención de P_g .

$$P_g = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \times 100$$

$$P_{sh} = P_{tsh} - P_b$$

$$P_{ss} = P_{tss} - P_b$$

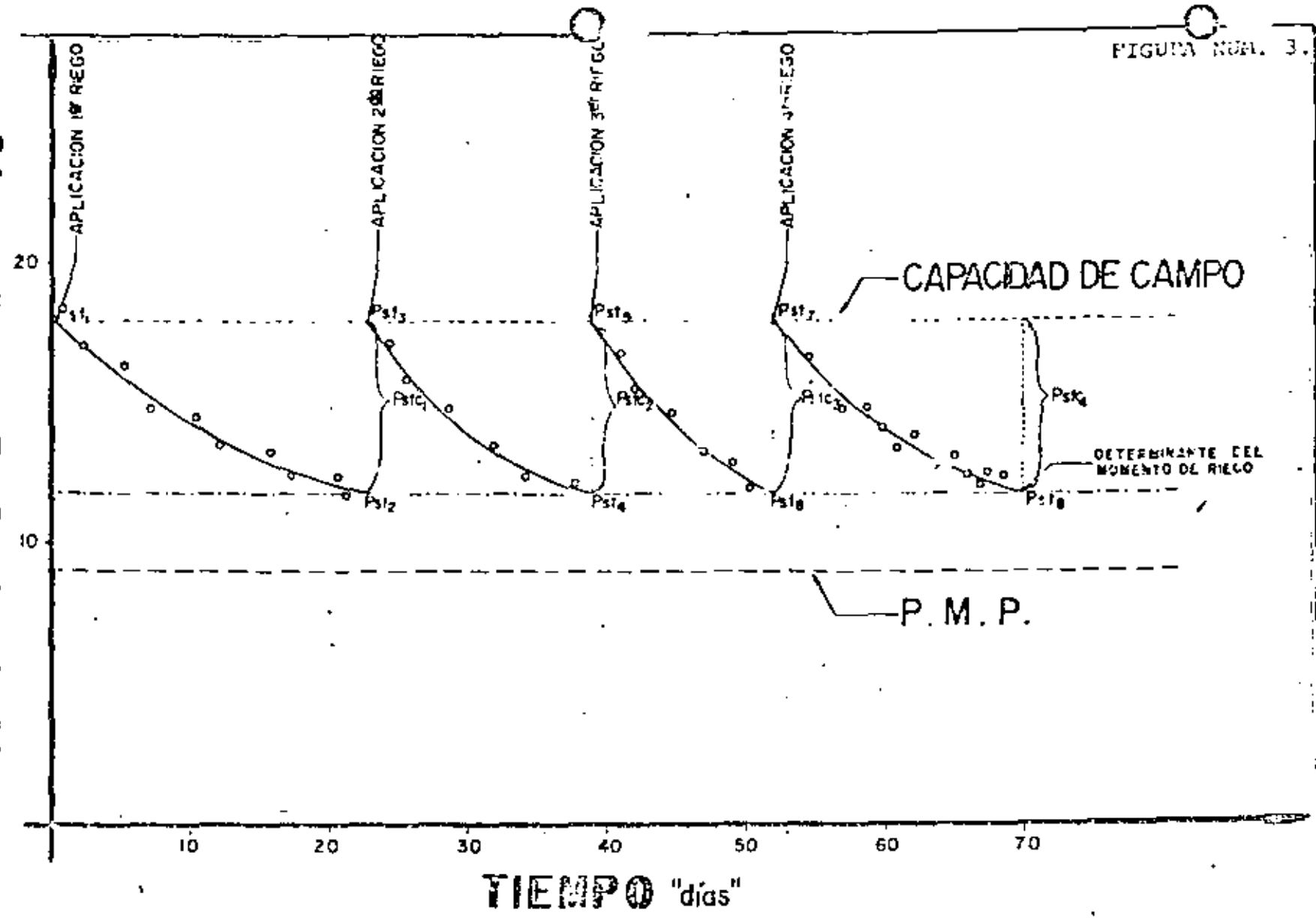
Este P_g será el contenido de humedad de una capa de suelo, como se tiene tres muestras por capa, el promedio de estas será el dato final para cada capa. En este caso a juicio del encargado de hacer estos trabajos, si alguno de los tres datos es dudoso, podrá desecharlo.

5o.- Registro de datos.

Los datos del muestreo, y determinación del contenido de humedad, se pueden anotar en una forma como la tabla No. 1.

6o.- Graficación, interpretación y ajuste de datos.

Para interpretar más adecuadamente los



CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO = $P_s(0-30) + P_s(30-60) + \text{etc}$

CONSUMO TOTAL DE AGUA = $P_{stc_1} + P_{stc_2} + P_{stc_3} + P_{stc_4}$

datos de contenido de humedad, deben graficarse en la forma como se indica en la figura 3.

Esta graficación debe hacerse el mismo día en que se obtenga el dato. En caso de encontrar datos dudosos, debe vigilarse muy cuidadosamente todo el proceso desde el muestreo en el terreno hasta las operaciones de laboratorio.

Los promedios de cada capa de suelo de 30 cm. se deben graficar por separado, y la suma de los " P_s " de las capas que se muestreen serán los contenidos de humedad en todo el perfil del suelo P_{st} .

$$P_{st} = P_s (0-30) + P_s (30-60) + P_s (60-90) + \dots \text{etc.}$$

La diferencia entre los P_{st} de un día con respecto al del día anterior será el consumo de agua.

Para hacer una mejor interpretación de estos datos debe elaborarse una gráfica como se indica en la figura 3.

7o.- Determinación del agua consumida por el cultivo.

Con base en la gráfica que se muestra -

en la figura No. 3, se acostumbra determinar los consumos de agua por el cultivo entre riego y riego (P_{stc}), en lugar de determinar los consumos entre un día y otro, lo cual facilita los cálculos del uso consuntivo total.

De acuerdo con lo anterior y con base en el anexo citado, agua consumida:

$$\text{Entre 1o. riego} = P_{st1} - P'_{st2} = P_{stc1}$$

P_{st1} - Contenido de humedad total después de 2 a 3 días de haber aplicado el primer riego generalmente el contenido de humedad a C. C. es cada uno de los horizontes.

P'_{st2} - Contenido de humedad total antes de aplicar el segundo riego.

$$\text{Entre 2o. y 3o. riego} = P_{st2} - P'_{st3} = P_{stc2}$$

$$\text{Entre 3o. y 4o. riego} = P_{st3} - P'_{st4} = P_{stc3}$$

$$\text{Entre 4o. riego y la cosecha} = P_{st4} - P'_{stn} = P_{stc4}$$

P'_{stn} - Contenido de humedad total antes de la cosecha.

El total del agua consumida o sea el U.C.

será igual a la suma de los P_{stc} .

$$U.C.ps = P_{stc1} + P_{stc2} + P_{stc3} + P_{stc4}$$

(expresado en % con respecto a peso de suelo seco).

80.- Transformación del U.C. ps a lámina riego.

Para esto es necesario determinar la densidad aparente "Da" del suelo, por métodos normales (uso de la bolsa de plástico ó el medidor volumétrico).

En este caso debe aclararse que se necesita determinar la Da para las capas de 0-30 y de 30-60, como dato general el promedio de ambos; con este dato y la profundidad de muestreo se hace la transformación aplicando la fórmula.

$L = P_s \times D_a \times P_r$, en lo cual:

L = Lámina de agua, en cm.

P = Agua consumida en %; en este caso igual a U.C.ps

D_a = Densidad aparente, adimensional

P_r = Profundidad del muestreo.

De acuerdo con esto:

$$U.C. (cm) = U.C.ps \times D_a \times P_r$$

90.- Reporte final:

El dato de U.C. (cm), debe reportarse para un cultivo determinado, complementándolo con los siguientes datos:

- a.- Cultivo (nombre y variedad).
- b.- Ciclo vegetativo
- c.- Tipo de suelo en el que se hizo el trabajo.
- d.- Rendimiento
- e.- Lugar y año.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



RIEGO Y DRENAJE

DISEÑO DE METODOS DE RIEGO

ING. LUIS OSCAR RAMIREZ

JUNIO, 1980



MÉTODOS DE RIEGO

" Riego es la aplicación artificial del agua al terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo" (1).

Los métodos de Riego los clasificaremos en primer término - de acuerdo con la forma de aplicación del agua al suelo, en segundo término con la forma de distribución del agua en el suelo.

1.1. SUPERFICIALES

1.1.1. Inundación.

1. Regaderas en contorno
2. Melgas
3. Curvas a Nivel.
4. Cuadros

1.1.2 Por Líneas.

1. Surcos
2. Corrugaciones.
3. Cama Melonera.

1.2 AEREOS.

1.2.1. Aspersión

1. Aspersores Giratorios.
2. Tubos oscilantes.
3. Tubos Giratorios.
4. Otros.

1.3. SUBTERRANEOS.

1.3.1. Subirrigación.

1. Ascenso Capilar.

1.4. MIXTOS

1.4.1. Goteo.

1. Instalaciones Fijas.
2. Instalaciones móviles.

1.1. METODOS DE RIEGO SUPERFICIALES.

1.1.1. POR INUNDACION.

1.1.1.1. REGADERAS EN CONTORNO.

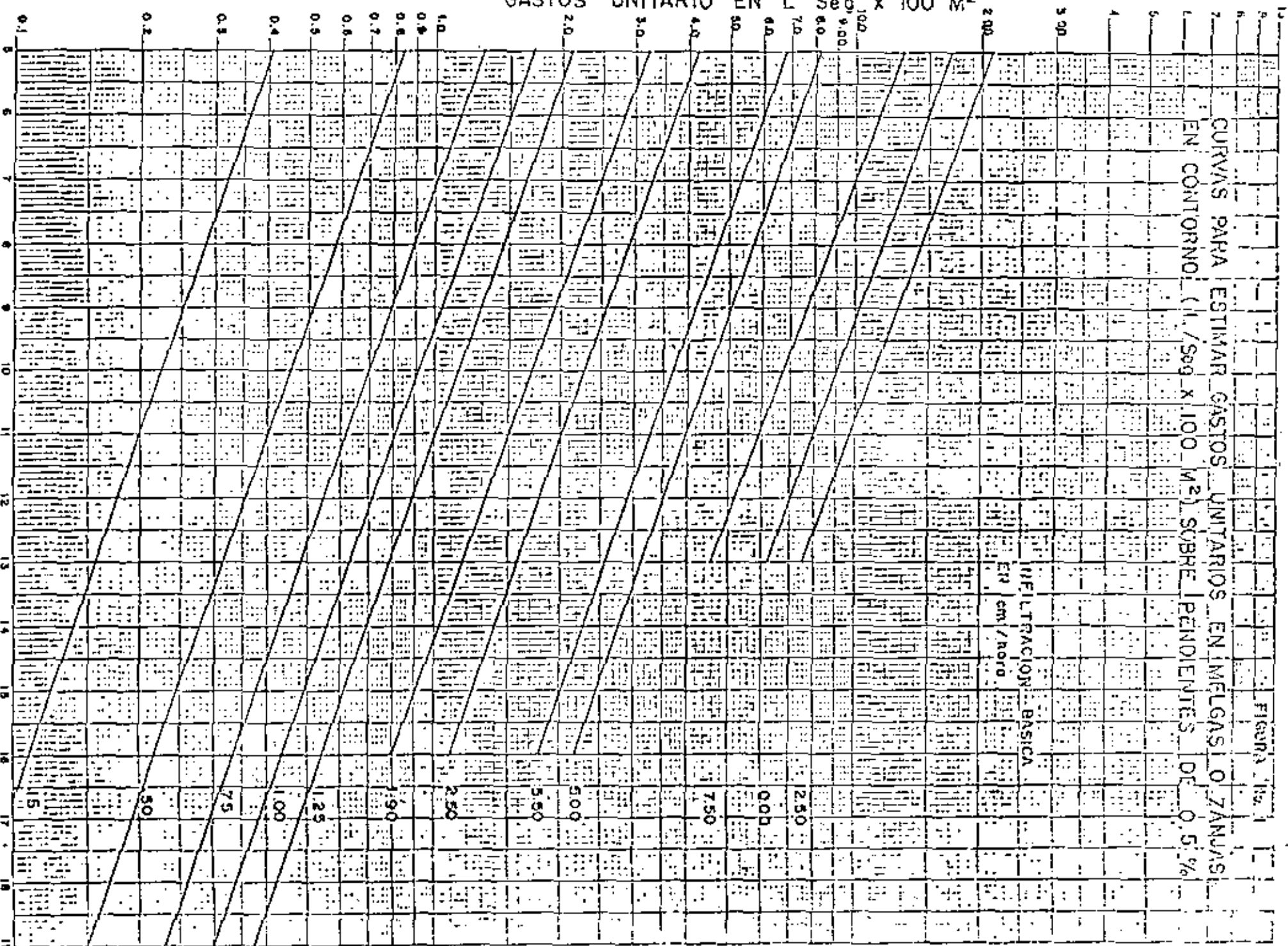
Este método consiste en llevar el agua hasta el campo por medio de Regaderas más ó menos equidistantes que arrancan de una regadera de cabecera.- Las regaderas pueden hacerse siguiendo el contorno del terreno ya sea a nivel ó con pendiente en cuyos casos la equidistancia entre la zanjas variará o no de acuerdo a la configuración topográfica del terreno. El agua se descarga al terreno con sifones ó se deja derramar sobre el bordo inferior de la regadera ó se descarga por aberturas a una zanja igualadora paralela, la que derrama sobre el terreno. El agua se extiende en forma indefinida en sentido de la pendiente, el escurrimiento sobrante se recoge en las regaderas inferiores para volver a utilizarse.

ADAPTACION Y DISEÑO

Suelos:	Todo tipo
Pendiente del terreno:	0.5 al 15 % Máximo 4 % si hay peligro de erosión por lluvias ó en suelos con texturas de ligeras a gruesas.
Infiltración Básica:	0.25 a 7.5 cm/hora.
Distancia entre regaderas:	15 a 50 metros.
Gasto en regaderas:	Calcular con $Q = \frac{qLw}{100}$

GASTOS UNITARIO EN L Seg x 100 M²

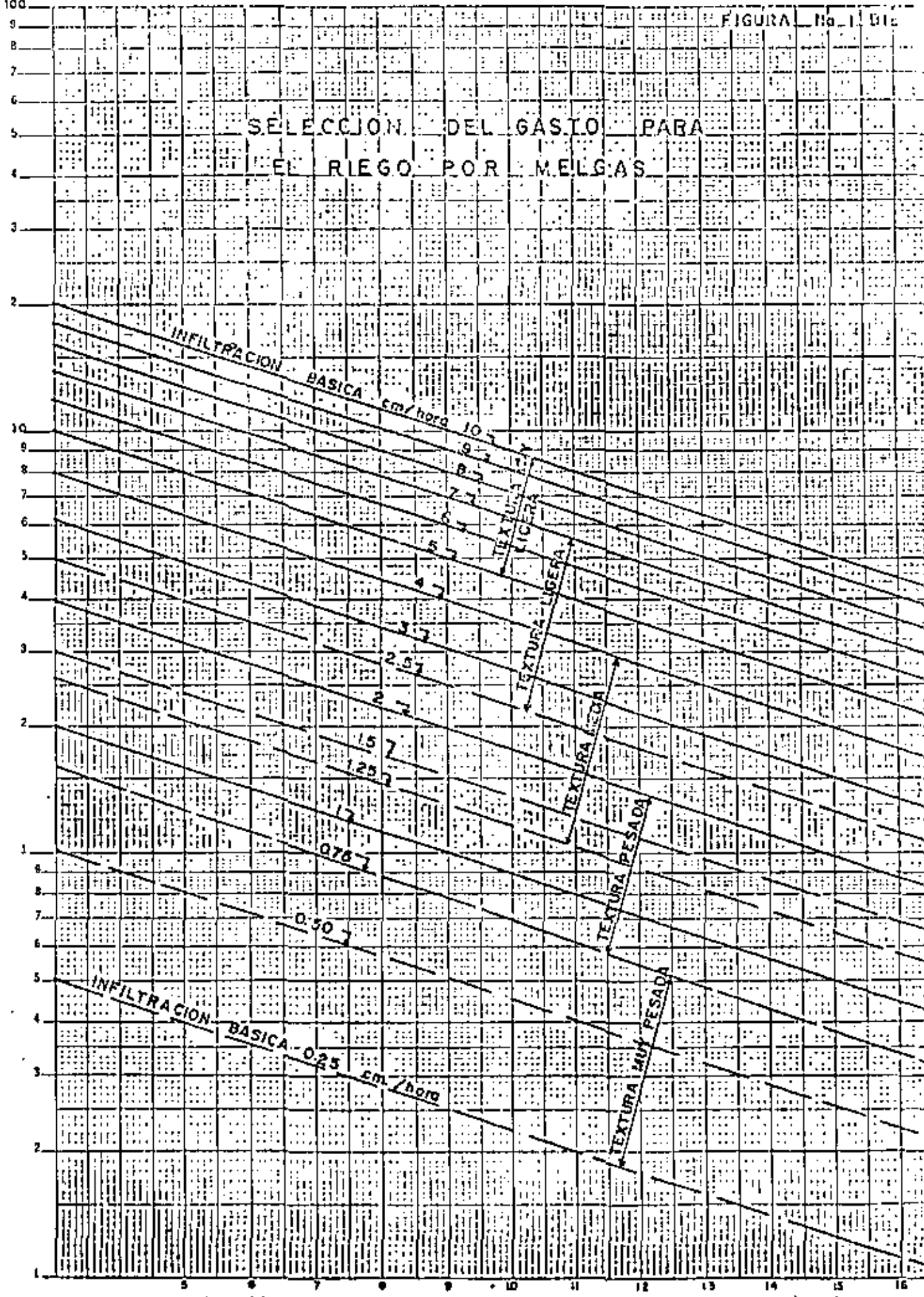
LAMINAS POR APLICAR EN CM.



CURVAS PARA ESTIMAR GASTOS UNITARIOS EN INFLGAS O ZANJAS EN CONTORNO (L/Seg x 100 M²) SOBRE PENDIENTES DE 0.5%

INFILTRACION BASICA
 EN cm/hora

SELECCION DEL GASIO PARA EL RIEGO POR MELGAS



KUPFFEL & FAYRER CO.

LAMINA A REPONER EN LA ZONA RADICULAR (cm)

En la que:

Q = Gastos en Regaderas disponibles ó requerido en l.p.s.

q = Gasto según figura. (1)

L = Espaciamiento entre regaderas. (n)

w = Longitud de la regadera en contorno que debe regarse
a un tiempo (m).

Cultivos: Todos los que cubren el terreno -
como granos, pastos y alfalfa.

Eficiencia del Riego: 50 a 65 %.

CARACTERISTICAS IMPORTANTES

1. Bajos costos de establecimiento.
2. Se requiere muy poca preparación superficial del terreno aún con topografía irregular.

L I M I T A C I O N E S

1. Baja eficiencia de aplicación (con mucho cuidado del 50 al 65 %) lo que se traduce en gasto excesivo de agua.
2. Poca uniformidad en la distribución del agua.
3. Costo elevado de operación ya que requiere mucha mano de obra.
4. Peligro de erosión.
5. Problemas de drenaje en las partes bajas del campo.

Este método presenta ciertas características favorables a su empleo como son: establecimiento en zonas agrícolas en donde el agua y la mano de obra son abundantes. En el caso de los Distritos de Riego no es recomendable.

1.1.1.2. METODO DE RIEGO EN MELGAS.

El método de Riego en Melgas es un método de Riego por inundación controlada. El campo que se va a regar se divide en franjas por medio de bordos paralelos y cada franja se riega en forma independiente de las demás. Las fajas entre bordos deben tener una pendiente mínima en el sentido lateral ó anchura y una cierta pendiente en el sentido de Riego ó longitud. El agua se aplica en la parte superior de las fajas por medio de sifones, cajas de aplicación ó compuertas y en forma rústica practicando aberturas en el bordo de las regaderas.

El gasto derivado a la melga debe ser tal, que se distribuya sobre toda la faja sin rebasar la altura de los bordos, y que el volumen de agua descado se aplique en un tiempo igual ó poco menor que el necesario para que el suelo absorba la cantidad neta requerida. Este método constituye una de las formas más eficientes de aplicar el agua de riego cuando las condiciones del suelo, cultivo, caudal de agua disponible y topografía lo hacen posible.

ADAPTACION:

Suelos:	Todo tipo pero opera mejor en suelos de texturas media a pesada.
Pendiente:	Se deja mejor a 0.5% ó menos. Sí la cosecha no cubre el suelo se acepta hasta el 2 %. Sí la cosecha forma alfombra se acepta hasta 4 %.
Ib:	Menores de 7.62 cm/hora.
Anchura:	Variable de 3 a 36 metros.
Longitud:	Variable de 50 a 840 metros.

Altura de bordos: 20,32 cm (8")

Tirante máximo: 15,00 cm (6")

GASTOS:

Calcular con: $Q = \frac{q L W}{100}$ en la Q'

Q = Gasto requerido por Melga en (l.p.s.)

q = Gasto unitario requerido ajustado por pendiente.
según Fig. 1 y Fig. 2 (l.p.s./100 m²)

L = Longitud de Riego (m)

W = Ancho de melga (m)

El gasto unitario obtenido en la Fig. 1 es el que corresponde a una pendiente de 0.5 % por lo que se ajustará con una -- corrección por pendiente que se obtiene en la Fig. 2, entrando -- con la pendiente de riego y obteniéndose el factor de corrección, este factor multiplicado por el gasto unitario nos dá el gasto unitario requerido ajustado.

TIEMPO QUE SE DEBE APLICAR EL GASTO:

Calcular con:

$T = \frac{L_r}{3.6 q}$ En la que:

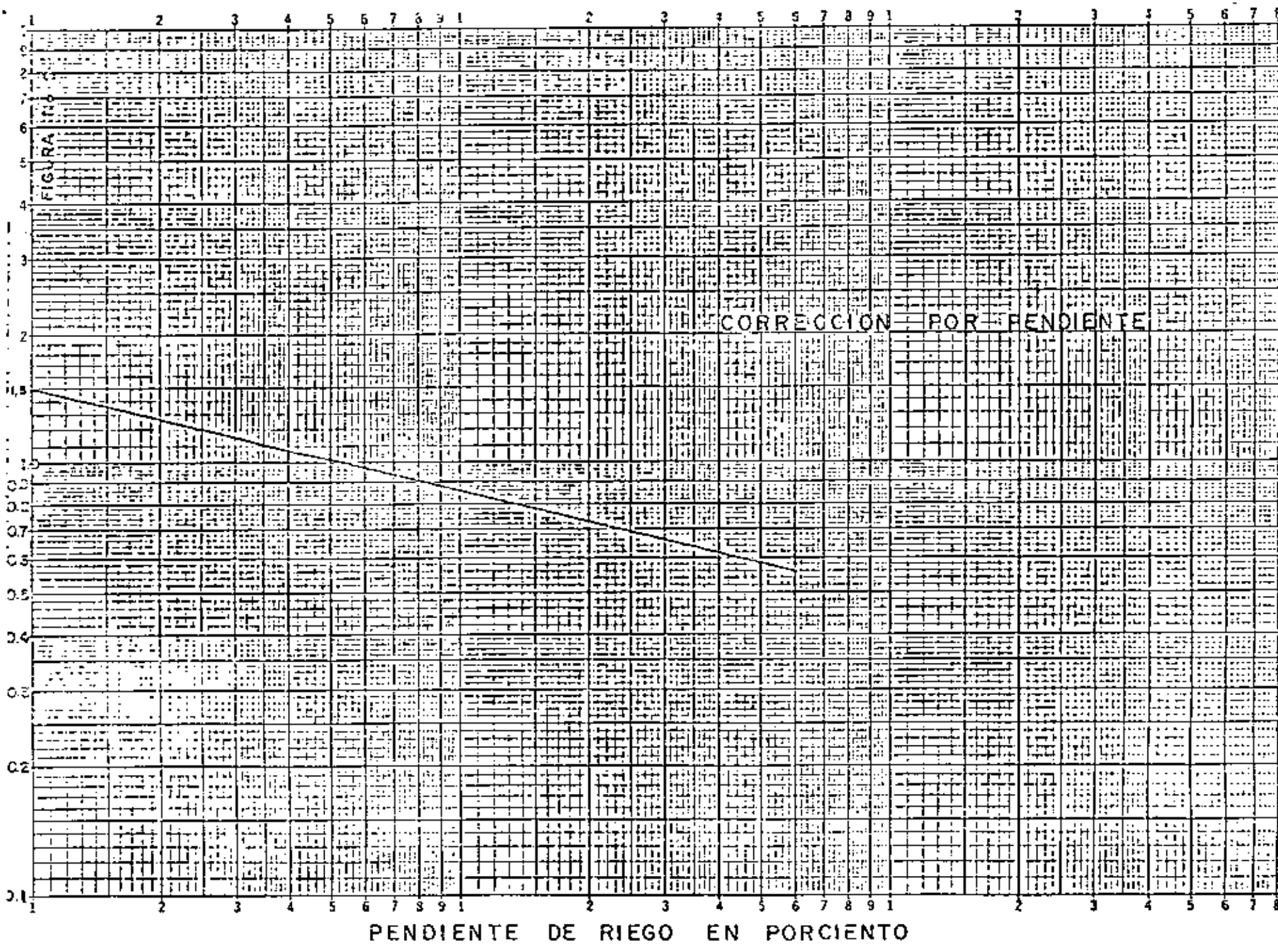
T = Tiempo en horas para aplicar la lámina (L_r)

L_r = Lámina de Riego Neta en cm.

q = Gasto unitario según Fig. (1 y 2).

CULTIVOS:

Se adapta a cultivos que cubren el suelo como: Cereales, alfalfa, linaza también viñedos, huertos frutales y riegos de pre siembra a cultivos de escarda.



EFICIENCIA:

De 55 a 75 %.

EFICIENCIAS RECOMENDADAS PARA DISEÑO DE RIEGO POR
MELGAS.

Pendiente	Infiltración Básica (cm/hora)			
	Menor de 0.76	0.76 - 1.27	1.52-5.08	5.08-10.16
0.00 - 0.05	75	75	70	60
0.05 - 0.50	70	70	75	70
0.50 - 1.00	65	70	70	70
1.00 - 2.00	60	65	70	75
2.00 - 4.00	55	60	65	60
4.00 - 6.00	50	55	60	55

NOTA.- Para láminas de aplicación requeridos menores de 6.35 cm. Use eficiencias 5 % más bajas que las mostradas en la Tabla.

DISEÑO:

SECUELA DE DISEÑO PARA LOS METODOS DE RIEGO POR MELGAS, --
REGADERAS EN CONTORNO Y CURVAS DE NIVEL.

DATOS PARA DISEÑO:

1. Plano del Terreno.
Superficie
Curvas de nivel con equidistancia vertical de 10 cm.
Nivel de Operación de los canales alimentadores.
2. Cultivo que se va a implantar.
3. Textura del Suelo.
4. Láminas de Riego.
5. Eficiencia del Riego.
6. Infiltración básica ó curva de velocidad de infiltración.
7. Ancho de Implementos cosechadores.

INCOGNITAS DE DISEÑO.

1. Dirección del trazo de las melgas.
2. Pendiente trazo S (%).
3. Anchura de melgas W (m)
4. Longitud de riego L (m)
5. Límina de riego L_r (cm)
6. Gasto por melga q (l.p.s.)
7. Tiempo total de riego del Campo T_r (días).

SOLUCION: Se auxiliará con las gráficas mostradas en las figuras (1), (2), (3), (4) y (5).

Examinando cuidadosamente el plano del terreno se divide en tablas regulares que tengan aproximadamente una configuración y pendiente semejantes. En cada una de estas tablas se deberán tener los datos enunciados antes.

En cada tabla se llevará al cabo el siguiente análisis:

1. Teniendo en cuenta que la pendiente transversal de las melgas debe ser mínima, se orientará la dirección de las melgas de manera que la pendiente mayor sea a lo largo de las mismas dentro de los límites marcados por el método, cuidando en algunos casos de hacer los cambios de dirección mínimos necesarios para evitar "altos" ó bajos debido a la microtopografía del terreno.

2. De acuerdo a el sentido de la pendiente y el lugar de entrada de agua se resta del valor de la cota de la cur

va de nivel en el punto más alto de la Tabla el valor de la cota del extremo inferior, midiendo la distancia entre los dos puntos en forma paralelo a la dirección de las melgas. La pendiente (S) será igual:

$$S = \frac{N - N2}{D} \times 100 \text{ en la que:}$$

N = Cota punto más alto de la tabla (m)

N2 = Cota punto más bajo de la tabla (m)

D = Distancia entre cotas (m)

S = Pendiente en (%)

3. El ancho de las melgas se selecciona procurando que la pendiente transversal sea mínima y considerando la anchura de los implementos cosechadores, así el ancho de melga será múltiplo de esta dimensión (2 veces ó 3 el ancho de una cortadora por ejemplo), también se toma en cuenta si hay pendiente transversal, que la diferencia de nivel entre bordos no sea mayor de 5 cm.

4. Lámina de Riego: La lámina de riego se define de acuerdo a las características de Planta-Suelo-Clima, pero si no se tiene se puede estimar así: observando el máximo uso consuntivo en el intervalo de riego mínimo se tiene la lámina mínima que debe ser repuesta, se aplica una eficiencia de riego de acuerdo al método y pendiente, la lámina de riego se obtiene (Fig. 4).

$$L_r = \frac{Ia.c.}{Er} \times 100 \text{ en la que}$$

L_r = Lámina de riego (cm)

Ia.c. = Lámina que debe ser repuesta (cm)

Er = Eficiencia de Riego (%)

5. Longitud de Melgas: La longitud se dimensiona de acuerdo al terreno sin sobrepasar los límites mencionados antes, de acuerdo a la textura del suelo y a la infiltración básica y también a las dimensiones de la tabla en cuestión procurando que las longitudes sean lo más uniforme posible. Si se conoce el gasto de dotación a la tabla (Q) se utilizará la fórmula del siguiente párrafo, despejando la longitud.

$$(L = \frac{100 Q}{qW})$$

6. Gasto de Melgas: El gasto de Riego por Melgas se calcula con la ecuación $Q = \frac{q L W}{100}$. Puede obtenerse con el auxilio de la gráfica de la Fig. (1) entrando con los datos de Lr e Ib y comprobando la textura media del suelo y posteriormente por pendiente según Fig. (2).

b. Se revisa el cálculo comprobando que la longitud máxima obtenida en al Fig. 3 sea mayor que la de diseño.

c. Se comprueba que el tirante de flujo no sea mayor que el especificado para este método mediante el uso de la Fig. 4 entrando con la pendiente (s) y el gasto/metro de ancho de melga (q).

7. Tiempo de riego por melgas.- Se calcula con la ecuación $T = \frac{Lr}{3.6 q}$, ya indicada anteriormente.

8. Tiempo total de riego del campo ó tabla.- Se calcula con la ecuación siguiente:

$$T_t = 416.67 \frac{TS}{WL}$$

en la que:

T_t = Tiempo de riego de la tabla en días.

T = Tiempo de riego por melga en horas:

S = Superficie de la tabla en ha.

L = Longitud de melgas en m.

W = Ancho de melgas en m.

Todos los datos de solución se consignan en el plano para cada tabla. Se ilustrará esta secuela con un ejemplo sencillo.

EJEMPLO DE DISEÑO DE RIEGO POR MELGAS:

1. Suponiendo que el terreno fué dividido en tablas y en una de ellas se va a establecer un cultivo de acuerdo con los datos que se anotan:

PLANO: Se tendrá a levantamiento topográfico.

CULTIVO: Alfalfa.

Ib: 2.5 cm/hora.

LAMINA DE U.C. EN INTERVALO CRITICO: 10.0 cm.

EFICIENCIA RIEGO: 80%

ANCHO DE CORTADORA: 3.66 m (12')

SOLUCION: 1. Dirección de las melgas: La pendiente mínima es en sentido N - S y la pendiente mayor E - W, se dará esta última dirección.

2. La pendiente del Terreno es:

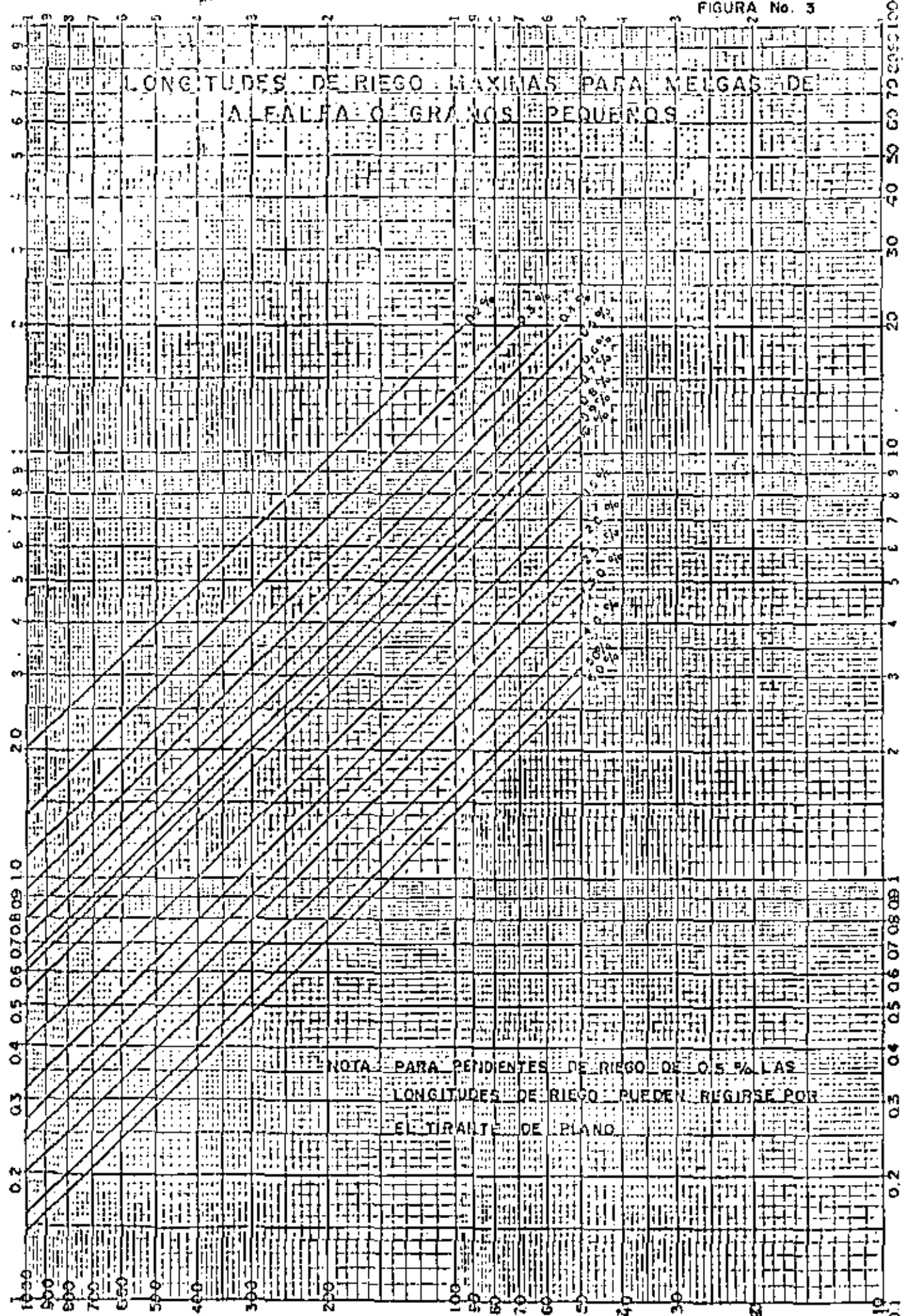
$$S = \frac{6.0 - 1.0}{1000} \times 100 = \frac{5}{10} = 0.5 \%$$

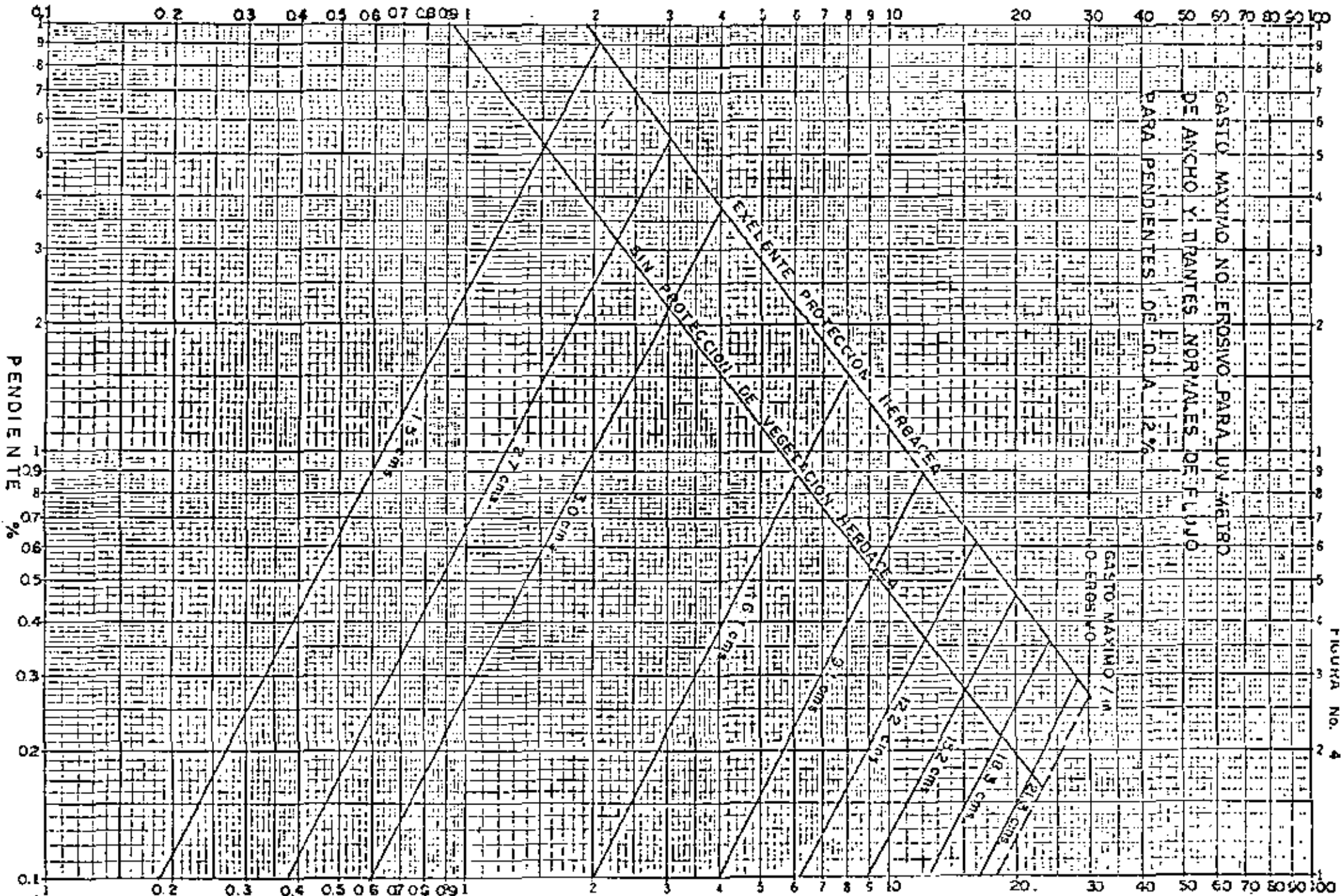
$S = 0.5 \%$ Por lo que no tendrá ajuste por pendiente el gasto.

3. Anchura de Melgas: El ancho de melgas ya que la pendiente es mínima, el dueño quiere dar dos pasos de implemento por melga, nos dá:

$$W = 2 \times 3.66 = 7.32 \text{ m.}$$

LONGITUDES DE RIEGO MAXIMAS PARA MEJGAS DE
A. FALSA O GRANOS PEQUENOS





GASTO L.P.S. METRO DE ANCHO DE FAJA.

FIGURA No. 4

$$W = 7.32 \text{ m.}$$

4. La Longitud de Melgas: Como la tabla tiene 1000 metros de longitud es bastante larga se divide en dos fracciones de 500 metros cada una dándonos una $L = 500 \text{ m.}$

5. La lámina de riego se obtiene de acuerdo con la Fig. 5 - entrando con la lámina de U.C. en el intervalo crítico y 80 % de eficiencia, ó calculada se obtiene:

$$L_r = \frac{10.0}{0.80} = 12.50 \text{ cm.}$$

6. Gasto por melga: entrando a la Fig. 1 con $L_r = 12.50$ e $I_b = 2.5 \text{ cm/hora}$ nos dá aproximadamente un q de $1.7 \text{ l.p.s./200 m}^2$ por melga.

$$Q = \frac{q \cdot W \cdot L}{100} = \frac{1.7 \times 7.32 \times 500}{100} = 62.22 \text{ l.p.s.}$$

$$Q = 62.22 \text{ l.p.s./melga.}$$

Revisando: entrando con $q = 1.7 \text{ l.p.s./100 m}^2$ y $S = 0.5 \%$.

En la gráfica 3 se obtiene una longitud de 560.0 metros.

Mayor que los 500.0 metros diseñados: O.K.

Entrando a la gráfica de la Fig. 3 con:

$$\frac{Q}{W} = \frac{62.22}{7.32} = 8.5 \text{ l.p.s./m de ancho.}$$

Calculando el tirante con la fórmula de Manning:

$$Q = A \frac{r^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Haciendo las consideraciones siguientes:

El radio hidráulico será igual al tirante por ser muy ancha la sección en relación con el mismo. El coeficiente de rugosidad será un poco mayor por las condiciones de la melga. La velocidad deberá ser tal que no ocasione arrastre de partículas.

7. Tiempo de riego por melga: Aplicando la Ecuación:

$$T = \frac{Lr}{3.6 q} = \frac{12.50}{3.6 \times 1.7} = 2.04 \text{ hora/melga.}$$

$$T = 2.04 \text{ horas/melga.}$$

8. Tiempo total de Riego del campo: aplicando la ecuación:

ción:

$$T_t = 416.67 \frac{TS}{L W} = \frac{416.67 \times 2.04 \times 50}{500 \times 7.32} = 11.61 \text{ días}$$

9. Avance diario:

$$A = \frac{S}{T_t} = \frac{50.00}{11.61} = 4.31 \text{ Has/día.}$$

10. Avance diario en unidades de riego:

$$A_u = \frac{24}{T} = \frac{24}{2.04} = 11.76 = 12 \text{ Melgas/24 horas.}$$

CARACTERISTICAS:

1. Se puede lograr una eficiencia de Riego en el campo de buena a excelente.
2. La necesidad de mano de obra es mínima comparada con otros métodos de riego.
3. El ancho de fajas se puede diseñar para un funcionamiento adecuado de la maquinaria grícola.
4. Proporciona un medio excelente para evacuar rápidamente cualquier exceso de agua en la superficie.

LIMITACIONES:

1. La topografía debe ser relativamente plana, ó los suelos suficientemente profundos para poderlos nivelar.
2. El costo de nivelación puede ser tan alto que elimine el uso de melgas.

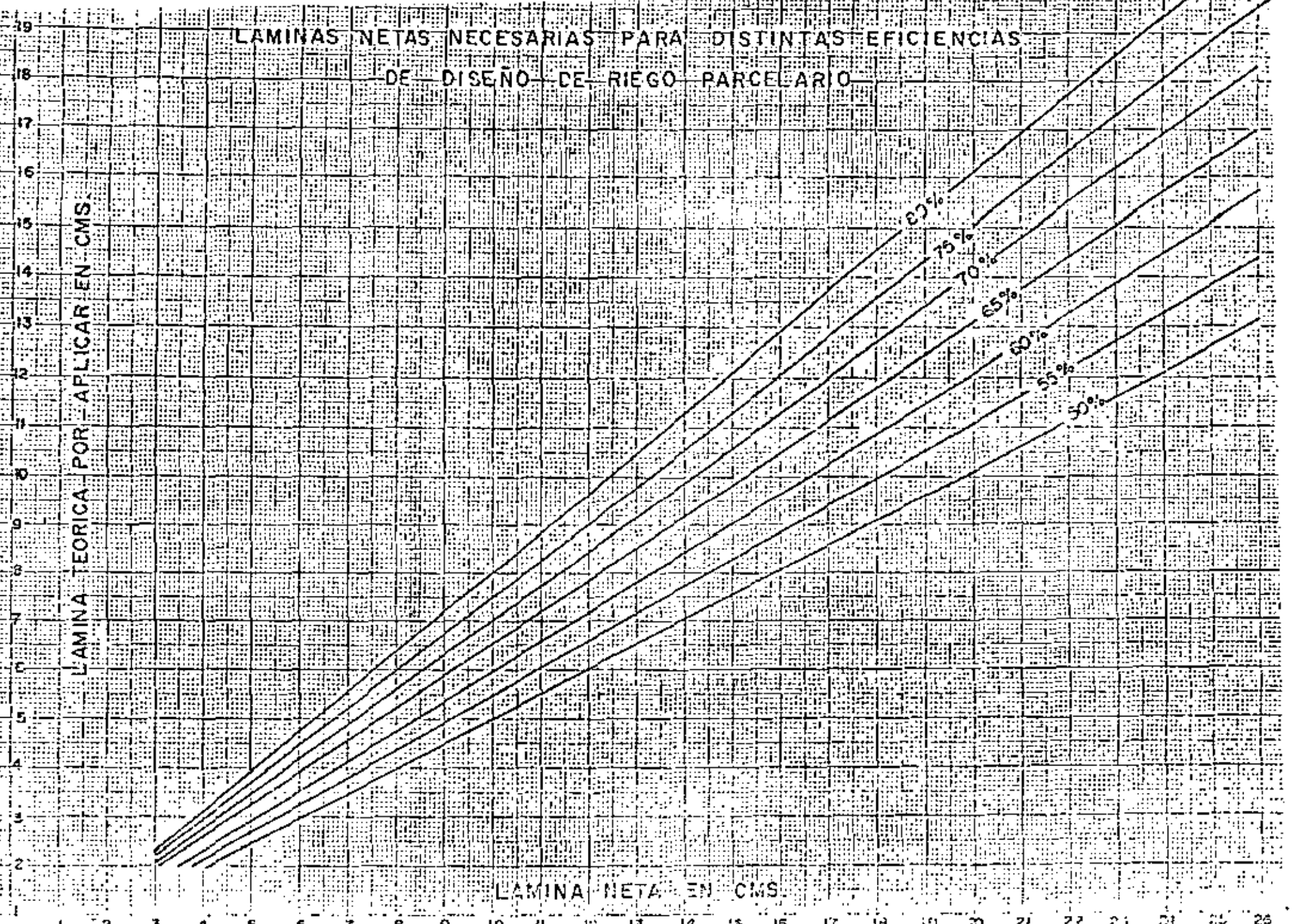
LAMINAS NETAS NECESARIAS PARA DISTINTAS EFICIENCIAS
 DE DISEÑO DE RIEGO PARCELARIO

LAMINA TEORICA POR APLICAR EN CMS

LAMINA NETA EN CMS

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26

80%
 75%
 70%
 65%
 60%
 55%
 50%



3. El gasto disponible debe ser suficiente para que permita poder regar melgas de tamaño prácticos.
4. En algunos suelos se forman costras después del riego - que impiden la nacencia de las cosechas ó requieren labores adicionales.
5. Es difícil aplicar en forma eficiente riegos ligeros -- menores de 5.0 cm de lámina.

EVALUACION DEL METODO:

Con el método diseñado y trazado en el campo la mayoría de las veces hay que ajustarlo a condiciones locales, por lo que existen métodos establecidos de evaluación del método de riego por melgas pero dado el poco tiempo de que se dispone en este curso, les remitimos el Memorándum Técnico No. 249 "Procedimiento para Evaluar Métodos de Riego" publicado por la Dirección General de Distritos de Riego, en el que se exponen detalladamente las evaluaciones y ajustes que hay que realizar en el diseño original.

1.1.1.3. METODO DE RIEGO POR CURVAS A NIVEL:

Este método es una modificación del sistema de melgas. Las franjas de riego (llamadas bolsas en algunos lugares), se limitan -- por bordos que se trazan siguiendo una curva con nivel cero ó a nivel ó también siguiendo curvas con pendiente regulada. La anchura de las fajas es variable de acuerdo a la configuración del terreno ó puede ser uniforme entre dos curvas a nivel. Las franjas obtenidas se acortan mediante bordos ó con regaderas transversales ó normales a las curvas de nivel. El agua se aplica con gastos fuertes, mayores que los necesarios a la velocidad de infiltración, extendiéndose-

rapidamente en la faja donde permanece hasta que se ha infiltrado el agua a la profundidad deseada. Si el riego es el auxilio, el agua, al llenarse una franja se deriva a la siguiente y así sucesivamente.

Este método requiere un buen trabajo previo de nivelación y grandes gastos de agua. La construcción es sencilla ya que directamente en el campo se va trazando con nivel montado y este da la curva de nivel que va siendo marcada por el tractor con un bordero.

Este método es casi el único para regar cultivo de arroz.

ADAPTACION:

Suelos:	De textura media a fina.
Pendiente:	La superficie debe ser lisa, pendiente máxima 1 %, preferibles menos de 0.5%.
Anchuras:	Las que dan una equidistancia entre curvas de nivel menor de 4 cm.
Longitud:	Procurando que las franjas tengan superficie de 2000 a 8000 m ² como máximo.
Altura de bordos:	20.32 cm (8")
Tirante máximo:	15 cm (6")
Gasto:	34 l.p.s./ha. como mínimo.
Cultivos:	Deben ser capaces de resistir 12.00 ó más horas la permanencia en el agua, ó sin sufrir daño. como arroz, cereales, pastos, cultivos de escarda y de cobertura total y para riegos de presiembra.
Eficiencia:	Hasta 80 %.

LIMITACIONES:

1. El llenado individual de cada cuadro obliga a extremar la vigilancia para poder hacer un riego uniforme.
2. La mano de obra requerida es considerable por la formación de bordos.
3. Dificulta en extremo el uso de maquinaria agrícola para los cultivos.
4. Sólo se recomienda en terrenos muy accidentados y previa preparación de rastreo y tabloneo.

1.1.2. POR LINEAS:

1.1. 2.1. METODO DE RIEGO POR SURCOS:

Este método es uno de los más usados universalmente en los cultivos que se plantan en hileras y se presentan también muy frecuentemente en el riego de frutales. Los surcos son canales pequeños en los que el agua se infiltra en dirección vertical y lateral, al mismo tiempo que se mueve en el sentido de la pendiente. La superficie del suelo no se moja totalmente sino solamente se humedece por infiltración. La duración del tiempo que el agua deba correr entre ellos dependerá de la cantidad de agua que se necesite para saturar la zona ocupada por las raíces, de la velocidad de infiltración en el suelo y la rapidéz con que el agua se desplace lateralmente en el suelo.

En la mayor parte de los suelos el gasto inicial deberá ser mucho mayor que el correspondiente a la velocidad de infiltración, para lograr un avance rápido. En consecuencia, cuando el agua se acerca al extremo de los surcos debe ajustarse el gasto ó cortar el agua, para evitar pérdidas excesivas por escurrimiento ó bien tomar medidas

para recuperar el excedente.

Los surcos usualmente se construyen en el sentido de la pendiente cuando estas no son excesivas, para evitar desbordamientos laterales.

ADAPTACION Y DISEÑO:

Suelos:

Cualquier tipo de suelos, excepto: arenas de infiltración rápida con distribución de agua lateral muy deficiente. Suelos con altas concentraciones salinas. Suelos que se agrietan produciendo peligro de desbordamiento del surco ó por erosión lateral.

Pendiente:

Menor de 1 % en surcos. Si la precipitación no es intensa se acepta hasta 3 %. Si la precipitación es tal que provoca problemas de erosión se acepta como máximo 0.5 %. Los terrenos deben ser parejos y con pendientes uniformes, en este caso los surcos pueden ser transversales a la pendiente natural del terreno que puede ser hasta del 15%.

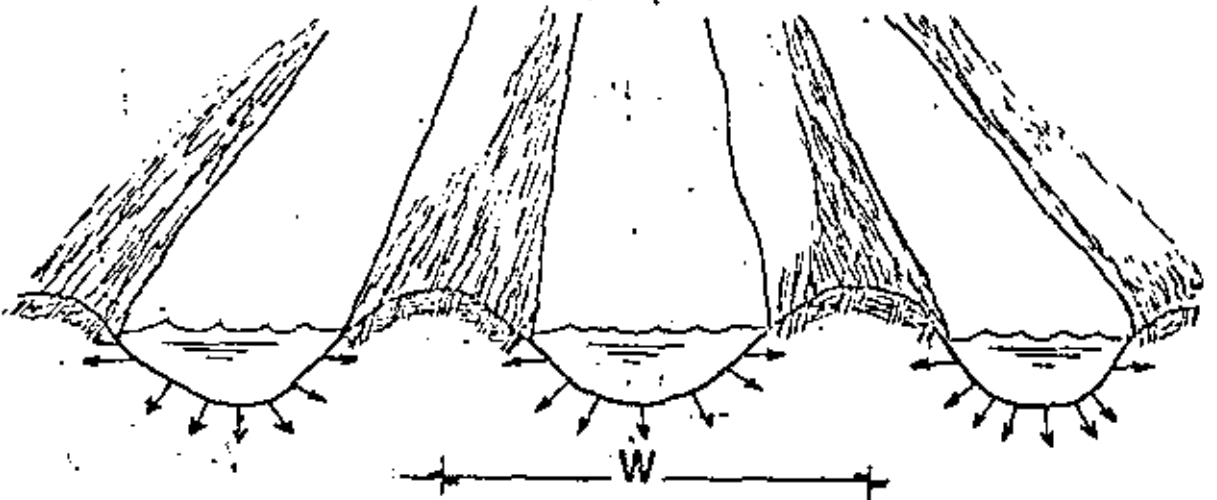
Infiltración:

De lenta a moderada se mide en l.p.s./100 m. de surco (véase tabla anexa).

Anchura entre surcos:

Variable, normalmente se fija por el tipo de cultivo y la maqui

naría agrícola que se vaya a usar.



Longitud:

Esta depende de la infiltración el gasto máximo permisible en el surco el que a su vez depende de la pendiente y grado de erodabilidad del suelo.

Es la distancia que el gasto de riego adecuado máximo avanza en la cuarta parte del tiempo necesario para que la lámina requerida se infiltre en el suelo. Se anexa la tabla No. 1 con las longitudes máximas recomendables.

Sección Transversal:

En V, 15 a 20 cm de profundidad 25 a 30 cm de ancho en la parte superior.

Gasto máximo no erosivo:

Se calcula con : $Q = 0.631/S$ en la que:

Q = Gasto no erosivo por surco en l.p.s.

S = Pendiente del surco en (%).

En surcos con pendiente planas los gastos pueden ser limitados por la capacidad del surco. Los surcos de hortalizas tienen capacidades de 1.3 a 1.6 l.p.s. Los surcos de tamaño medio

INFILTRACION BASICA ESTIMADA CON RELACION A TEXTURA Y PENDIENTE,

Tabla No. 1.

Pendiente en %	TEXTURA DEL SUELO (1)						
	Fina	Moderadamente fina	Media	Moderadamente gruesa	Gruesa	Muy gruesa	
MELGAS Y ZANJAS EN CONTORNO I_b en cm/h (1)							
0.00 - 12.00	0.25 - 0.76	0.64 - 190	1.27 - 381	2.54 - 7.62	5.08 - 10.16	7.62	
SURCOS I_b en lps/100 M							
0.00 - 0.25	0.170 - 0.373	0.237 - 0.543	0.373 - 0.813	0.542 - 1.288	0.814 - 1.899	1.356	ó más
0.25 - 0.50	0.136 - 0.305	0.203 - 0.441	0.305 - 0.678	0.475 - 1.017	0.678 - 1.560	1.153	" "
0.15 - 1.00	0.136 - 0.271	0.203 - 0.407	0.271 - 0.542	0.407 - 0.949	0.610 - 1.356	1.017	" "
1.00 - 2.00	0.102 - 0.237	0.136 - 0.339	0.237 - 0.475	0.339 - 0.814	0.542 - 1.153	0.882	" "
2.00 - 4.00	0.068 - 0.203	0.136 - 0.271	0.203 - 0.407	0.271 - 0.678	0.407 - 0.949	0.678	" "
CORRUGACIONES I_b en lps/100 M							
1.00 - 2.00	0.138 - 0.339	0.170 - 0.509	0.305 - 0.678	0.407 - 1.221	0.678 - 1.695	1.085	ó más
2.00 - 4.00	0.102 - 0.305	0.170 - 0.407	0.237 - 0.610	0.339 - 1.017	0.509 - 1.424	0.814	" "
4.00 - 8.00	0.102 - 0.271	0.136 - 0.339	0.203 - 0.509	0.305 - 0.814	0.475 - 1.221	0.678	" "
ASPERSION I_b en cm/h. (1)							
0.00 - 4.00	0.250 - 0.510	0.510 - 1.020	0.760 - 1.780	1.270 - 2.540	1.780 - 3.310	2.540	ó más
4.00 - 8.00	0.250 - 0.380	0.380 - 0.640	0.510 - 1.270	1.020 - 1.780	1.270 - 2.540	1.780	" "
8.00 ó más	. . . - 0.250	0.250 - 0.380	0.380 - 0.760	0.760 - 1.270	1.020 - 1.780	1.270	" "

(1) = Suelo desnudo con buena cobertura, las infiltraciones básicas pueden ser de 25 a 50% mayores.

(1) = Grupos de textura según la tabla.

I_b = Infiltraciones básica.

MAXIMA LONGITUD DE RIEGO PARA SURCOS Y CORRUGACIONES EN (metros)

-Grupos de Textura del Suelo.

Tabla No. 2.

Pendien te.	Gasto	Fina		Moderadamente fina.		Medias		Moderadamente gruesas		Gruesas		Muy gruesas.							
Lámina por aplicar en centímetros.																			
0.25	2.52	457	388	320	396	350	289	350	297	251	281	243	198	213	182	152	99	83	69
0.50	1.26	304	266	220	274	243	198	236	205	167	190	167	137	144	121	99	65	53	45
0.75	0.84	243	213	175	213	182	152	190	160	129	152	129	106	114	199	83	53	45	38
1.00	0.63	205	182	144	182	160	129	160	137	114	129	106	91	99	83	68	45	38	30
1.50	0.42	167	144	114	152	129	106	129	114	91	106	91	76	76	68	53	38	30	
2.00	0.32	144	121	99	121	106	91	106	91	76	91	76	60	68	60	45	30	30	
2.50	0.25	129	106	91	114	91	76	99	83	68	76	68	53	60	53	38	30		
3.00	0.21	114	99	83	106	83	68	91	76	60	68	60	45	53	45	38			
4.00	0.16	99	83	68	91	76	60	76	60	53	60	53	45	45	38	30			
5.00	0.13	83	76	60	76	68	53	68	53	45	53	45	38	38	30	30			
6.00	0.11	76	68	53	68	60	45	60	53	38	45	45	38	38	30				
7.00	0.09	68	60	45	60	53	45	53	45	38	45	45	38	30	30				
8.00	0.08	68	60	45	60	53	38	53	45	38	38	38	30	30					

como los del maíz de 1.9 a 2.5 l.p.s. y los grandes como los del algodón suelen llevar hasta 3.2 l.p.s.

Tiempo que se debe aplicar el gasto:

El tiempo estimado que se debe aplicar el gasto, es el tiempo que se necesita para que la lámina neta se infiltre, más el tiempo necesario para que el gasto de riego alcance el extremo final del surco que se está regando.

El tiempo de riego puede ser calculado como sigue:

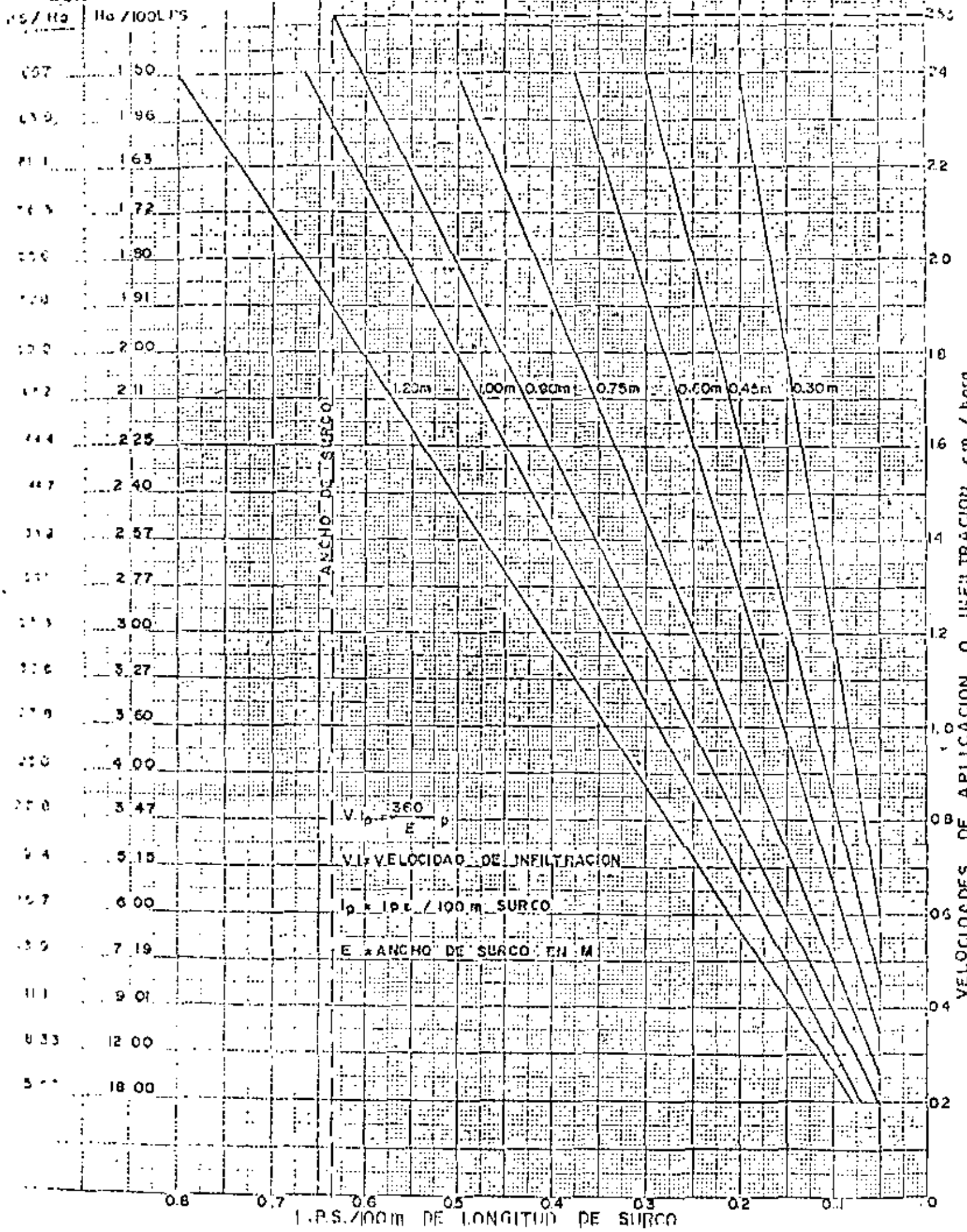
1. Se divide la infiltración promedio (l.p.s./100 m surco) entre la separación de surcos (M) obteniéndose una infiltración promedio en el campo (cm/hora) (gráfica No. 6).
2. Se divide la lámina neta de aplicación necesaria entre la infiltración promedio en el campo para tener el tiempo de infiltración requerido.
3. Se multiplica el tiempo de infiltración por 1.25 para tener el tiempo total de riego necesario.

Si la velocidad de infiltración promedio no es conocida, se puede aproximar a partir de la infiltración básica en surcos multiplicada por el factor de suelo que se muestra en seguida.

Textura de suelo:	Factor
De finas a moderadamente finas	1.50
De medias a moderadamente gruesas	1.33
De gruesas a muy gruesas.	1.20

Eficiencias: de 65 a 70 %.

CONVERSION DE GASTO POR SURCO A VELOCIDAD DE INFILTRACION



EFICIENCIAS DE DISEÑO RECOMENDADAS PARA RIEGO EN
SURCOS Y CORRUGACIONES.

Pendiente %	Efic. Surcos, %	Ef. Corrugaciones, %
0.0 - 0.5	70	--
0.5 - 1.0	65*	--
1.0 - 2.0	65	65
2.0 - 4.0	--	60
4.0 - 8.0	--	55

* Usese para surcos en contorno.

CULTIVOS:

Todos los cultivos de escarda y que se siembran en hileras: maíz, sorgo, algodón, soya, legumbres, caña de azúcar y frutales.

EJEMPLO DE DISEÑO DE RIEGO EN SURCOS.

Suponiendo la misma tabla de diseño en Melgas.

Con los datos siguientes:

2. Cultivo: Algodón
3. Textura: Media, migajón limoso.
4. Infiltración básica en surcos: 0.475 l.p.s./100 m.
5. Lámina que se va a reponer: 7 cm.
6. Eficiencia: 70 %.

SOLUCION:

1. Los surcos se orientan en el sentido de la mayor pendiente E.- V
2. La pendiente es $S = \frac{6.0 - 1.0}{1000} = \frac{5}{10} = 0.5 \%$
 $S = 0.5 \%$

3. Como la separación de surcos la fija el cultivo, en el caso del algodónero se acostumbra surcos a 0.90 m.

$$V = 0.9 \text{ m}$$

4. Longitud: De acuerdo con la lámina que se debe aplicar:

$$L = \frac{L.u.c.}{Efic.} = \frac{7.0}{0.7} = 10 \text{ cm.}$$

Con esta lámina = 10 cm, con la pendiente 0.5 % y con la textura media del suelo nos da 236 metros de longitud máxima. Por razones de construcción como son 1000 metros se adoptan longitudes de surco de 250 metros.

$$L = 250 \text{ m.}$$

5. Gasto por surco:

$$Q = 0.631/S = 0.631/0.5 = 1.26 \text{ l.p.s.}$$

$$Q \text{ no erosivo/surcos} = 1.26 \text{ l.p.s.}$$

6. Tiempo de Riego:

Tenemos como dato de infiltración básica - 0.475 l.p.s./

100 m.

- 1.- Calculamos la infiltración promedio multiplicándola por el factor 1.33 de suelos medios nos da:

$$I_p = 0.475 \times 1.33 = 0.6318 \text{ l.p.s./100 m.}$$

- 2.- Dividiéndola entre el espaciamiento: obtenemos la infiltración promedio en el campo.

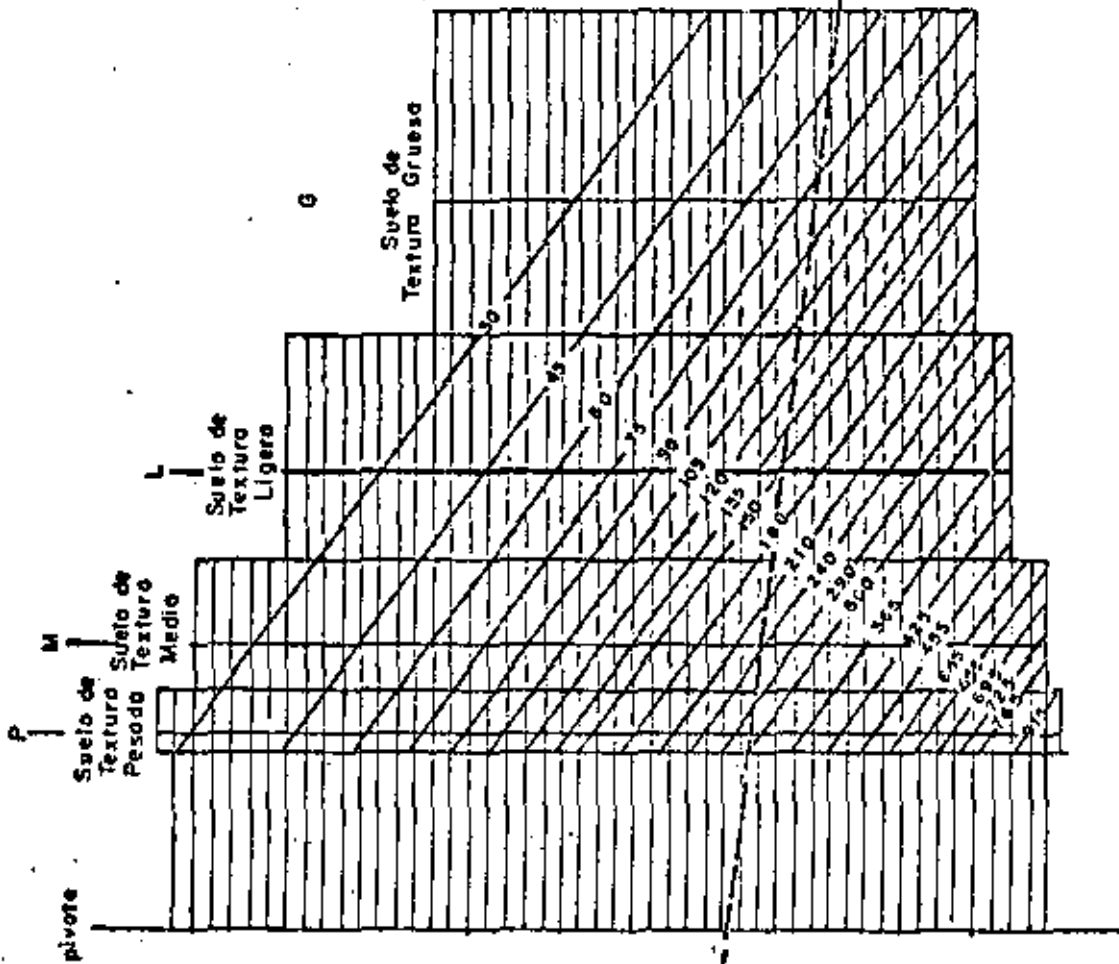
$$V_{I_p} = \frac{360 I_p}{E} = \frac{360 \times 0.6318}{90} = 2.5272 \text{ cm/hora.}$$

$$V_{I_p} = 2.5272 \text{ cm/hora (Fig. No. 7).}$$

3.- $T_r = \frac{1.25}{V_{I_p}} L_r = \frac{1.25 \times 10}{2.5272} = 4.9461 \text{ horas.}$

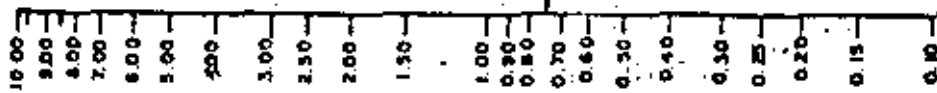
FIGURA No. 7

LAMINA DE RIEGO PARA REPONER LA HUMEDAD EN LA ZONA RADICULAR EN CENTIMETROS



Ejemplo :

Datos:
 Suelo de textura
 medio, pendiente de
 0.75 %. Lamina de
 riego 11.4 cm.
 La longitud de riego
 es de 195 m.



PENDIENTE EN PORCIENTO.

Longitudes máximas de riego para surcos y corrugaciones EN METROS.

T riego = 5 horas por surco.

7. Si contamos con un gasto en bocatoma de 100 l.p.s., considerando una eficiencia de conducción interna de 97 % tendremos 97 l.p.s. para alimentar

$$N_{\text{surcos}} = \frac{97}{1.26} = 77 \text{ surcos.}$$

o sea una superficie de 1-73-25 Has/sorio y un avance de 0.35 Ha/horas = 8.31 Ha./día.

Tardando en regar aproximadamente en 6 días toda la tabla.

EVALUACION:

Como en el caso de método de riego en malgas los ajustes locales se hacen en el campo mediante una evaluación del método por lo que los remitimos al mismo memorándum mencionado.

Características Importantes:

1. Se pueden usar gastos grandes ó pequeños alimentando más ó menos surcos a la vez.
2. Por esto se adaptan a sistemas de entrega: desde gasto continuo a demanda libre.
3. La eficiencia es elevada si se maneja bien el agua.
4. Los mismos surcos sirven para evacuar en forma controlada el agua de lluvia.
5. El método se puede usar en terrenos que tengan pendientes fuertes.

Limitaciones:

1. Requiere mayor cantidad de mano de obra.

2. Requiere una regulación cuidadosa del gasto a cada surco para evitar romperlos ó no tener desperdicios de agua.
3. El método de riego no es adecuado para aplicar riegos ligeros menores de 5 cm.
4. Si se rompen los surcos es necesario repararlos a pesar del cultivo.

1.1.2.2. RIEGO POR CORRUGACIONES.

El riego a base de surcos pequeños y juntos, es un método que produce una inundación parcial de la superficie. El agua de riego no cubre todo el campo, sino que se aplica por pequeños surcos igualmente espaciados a través del campo. El agua que escurre por dichos surcos penetra en el suelo y se difunde lateralmente para regar las áreas comprendidas entre ellos. Los cauces deben espaciarse de manera que permitan una difusión lateral adecuada.

La duración del tiempo que debe correr el agua por los surquitos; depende de la cantidad de agua que se necesite para reponer la humedad en la zona ocupada por las raíces y de la velocidad de infiltración en el suelo. Los gastos iniciales deben ser mayores que la infiltración, para lograr un avance rápido. Por lo que el gasto debe regularse para evitar pérdidas por escurrimiento excesivo ó bien proveer regaderas inferiores para aprovechar los excedentes.

ADAPTACION Y DISEÑO:

Suelos:

Textura fina a moderadamente gruesa. No se adapta a suelos con textura gruesa, muy permeables ó salinos. Util en suelos que forman costra.

Pendiente:

Se usa: En terrenos con 1 a 8 %.

Se adapta: A zonas con poca precipitación.

A terrenos con pendientes irregulares pero los surcos deben tener pendientes continuas.

La pendiente transversal debe ser notablemente menor que la pendiente en la dirección del riego.

Infiltración:

De lenta a moderada se mide en l.p.s./100 m de corrugación (véase tabla anexa).

Separación entre corrugaciones:

De 46 a 56 cm.

Espaciamiento recomendado en corrugaciones.

Lámina que debe ser repuesta. cm	Textura del suelo pesado y franco cm	Media arenosa cm	Migajonosa cm
5.1	46.0	46.0	46.0*
7.6	51.0	46.0	46.0*
10.2	56.0	51.0	46.0
12.7	61.0	56.0	51.0
15.2	76.0	61.0	56.0

(*) Anchura mínima práctica. Puede requerir aplicación extra de agua. El tiempo necesario para proporcionar humedecimiento lateral.

Longitud: Véase método de riego en surcos.

Sección transversal: V ó U 10 cm de profundidad.

Gasto máximo no erosivo: Se calcula con $Q = 0.79/S$ en la que:

Q = Gasto en l.p.s.

S = . Pendiente de corrugaciones en %.

Tiempo de riego: Calcular como en surcos.

Eficiencias: Ver tabla en surcos.

Cultivos: De cobertura total: trigo, cebada, -
alpiste, linaza, avena, pastos, alfal
fa, etc.

1.2. Métodos de Riego aéreos.

1.2.1. Método de riego por aspersión.

Con este método de riego, el agua se aplica a la superficie del suelo, asperjada semejando la lluvia. La aspersión es generalmente es producida por bombeo, aunque se puede producir por gravedad si la fuente de agua está suficientemente elevada sobre el área que se va a regar.

Con una cuidadosa selección del tamaño de las boquillas, elevadores, presión de operación, espaciamiento de aspersores, -- el agua puede aplicarse del modo uniforme a una velocidad basada en la infiltración del suelo, evitando por lo tanto escurrimiento y el daño a cultivos y terreno.

El agua de riego se bombea de la fuente de abastecimiento, se lleva por tuberías a los aspersores y se lanza el aire.

Hay diferentes tipos de salida del agua:

1. Aspersores latorios.

2. Aspersores fijos.
3. Líneas oscilantes de boquillas.
4. Tubos perforados.
5. Mangueras de plástico perforados.

De acuerdo con las líneas ó tuberías de conducción los sistemas pueden ser:

1. Permanentes: Toda la tubería fija, con válvulas para colocar los aspersores. Se usan en huertos, parques, campos deportivos etc. generalmente enterrados.
2. Semi-permanentes: Líneas principales fijas y líneas laterales portátiles.
3. Portátiles: Líneas principales y laterales portátiles.

Las Líneas de conducción.

son tuberías de: Acero, asbesto, cemento, aluminio y últimamente se está usando mucho la tubería de plástico.

ADAPTACION:

Suelos:

Todo tipo de suelos con velocidad de infiltración mayor de 0.5 cm/hora. Se adapta bien a los suelos arenosos, y suelos de poca profundidad que impidan realizar trabajos de nivelación para utilización de otros métodos.

Pendiente:

En cualquier topografía, compatible con el cultivo. Principalmente pendientes fuertes, topografía irregular.

Espaciamiento entre

laterales:

Variable de 6.10 m (20') a 73.20 (240') los más usuales 12.20 m (40') y 18.30 m (60'). Esto se debe principalmente a los tramos estandar en tuberías son de 6.10 m (20') y 9.15 (30').

Espaciamiento de

Aspersores:

Variable de acuerdo a las capacidades de los aspersores desde 6.10 m (20') a 73.20 (240') los más usuales 12.20 m (40'). Incluye también la velocidad del viento de acuerdo con las siguientes especificaciones:

Vel. Viento

en Km/h.

Espaciamiento entre aspersores en % del diámetro de humedecimiento (D.H.).

	0	65% D.H.
Hasta	6	60 "
Hasta	8	60 "
Mayor que	8	30 - 20 % D.H.

Presión en los

Aspersores:

Variable de acuerdo a : Suelos, cultivos, velocidades de infiltración, clima, desde 0.3515 Kg/cm² 5 (PSI) a 8.44 Kg/cm² (120PSI).

Rangos de diámetro de

Humedecimiento: 6.10 m (20') a 122.00 m (400').

Gastos en los
aspersores:

Se calculan: $Q_s = \frac{E_a \times E_l \times I}{360}$ en la que:

Q_s = Gasto necesario en el aspersor en l.p.s.

E_a = Espaciamiento entre aspersoras.

E_l = Espaciamiento entre laterales.

I = Grados de aplicación en cm/hora.

Gasto teórico en los aspersores se calcula con:

$$Q = 0.0104 D^2 P^{1/2}$$

Q = Gasto en el aspersor en l.p.s.

D = Diámetro del aspersor en m².

P = Presión en el aspersor en Kg/cm²

Tanto el diámetro del aspersor, la capacidad del mismo, - presión de operación y diámetro de humedecimiento viene dado en los catálogos suministrados por el fabricante (Fig. No. 8).

Gasto total del sistema:

Se calcula con $Q = 26.13 \frac{A L_r}{T_o.H_o}$ en la que:

Q = Gasto requerido por el sistema en l.p.s.

A = Area en Has.

L_r = Lámina de Riego máxima en In-. crítico (cm)

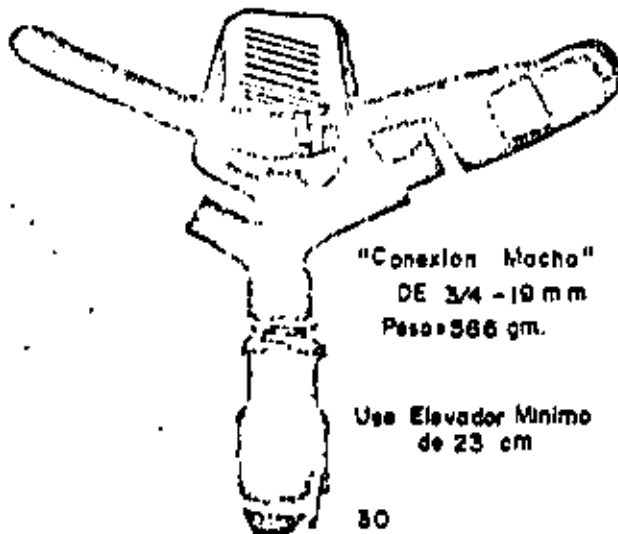
T_o = Tiempo de operación (int. riego crítico - -
(días).

H_o = Horas de operación (horas).

Las laterales se calculan de manera que:

1. Sean de tamaño uniforme.

FIGURA No. 8



"Conexion Macho"
DE 3/4 - 19 mm
Peso = 566 gm.

Use Elevador Minimo
de 23 cm

30

MODELO Nº 30

CON DOS CHIFLONES

CHIFLON Pulg Nº	5/32 x 3/32 7°	1/84 x 3/32 7°	3/16 x 3/32 7°	3/16 x 1/8 20°	13/64 x 1/8 20°	7/32 x 1/8 20°
PRECION CHIFLON PSI 30 / cm ²	DIAM. GASTO PI. GPM M LPS	DIAM. GASTO PI. GPM M LPS	DIAM. GASTO PI. GPM M LPS	DIAM. GASTO PI. GPM M LPS	DIAM. GASTO PI. GPM M LPS	DIAM. GASTO PI. GPM M LPS
38	87 3.71	90 3.97				
2.48	2.61 0.380	27.4 0.414				
40	88 3.11	92 7.03	98 8.07	96 8.48		
3.01	28.8 0.385	30.0 0.443	30.8 0.310	29.3 0.388		
45	88 3.48	93 2.48	98 8.57	98 10.1	101 11.3	104 12.7
3.18	27.2 0.408	26.4 0.471	29.8 0.341	28.8 0.336	30.8 0.713	31.7 0.803
50	90 3.40	93 7.87	100 9.04	100 10.4	103 11.8	108 13.2
3.52	27.4 0.432	22.0 0.487	20.3 0.370	20.8 0.388	21.4 0.751	22.3 0.840
55			101 9.40	101 11.1	104 12.5	107 13.8
3.67			20.3 0.387	20.8 0.700	21.7 0.768	22.6 0.877
4.22					10.8 13.0	10.0 14.4
					21.0 0.841	22.0 0.908

NOTAS:

La línea punteada indica las presiones recomendadas para una mejor distribución.

Para el establecimiento de nuevas siembras seleccione presiones debajo de dicha línea y para condiciones de vientos fuertes, seleccione arriba de la línea punteada.

Los alcances indicados en las tablas corresponden a los de riego uniforme y a condiciones de completa calma.

Para usos agrícolas es recomendable la adquisición de aspersores equipados con cojinete a prueba de desgaste por abrasión.

Escoja los Modelos TKT

En cada pedido deberán indicarse los diámetros de los chiflones seleccionados.

2. Las pérdidas de carga entre el primer tramo y el último no sean mayores del 20 % de la presión de operación de los aspersores. Se adjunta un nomograma para este cálculo el cual está en sistema inglés, pero es útil realizando las conversiones convenientes.
3. La presión necesaria al principio del lateral ó en el principal en ese punto se calcula así:

$$P_m = P_a + 3/4 P_f.$$

P_m = Presión en el lateral g/cm² ó PSI.

Tamaño del tubo principal: Se determina con:

1. Gasto total que va conducir en diversos tramos.
2. Se diseña con alguna fórmula de flujo en tuberías. Se adjunta un nomograma en sistema de unidades inglés con la fórmula de Scobuy- (Fig. 9 y 10)
3. Se van variando los diámetros de tubería para tener en balance hidráulico todo el sistema.

La selección de la bomba:

1. En función del gasto y la carga total de bombeo, constituida por:
 - 1.- Profundidad del nivel dinámico del agua. H_g .
 - 2.- Pérdidas de carga por fricción en la tubería principal. H_f .
 - 3.- Diferencia de elevación entre la bomba y el punto más alto de descargas. H_e
 - 4.- Pérdidas de carga por fricción en los laterales. H_e
 - 5.- Altura de los elevadores de los aspersores H_r
 - 6.- Presión requerida en las boquillas. H_b

Todos en metros:

$$H_r = H_g + H_f + H_e + H_r + H_b$$

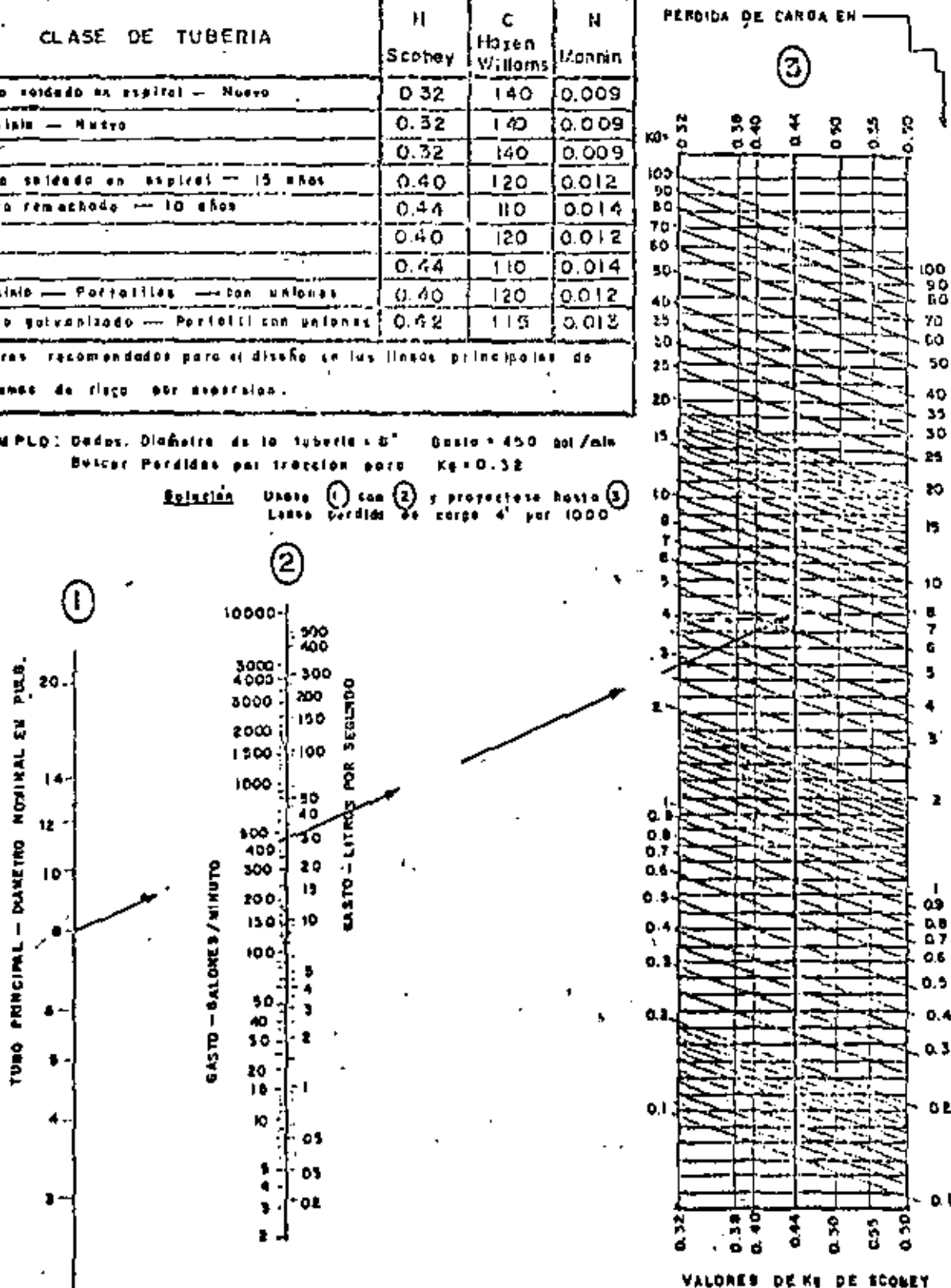
NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LAS PERDIDAS POR FRICCION EN LOS TUBOS PRINCIPALES

CLASE DE TUBERIA	H Schoey	C Hazen Williams	N Manning
Acero soldado en espiral — Nuevo	0.32	140	0.009
Aluminio — Nuevo	0.32	140	0.009
Acero soldado en espiral — 15 años	0.40	120	0.012
Acero remachado — 10 años	0.44	110	0.014
Aluminio — Perforado — con uniones	0.40	120	0.012
Acero galvanizado — Perforado con uniones	0.42	115	0.013

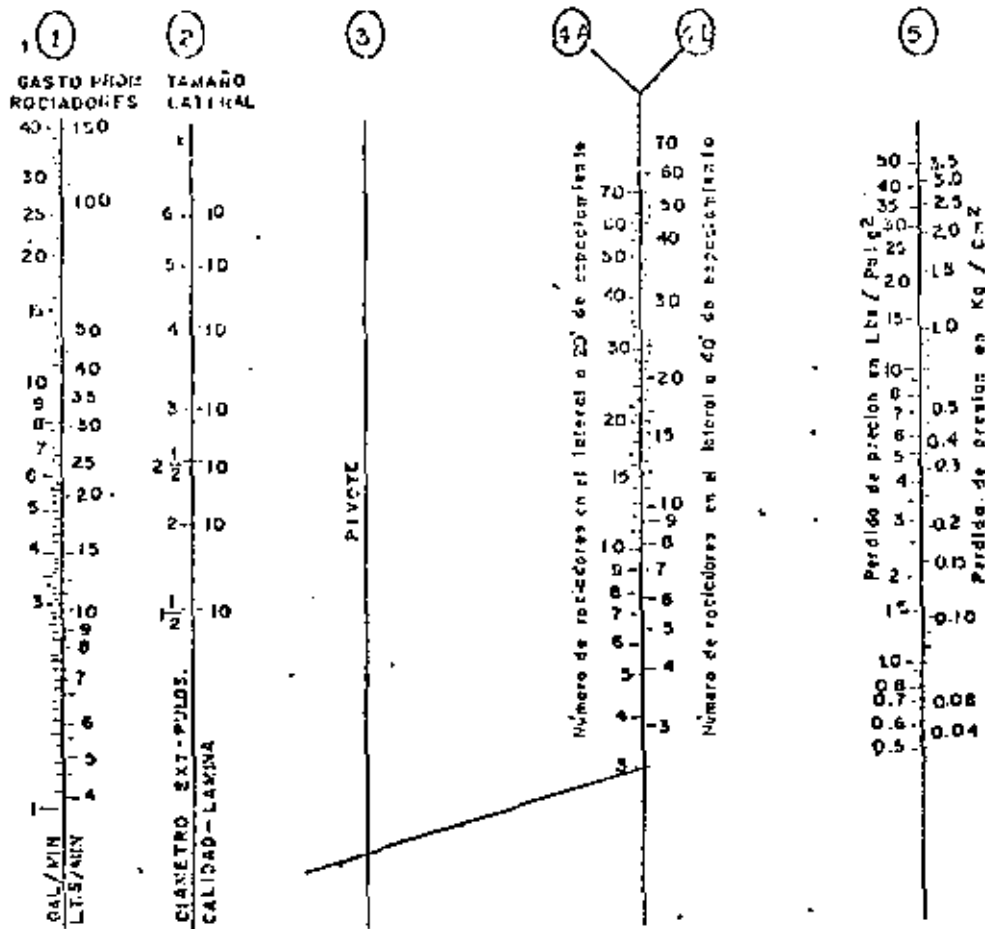
Valores recomendados para el diseño de las líneas principales de sistemas de riego por gravedad.

EJEMPLO: Datos. Diámetro de la tubería = 8" Gasto = 450 gal/min
 Buscar Pérdidas por fricción para $K_f = 0.32$

Solución Usar (1) con (2) y proyectarse hasta (3)
 Las Pérdidas de carga 4' por 1000'



NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LAS PÉRDIDAS POR FILTRACION EN TUBOS LATERALES



PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE LAS LATERALES QUE PRODUZCA UNA VARIACION EN EL GASTO DE LOS ROCIADORES IGUAL O MENOR QUE 10% DEL GASTO PROMEDIO.

Dado:

- Gasto promedio de los rociadores de un lateral.
- Presión promedio requerida.
- Número de rociadores en el lateral.

Solución:

- Calcúlese el 20% de la presión promedio (b) y localícese este valor en la escala 5.
- Localícese el número de rociadores de lateral de la escala 4A ó 4B según el espaciamiento entre rociadores. Trácese una recta entre los puntos localizados en 5 y 4 y prolongúese hasta la escala 3.*
- Trácese una recta entre el punto analizado en 3 y el gasto promedio de cada rociador en la escala 1.
- Léase en la escala 2 el tamaño de lateral requerido.

* Cuando el espaciamiento entre rociadores es diferente de 20 ó 40 pies. Usese el siguiente procedimiento:

- Calcúlese el 20% de la presión promedio de operación.
- Multiplíquese el valor obtenido por $\frac{20}{\text{espaciamiento}}$, y úsese el valor así obtenido para determinar el punto de la escala 5.
- Sígase el procedimiento antes descrito usando la escala 4A.

Si se desea analizar un lateral de diámetro conocido, por determinar la pérdida de presión, véase la escala 4A, multiplíquese el valor obtenido en la escala 5 por espaciamiento.

• Potencia en el eje de la bomba:

$$HP_e = \frac{Hr \cdot Q}{76 \cdot E_b} \text{ en la que:}$$

HP_e = Potencia en caballos.

Hr = Carga en metros.

Q = L.p.s.

E_b = Efic. de la bomba %.

• Potencia al freno necesaria en el motor.

$$HP_f = \frac{HP_e}{E_m} \text{ en la que:}$$

HP_f = Potencia al freno en el motor en Hp

E_m = Eficiencia del motor

HP_e = Potencia en el eje de la bomba.

Eficiencia: Según la tabla siguiente:

Condición existente	Eficiencia del Riego
Climas secos y calientes	60 %
Climas moderados	70 %
Climas húmedos fríos	80 %

CARACTERISTICAS:

1. No es necesaria la nivelación de tierras.
2. Se pueden regar eficientemente terrenos con demasiada pendiente.
3. Se elimina ó reduce sustancialmente el costo de nivelación.
4. Se pueden aprovechar eficientemente pequeños gastos para riego.
5. Se elimina el escurrimiento superficial del agua de riego.

6. Se regula perfectamente el agua aplicada a las cosechas.
7. Se pueden aplicar eficientemente riegos muy ligeros, menores de 5 cm.
8. Es posible aplicar fertilizantes solubles en el agua, herbicidas e insecticidas.
9. Se puede regular la penetración del fertilizante en el momento oportuno durante los riegos.
10. El riego por aspersión se puede utilizar para proteger los cultivos contra heladas.
11. El costo de mano de obra suele ser menor que en otros métodos.

LIMITACIONES:

1. El viento distorsiona la forma de distribución del agua y puede no ser uniforme.
2. Los frutos blandos que están madurando deben protegerse de la aspersión.
3. Para un uso económico del equipo es necesario un abastecimiento estable del agua.
4. El agua tiene que ser limpia, sin arena y sin grandes cantidades de sales disueltas.
5. Las laterales superficiales pueden impedir las operaciones agrícolas.
6. El método de riego por aspersión suele exigir mayores inversiones iniciales que cualquier otro método.
7. Se requiere mayor cantidad de equipo especial sujeto a depreciación.

8. Las necesidades de energía ó potencia son grandes debido a las presiones con que funcionan los aspersores.
9. En regiones con vientos calientes no se pueden regar suelos con velocidades de infiltración muy bajas.

PROCEDIMIENTO DE PLANEACION DE SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSION:

1. Se hace un inventario de las fuentes disponibles y condiciones de operación incluyendo información de suelos, topografía, suministro de agua, fuentes de energía, y programas de operación en campos regionales.
2. Se determina por las Oficinas regionales de la S.A.R.H., los datos referentes a : láminas e intervalos de riego que se aplican a los cultivos de la zona. Si no hay datos, deben determinarse ó bien emplearse los métodos indicados en estudios de relaciones agua-suelo-planta.
3. Determinar el intervalo de riego mínimo con lámina de riego máxima.
4. Determinar la mejor distribución de líneas de tuberías principales y laterales para la operación simultánea de todos los aspersores requeridos.
5. Determinar la velocidad de aplicación óptima del agua menor -- que la I_b .
6. Determinar el espaciamiento entre aspersores, gasto, tamaño de boquillas y presión de la operación para la velocidad de aplicación óptima del agua.

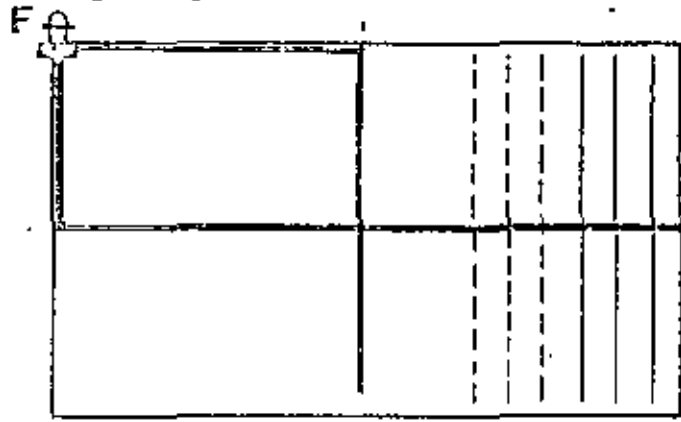
7. Determinar con los catálogos y dato anterior el tipo de aspersor requerido.
8. Determinar el gasto requerido por el sistema.
9. Determinar el número de aspersores que operando simultaneamente se requieren para satisfacer el gasto requerido por el sistema.
10. Determinar los tamaños de tuberías requeridas en principales.
11. Determinar los tamaños de tubería requeridos en laterales.
12. Determinar la presión total máxima requerida en cada lateral.
13. Seleccionar la bomba y motor para máxima eficiencia de operación dentro del rango de condiciones de operación.
14. Preparar planes, programas e instrucciones para una distribución y operación adecuadas.

Ejemplo de diseño:

- 1.1.- Lámina de agua para llevar a CC el suelo: 9.5 cm (3.75").
- 2.2.- Consumo de agua en época de máximo uso: 0.38 cm/día (0.15").

Area rectangular de 359.90 m, (1180'), 524.60 cm (1720').

Topografía plana y fuente como se muestra on el croquis siguiente:



Efic. de aplic. 80 %.

Ib = 1,00 cm/hora.

3.- Intervalo de riego: $I_{rm} = 9.5/0.38 = 25$ días - se regará cada 20

para no llegar al P.M.P. (20 % H.A.).

Lámina de riego = $L_r = 9.5/0.8 = 11.87 = 12$ cm.

4.- Distribución del sistema:

1. Colocando la tubería principal a un costado del campo haría que los laterales fueran muy largos por lo que se decide colocarla al centro.
2. Para un E_1 de 18.30 m (60') el No. de las posiciones de las líneas laterales será $524.60 \text{ m} \times 2/18.30 = 56$
28 posiciones a cada lado del principal.
3. Número de líneas laterales. Después de hacer el análisis de varios grupos de laterales vemos que 3 son los que cumplen con las especificaciones.

5.- Velocidad de aplicación óptima:

3 laterales con una posición diaria trabajando 23 horas nos dan una distribución de 0.5217 cm/hora que es mayor que 0.5 cm/hora especificada como mínima.

No. laterales	: 3 (propuesto)
No. posiciones/lateral cada
24 Hs.	: 1 (propuesto)
No. de horas/día/posición	...
Lat.	: $23/1 = 23$
No. de días requeridos para cubrir el campo	: 56 posiciones/3 - Lat = 18.7 días.
Grado de aplicación	: L_r (12.0 cm/23 horas = 0.5217 cm/hora = (0.2054"/hora).

- 6.- Se tomará como buena la separación más frecuente entre aspersores =

$E_a = 12.20 \text{ m (40')} \text{ por lo que el gasto por aspersor es:}$

$$Q_a = \frac{E_a E_l I}{360} = \frac{18.30 \times 12.20 \times 0.5217}{360} = 0.3235$$

$$Q_a = 0.3235 \text{ l.p.s. (5.13 G.P.M.)}$$

- 7.- Selección del aspersor: Puede hacerse empleando el catálogo del fabricante. De ese catálogo se selecciona el tamaño de aspersor siguiente:

11/64" x 3/32" nos dá 0.414 l.p.s. (6.57 G.P.M.)

con ϕ de humedecimiento de: 27.4 m (90') y presión de 2.46 Kg/cm^2 - (35 P.S.I.) y elevador mínimo de 23 cm. (Fig. No. 8).

Revisión de la sobreposición del ϕ de humedecimiento.

Distancia entre rociadores = $90' \times \frac{50}{100} = 45.0740 \text{ pies.}$

Distancia entre laterales = $90' \times \frac{65}{100} = 58.50 = 60 \text{ pies.}$

- 8.- Número de Aspersores que operan simultáneamente (N_{a_s})

Los laterales tienen una longitud de: 180 m (590') y los aspersores están separados 12.20 m (40') el No. de aspersores/lateral $180 \text{ m}/12.20 = 14.75 = \text{a } 15 \text{ aspersores/lateral, como son tres laterales - son } 45 \text{ aspersores.}$

$$N_{a_s} = 45$$

- 9.- El gasto requerido por el sistema es:

$$Q_t = Q_s \times \text{No. aspersores} = 0.3235 \times 45 = 14.56 \text{ l.p.s.}$$

$$Q_t = 14.56 \text{ l.p.s. (231 G.P.M.)}$$

$$Q_{\text{lat.}} = 14.56 \frac{1}{3} = 4.8536 \text{ l.p.s. (77 G.P.M.)}$$

- 10.- Selección del tamaño de la tubería principal:

Empleando el nomograma de la Fig. (9), se obtuvo: que con -
354.72 m (1163') de tubo de 6" ϕ (0.6 PSI/100') $Q = 231$ -
G.P.M.

$$H_f = (1163/100) 0.6 = 7.00 \text{ P.S.I.}$$

y 349.53 m (1146') de 4" ϕ (0.5 P.S.I. 100')

$$Q = 77 \text{ G.P.M.}$$

$$H_f = (1146/100) 0.5 = 5.73 \text{ P.S.I.}$$

$$H_f \text{ total} = 7.00 + 5.73 = 12.73 \text{ P.S.I.}$$

La línea principal tendrá 354.72 m de 6" ϕ y

349.53 m de 4" ϕ y

Una pérdida de carga de 12.73 P.S.I.

11.- Cálculo del diámetro de los laterales:

$$\text{Presión media de operación del lat.} = 2.46 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (35 PSI)}$$

Capacidad de cada aspersor =

$$0.3235 \text{ l.p.s. (5.13 GPM)}$$

$$\text{No. aspersores/lateral} = 15$$

Empleando el nomograma de la Fig. (10) suponiendo ϕ 3"

$$H_f = 2 \text{ PSI}$$

$$P_o = P_s - H_f/4 = 35 \text{ PSI} - 2/4 = 34.5 \text{ PSI}$$

$$12.- P_m = P_o + H_f = 34.50 + 2 = 36.5 \text{ PSI}$$

13.- Carga total de la bomba:

a) Presión en el rociador más distante	34.5 PSI
b) Pérdidas de carga en laterales	2.0 PSI
c) Pérdidas línea principal	12.73 PSI
d) Prof. del nivel dinámico:	
25' /2.31	10.80 PSI
e) Elevación del aspersor	
1' /2.31	0.43 PSI

CARGA TOTAL: 60.46 PSI

En pies = 139.66

En metros = 42.6 metros.

Potencia en el Eje de la bomba con 70 % de eficiencia.

$$\text{H.P.e} = \frac{42.6 \times 14.561}{76 \times 0.7} = 11.66 \text{ H.P.}$$

H.P.e = 11.66 H.P.

Potencia necesaria motor eléctrico con 85 % eficiencia.

$$\text{H.P.m} = 11.66 / 0.85 = 13.7 \text{ H.P.}$$

Motor = 14 H.P. Pot.

BIBLIOGRAFIA.-

- 1.- ISRAELSEN. HANSEN. Principios y Aplicaciones del Riego.
- 2.- THORNE Y PETERSON. Técnica del Riego.
- 3.- BLAIR, ENRIQUE. Manual de Riegos y Avenamiento.--
Instituto Interamericano de Ciencias
Agrícolas de la OEA. Lima, Perú. 1957.
364 p.
- 4.- S.R.H. D.P.I. Instructivo para riego por superficie.
- 5.- SCS. U.S.D.A. Sprinkler Irrigation. Section 15, Chapter
11, National Engineering., Handbook, -
Washington D.C. 1968, 81 p.
- 6.- GRAY, ALFRED S. Sprinkler Irrigation Handbook. Rain Bird
Sprinkler MFG. Corp. Seventh Edition. Glen-
dora Calif. U.S. 1961 44 p.
- 7.- TEXAS, AGRIC. EXP. Algunos principios y prácticas para riego en
STAT.

- suelo de Texas.
- 8.- Maldonado O. Andrés Diseño de melgas por el sistema del
gasto unitario (inédito).
- 9.- S.R.H. DGDR. DEE Planificación de los sistemas agrí-
colas de Riego. Mem. Téc. No. 256.
Trad. de la Loma.
- 10.- S.R.H. D.G.DR. DEEE Evaluación de la eficiencia de Riego
Mem. Téc. No. 245.
- 11.- S.R.H. DGDR. DEEE Formulación de calendarios de riego-
usando datos climatológicos, de cul-
tivos y de suelos. Mem. Téc. No. 282.
- 12.- S.R.H. DGDR. DEEE Procedimientos para evaluar Métodos -
de Riego Me. Téc. No. 249.
- 13.- S.R.H. D.G.D.R. DEEE Instrucciones y Criterios para prepa-
ración de guías de riego Mem. Téc. --
No. 291.
- 14.- S.R.H. D.G.D.R. DEEE Predicciones de las necesidades de rie-
go por los cultivos Mem. Téc. No. 292.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



RIEGO Y DRENAJE

SALINIDAD DE SUELOS

DR. VICENTE LEE RODRIGUEZ

JUNIO, 1980

INTRODUCCION.

La salinidad es una disciplina o concepto agronómico muy importante, en virtud de que las sales afectan los suelos y aguas de riego lo que consecuentemente se refleja en la producción de los cultivos.

Los suelos afectados con sales, son comunes en regiones áridas y semiáridas en donde la precipitación anual no cubre las necesidades evapotranspirativas de las plantas y como consecuencia las sales no se lavan; sino que se acumulan en el suelo en tipos y cantidades que afectan el desarrollo de las plantas. Sin embargo, los problemas de sales no están restringidos a las regiones antes citadas, también se desarrollan en regiones húmedas y subhúmedas si se presentan condiciones apropiadas..

Recientemente en México, los estudios de salinidad han adquirido mucha importancia debido a que cuando las áreas que inicialmente se abrieron a la agricultura con suelos y aguas de riego de muy buena calidad, no se les dió la importancia debida al manejo de agua, suelos y cultivo, originando en la actualidad que de las 5.3 millones de hectáreas abiertas al cultivo, aproximadamente poco más del 20% tengan problemas de sales en diferentes grados, con las consecuencias propias en la productividad.

Aunque en algunos casos la solución a los problemas de suelos afectados con sales es sencilla, en otros se complica

a tal grado que es necesario efectuar estudios más profundos de los procesos dinámicos de las sales tanto en el suelo como en la planta y en donde es necesario involucrar los principios de otros campos de la ciencia tales como: física, química, agronomía, ingeniería, etc., para entender mejor el fenómeno.

OBJETIVO.

El objetivo de estas notas, es el de analizar en forma práctica el origen, desarrollo, prevención y corrección de los problemas de suelos afectados con sales y por otra parte motivar al asistente a que estudie y/o analice con más detalle las leyes y fenómenos que rigen el movimiento de las sales en el sistema suelo - agua - planta.

ORIGEN DE LAS SALES

Los suelos por su origen y formación, todos contienen sales cuyas concentraciones generalmente se encuentran en equilibrio (suelo normal), los problemas de salinidad resultan cuando dicho equilibrio se rompe debido a que la concentración de una o más sales se incrementa, resultando intolerable a los cultivos y afectando algunas características físicas y químicas del propio suelo.

Las principales fuentes naturales de sales solubles que ocasionan los problemas de salinidad son:

- Sales provenientes del intemperismo físico y químico de las rocas y minerales de la superficie terrestre.

- _ Sales cíclicas (oceano-atmósfera)
- _ Sales fósiles (marinos)
- _ Sales eólicas (viento)
- _ Sales adicionales por las actividades del hombre.

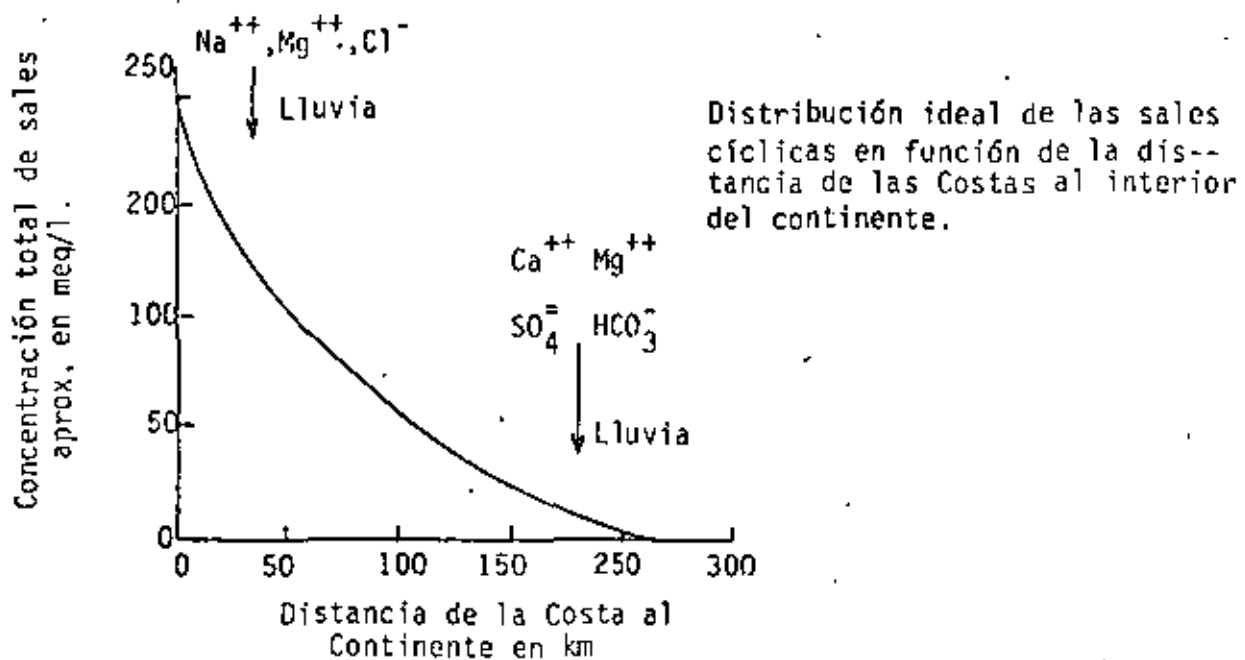
Una de las fuentes principales de las sales solubles que originan los problemas de ensalitramiento en los suelos agrícolas, son los minerales primarios (Cuarzo, SiO_2 , feldespatos Na, K, Ca, AlSi_3O_8 , etc.), los cuales se encuentran en el propio suelo y rocas expuestas en la superficie terrestre; de donde las sales son liberadas mediante los procesos del intemperismo químico (hidrólisis, hidratación, carbonatación, oxidación, reducción, solución, etc.) y físico (temperatura, viento, humedad, etc.).

Los iones liberados por acción del intemperismo forman una gran cantidad de sales, cuya movilidad, solubilización y precipitación está en función de su radio iónico, valencia y grado de energía; de tal manera que las sales formadas con iones de bajo grado de energía y valencia son más móviles y solubles (Cl^- , K^+ , Na^+ , Ca^{++} , MO_3^-) y viceversa en el caso de precipitación y acumulación de sales.

SALES CICLICAS.

Las sales cíclicas, se originan en las áreas costeras en donde el rompimiento de las olas más la acción de tempestades liberan hacia la atmósfera una gran cantidad de sales en forma higroscópica (brisa), que son transportadas distancias -

considerables por acción del viento y lluvia hacia las áreas agrícolas costeras (interior del continente). La concentración de sales en el aire marítimo y lluvia disminuyen conforme se adentra en el continente, la siguiente figura dá una mejor idea de dicha distribución.



Dicha distribución es ideal, ya que el patrón exacto de disminución depende de la topografía y condiciones climáticas locales y los cambios en la composición de la lluvia. Cerca de las costas las lluvias son altas en sales de Na^+ , Cl^- , Mg^{++} y adentro del continente predominan sales de SO_4^- y HCO_3^- de Ca^{++} y Mg^{++} .

SALES FOSILES.

Las sales fósiles, conocidas también como sales geológicas son de origen generalmente marino, cuyas sales o aguas

proviene de sedimentos que se encontraban en el fondo de los océanos, las cuales emergieron debido a los movimientos telúricos que sucedieron en las diferentes eras geológicas. La liberación y/o solubilización de estas sales ocurre cuando por dichos sedimentos pasan corrientes de agua subterránea o superficial y por la acción propia del hombre; como ejemplo, podemos citar la perforación de pozos con aguas de riego salobres, mal manejo del agua, lo que trae por consecuencia movimientos ascendentes y/o descendentes de las sales, cambios de capas de suelo, etc.

SALES EOLICAS.

Son consideradas las sales transportadas por el viento, de suelos afectados con sales y depositadas a grandes distancias en muchas ocasiones en suelos normales; por ejemplo, las tolveneras levantadas en el ex-lago de Texcoco, en la Región Lagunera, actividades volcánicas que liberan cantidades considerables de Cl, S, SO₄.

ACTIVIDADES DEL HOMBRE.

En la actualidad muchos de los suelos afectados con sales, son el resultado de las actividades del hombre; tales como el uso de aguas de riego de mala calidad, mal manejo del riego, irrigar áreas con drenaje deficiente, contaminación de aguas (río Colorado), uso de aguas negras, contaminación del ambiente, etc.

Otra fuente de sales no menos importante son la actividad microbiológica que llegan a formar Na_2CO_3 , la incorporación de residuos vegetales, etc.

DESARROLLO DE SUELOS AFECTADOS CON SALES.

Suelos Salinos.

El desarrollo o formación de los suelos salinos son más comunes en las zonas áridas, en donde las características climáticas son de temperaturas y demandas evapotranspirativas altas con baja o nula precipitación, lo cual facilita la precipitación y concentración de sales. En general se ha observado en forma práctica que entre más seco sea el clima, mayor es la incidencia de sales en el suelo. También se desarrollan en áreas en donde se presentan las siguientes condiciones.

- _ Areas con drenaje deficiente en donde se presentan acumulaciones de cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, etc.
- _ Areas costeras en donde la acumulación de sales son de origen marino y predominan principalmente cloruro y carbonato de sodio.
- _ Areas formadas por los deltas de los ríos en donde las sales son arrastradas y transportadas por las aguas de los propios ríos y son de una constitución compleja, por los materiales que solubilizan en su recorrido y descargas de distintos materiales por acción del hombre.

En las diferentes condiciones mencionadas anteriormente, en donde se desarrollan los suelos salinos, la acumulación de sales está relacionada con áreas bajas, afloramiento de mantos subterráneos, uso de aguas salobres, terrazas bajas, valles que se inundan, áreas cerradas, drenaje interno y/o externo - deficiente y la presencia de mantos freáticos elevados. Uno de los efectos más importantes es el manto freático elevado, que cuando se conecta por capilaridad con la superficie del terreno y actúan la evaporación y transpiración de las plantas, se inicia de inmediato el proceso ascendente y de acumulación de sales, lo cual resulta más crítico en regiones áridas. Por otra parte no siempre, el agua de los mantos freáticos elevados resulta perjudicial; se ha detectado que la concentración de sales de las aguas que ascienden por capilaridad pueden usarse sin afectar a los cultivos, cuando las concentraciones de sales son menores de 2,000 a 2,500 ppm (2 a 2.5 gr/l) y de sodio de 600 a 700 ppm (0.6 a 0.7 gr/l).

El uso de aguas para riego con alto contenido de sales - aunado a los efectos de evaporación, temperatura, son otra -- fuente importante de acumulación de sales en los suelos. Mu-- chos sistemas han sido propuestos para clasificar la calidad de las aguas de riego y las de drenaje, sin embargo, no ha si-- do posible generalizar los parámetros de concentración de sa-- les que establece cada sistema, por su relación con los efec-- tos climáticos y características físico y químicas del suelo (drenaje, permeabilidad, sales, etc.), ejemplo, la concen-- tración de sales en la mayoría de las aguas para riego son me

nores de 1,000 ppm (1 gr/l) y por otra parte existen suelos que por sus condiciones y características no pueden irrigarse con aguas de dicha concentración; por otra parte existen suelos que se han estado irrigando con aguas de una concentración de sales mayor de 5,000 ppm con bastante éxito, la cual está dependiente del tipo cultivo y de ión o iones predominante.

EFEECTO DE LAS SALES EN LOS CULTIVOS.

El efecto principal del exceso de sales solubles de un suelo salino en las plantas o cultivos es osmótico, en virtud de que las sales dificultan a la planta la absorción de agua para su crecimiento, la cual se conoce como " teoría de la disponibilidad de agua ". La teoría del " ajuste osmótico " indica que las plantas que se desarrollan en un medio salino aumentan su concentración osmótica interna en un grado tal - que sea mayor que la concentración de la solución del suelo, en hacer este ajuste la planta consume energía que bajo condiciones normales usaría en el crecimiento. Una tercer teoría es la " toxicidad específica ", la cual se refiere a la acumulación de substancias intermedias tóxicas formadas debido a cambios producidos en la actividad enzimática.

En general, ninguna de las tres teorías satisfacen el porqué las plantas no crecen bajo condiciones de salinidad.

Recientemente se ha demostrado que las plantas bajo condiciones de salinidad no crecen debido a que las sales afec--

tan la división celular y producen engrosamiento de las paredes de las células, lo que impide el crecimiento de las mismas; o sea que las sales afectan los dos mecanismos mediante los cuales crecen las plantas, la división y el crecimiento celular. Se ha comprobado además que el grado del daño es irreversible y que depende del tiempo de exposición a las sales y de su tolerancia.

Los efectos de las sales en el rendimiento de los cultivos y la calidad de los productos es muy variado, los cuales dependen de la naturaleza del cultivo; ejemplo, en cebada reduce el crecimiento y no afecta rendimiento, en arroz no afecta el crecimiento y reduce la producción de grano, en zanahoria, melón, caña, se incrementa el contenido de azúcar. Pero en general, las sales afectan el rendimiento de los cultivos.

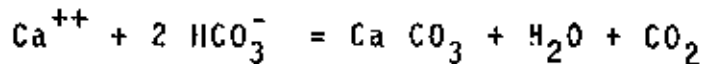
En general los suelos afectados con sales presentan un color blanco debido al afloramiento de las sales, están normalmente floculados es decir con buena permeabilidad.

SUELOS SÓDICOS.

El desarrollo de los suelos sódicos, en una forma general se presentan bajo las mismas condiciones indicadas para suelos salinos, con excepción de que la acumulación de sales corresponde a sales de sodio, es decir que el catión predominante es sodio.

El desarrollo de los suelos sódicos, se presentan también cuando se usan aguas para riego con altas concentracio-

nes de carbonatos y bicarbonatos que al entrar en contacto con el suelo, reaccionan con el calcio precipitándolo, por lo que se reduce su concentración de la fase de intercambio y se incrementa la del sodio.



Baja la concentración de calcio, se incrementa la relación de absorción de sodio y se incrementa el nivel de sodio intercambiable en el suelo. Se ha estimado que cuando los valores de sodio intercambiable exceden del 10 al 20% de la CIC del suelo, se presentan los efectos de un suelo sódico; en suelos arenosos dicho valor puede exceder hasta un 30%, lo cual en algunos casos puede ser beneficioso.

El efecto de los suelos sódicos sobre los cultivos, es debido al efecto tóxico de los excesos de sodio y principalmente a los efectos indirectos que el sodio causa en las propiedades físicas del suelo.

Los suelos afectados con sodio frecuentemente presentan desarrollo de costras, expandible, decrece considerablemente la conductividad hidráulica y permeabilidad de agua, las arcillas se encuentran defloculadas y tapan los canales de conducción del agua en el suelo, la reducción en la permeabilidad interfiere con el drenaje requerido en forma normal para un suelo salino y con las necesidades de agua aereación de los cultivos. La materia orgánica de estos suelos generalmente está dispersa y puede acumularse en la superficie en

áreas con drenaje deficiente e impartir una coloración negra, lo cual comunmente se conoce como Alkali negro, lo cual se debe a la oxidación de la materia orgánica por el hidróxido de sodio (base fuerte).

Suelos Salino-Sódicos.

El desarrollo de los suelos salino-sódicos se presentan bajo las condiciones señaladas para los suelos salinos y suelos sódicos, al igual que los efectos causados en la planta y en el suelo; con la diferencia de que la conductividad hidráulica y permeabilidad del suelo depende de las concentraciones de sales solubles presentes, aunque generalmente es buena.

PREVENCIÓN DEL DESARROLLO DE LOS SUELOS AFECTADOS CON SALES.

Para prevenir el desarrollo de los suelos afectados con sales, es necesario considerar y/o analizar principalmente el origen de las sales y las condiciones que provocan su acumulación; lo anterior es considerando que los efectos de las sales en el suelo, aún no se presentan.

En base a lo antes citado, el vehículo principal a través del cual se mueven las sales es el agua y la evaporación y temperatura están íntimamente ligados con los procesos de acumulación de las sales.

Una vez identificados el origen y procesos de acumulación de sales del área, unidad o distrito considerado, es necesario determinar y llevar control (a través del tiempo) de

una serie de parámetros (caracterización física y química) que nos permita identificar el origen y causas del problema - antes de que se presente; dichos parámetros incluyen:

- _ Cantidad y calidad del agua disponible para riego.
- _ Estudios del manto freático.
- _ Topografía del área, unidad o distrito.
- _ Análisis de suelo que incluyan: pH, conductividad eléctrica, (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), sodio intercambiable (SI), carbonatos y bicarbonatos solubles, porcentaje de sodio intercambiable (SI), carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio totales, carbonatos y bicarbonatos solubles, porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en base a la CIC y SI, densidad aparente (Da), conductividad hidráulica, velocidad de infiltración, porcentaje de saturación.

En el agua de riego se requiere determinar, CE, relación de absorción de sodio (RAS), y concentración de elementos tóxicos tales como: Cl^- , B, As, Cd, etc.

- _ Métodos de riego.
- _ Tipos o sistemas de siembra
- _ Análisis climatológicos.
- _ Requerimiento de lavado.

Con el análisis periódico de estos parámetros, se estará en condiciones de prevenir y atacar los problemas antes de que se presenten o causen daños.

CLASIFICACION DE LOS SUELOS AFECTADOS CON SALES.

Los suelos con problemas de sales, se han clasificado normalmente con el criterio del laboratorio de salinidad de los Estados Unidos, el cual se basa en la cantidad de sales solubles presentes y el porcentaje de la CIC ocupada por iones de sodio, es decir el SI. Los límites establecidos, no tienen un fundamento a base química, sino que son arbitrarios basados en la experiencia de miles de muestras de suelos y agua analizados; dichos límites son los siguientes:

Suelo Salino. Son aquellos cuya CE en el extracto de saturación es mayor de 4 mmhos/cm a 25°C, el PSI es menor de 15 y el pH generalmente menor de 8.5

Suelos sódicos. Son aquellos que tienen una CE en el extracto de saturación menor de 4 mmhos/cm a 25°C, el PSI es mayor de 15 y el pH varía en un rango de 8.5 a 10.

Suelos salino-sódicos. Son aquellos que tienen una CE en el extracto de saturación mayor de 4 mmhos/cm a 25°C, el PSI es mayor de 15 y el pH raramente es mayor de 8.5.

Suelo No salino-No sódico. Son aquellos que tienen una CE en extracto de saturación menor de 4 mmhos/cm a 25°C, el PSI es menor de 15 y el pH varía en un rango de 6.5 a 8.4

La clasificación anterior se resume en el cuadro siguiente:

PSI 15	Suelo sódico pH 8.5 - 10	Suelo salino-sódico pH rara vez 8.5
	Suelo sin problemas de sales y de sodio pH 6.5 - 8.4	Suelo salino pH 8.5

4

CE mmhos/cm a 25°C

En la actualidad se ha observado que los límites establecidos por la clasificación tradicional del laboratorio de salinidad de los Estados Unidos no se ajustan a la respuesta y efecto de los cultivos, es decir se ha observado que cultivos sensibles a la salinidad, son afectados en suelos con una CE en el extracto de saturación de 2 a 4 mmhos/cm.

Por lo que recientemente (1973) el Comité de Terminología de la Sociedad Agronómica Americana bajo los límites entre salino y no salino a 2 mmhos/cm a 25°C en el extracto de saturación. Por otra parte basados en la determinación de el sodio intercambiable en relación con las complicaciones y posibles errores en la determinación de la CIC y en la buena relación que existe entre el sodio intercambiable del suelo (SI) y la relación de adsorción de sodio (RAS) del extracto de saturación y el bajo costo de la determinación propusieron usar

la RAS con los mismos valores. La nueva clasificación, se sintetiza en el siguiente cuadro.

RAS 15	Suelo sódico pH 8.5 - 10	Suelo salino-sódico pH rara vez 8.5
	Suelo no salino no sódico pH 6.5 - 8.4	Suelo salino pH 8.5

2

CE mmhos/cm a 25°C

Los parámetros o determinaciones químicas que se deben considerar en un análisis de suelo o agua con fines de salinidad, fueron mencionados en párrafos anteriores; una de las determinaciones más importantes es la capacidad de intercambio catiónico (CIC), debido a que juega un papel muy importante en el comportamiento químico y físico de los suelos afectados con sales, es de importancia en la relación de sodio y calcio mas magnesio ya que permite conocer la capacidad con que están adsorbidos en forma selectiva estos cationes en el suelo, que a su vez es importante para predecir los cambios en las cantidades de estos cationes durante los procesos de recuperación de los suelos o uso de aguas de riego de una calidad química específica.

La CIC está constituida de cargas electrostáticas negativas para las condiciones específicas del suelo; estas cargas

están neutralizadas por cationes intercambiables, en virtud de que pueden ser remplazados por cationes de la solución del suelo hasta alcanzar el equilibrio dinámico. La cantidad de cargas negativas neutralizadas se miden miliequivalentes por 100 gr de suelo. Por otra parte la CIC, está íntimamente relacionada con la textura, contenido de materia orgánica y con la cantidad y composición mineralógica de las arcillas.

Otro aspecto importante en los suelos afectados con sales es el "muestreo" el cual debe efectuarse con una metodología específica en función del tipo y objetivos del estudio por realizar; en el cual se debe incluir la frecuencia del muestreo, superficie en estudio, intensidad del muestreo, método de muestreo, tamaño de la muestra, precisión en las determinaciones, etc. Sin embargo, todo lo anterior está sujeto a los recursos humanos, materiales y económicos disponibles.

Por otra parte considerando que el suelo es un sistema completamente dinámico, independientemente del tipo de muestreo que se realice, las muestras deben tomarse y los análisis realizarse en el menor tiempo posible.

RECUPERACIÓN DE SUELOS AFECTADOS CON SALES.

Una vez que se han identificado y solucionado las causas u origen de los problemas de ensalitramiento, es necesario combatir, solucionar y/o mejorar los efectos que dejaron las sales en el suelo. Para lo cual es necesario recolectar algunas informaciones y determinar algunos parámetros químicos y físicos que caractericen y clasifiquen el problema, los cua-

les se mencionaron en párrafos anteriores. Una vez hecho esto se seleccionan los métodos de recuperación.

Una información indispensable que se debe coleccionar antes de iniciar cualquier método de recuperación es: el volumen de agua disponible (presas, drenes, subterráneas, etc.) y si las sales que se van a desalojar o eliminar tienen salida.

Los métodos de recuperación más comunes incluyen métodos físicos, biológicos y químicos; el objetivo básico de estos métodos es el de mejorar la permeabilidad del suelo e incrementar el intercambio de calcio por sodio en el complejo o sistema de intercambio.

Métodos Físicos.

Consisten en dar uno o varios tratamientos mecánicos al suelo que son: subsueleo simple o cruzado, barbecho profundo, aplicación de arena, etc. con objeto de romper capas duras ya sea de piso de arado o carbonatos (caliche) y mezclar o invertir horizontes.

Métodos biológicos.

Consisten en el uso de cultivos tolerantes a las sales o incorporación de materia orgánica (residuos de cosecha, estiércoles, abonos verdes, etc.), los cuales durante su descomposición los microorganismos encargados, liberan una serie de compuestos orgánicos que favorecen la formación de agregados los cuales mejoran la permeabilidad del suelo.

Los suelos salinos pueden convertirse a suelos normales o no salinos, no sódicos mediante el lavado del exceso de sales de la zona radicular, en donde los métodos físicos y biológicos auxilian a su recuperación.

Métodos Químicos.

El empleo de estos métodos está encaminado principalmente a suelos sódicos o suelos salino-sódicos, el cual consiste en agregar sustancias al suelo para solubilizar el calcio presente o bien agregarlo en forma directa. Son varios los productos que se usan como mejoradores, cuya selección en general está en función de la velocidad de recuperación deseada y de la disponibilidad económica; los más comunes son: Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Cloruro de Calcio (CaCl_2) aportan calcio en forma directa; y los productos de reacción ácida o formadores de ácido como son: azufre (S), ácido sulfúrico (H_2SO_4), Polisulfuro de calcio (CaS_5).

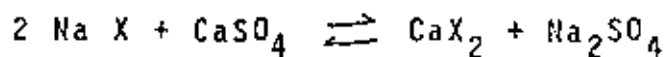
Para seleccionar el mejorador, debemos de considerar si el suelo contiene o no calcio, si el análisis resulta afirmativo podemos seleccionar un mejorador formador de ácido y si resulta negativo se debe seleccionar un mejorador que aporte en forma directa calcio y no utilizar uno de reacción ácida.

En la selección del mejorador también hay que considerar la velocidad de reacción, la cual está en función de la pureza del producto, solubilidad, estado físico en que se encuentre, del pH del suelo, etc.

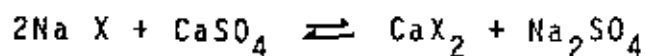
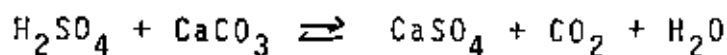
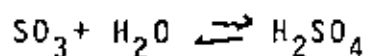
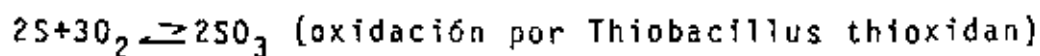
A continuación se presentan las reacciones que "ocurren" de los mejoradores en los suelos sódicos.

En los suelos que contienen calcio:

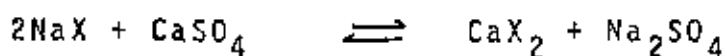
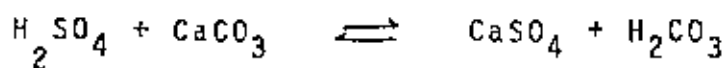
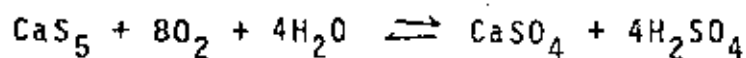
YESO:



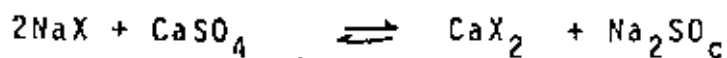
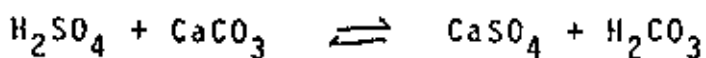
AZUFRE:



POLISULFURO DE CALCIO:



ACIDO SULFURICO



X representa el complejo de intercambio

Para suelos que no contienen calcio, como ya se indicó no se recomienda usar mejoradores formadores de ácido, se recomienda usar sales solubles de calcio o roca caliza.

La cantidad de mejorador por aplicar está en función de la CIC del suelo, contenido de carbonatos y bicarbonatos solubles, pureza del material, estado físico, volumen y calidad del agua disponible, profundidad del suelo que se desee mejorar.

La cantidad del mejorador se calcula con la siguiente fórmula:

$$N.M. = \frac{(PSI_i - PSI_f)}{100} \times CIC$$

N.M. = Necesidad de mejorador expresado en me/100 gr de suelo.

PSI_i = Porcentaje de sodio intercambiable inicial

PSI_f = Porcentaje de sodio intercambiable final al que se desea dejar el suelo.

CIC = Capacidad de intercambio catiónico.

A continuación se manejará un solo ejemplo en el que se aplicarán todos los conceptos involucrados.

Ejemplo: Se tiene un suelo sódico cuyo análisis indicó un

PSI = 40, una CIC = 25 me/100 gr de suelo y se desea bajar el PSI a 10.

$$PSI_i = 40$$

$$PSI_f = 8$$

$$CIC = 25 \text{ meq/100 gr de suelo}$$

$$N.M. = \left(\frac{40 - 8}{100} \right) \times 25 = 8 \text{ meq/100 gr de suelo.}$$

Para expresarlo en necesidades por hectárea, es necesario conocer la densidad aparente del suelo y la profundidad que se desea recuperar.

Asumiendo que el mismo suelo sódico tiene una densidad aparente de $1,300 \text{ kg/m}^3$ (1.3 gr/cm^3) y se desea recuperar una profundidad de 45 cm.

El volumen total del suelo será:

$$10,000 \text{ m}^2/\text{ha} \times 0.45 \text{ m} = 4\,500 \text{ m}^3/\text{ha.}$$

El peso total de la hectárea de suelo será:

$$4\,500 \text{ m}^3/\text{ha} \times 1,300 \text{ kg/m}^3 = 5'850,000 \text{ kg/ha.}$$

La necesidad del mejorador por hectárea será:

Si en 100 gr de suelo hay 8 meq; en un kilograma hay 80, y en una hectárea a 45 cm de profundidad habrá:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ kg de suelo} & 80 \text{ meq} & \\ 5'850,000 \text{ kg de suelo} & \times & \end{array}$$

$$X = \frac{5'850,000 \times 80}{1} = 468'000,000 \text{ meq/ha.}$$

Corresponde a la cantidad de mejorador requerida en miliequivalentes y que puede ser satisfecha con cualquier mejorador.

En el siguiente cuadro se presenta la cantidad de miliequivalente que existen en una tonelada de mejorador al 100% de pureza.

<u>Mejorador</u>	<u>Miliequivalente por tonelada</u>
Yeso	11.63×10^6
Cloruro de calcio	18.00×10^6
Polisulfuro de calcio	17.40×10^6
Azufre	62.50×10^6
Acido sulfúrico	20.40×10^6

obsérvese que cada mejorador produce diferente cantidad de miliequivalente, es decir que al comprar una tonelada de dos mejoradores, se adquieren diferentes cantidades de miliequivalentes. Por lo que la compra deberá hacerse en base al equivalente químico, más que por lo que cueste la tonelada del mejorador.

Asumiendo que el suelo del ejemplo no contiene calcio, se seleccionó aplicar yeso, por lo que la cantidad necesaria se calcula de la siguiente forma:

El yeso produce 11.63×10^6 miliequivalentes/ton.

$$\begin{array}{r} 1 \text{ ton yeso} \\ \times \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{r} 11.63 \times 10^6 \text{ meq.} \\ 468 \times 10^6 \text{ meq} \end{array}$$

$$X = \frac{468 \times 10^6}{11.63 \times 10^6} \times 1 = 40.2 \text{ ton/ha de yeso al 100\% de pureza}$$

asumiendo que el yeso comercial tenga una pureza del 75%, se necesitarán:

$$\begin{aligned} RCM &= \frac{NMH}{meqT \times PM} && 53.65 \text{ ton/ha de yeso co} \\ &= \frac{468 \times 10^6}{11.63 \times 10^6 \times .75} = 53.65 && \text{mercial al 75\% de pureza} \end{aligned}$$

La siguiente pregunta es cuanto nos cuesta; asumiendo un costo de \$ 670.00 por tonelada de yeso comercial.

$$53.65 \text{ ton de yeso} \times \$ 670.00 = 35,945.00/\text{ha.}$$

Existe otra fórmula que da el costo directo.

$$CMH = \frac{NMH \times PTM}{meT \times PM}$$

en donde:

CMH = Costo del mejorador por hectárea en pesos

NMH = Necesidades del mejorador por hectárea (meq/ha)

PTM = Precio por tonelada del mejorador

meT = Miliequivalente del mejorador químicamente puro por
tonelada (meq/ton)

PR = Pureza del mejorador

Substituyendo

$$CMH = \frac{468 \times 10^6 \times \$ 670.00}{11.63 \times 10^6 \times 0.75} = \$ 35,948.00$$

En la forma de aplicación del mejorador, se debe de considerar: fineza del material, preparación del terreno, distribución e incorporación del producto, topografía del terreno, método de riego, agua disponible, etc.

Una vez aplicado el mejorador considerando los aspectos anteriores, es necesario calcular el volumen de agua necesario para solubilizar el mejorador y haga su efecto en el suelo.

Supónganse que el análisis del yeso comercial al 75% de pureza en el laboratorio, dió una solubilidad de 28 meq/litro a 22°C (2.2 gr/l), el volumen de agua será:

$$VAN = \frac{NMH}{SM}$$

DONDE:

VAN = Volumen de agua necesario

NMH = necesidad del mejorador por hectárea (meq/ha)

SM = Solubilidad del mejorador (meq/l)

$$VAN = \frac{468 \times 10^6 \text{ meq/ha}}{28 \text{ meq/litro}} = 16.7 \times 10^6 \text{ lts/ha} = 16.7 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\frac{16.7 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ha}}{10,000 \text{ m}^2} = 1.67 \text{ m} = 167 \text{ cm}$$

o sea que para disolver el mejorador será necesaria una lámina de 167 cm.

En el uso de mejoradores de reacción ácida o formadores de ácido la lámina de agua se calcula en base a la cantidad de yeso que se forme; y como se conoce que por cada miliequivalente de ácido que se forme se va a formar un miliequivalente de calcio, asumiendo que existe suficiente calcio en el suelo, por lo tanto la necesidad del mejorador por hectárea en miliequivalente por hectárea, se divide entre la solubilidad del yeso.

La recuperación de suelos salinos, se efectúa únicamente mediante la aplicación de agua y cuyo volumen se calcula considerando la cantidad de sales que se desean desplazar en una profundidad de suelo determinada, y para que el lavado sea efectivo se necesita que el agua tenga salida (drenaje) para eliminar las sales.

Existen varias fórmulas empíricas para calcular las láminas de lavado, pero las que mejor describen el fenómeno son:

1. La propuesta por Volobuyev

$$L = \text{Log} \frac{CE_i}{CE_f}$$

L = Lámina total de agua para lavar un metro de profundidad de suelo (cm).

= Coeficiente cuyo valor depende del contenido de cloruros y textura del suelo.

CE_i = CE inicial del extracto de saturación del suelo

CE_f = CE final deseada o permisible al cultivo por establecer.

Log = Es el logaritmo decimal

Dicha fórmula tiene sus inconvenientes como lo son: el coeficiente α que solo considera el efecto de una sal, considera un metro de profundidad del suelo y en el lavado de sales no existe linealidad en los diferentes espesores, no considera el rango de salinidad de los suelos por lavar.

Partiendo de la fórmula anterior, se desarrolló la fórmula siguiente:

$$L = 9.0 (P)^{0.75} \left(\frac{70 - CE_r}{CE_i CE_r} \right)^{0.3} \text{Log} \frac{CE_i}{CE_f}$$

L = Lámina de lavado en cm

P = profundidad del suelo por lavar

CE_r = Conductividad eléctrica del agua del lavado en mmhos/cm a 25°C

CE_i = CE inicial del extracto de saturación en mmhos/cm a 25°C

CE_f = CE final del suelo o permisible al cultivo por establecer, en mmhos/cm a 25°C.

Se debe tener cuidado al usar esta fórmula en lo siguiente:

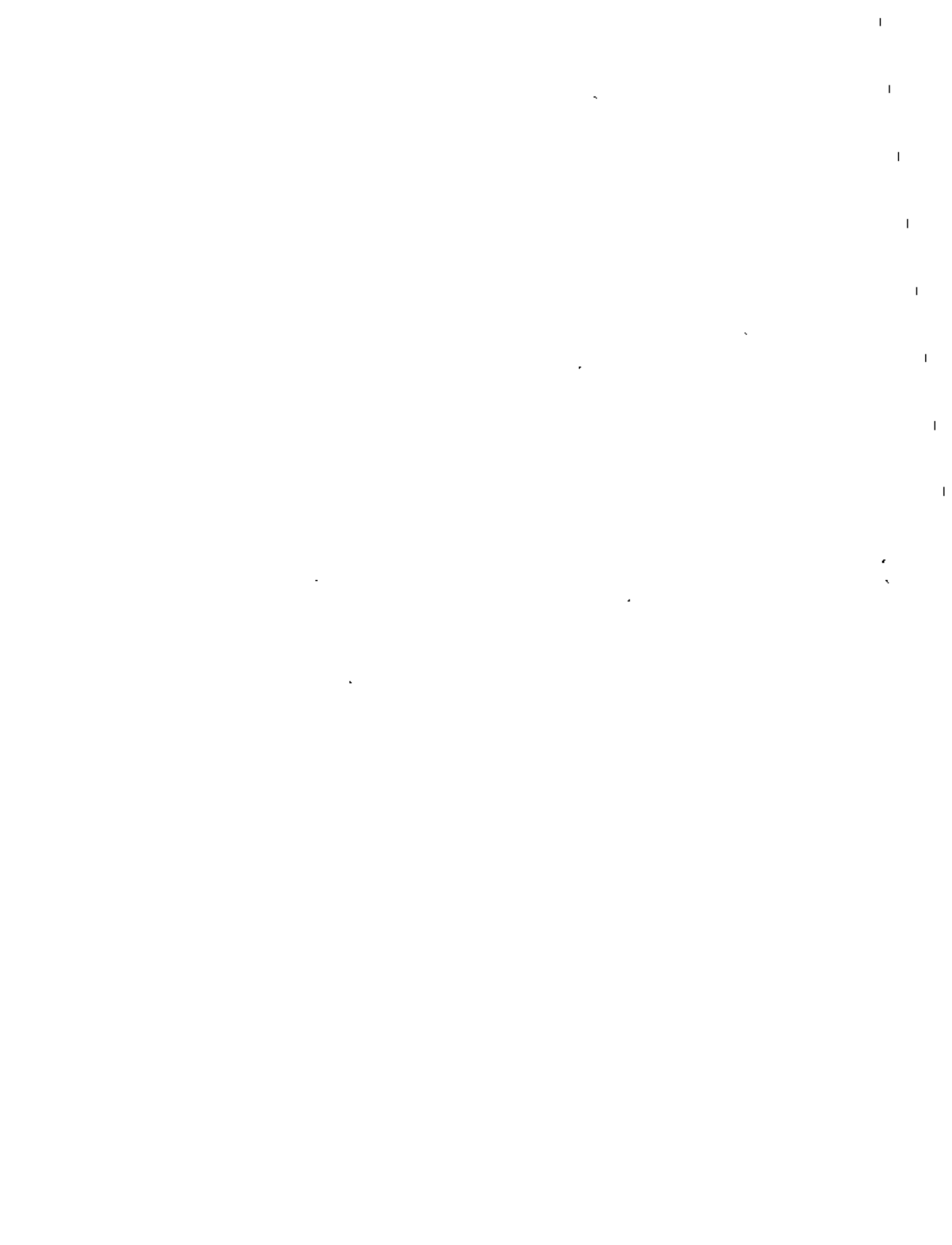
El valor de CE_f que no sea menor de la CE_r porque aunque se obtenga un valor de lámina, el resultado es ilógico; si el valor de la CE_f es igual a CE_r no habrá lavado y la lámina tomará un valor infinito. Al valor α , están integrados la calidad química del agua, condiciones de salinidad del suelo, tolerancia del cultivo a las sales y la profundidad de lavado.

REFERENCIAS:

Aceves, N.E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Mex.

Allison, L.E. 1964. Salinity in Relation to Irrigation Adv. Agron. 16: 139-180

Bohn, L.H. L.M. Brian and O'Connor, A.G. 1979. Soil Chemistry. first edition. John Wiley & Sons Inc. 217-246 p.





centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



RIEGO Y DRENAJE

DRENAJE AGRICOLA

ING. PRIMITIVO MACIAS M.

JUNIO, 1980

I.- PRINCIPIOS GENERALES DEL DISEÑO.

1.1.- Importancia y Necesidades del Drenaje Agrícola.

La finalidad principal del riego y drenaje es regular los regimenes de humedad de los suelos ajustándolos a una tal - que mejor corresponda a las necesidades de las plantas en cultivo según el criterio económico previamente establecido.

El incremento de las áreas afectadas por salinidad y/o drenaje en las zonas de riego causadas por deficiente operación y carencia de una Red adecuada de drenaje, cosa que es explicable por las condiciones Económicas, Políticas y Sociales de las zonas en el proceso de evolución del riego ya que en un principio se canalizaron todos los recursos - para las Obras de Almacenamiento y Red de Distribución de Aguas, pero al transcurso del tiempo las áreas factibles - de riego van disminuyendo, surgiendo la necesidad de conservar las obras existentes, lo que justifica en la actualidad los estudios tendientes a la prevención y combate de los problemas de empantanamiento y/o ensalitramiento de los terrenos agrícolas.

1.2.- Efecto de las deficiencias de Drenaje en los Suelos y Cultivos.

a).- Se afecta la estructura del suelo con el paso de la maquinaria provocando una disminución de la permeabilidad abajo de la capa arable.

b).- Se afectan las condiciones de aereación del suelo y el intercambio gaseoso, debido que abajo de la capa freática todos los poros del suelo se encuentran saturados de agua, por lo tanto las condiciones anaeróbicas, que traen como consecuencia la acumulación del anhídrido carbónico (CO₂) en el suelo lo cual es perjudicial en el desarrollo de las plantas.

- c).- Influencia en la temperatura del suelo, por el calor específico del agua.
- d).- Se presentan en el suelo reacciones químicas desfavorables tales como la desnitrificación y la formación del ácido sulfídrico (H₂S), el retardo en la mineralización de la Materia Orgánica, etc.
- e).- Presentación de enfermedades y pudrición de raíces.
- f).- Invasión de malas hierbas.
- g).- Demoras en las labores de preparación y cultivo.
- h).- Irregularidad en el crecimiento y tiempo de maduración.
- i).- Salinización del suelo, debido al ascenso de aguas freáticas por capilaridad, la cual se evapora en la superficie del suelo quedando sus sales depositadas en los perfiles superiores.

Además de los efectos que causa a los suelos y cultivos pueden provocar trastornos que indirectamente afectan a la Agricultura como son:

- a).- Demoras en la comunicación terrestre.
- b).- Afectaciones en las construcciones.
- c).- Incremento en los riegos y peligro de avenidas ya que al encontrarse saturado el suelo, casi la totalidad de agua de lluvia escurre inmediatamente.
- d).- Incidencia de plagas y enfermedades perjudiciales al hombre y animales.

Se pueden distinguir tres tipos de afectación de Drenaje por su naturaleza:

- 1o.- Drenaje Superficial: Esta afectación es la provocada por aguas que escurren superficialmente por el suelo.
- 2o.- Drenaje Interno: Son los causados por el movimiento restringido del agua en el suelo arriba de la capa

freática, debido a la estructura desfavorable del suelo ó a la presencia de un estrato impermeable en el perfil.

3o.- Drenaje Subterráneo: Ha provocado cuando el nivel freático se encuentra a niveles muy cercanos a la superficie.

1.3.- Causas que originan el problema de Drenaje.

Los excesos de humedad superficiales ó subterráneas de los suelos pueden deberse a la existencia de fuentes de alimentación y a la presencia de obstáculos que dificultan la evacuación de los excesos de humedad, ejerciendo su influencia estos dos factores desde fuera ó dentro de la zona con problemas.

CAUSAS	FUERA DE LA ZONA		DENTRO DE LA ZONA	
	SUPERFICIAL	SUBTERRANEO	SUPERFICIAL	SUBTERRANEO
PERIFERIAS	PLANTAS AVANZADAS ETC.	COLECCIONES SUBTERRANEAS	PLANTAS PERMANENTES DE CERCO	RESERVORES CON PERMEABILIDAD EN CONTACTO.
CONTACUOS	TRAZAMIENTOS DE SERVICIOS PUBLICOS DE INGENIERIA EN LA ZONA DE INTERVENCIÓN DE LOS CAM- BIOS.	ESTRUCTURAS DE CONTACTO	TRAZAMIENTOS DE SERVICIOS PÚBLICOS.	ESTRUCTURAS DE CONTACTO DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS.

1.4.- Jerarquización de los factores que originan el problema de drenaje.

Una vez conocidas las causas que originan el problema de drenaje es necesario conocer la participación que tiene cada uno de ellos, obteniéndose así la jerarquización y por consiguiente su orden de ataque.

Para efectuar esta jerarquización se formula el balance de humedad de la zona afectada tanto para las aguas superficiales como subterráneas.

El análisis se hace para la capa superior del suelo hasta la profundidad de 3 a 5 m., en un lapso de tiempo tal que corresponda como mínimo a un ciclo vegetativo de cualquier cultivo ó todo un año; analizándose todas las aportaciones, por lluvia, riego, períodos de filtraciones por canales, escurrimientos superficiales y subterráneos de las partes colindantes y afloramiento de aguas subterráneas, así como las extracciones del área como evapotranspiración de las plantas; desfogues superficiales y subterráneos fuera del área en estudio.

Si las aportaciones son superiores a las extracciones se presentaran problemas de empantanamiento, cuya primera manifestación será la elevación del nivel freático.

Para complementar el estudio del balance de humedad se hace con los estudios freátimétricos, que son los que nos determinan las causas y por lo tanto nos dictan las medidas adecuadas para solucionar el problema de empantanamiento.

INDICIOS PRINCIPALES DE PROBLEMAS

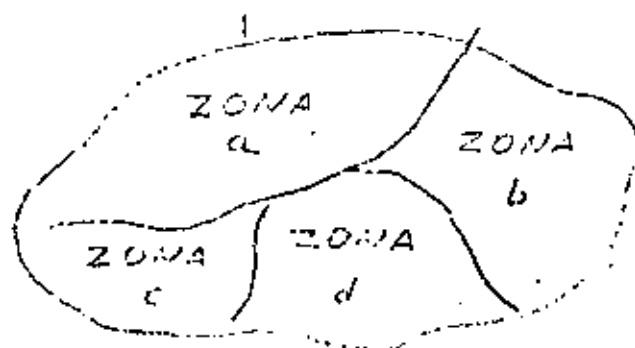
Estos son los encaminados para conocer las variaciones del nivel freático en el espacio y tiempo.

2.1.- Localización de Pozos de Observación.

Si en el análisis de las causas que originan el problema del drenaje se define que se trata de altos niveles freáticos, se hace necesario efectuar los estudios freátimétricos para el cual se construyen los pozos de observación, donde se toman en cuenta su número, localización e instalación de los mismos.

2.1.1.- El número de pozos está supeditado a la precisión que se requiere en el estudio y a las disponibilidades económicas, pero se ha observado en la práctica que uno de ellos por cada 100 Has. da resultados satisfactorios, aunque éste no se puede considerar como regla general ya que la cantidad de ellos está

3.1.2.- Localización de los pozos.- En la práctica generalmente se localizan en los vértices de una cuadrícula la que fluctúa de 3 a 5 km. y con esta observación se localizan definitivamente en los lugares representativos, con el criterio de obtener mayor número de observaciones en los lugares donde se tengan niveles freáticos sueros y donde existen cambios bruscos de pendiente. Para su localización deben observarse las normas generales que son tendientes a obtener con mayor precisión la configuración del nivel freático, la de facilitar la construcción y operación ya que este reduce en la concurrencia y - - oportunidad de la información, por estas razones - deben localizarse en los cambios de pendiente, en sitios de fácil acceso, en las orillas de las áreas de cultivo y a una distancia mínima de 50 mts. de drenes y canales para evitar la influencia local. Para la localización de los pozos debe estratificarse la zona de acuerdo al tipo de suelo, topografía y grado de afectación aparente. Siendo los más heterogéneos y con topografía irregular los que necesitan una intensidad mayor y como se relaciona anteriormente el número de pozos se calcula en función de la disponibilidad económica y exactitud deseada, al igual, se selecciona una intensidad adecuada para cada una de las zonas, como se muestra en la figura Núm. 1



Para determinar el número de pozos se utiliza la siguiente ecuación.

$$\frac{Ea}{Sa} + \frac{Eb}{Sa} + \frac{Ec}{Sa} + \frac{Ed}{Sa} = \frac{Ea}{Sa} + \frac{Eb}{Sa} + \frac{Ec}{Sa} + \frac{Ed}{Sa} = \frac{Ea}{Sa} + \frac{Eb}{Sa} + \frac{Ec}{Sa} + \frac{Ed}{Sa}$$

Despejando los valores de Ea , Eb , Ec y Ed , de la ecuación se obtiene el número de pozos que le corresponda a cada una de las zonas y su distribución dentro de ella se puede efectuar trazando una cuadrícula en un plano lo más cerrado posible con el fin de obtener una mejor distribución de los pozos y hacer del sorteo al azar de cada uno de los vértices.

2.1.3.-Instalación de Pozos.- Estos se pueden clasificar en Pozos a Cielo Abierto y Adornados.

Los Pozos a Cielo Abierto consisten en una excavación de 0.60 x 1.50 m. y la profundidad necesaria para encontrar el nivel práctico más unos 50 cms. aproximadamente, debiendo protegerse de las entradas de agua superficiales mediante la construcción de un bordo alrededor de la boca del pozo. Este tipo de pozos debe contar con una conservación constante y no se recomienda construirlos en suelos ligeros porque se presentan derrumbes muy frecuentes.

Los Pozos Adornados pueden ser de diferentes materiales como tubos de barro, mortero de cemento, P.V.C., y fierro. Siendo su selección de acuerdo a la disponibilidad económica y de los materiales que se obtengan dentro del área. Se debe construir un caberal de concreto o ladrillo pudiendo ser este superficial ó subterráneo.

En general este tipo de pozos es más recomendable — pues se adapta a cualquier tipo de suelos.

Las norias nos pueden ser útiles para la observación de los niveles freáticos, pero no son muy recomendables ya que pudieran haber sufrido una extracción de

aguas antes de efectuarse la observación del nivel freático y marcamos un nivel erróneo siendo esto de importancia en suelos de baja permeabilidad.

Durante la construcción de los pozos se toman muestras de suelos en todo el perfil y el de aguas freáticas que nos dará información básica para el mismo estudio. Una vez terminada la construcción se corre una nivelación y se acota con respecto al nivel del mar y se anota el número correspondiente.

- 2.1.4.- Observaciones del Nivel Freático.- Esta operación - consiste en medir la profundidad a que se encuentra el nivel freático de cada pozo con respecto al punto acotado. Esta medida puede hacerse con sondas - eléctricas, estadales, fierrómetros, manómetros, etc. Las observaciones deben hacerse con una frecuencia mensual durante un período cuando menos de un año y a medida que se vayan conociendo éstos la frecuencia puede ir disminuyendo hasta una sola vez durante la temporada de riego, otra al finalizar y durante la temporada de lluvia.

2.2.- Estudios del Movimiento del Nivel Freático.-

Conductividad hidráulica por el método del pozo.- (Gascorrens, Hooghoudt, Van, Khan, Ernest, W.P.J. Van Boers). Para la determinación es necesario tener un nivel freático alto a lo máximo de 2-3 mts. de profundidad. El procedimiento consiste en hacer una perforación hasta llegar abajo de él y nivelarlo en varias ocasiones con el fin de destapar los poros y se mide su recuperación.

$$H = C \frac{\Delta Y}{\Delta t}$$

H = Conductividad hidráulica m/día
 y = Incremento del Nivel Freático (cm).
 t = Incremento del Tiempo (seg).

$$C = \frac{2800 \times 10^3}{(2.25 \times 10^{-2}) \times (2.25 \times 10^{-2}) \times (2.25 \times 10^{-2})}$$

cuando $S > H$

$$C = \frac{2800 \times 10^3}{(2.25 \times 10^{-2}) \times (2.25 \times 10^{-2}) \times (2.25 \times 10^{-2})}$$

cuando $S < H$

$$3 < r < 7 \text{ (cm)}$$

$$20 < H < 200 \text{ (cm)}$$

$$Y > 0.251$$

$$\Delta Y < 0.25 Y_0$$

Para el caso en que se tenga un suelo estratificado y se desee conocer la conductividad hidráulica se calcula de la siguiente manera:

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

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

$$\frac{\Delta Y'}{\Delta t} = \frac{K_1}{C_1} + \frac{K_2}{C_2} + \frac{K_3}{C_3}$$

$$\frac{\Delta Y'}{\Delta t} = K_2 \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0} \right) + \frac{K_1}{C_0}$$

$$\frac{\Delta Y'}{\Delta t} = \frac{K_1}{C_0}$$

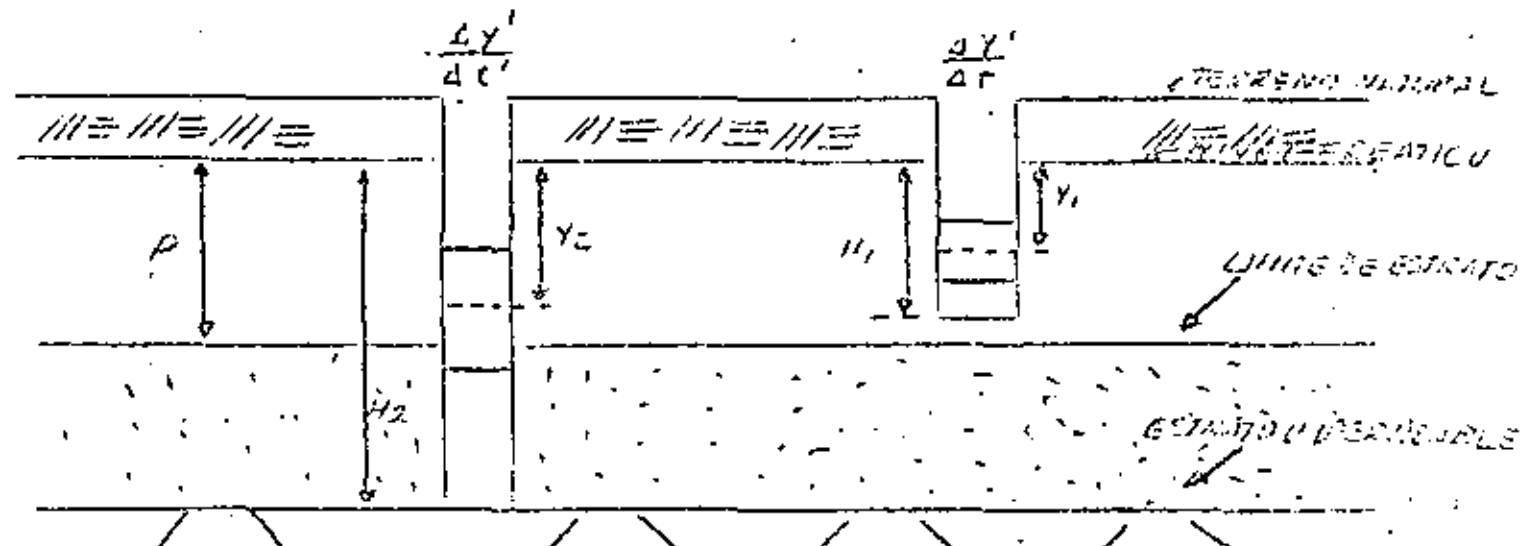
$$\frac{C_0}{C_2} - \frac{C_3}{C_0} = K_2$$

$$K_2 = \frac{C_0 \frac{\Delta Y'}{\Delta t} - K_1}{\frac{C_0}{C_2} - 1}$$

donde C_1 es formado por Y_1 y H_1

C_2 es formado por Y_2 y H_2

C_0 es formado por $Y_0 = Y_0$ y $P = h_0$
y $S = 0$



DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA METODO DEL POZO

Registro de datos de campo
Procedimiento de cálculo

8a

FOZO No. _____	DATOS:
LOCALIZACION _____	
PRUEBA No. _____	

$D =$ _____ $D =$ _____ $W =$ _____ $W =$ _____ $H =$ _____ $H =$ _____ <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px;">$20 < H < 200$</div>	$r =$ _____ <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px;">$3 < y < 7$</div> $s =$ _____ <div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px;">$H_0 < 5 < H$</div> ALTURA DE OBSERVACION $K =$ _____
--	--

t	y_t	Δy_t	C A L C U L O S
0			$y_0 = y_0' - W_0 =$ _____
			$\Delta y = y_0' - y_n' = \Sigma \Delta y_t =$ _____
			$y = y_0 - 1/2 \Delta y =$ _____
			<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$y > 0.2 H$ _____</div>
			$H =$ _____
			$y =$ _____ $C =$ _____
			$K = C \frac{\Delta y}{\Delta t} =$ _____
$\Delta y =$ _____			
			<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">$\Delta y \leq 1/4 y_0$</div>

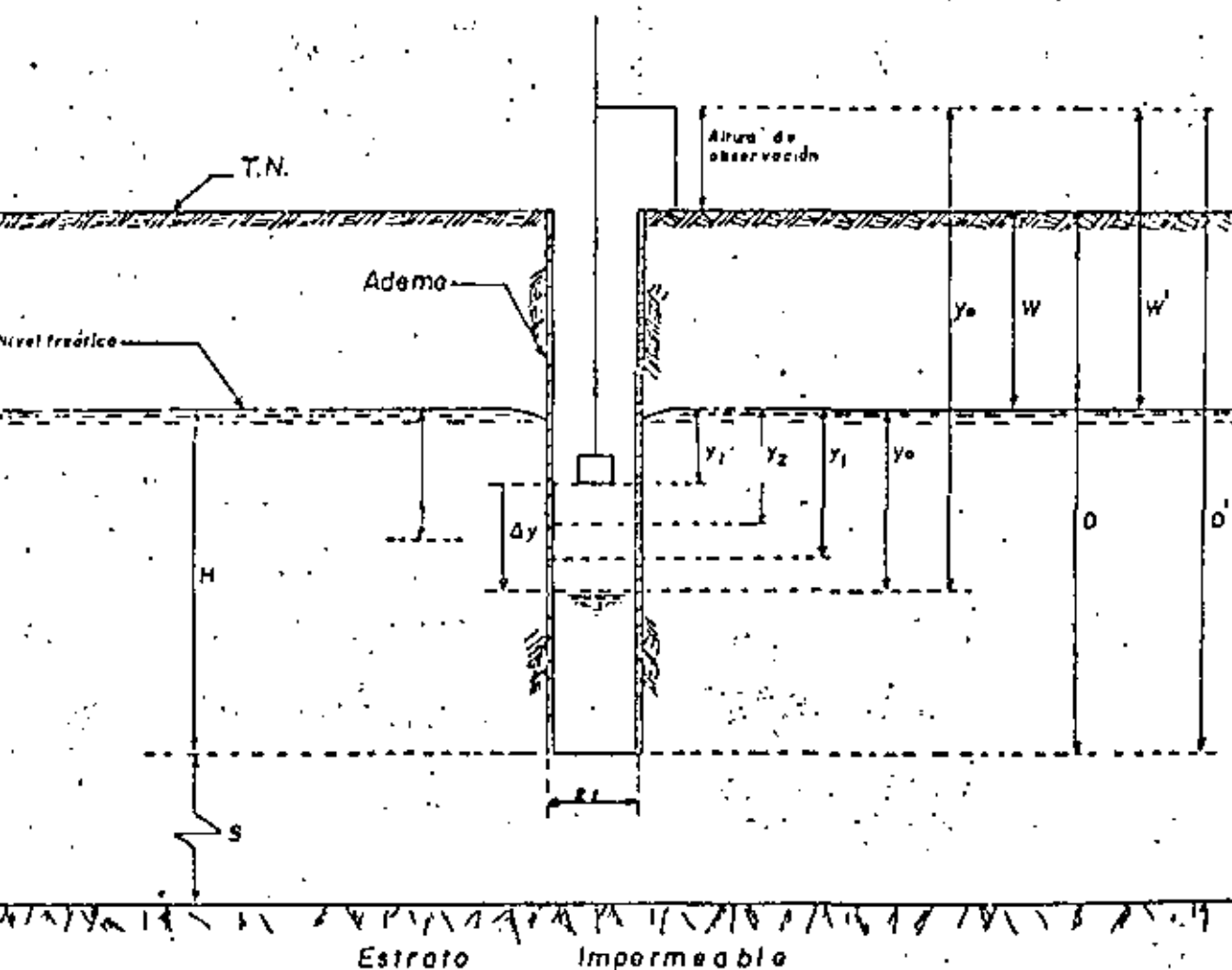
OBSERVACIONES: _____

(Empleando los monogramas, del International Institute for Land
Reclamation and Improvement, Wageningen the Netherlands)

DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA "K"

" METODO DEL POZO "

(Diserens, Rooghout, Kirkham, Erns, WF J. Van-Beers)



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

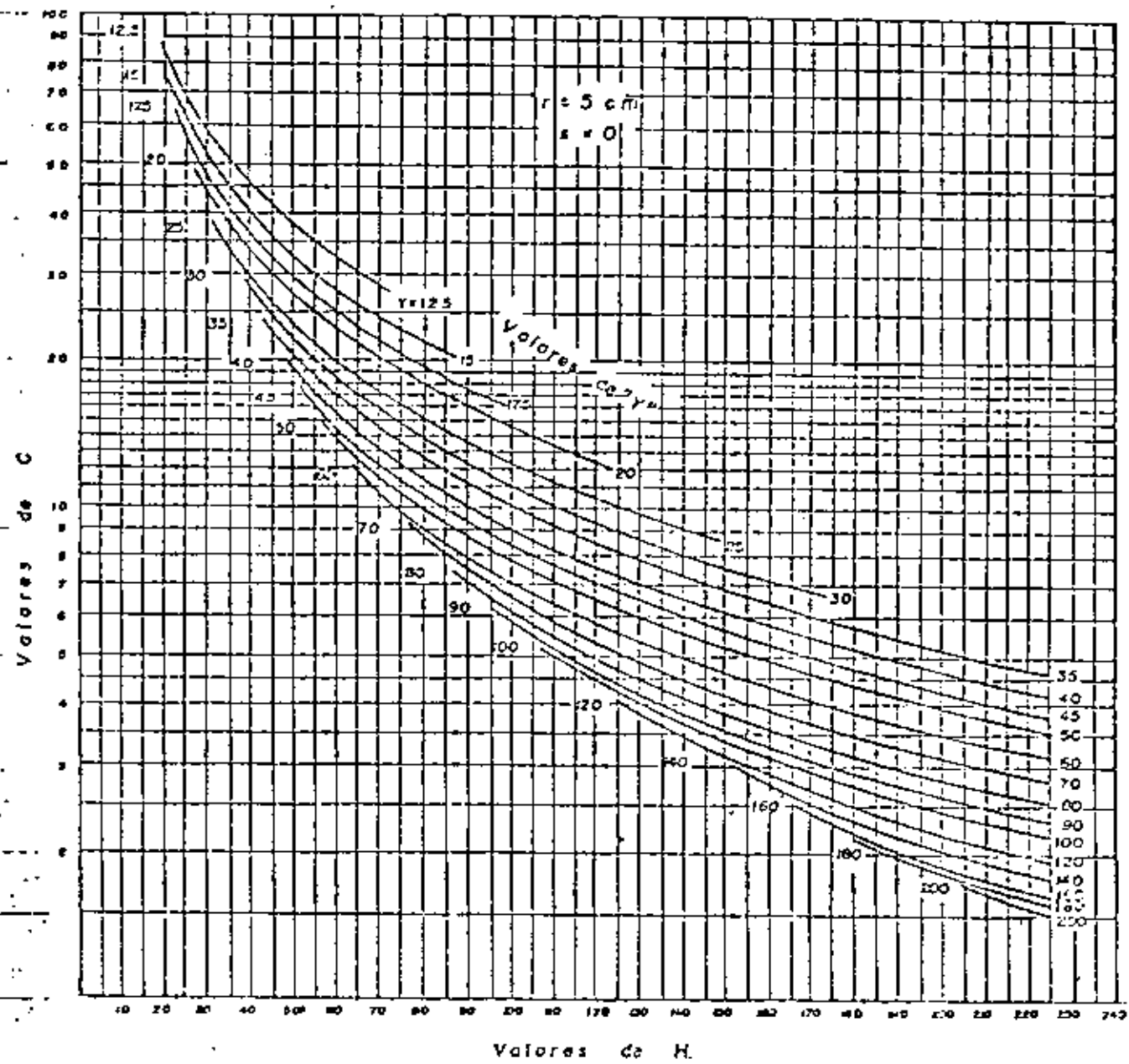
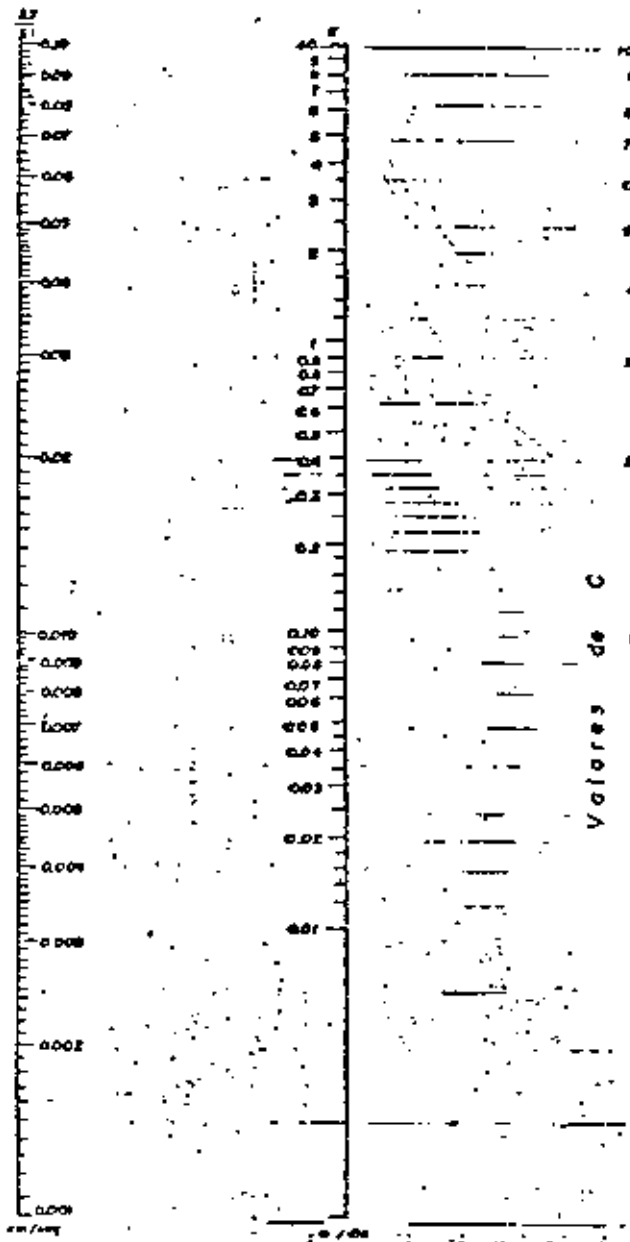
$$K = \frac{4000 r^2}{(H + 20r) \left(2 - \frac{y}{H}\right) y} \frac{\Delta y}{\Delta t} ; \quad K = \frac{3600 r^2}{(H + 10r) \left(2 - \frac{y}{H}\right) y} \frac{\Delta y}{\Delta t}$$

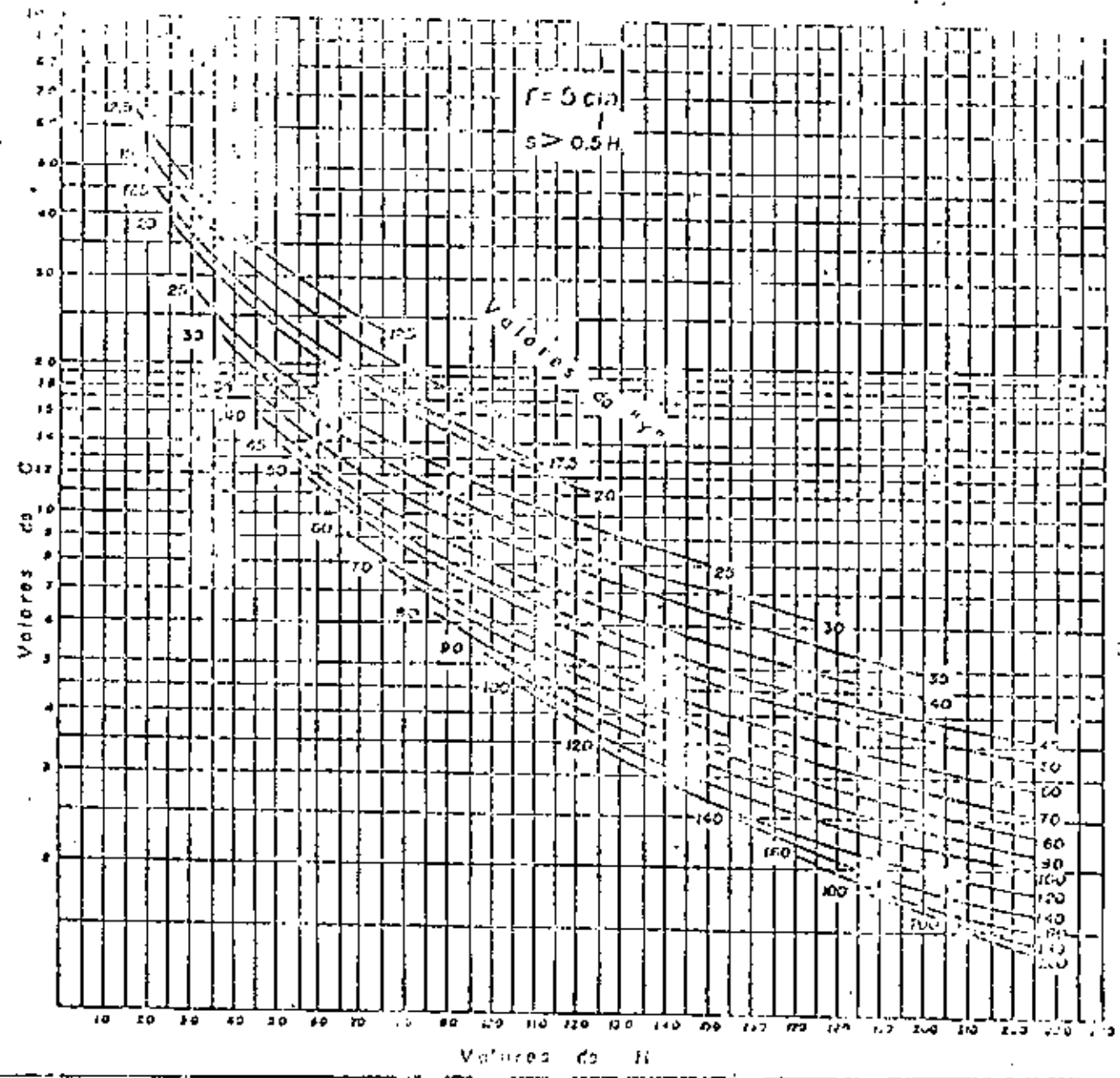
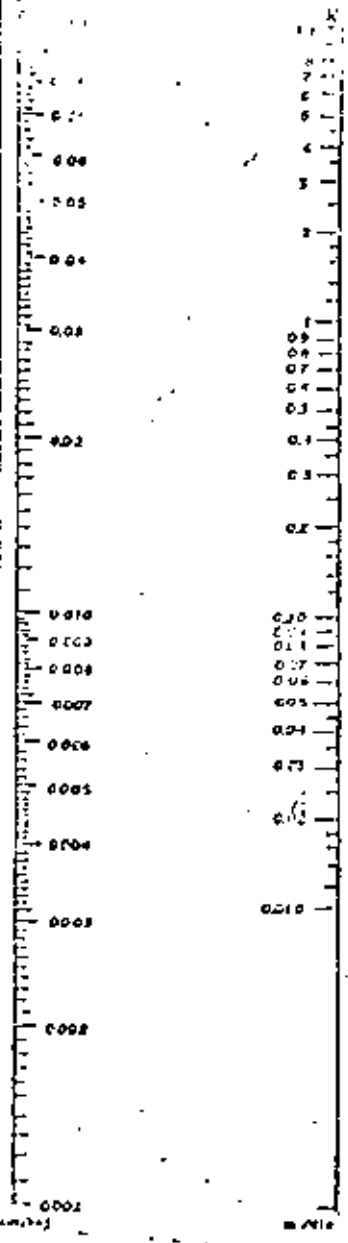
Cuando $S > H$ Cuando $S \leq H$

Requisitos.

- $r > 3 < 7 \text{ cm}$
- $H > 20 < 200$
- $y > 0.2 H$
- $S > H$
- $\Delta y \leq H/4 y$

- $y \text{ cm} = y_0 - 1/2 \Delta y$
- $K = \text{m/día}$
- $\Delta t = \text{segundos}$
- $H = \text{cm}$





2.3.- Uso de las lecturas del Nivel Freático.-

Las lecturas sirven para elaborar los planos de isobatas, isohipsas, isocrecimientos y de mínimos niveles freáticos.

2.3.1.- Isobatas.- Son líneas de igual profundidad del nivel freático. Estas curvas nos muestran gráficamente las zonas donde el drenaje es adecuado y aquellas donde existen problemas de drenaje.

2.3.2.- Isohipsas ó de Contornos de Igual Nivel Freático.- Son las líneas de más carga hidráulica en la superficie del Nivel Freático y las perpendiculares a estas nos definen las líneas de flujo.

Esta información en conjunto nos indica la dirección del agua, zonas de mayor ó menor conductividad hidráulica y zonas de recarga ó descarga.

Los pendientes fuertes nos indican barreras al flujo ó zonas de baja conductividad hidráulica, por otra parte las áreas con pendientes bajas indican la presencia de acuíferos que permiten el movimiento rápido del agua a zonas de alta conductividad hidráulica.

Cuando se presentan líneas concéntricas ó de valores crecientes señalan un área de descarga que pueden ser efectos de riego, etc.

2.3.3.- Planos de Mínimos Niveles Freáticos.- Está formado por curvas de igual nivel freático con la menor observación medida en cada pozo en un ciclo de observación hecha.

Este plano se basa en la consideración hipotética que todas las fluctuaciones del Nivel Freático en cada uno de los pozos se debe a una condición local y la menor observación nos indica que es el que se presenta por un escurrimiento normal. Por esta razón estas curvas indican una aproximación de un régimen permanente y establecido.

2.3.5.- Gráficas Áreas-Tiempo.- Estas gráficas relacionan las variaciones de las áreas de acuerdo a sus niveles freáticos, con el tiempo se forman construyendo un sistema de coordenadas a cuyas abscisas representan al tiempo en meses y las ordenadas representan a la superficie estudiada en hectáreas, cada mes se anota la superficie que tiene el nivel freático de cada uno de los rangos escogidos de tal manera que siempre se tendrá una superficie tope que es la superficie total estudiada y para cada rango habrá una determinada superficie, si se prolonga el estudio por varios años se puede hacer pronósticos sobre las fluctuaciones del manto freático, en la gráfica se colorean cada uno de los rangos de profundidad del manto freático, cada mes con el color correspondiente que generalmente nuevamente sigue el orden del arco iris que se siguió para las isobatas y que debe corresponder exactamente al plano de isobatas de ese mes.

En las gráficas áreas-tiempo además se anota las láminas de riego y las láminas de precipitación que se presentan en el tiempo estudiado y representan información muy valiosa para explicarse las variaciones del manto freático de las superficies afectadas.

Las gráficas áreas-tiempo proporcionan la información necesaria para evaluar los efectos de la rehabilitación de los Distritos en caso de que los hubiera ó para determinar la necesidad de rehabilitación de los mismos.

También con estas mismas gráficas se puede cuantificar la causa y área en la que tiene influencia, por ejemplo, si en el transcurso del tiempo en las gráficas aparece el área que siempre tiene el nivel freático elevado nos indica que pudiera deberse a corrientes constantes que provengan de fuera de la zona; si por otra parte los niveles freáticos elevados aparecieran en la gráfica en períodos determinados y mas o menos preciso podría deducirse que estas elevaciones se deben a riegos, a precipitaciones ó a filtraciones en canales que no operan durante todo el año. Si la causa fuera el período de lluvias podríamos cuantificar a qué superficie le falta drenaje pluvial.

Este plano nos sirve para el proyecto de la red de drenaje de apoyo, pues es la que viene a interceptar el flujo perenne de la zona y los problemas locales se pueden solucionar con la red de drenaje particular u otro tipo de medidas correctivas.

2.3.4.- Plano de Isocrecimientos.- Este plano es el que muestra zonas de igual ascenso ó descenso del Nivel freático.

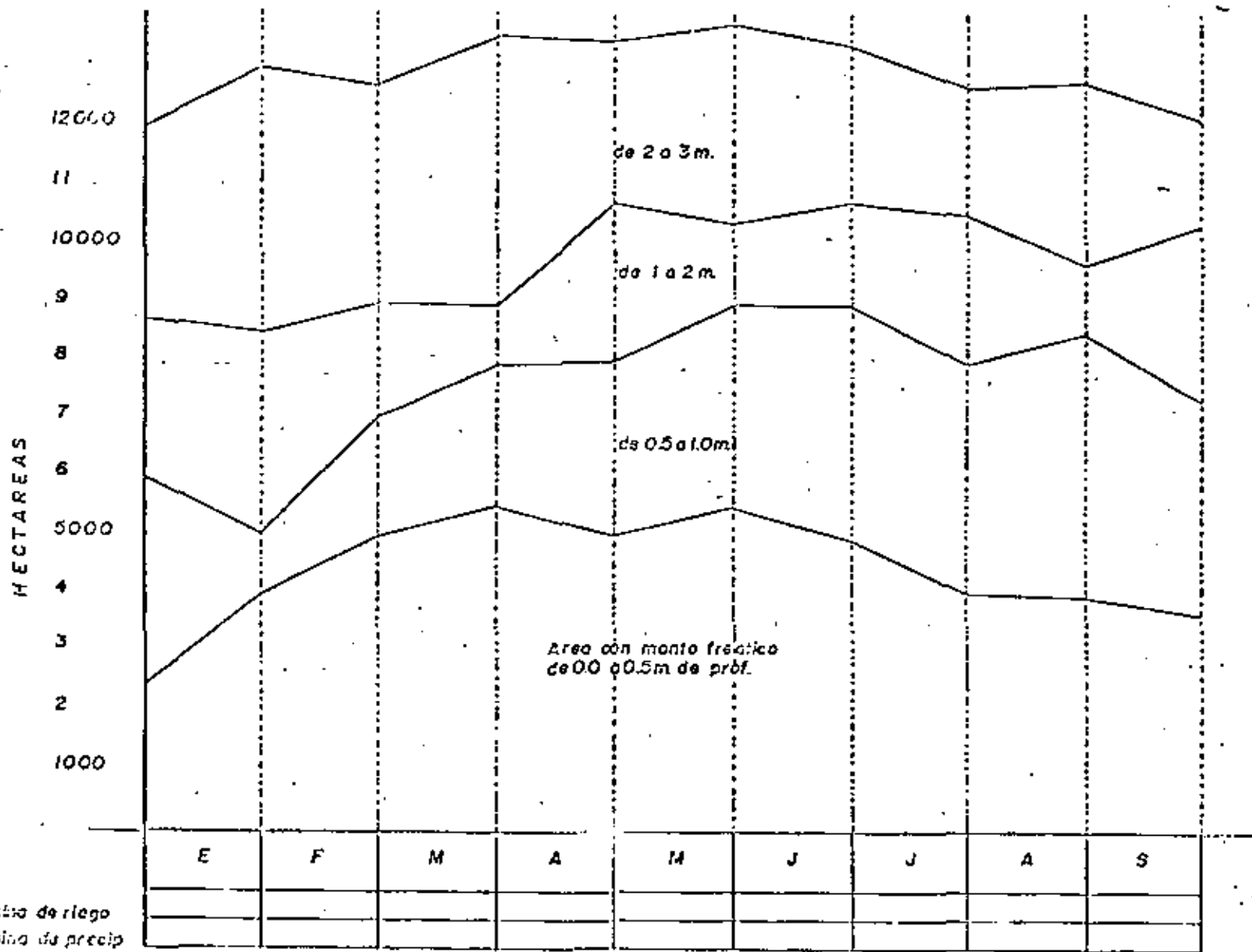
Para su elaboración se sobrepone el Plano de Mínimos Niveles Freáticos y el de Isohipsas de una determinada observación, se elaboran tantos planos como se tengan, tomando como base un año donde se tengan condiciones normales de operación.

Al compararse cada uno de los planos se observa prácticamente el desplazamiento de las masas de agua, al igual que los lugares de estancamientos de aguas subterráneas aisladas a los que hay que conectar con drenes.

En las zonas donde se observan decrecimientos, indican que las aportaciones son menores que las salidas y se pueden interpretar de que era una cuenca cerrada y que por un medio artificial ó natural se le dió curso a esa agua, al igual se interpreta que las aportaciones disminuyeron ó que las observaciones del Nivel Freático que se han efectuado no fueron suficientes para elaborar el plano de mínimos Niveles Freáticos.

Ahora si se seleccionan únicamente las observaciones efectuadas durante la temporada de riego y se delimitan las áreas donde muestran altos niveles freáticos, se tendrán bases para proponer la solución pertinente.

Si de la misma forma se delimitan las áreas que únicamente tienen alto Nivel Freático en la temporada de lluvias, se conoce la fuente y sus posibles soluciones.



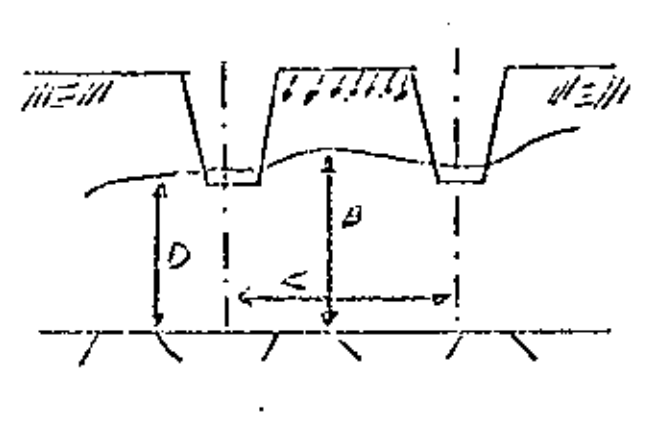
GRAFICAS . DEAS - TIEMPO

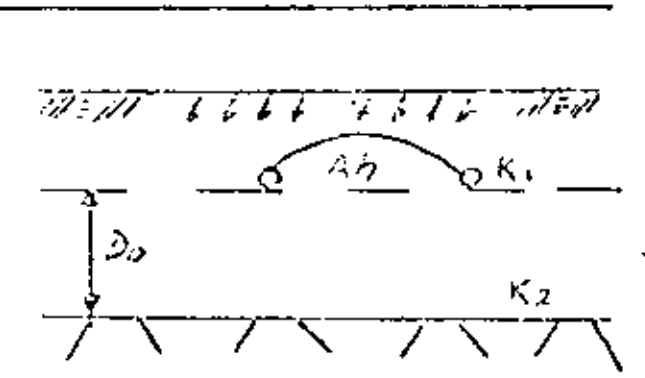
100

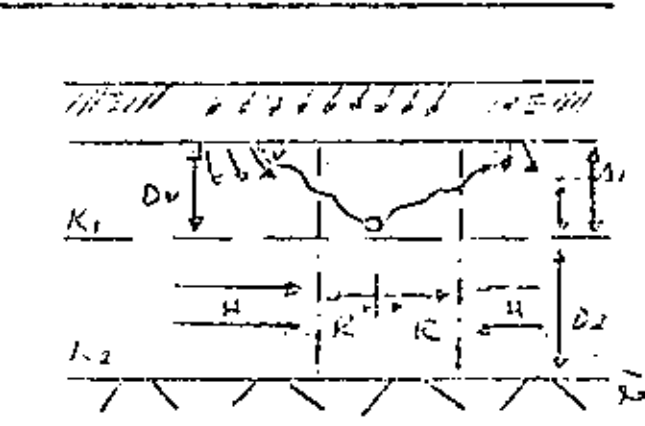
3.- ESTUDIOS PARA ESTIMAR PROPIEDADES DE NIVEL DINAMICO.

3.1.- Generalidades sobre la teoría de sistema de drenaje en equilibrio y en no equilibrio.- equilibrio establecido es cuando hay un balance entre las aportaciones y las salidas, -- siendo esta la tesis que más se utiliza en la práctica, aunque no se apega mucho a la realidad da una buena aproximación ya que los parámetros que intervienen para su cálculo se miden con facilidad. Y en las condiciones de no equilibrio es cuando las aportaciones no son constantes ó sea son intermitentes tal como sucede en la realidad, pero la dificultad que existe para estimar los parámetros considerados y simplificaciones que tienen las fórmulas en su deducción le hacen perder su aproximación.

NOMBRE	FORMULA	CONDICIONES	ESQUEMA
--------	---------	-------------	---------

SLABIAN	$L^2 = \frac{4K(\sigma^2 - D^2)}{q}$	<p>$(\sigma - D) \ll D$</p> <p>$L \ll D$</p> <p>Flujo permanente, horizontal, Homogeneo ó Isotrópico.</p>	
---------	--------------------------------------	---	---

ROSCIOUDT	$L^2 = \frac{8K_1 D_0 \Delta h}{q} + \frac{4K_2 \Delta h^2}{q}$ $L^2 = \frac{8K_2 d \Delta h}{q} + \frac{4K_1 \Delta h^2}{q}$	<p>Flujo permanente, Radial - Horizontal y Recarga Homogeneamente.</p> <p>$D_1 = 1/2 \Delta h.$</p>	
-----------	--	--	--

MINIST	$\Delta H = \Delta h_v + \Delta h_h + \Delta h_r$ $\Delta h_v = q \xi \left(\frac{D_v}{h} \right)$ $\Delta h_h = \frac{q L^2}{8 \Sigma D}$ $\Delta h_r = q L W$	<p>Flujo hacia los Brenos es permanente, Radial, Horizontal y Vertical.</p>	
--------	---	---	---

NOTAS

F O R M U L A

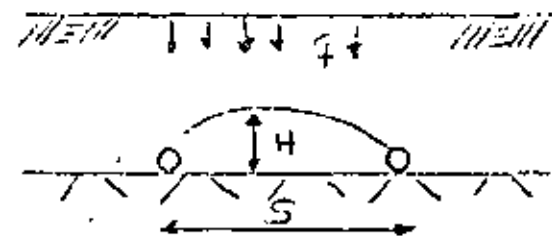
C O N D I C I O N E S

E S Q U E M A

NOTAS

$$S = 2l \sqrt{\frac{k}{q}}$$

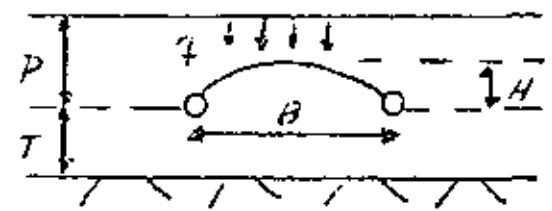
Flujo Horizontal y Permanente.



CONDICIONES

$$S = 2l \sqrt{\frac{k}{q} \left(1 + \frac{2T}{h}\right)}$$

s/t 3
Flujo Horizontal



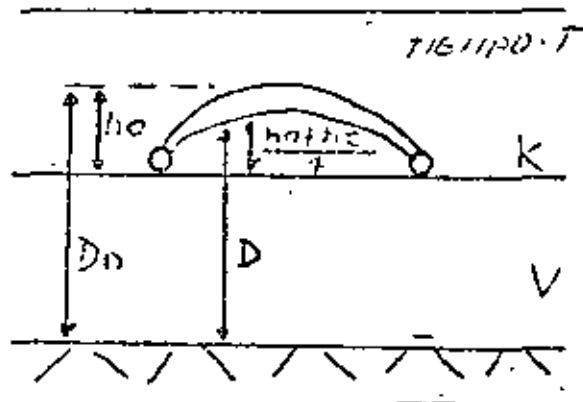
CONDICIONES

$$L^2 = \frac{K \cdot D \cdot t}{\pi^2} \ln \left(0.27 \frac{h_0}{ht} \right)$$

$$D = D_0 + \frac{h_0 + ht}{4}$$

$$D_0 = d + \frac{ht + h_0}{2}$$

Flujo Horizontal, Radial
Régimen no establecido.
Suelo Homogéneo e Isótropo.



3.2.- Cálculo de Necesidades de Drenaje. - La capacidad natural de drenaje es un parámetro que indica las zonas en que es necesario la construcción del drenaje complementario, (Ing. Oscar Castillo). Para su cálculo se basa en la suposición de que existe una red hipotética de drenaje que es la que permite el flujo en el suelo, se supone que dicha red se encuentra a 2 mts. de profundidad, ya que ésta es la que en término medio se construye, el estrato impermeable se considera a 4 mts. de profundidad, además si la infiltración básica para el lavado de suelos debe ser mayor de 2.5 cm/día y no mayor de 15 cm/día, conviene considerar con un criterio conservador de que sea 5 cm/día, y que el nivel freático se encuentra a 0.5 mts. En base a estas suposiciones se evalúan la capacidad natural del drenaje con cualquiera de las fórmulas del reglón establecido ó como propone el Dr. Palacios utilizan de la fórmula Avervanov.

$$D = 2.11 \sqrt{\frac{k}{q} \left(1 + \frac{2t}{H} \right)}$$

$$q = 0.05 \text{ m/día.}$$

$$H = 1.5 \text{ m.}$$

$$t = 2.0 \text{ m.}$$

El número de Drenos necesarios es :

$$N = \frac{I_s}{I_{Dn}}$$

El número de Drenos hipotéticos existentes:

$$H = \frac{L}{I_c}$$

El número de Drenos complementarios:

$$C = \frac{I_s}{I_c}$$

$$C = n - D$$

$$\frac{L}{I_c} = \frac{L}{I_{Dn}} + \frac{I_s}{I_c}$$

$$\frac{1}{I_c} = \frac{I_s + I_{Dn}}{I_{Dn} I_c}$$

$$D_e = \frac{D_n D_o}{PS - CC}$$

$$D_n^2 = \frac{4 H^2 K}{q} \left(1 + \frac{2t}{H} \right)$$

$$\frac{D_n^2}{4K} = \frac{H^2}{q} \left(1 + \frac{2t}{H} \right) = \frac{H^2}{q} \left(\frac{H + 2t}{H} \right)$$

$$D_n^2 = \frac{H}{q} (H + 2t)$$

$$\frac{D_n^2}{4K} = \frac{2 th}{q} \left(\frac{H + 2t}{2t} \right) = \frac{2 th}{q} \left(\frac{H}{2t} + 1 \right)$$

$$\frac{B_n^2}{4KE} = \frac{2H}{q} \left(\frac{H}{2t} + 1 \right) = A_n$$

$$A_n = \frac{2 \times 1.5}{0.05} \left(\frac{1.5}{2 \times 2} + 1 \right) = \frac{3.0}{0.05} \left(\frac{1.5}{4} + 1 \right)$$

$$A_n = 60 (0.375 + 1) = 82.5 \approx 80$$

Si para el cálculo de la red existente en un suelo suponemos un régimen no establecido el Dr. Klacios propone el uso de la fórmula de Avervanov.

$$B_o^2 = \frac{4KT \rho t}{t H}$$

$$\text{donde: } \rho = \frac{h}{H_o}$$

$$H = (PS - CC) D_o$$

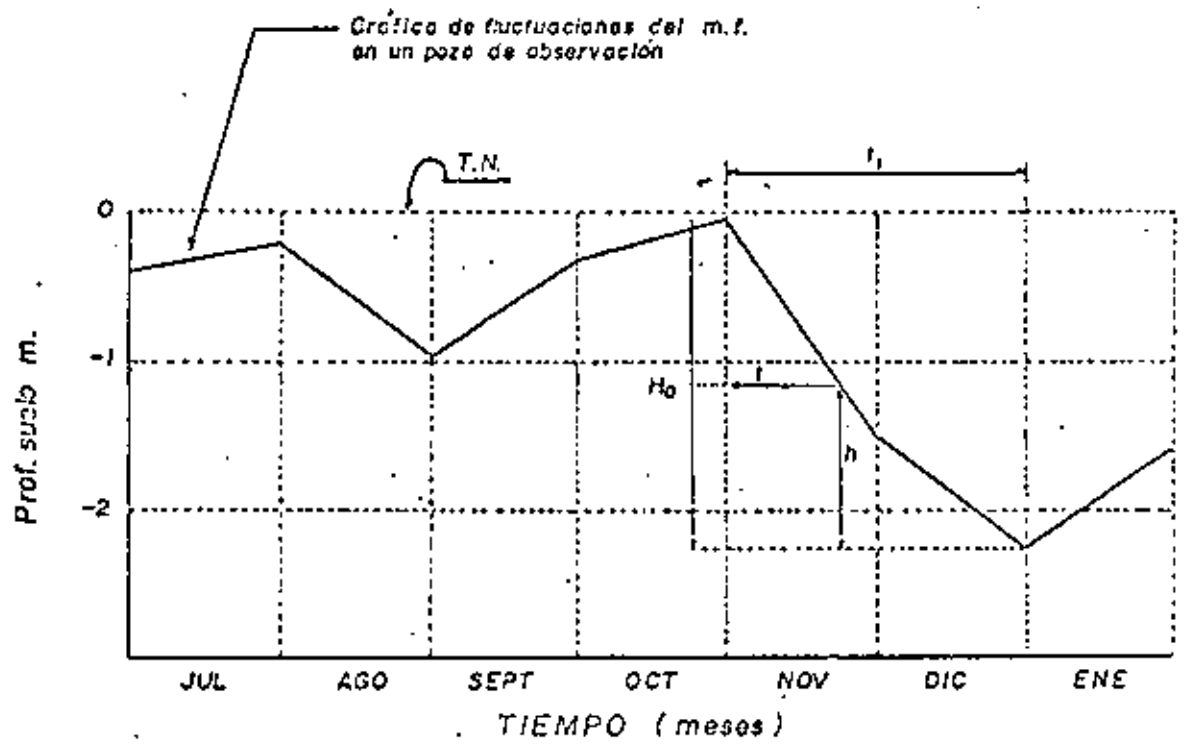
Si tenemos que:

$$A_o = \frac{B_o^2}{4 K T \rho} = \frac{t}{H_o}$$

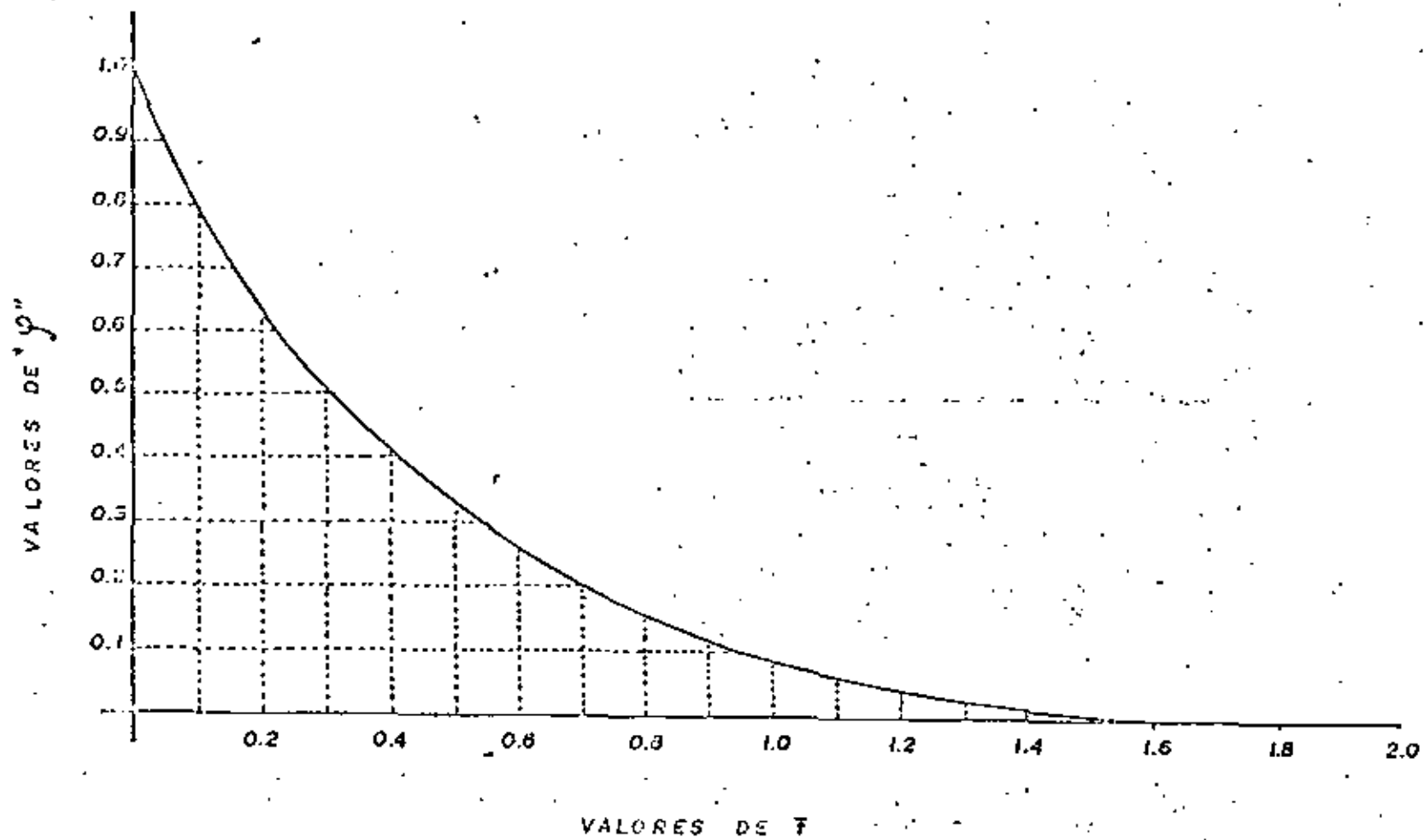
Si tenemos que:

$$D_o = \sqrt{A_o 4 K T \rho}$$

$$D_o = \sqrt{A_n 4 K T \rho}$$



GRÁFICA DE ELEVACIONES DEL MANTO FREÁTICO



GRAFICA PARA DETERMINAR "T"

$$D_o = \frac{121 D_o}{D_o - 121}$$

$$B_c = \frac{\sqrt{\lambda_n} \cdot 4 K T \alpha \sqrt{\lambda_o} \cdot 4 K T \alpha}{\sqrt{\lambda_o} \cdot 4 K T \alpha \sqrt{\lambda_n} \cdot 4 K T \alpha}$$

$$n_c = \frac{\sqrt{\lambda_n} \cdot \lambda_o (4 K T \alpha)}{\sqrt{4 K T \alpha} (\lambda_o - \lambda_n)} = \frac{\sqrt{\lambda_n} \cdot \lambda_o \sqrt{4 K T \alpha}}{\sqrt{\lambda_o} - \sqrt{\lambda_n}}$$

$$B_c = \frac{9 \sqrt{\lambda_o} \sqrt{4 K T \alpha}}{\sqrt{\lambda_o} - 9} = \frac{18 \sqrt{\lambda_o} K T}{\sqrt{\lambda_o} - 9} = \frac{18 \sqrt{2} \lambda_o K}{\sqrt{\lambda_o} - 9}$$

$$B_c = \frac{25 \sqrt{\lambda_o} K}{\sqrt{\lambda_o} - 9}$$

3.3.- Ejemplo de cálculo de separación de trenes.

Altura de Observación 50 cms.

$$D^1 = 175 \text{ cms.}$$

$$D = 125 \text{ cms.}$$

$$r = 5 \text{ cms.}$$

$$W^1 = 100 \text{ cms.}$$

$$W = 50 \text{ cms.}$$

$$S = 400 > \frac{H}{2}$$

$$H^1 = 75 \text{ cms.}$$

$$H = 75 \text{ cms.}$$

$$20 < H < 200$$

$$3 < r < 7$$

T (seg)	$Y_o t$	$Y_o t$	
0	103.0	2.2	$Y_o = Y - W = 103 - 50 = 53$
10	100.3	2.2	
20	99.0	1.8	$Y = Y_o - 1/2 \quad Y = 53 - \frac{13.1}{2}$
30	97.3	1.7	
40	95.9	1.4	$Y = 46.7 \text{ cms.}$
50	94.3	1.6	$Y > 0.2 H.$
60	92.0	1.5	
70	91.2	1.0	
80	89.9	1.3	$0.2 \times 75 = 15 < 46.7$
$Y_o t =$		13.1	13.1

$$K_1 = C \frac{\Delta Y}{\Delta t} = 8.7 \times \frac{13.1}{60} = 1.9 \text{ m/dia.}$$

D^o = 250
 V^o = 100
 H = 150

D = 200
 W = 50
 H = 150

r = 5 cms.
 S = 400 < 1.21.

T	y ⁱ	y _c
0	100.0	
10	154.3	5.7
20	148.9	5.4
30	143.7	5.2
40	138.4	5.0
50	133.3	5.1
60	128.0	5.3
	<u>126.7</u>	<u>126.7</u>

Y_c = 100 - 50 = 110
 Y = ≤ Y_t = 267
 Y = 100 - 13.3 = 96.7
 Y > 0.2 H
 96.7 > 26.

H = 150
 y = 96.7 } C₂ = 3.5

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{26.7}{60} = 0.44$$

P = Estrato = 120

P = 120 - 50 = 70

P = H₂ = 70

Y₂ = 96.7

$$C_o = \frac{4000 r^2}{(1330 - 70)(2 - y/H)y}$$

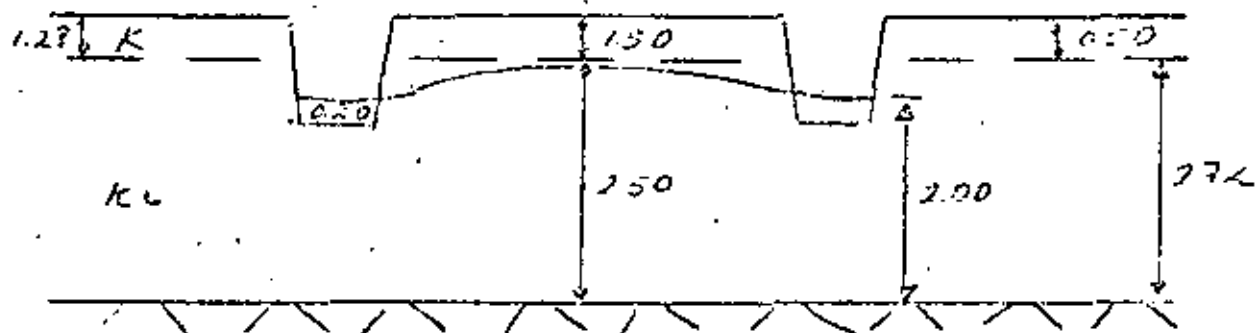
$$C_o = \frac{4000 \times 25}{(70 + 100)(2 - \frac{96.7}{150}) 96.7} = 7.2$$

$$K_2 = \frac{C_o (\frac{y}{t}) - K_1}{\frac{C_o}{C_2} - 1} = 11$$

$$K_2 = \frac{7.2 \times 0.44 - 1.4}{\frac{7.2}{3.5} - 1} = 2.2 \text{ m/dia.}$$

Calcular la separación entre drenes necesarios para abatir el nivel freático a 1.50 m. de profundidad, para un suelo en que el Nivel Freático se encuentra a 0.50 m. y la profundidad del estrato impermeable es de 4 m. Se ha observado que la recarga es de 1 cm/día y la profundidad en que se requiere el nivel freático es de 1.50 m. abajo de la superficie. De acuerdo a la maquinaria que se dispone, la topografía del lugar y la profundidad de la descarga vamos a construirla a 2.20 mts. de profundidad. El primer estrato se encuentra localizado a 1.20 mts. y el ancho del dren es de 0.40 m. y los tubos utilizados son de 4". Calcular la separación de drenes.

BOSETA DE DRENAR



$$q = 1 \text{ cm/día}$$

$$K_1 = 1.4 \text{ m/día}$$

$$K_2 = 2.2 \text{ m/día}$$

$$D_{v1} = 120 - 50 = 70$$

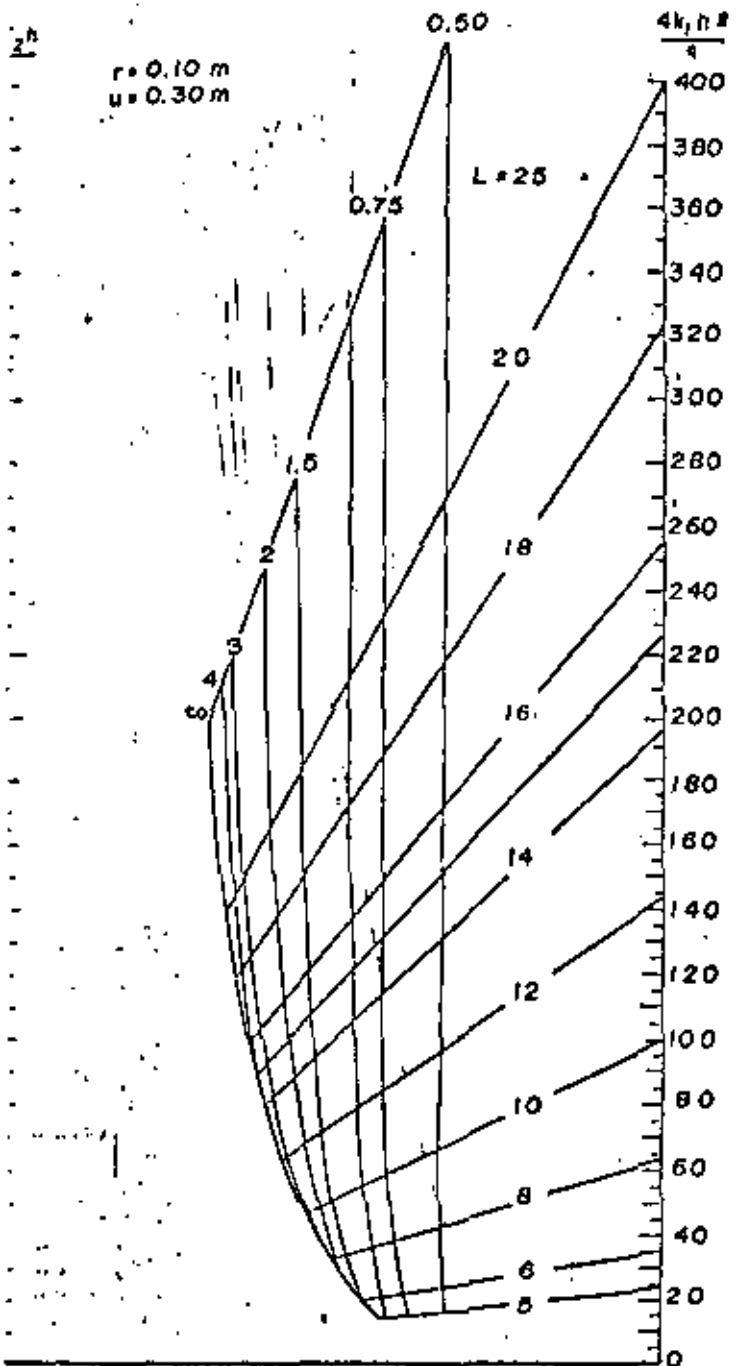
$$D_{v2} = 400 - 180 = 220$$

$$K = \frac{0.70 \times 1.4 + 2.70 \times 2.2}{350} = \frac{7.00}{350} = 2.00 \text{ m/día.}$$

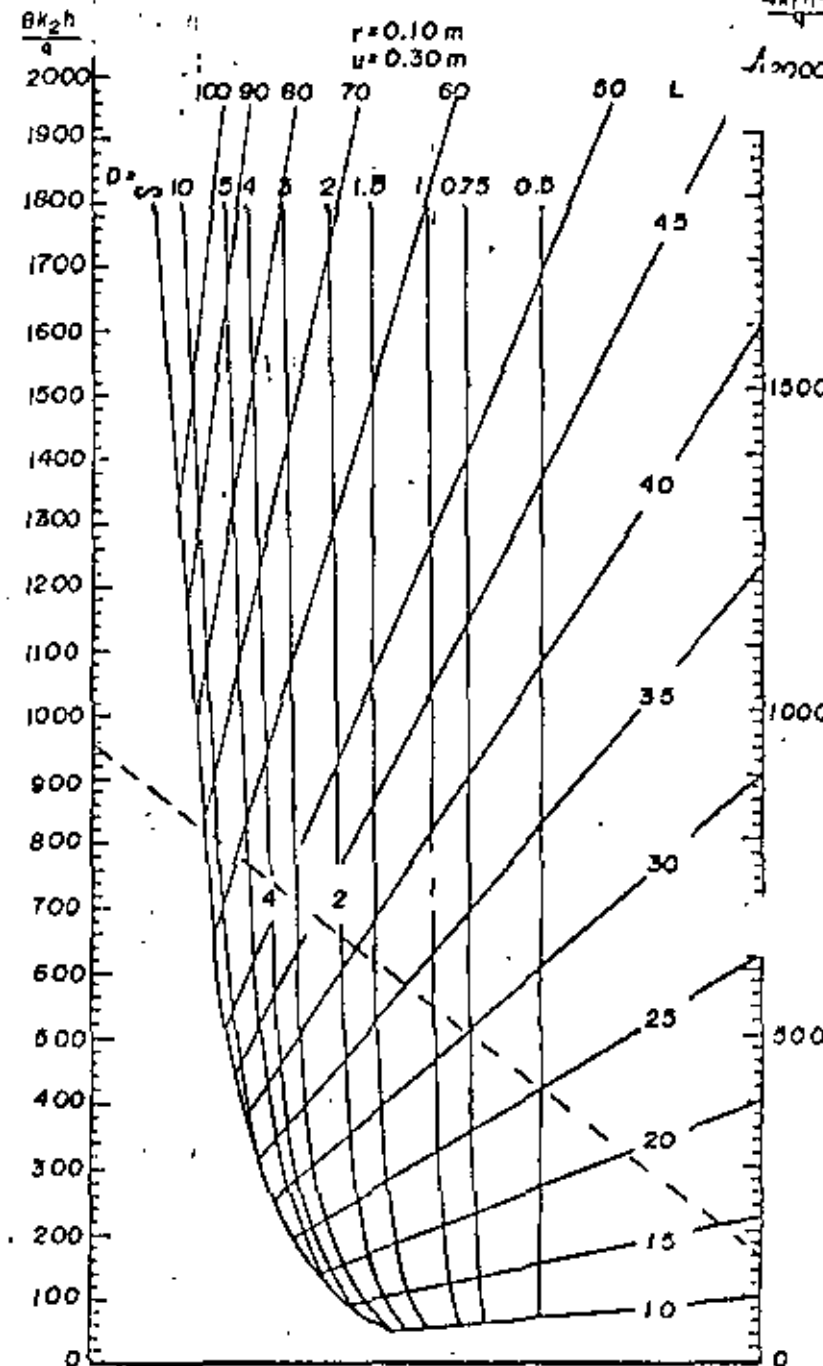
$$L^2 = \frac{4K(D_1^2 - D_2^2)}{q} = \frac{4 \times 2.00 (1.50^2 - 2.00^2)}{0.001}$$

$$L = 135 \text{ m.}$$

Graph Ia: L = 5 - 25 m



Graph Ib: L = 10 - 100 m



$\frac{8h}{q}$ (first number) and $\frac{4h^2}{q}$ (second number) for various h and q values

q in mm per day

i (meters)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.1	800-40	400-20	265-15	200-10	160-8	135-10	115-5	100-5	90-5	80-5
0.2	1600-160	800-80	530-55	400-40	320-32	265-30	230-25	200-20	150-20	160-15
0.3	2400-360	1200-160	800-120	600-90	480-70	400-60	345-50	300-45	270-40	240-35
0.4	3200-540	1600-320	1070-215	800-160	640-130	530-110	455-90	400-80	360-70	320-60
0.5	4000-720	2000-500	1340-335	1000-250	800-200	665-165	570-145	500-125	445-110	400-100
0.6	4800-1000	2400-720	1600-480	1200-360	960-270	800-240	685-205	600-180	535-160	480-145
0.7	5600-1360	2800-960	1850-650	1400-490	1120-390	930-320	800-280	700-245	620-215	560-175
0.8	6400-1840	3200-1280	2140-850	1600-640	1280-510	1070-425	915-365	800-320	710-265	640-205
0.9	7200-2320	3600-1620	2400-1080	1800-810	1440-630	1200-540	1030-460	900-405	800-370	720-275
1.0	8000-2800	4000-2000	2700-1330	2000-1000	1600-800	1330-665	1140-570	1000-500	890-445	800-345
1.1	8800-3280	4400-2420	2940-1600	2200-1210	1760-970	1460-805	1260-690	1100-605	990-535	880-405
1.2	9600-3760	4800-2880	3200-1920	2400-1440	1920-1150	1600-980	1370-820	1200-720	1080-640	960-475

Example: h = 0.5 m, q = 7 mm per day. $\frac{8h}{q} = 570$, $\frac{4h^2}{q} = 145$

FÓRMULA DE SCOPHOUT

$$L^2 = \frac{8 K_2 D_0 \Delta h}{q} + \frac{4 K_1 \Delta h^2}{q}$$

$$L^2 = \frac{8 \times 0.2 \times 2 \times 0.5}{0.001} + \frac{4 \times 1.4 \times (0.5)^2}{0.001}$$

$$L^2 = 17600 + 1401 = 19001$$

$$L = 138 \text{ m.}$$

Fórmula de Scophout con la teoría del estrato equivalente

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

$$L^2 = \frac{8 \times 0.2 \times 0.5 d}{0.001} + \frac{4 \times 1.4 \times (0.5)^2}{0.001}$$

$$L^2 = C_1 d + C_2$$

$$L^2 = 8000 d + 1401$$

C_1	C_2	$C_1 d$	L_c	L_B	D
8000	1401	16700	125	150	15
8000	1401	16032	124	140	6
8000	1401	15360	122	130	3

$$L = 139 \text{ m.}$$

FÓRMULA DE MENEST

$$\Delta h = \frac{q \Delta (h_V)}{2 \cdot (1.4)} + \frac{q \Delta z}{8 \Delta (1.3)} = q \Delta V$$

$$\Delta h = \Delta h_V + \Delta h_H + \Delta h_r$$

$$\Delta h_V = q \Delta \left(\frac{h_V}{K} \right) = 0.001 \left(\frac{0.70}{1.4} + \frac{2.72}{2.3} \right) =$$

$$\Delta h_V = 0.001 (0.56 + 1.24) = 0.001 (1.80) = 0.0018 \text{ m.}$$

$$\Delta h_H = \frac{q L^2}{8 \Delta (1.3)} = \frac{0.001 L^2}{8 (1.4 \times 0.70 + 2.72 \times 2.3)} = \frac{0.001 L^2}{8 (1.05 + 6.26)}$$

$$\Delta h_H = \frac{0.001 L^2}{7 \times 7.07} = 0.00001763 L^2$$

$$\Delta h_V = q L V = 0.001 L V$$

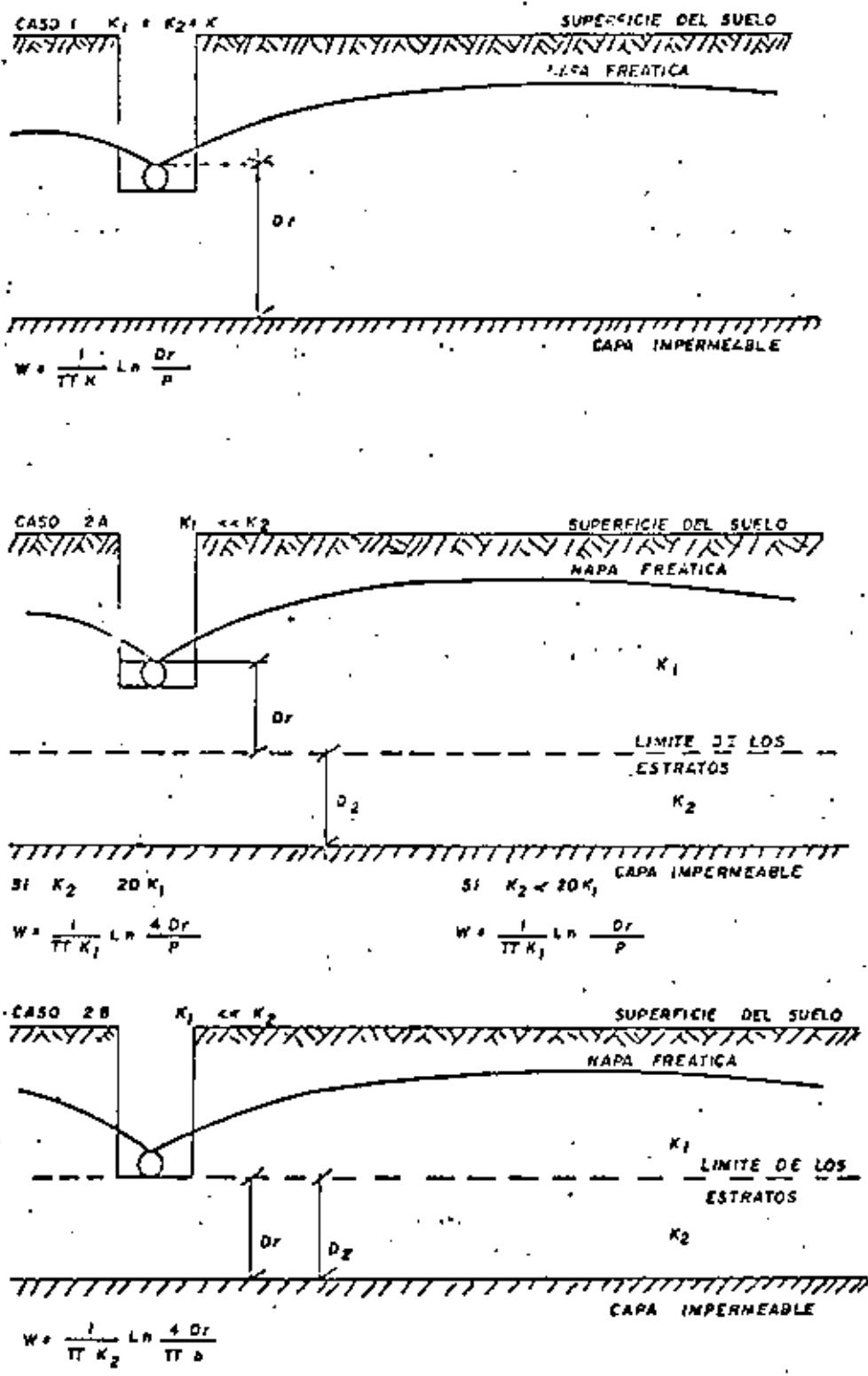
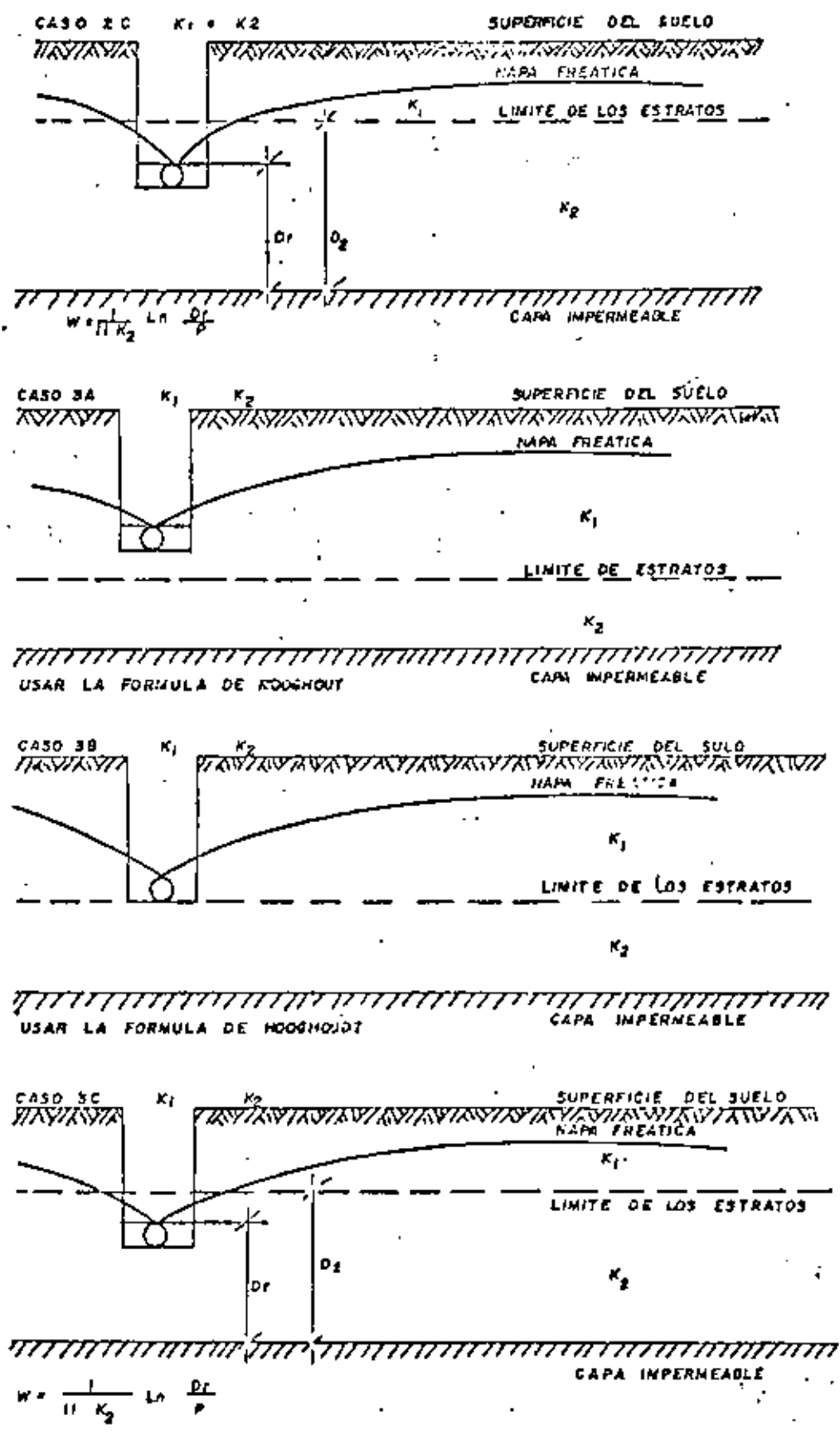
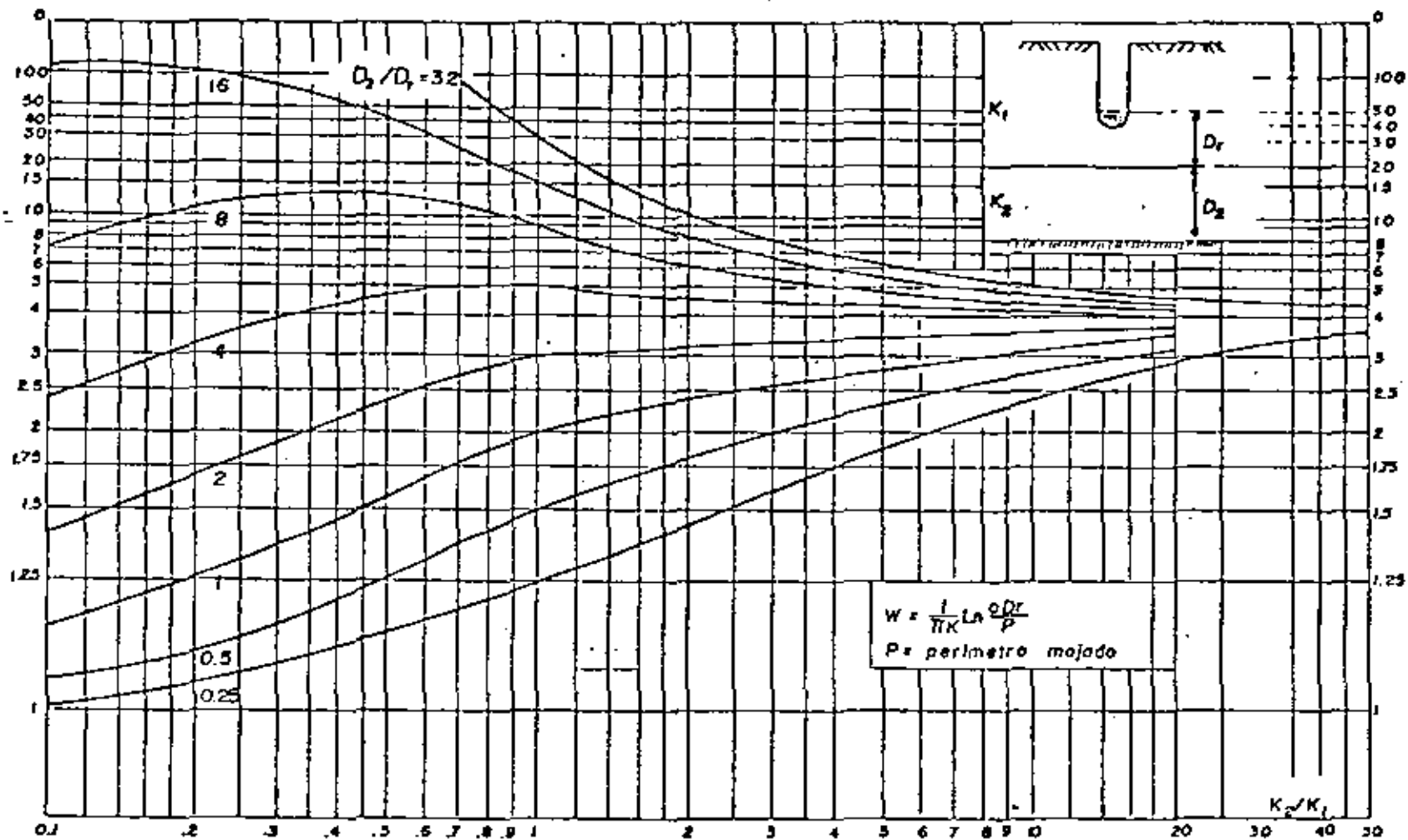


FIGURA 10 PARAMETROS DE LA RESISTENCIA RADIAL EN LOS DIFERENTES CASOS (Segun ERNST)





RESISTENCIA RADIAL (W) — Su valor debajo de los drenes consistente de dos estratos diferentes.

de la figura $K_1 < K_2$
 $D_2 > D_1$

$$W = \frac{1}{\pi r^2 L_2} I_{h1} \frac{D_1}{L} + \frac{1}{\pi r^2 L_2} I_{h1} \frac{D_2}{L}$$

$$W = \frac{1}{0.0015} I_{h1} 3.25 = 0.1545 \times 1.2 = 0.1735$$

$$P = b + 4r_0$$

$$P = 0.40 + 4 \times 0.05 = 0.40 + 0.20 = 0.60$$

$$4\Delta D_V = 0.001 \times 0.1735L = 0.0001735L$$

$$0.50 = 0.0015 + 0.0001735 L^2 + 0.0001735L$$

$$0 = 0.00001735 L^2 + 0.0001735 L - 0.4985$$

$$0 = 1.735 L^2 + 17.35 L - 49850$$

$$L = \frac{-17.35 \pm \sqrt{301.09 + 353337.04}}{3.47} = \frac{576.49}{3.47} = 166$$

$$L = 166 \text{ m.}$$

EQUACION DE SLOVER Y BOON.

$$L_2 = \frac{V \cdot T \cdot D \cdot T}{\pi \cdot K \cdot L \cdot D_1 \cdot D_2}$$

$$T = 3 \text{ dias.}$$

$$V = \frac{1}{1650} = \frac{0.02}{1650} = \frac{1.42}{1650} = 0.00142$$

$$D = D_0 + \frac{h_0 \times h_c}{L} = 2 + \frac{1.50 + 0.50}{L}$$

$$D = 2 + \frac{2.0}{L} = 2.5$$

$$L_2 = \frac{3.14 \times 3 \times 3.02 \times 3 \times 0.50}{0.00142 \cdot \ln \left(\frac{2.1}{2.5} \right)}$$

$$L = \frac{105102.25}{1.24} = 84832.45$$

$$L = 297 \text{ m.}$$

La ecuación de Glover y Doolittle con la teoría del estrato equivalente:

$$D = d + \frac{h_1 + h_0}{2} = d + 0.50$$

L	C	do	D	L ² = CO	I	D
300	33032.98	0.99	1.49	5056014	225	76
250	33032.98	0.99	1.49	5056014	225	25
225	33032.98	0.99	1.49	5056014	225	0

$$C = \sqrt{\frac{2.77 R T}{I_n (1.46 \frac{h_0}{ut})}}$$

4.- DISEÑO DE DRENAJE PARA LUNTO

4.1.- Espaciamiento.

Actualmente existen muchas fórmulas y criterios, para determinar el espaciamiento de drenes, deducidos por científicos de diversos países. Cada fórmula es aplicable según las condiciones que son definidas según el esquema, de tal manera el criterio para seleccionar la fórmula a utilizar se debe considerar:

1o.- Definir el esquema considerando la fuente y el sentido de alimentación del nivel freático, así como la estratificación del suelo y la localización del estrato impermeable.

2o.- Separación de diseño. Por la inseguridad del cálculo y de los parámetros que involucran las fórmulas se recomienda localizarse de manera que intercepten las corrientes y al doble de separaciones.

5.- INDICIOS QUE DEBE CUMPLIR.

a).- Debe estar en dirección normal al flujo para que los drenes funcionen más eficientemente.

b).- No estar localizados cerca de canales ó acequias de riego.

c).- que no pasen sobre construcciones existentes.

d).- Fortificar lo menos posible los cultivos perennes.

e).- que topográficamente sea factible construirse.

- f).- que tenga el menor número de cambios de dirección en planta y perfil ya que éstos pueden ocasionar azolves y disminuir la vida útil del drenaje.
- g).- seleccionar el tipo de diseño que contenga las líneas más cortas para hacer más económico el drenaje.
- h).- Prácticamente se ha visto que el tubo de 4" Ø, es suficiente ya que los pastos ahorrados en una longitud de 300 m. de 1 a 3 l.p.s. en drenes de 600 m. de largo, los pastos ahorrados han sido de 5 l.p.s.
- i).- La profundidad mínima es de 2 m. y la máxima de 3 m. para que el drenaje no sea deteriorado con los implementos comunes de labranza.
- j).- Las pendientes recomendadas fluctúan de 0.003 - 0.006.

5.1.- Estructuras Complementarias.

- a).- Registros.
- b).- Estructuras de descarga.

Los registros tienen como finalidad poder revisar el funcionamiento del drenaje y su conservación, se pueden utilizar como puntos de pendiente utilizando estas estructuras como caídas ó cámara de azolve.

5.1.1.- Localizaciones para la localización.-

- a).- dónde convergen 2 ó más drenes.
- b).- dónde los drenes se encuentran a diferentes elevaciones.
- c).- en cambios de dirección en planta ó perfil.
- d).- en los trayectos debe localizarse en tramos de 200 a 300 mts. máximo.
- e).- deben sobresalir de la superficie del terreno unos 50 cms. ó estar por lo menos 75 cms. enterrado.

5.2.- Estructuras de Mantenimiento.-

- a).- Proteger la descarga con malla metálica para evitar la erosión.
- b).- Colocar rejillas para evitar la entrada de animales.

- c).- Colocar tapaderas si la descarga se abren, evitando así la introducción de basuras y sedimentos. Estas estructuras son útiles cuando se descarga en arroyos y desfogues.

6.- TIPO Y MATERIALES DE LOS TUBOS Y SUS ESPECIFICACIONES.

Los materiales más usados para fabricar tubos de drenaje son: la Arcilla, el Concreto y el Plástico Polivinílico (PVC).

6.1.- Tubos de Arcilla.

Hasta hace algún tiempo éstos han sido los más comúnmente usados en la mayoría de los países, pero actualmente están siendo desplazados por el uso de tubos de plástico. La producción de los tubos de arcilla se originó en Inglaterra, por lo que sus dimensiones están dadas en unidades del sistema inglés, son de un pie de longitud y se fabrican de 5-6-3-10 y 15 cms. Tienen la ventaja de ser alineados con facilidad en suelos sueltos y se puede colocar el material filtrante a su alrededor.

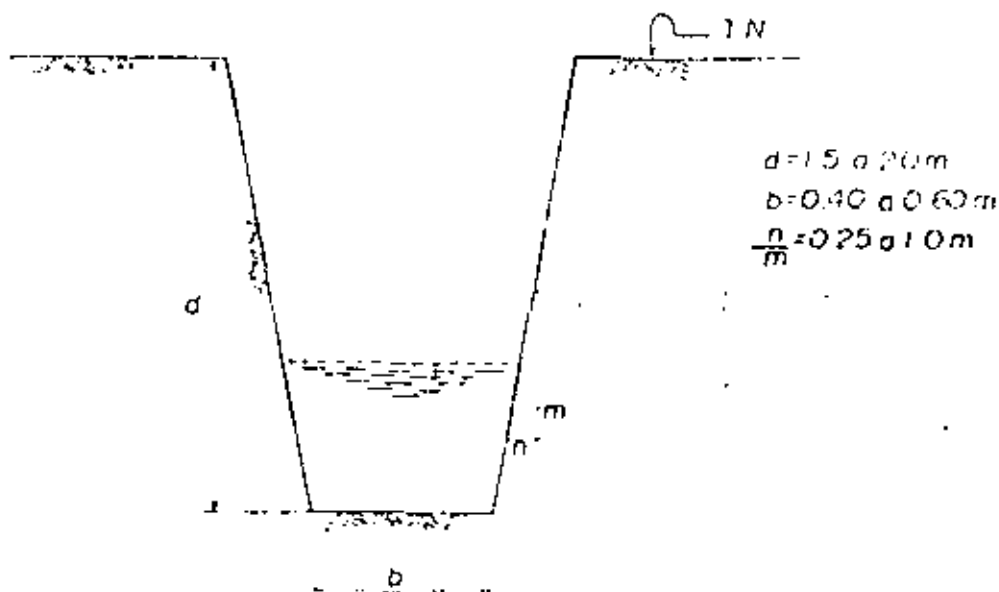
6.2.- Tubos de Concreto.-

Se manufacturan en forma de dimensiones similares a los de arcilla y algunos mayores. Se fabrican con determinadas especificaciones, tales como un límite al esfuerzo a la ruptura, resistencia a los ácidos y sulfatos contenidos en los suelos y los mismos requerimientos que para los tubos de arcilla. Tanto en los tubos de concreto como los de arcilla la entrada del agua ocurre a través de las juntas entre los tubos. El agua que fluye por los poros de las paredes de los tubos es prácticamente insignificante.

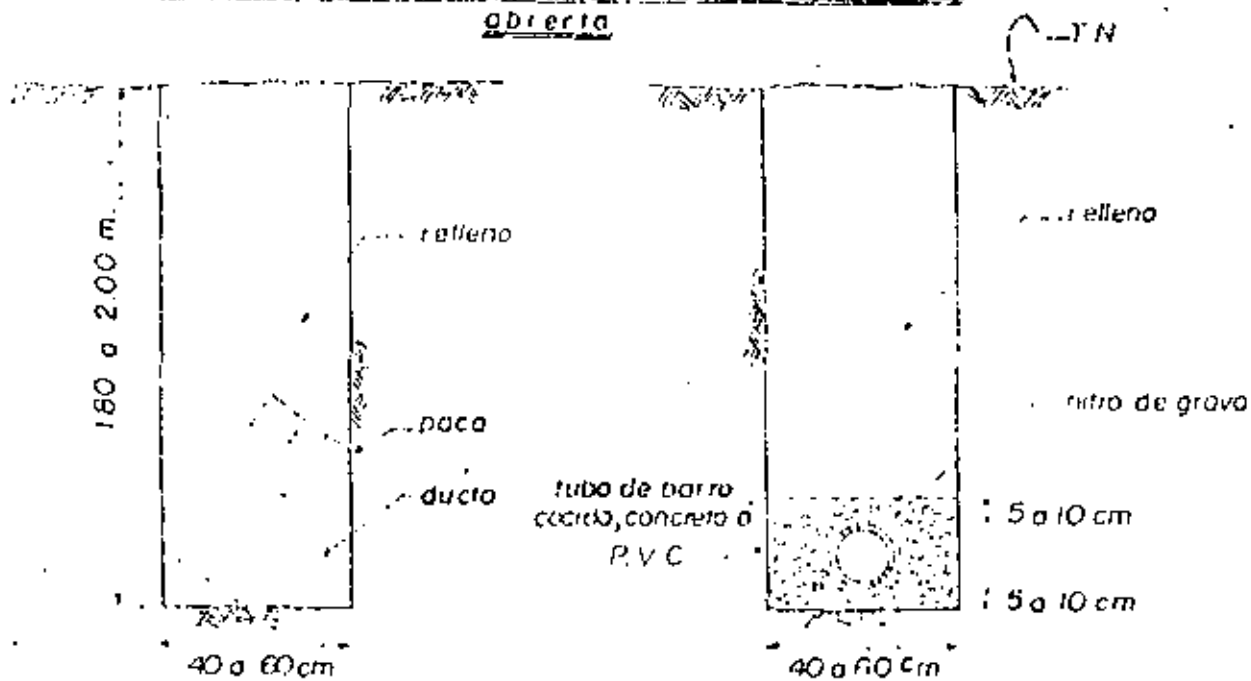
6.3.- Tubos de Plástico.-

En los últimos años se ha difundido el uso de tubería de plástico para drenaje y sigue incrementándose en muchos países, esto se explica por las grandes ventajas que presenta el uso de este tubo en comparación con los tubos de arcilla y concreto y que pueden resumirse como sigue:

- a).- Bajo costo de transporte.



a - Sección transversal de un dren parcelario a cielo abierta



b - Dren parcelario con paja de trigo

c - Dren parcelario entubado



d - Descarga de un dren parcelario a un dren de apoyo

- b).- Grandes posibilidades para colocación mecanizada y pocos requerimientos en la operación del sistema de drenaje.
- c).- La misma tipo de máquina que se usa para colocar tubos de arcilla, puede, con simples ajustes, ser usado para el tendido de los tubos de plástico. Los tubos para varios cientos de metros de líneas pueden ser almacenados en las propias máquinas.
- d).- La línea de drenaje de plásticos, consiste en un tubo continuo, condición que lo hace ser poco susceptible a fallas.

Las especificaciones de estos tubos son: fabricados de cloruro de polivinilo (PVC) rígido, se hacen de 50 cm. 60 cm. y 70 cm. de diámetro, con espesores mínimos de 0.3 cm. respectivamente, el peso por metro lineal de tubo es de 150 gr. 220 gr. y 500 gr. están perforados longitudinalmente para permitir la entrada de agua, las ranuras se hacen con cortes de sierra, la longitud de los tubos es de 6 m. ensachados equidistantemente al final de cada uno para permitir una conexión herética entre dos tubos, a manera de nudo campana.

7.- MATERIAL FILTRANTE.

La colocación de materiales filtrantes en las líneas de drenaje subterráneo tienen como objeto: uno, prevenir el ensalvamiento — del dren por partículas del suelo que se introduzcan y otro, el de facilitar el flujo de agua a través de las entradas abiertas en los tubos de drenaje. Los materiales filtrantes pueden ser divididos en dos clases:

7.1.- Los que requieren grandes volúmenes de aplicación, colocándose alrededor de los drenes, esparcidos como materiales de relleno ó desperdicio; por esta razón se prefiere que sean materiales disponibles en la región para abaratar su flete. Entre estos materiales están los siguientes:

Grava: se usa especialmente como terraplén material permeable y en algunos casos se combina con un sistema de drenaje con tubos; como este material es pesado, su flete es alto por lo que su aplicación eleva mucho el costo de los sistemas de drenaje.

Cama de paja turlesa: este material es muy usado en Holanda, actualmente es el único material utilizado en este país.

Corteza de árboles: se usa este material cuando hay disponibilidad local.

7.2.- Materiales filtrantes especialmente manufacturados, casi siempre presen forma de hojas o tapetes, suministrados en rollos se puede lograr una buena cobertura alrededor del tubo con la utilización de poco volumen de este material. Al mismo tiempo la utilización de ese tipo de hojas o tapetes, abarata la mano de obra para su colocación. Entre los materiales de este tipo están los siguientes:

Hojas delgadas de fibra de vidrio, material que no ha dado muy buenos resultados.

Tapetes de Lana de vidrio.

Tapetes de Paja turlesa.

Tapetes ó Cubiertas de Lino.

8.- CONSERVACION.

Debido a la diferencia de gastos y por consiguiente la velocidad dentro de la temporada de lluvias o riegos, las partículas del suelo que penetran a la tubería no pueden salir, precipitándose dentro de ella y en ocasiones se consolidan formando definitivamente la tubería.

8.1.- Especificaciones.-

a).- No sembrar cultivos con sistema radicular profundo en una franja de 5 m. de cada lado del dren.

b).- Desazolver los registros una vez al año despues de la temporada de riego.

- e).- Inyectar agua a presión cuando se note acumulación de azúcares en la tubería.
- d).- Desazúcar inmediatamente después de notarse te, cuando te, cuando te.
- 6).- Retirar las plantas que se desarrollen en la salida del drenaje.
- f).- Extraer las raíces que se han introducido en la tubería.

9.- DRENES TOPO.

Son canales o ductos subterráneos sin revestir, formados con un ardo de topo sin abrir una trinchera ó canal. Es atractivo porque tienen un bajo costo de instalación comparado con los otros drenes parcelarios.

El agua llega a los ductos o "topos" principalmente por las fisuras o grietas que han sido forzadas durante la operación de éste drenaje. Son susceptibles los "topos" de una rápida deterioración y su duración depende de:

- 1).- Propiedades del suelo (estabilidad)
- 2.- Condiciones de humedad durante su construcción.
- 3).- Condiciones de humedad durante su funcionamiento. (prolongada inundación de ellos provoca un rápido derrumbe).
- 4).- Velocidad del agua en los "topos" (altas velocidades ocasionan erosión y derrumbe).

Normalmente cada zona o región deberá sacar sus propias experiencias ya que por el momento existen pocas normas de construcción. El Sr. Pálacios, en sus apuntes sobre drenaje menciona la técnica de ASTANOV, para determinar la factibilidad de los drenes "topo", en determinadas condiciones de suelos, aunque como ya se mencionó es conveniente probarlo en cada zona de interés en lo que respecta a profundidades, espaciamientos, diversos tipos de suelos y contenidos de humedad, etc.

9.1.- Diseño.

Los drenes topo deben descargar en drenes abiertos (colectores parcelarios), y para proteger la salida de obstrucciones por derrumbes se les puede colocar un tubo de unos 2 m. de longitud.

9.2.- Espaciamiento.-

Para lograr la formación de fisuras en el suelo, el espaciamiento comúnmente, es del orden de 2-6 m.

9.3.- Profundidad.-

Debe ser tal que proteja el suelo o "topo" contra los efectos de la sequía y peso de maquinaria pesada. Normalmente van de 0.40 a 0.80 m. de profundidad.

9.4.- Pendiente.-

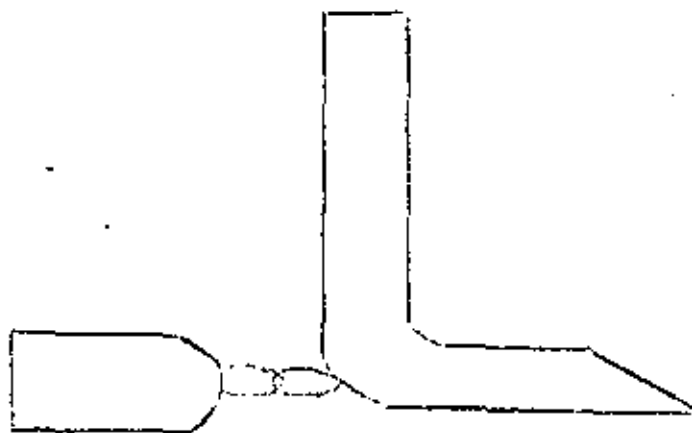
Se considera adecuada hasta 1 %.

9.5.- Longitud de los Topos.-

En condiciones favorables deberá ser de 200 mts.

9.6.- Construcción.-

Existe una amplia gama de arados-topo, pero en general el "topo" ó "Torpedo" es un cono cilíndrico de 8-10-15 cms. de diámetro.



10.- REDES PARA LA DRENAJE POR EL NIVEL BÁSICO O DE APOYO.

El drenaje básico ó de apoyo tiene la finalidad de evacuar en un período de tiempo tal que los excedentes de agua superficiales y el nivel freático a una profundidad tal que no causen problemas al suelo y a los cultivos. Además como su nombre lo indica se utilizará como apoyo de toda la red de drenaje secundario y terciario.

Los drenes colectores se trazan siguiendo los bajos topográficos ó cauces naturales y para integrar el resto de la red se localizan los drenes interceptores ó de alivio.

El drenaje interceptor cuando se encuentra apoyado sobre una capa impermeable, se considera que es un dren perfecto, en este caso si un solo dren es suficiente para captar el escurrimiento. Y el que no se encuentra apoyado sobre un estrato impermeable es un dren flotante y para este caso la separación se calcula con el siguiente criterio:

Los drenes interceptores se utilizan cuando la fuente de recarga es externa y para su análisis matemático se utiliza el realizado por Glover y presentado por Roman, de acuerdo a la Ley de Darcy:

$$q = K \cdot H \cdot S \quad - - - - (1)$$

q = Gasto Unitario (m³/día/m.)

K = Conductividad Hidráulica (m./día)

H = Espesor del acuífero sobre el estrato impermeable (m.)

S = tang = pendiente del Nivel Práctico.

Cuando se construyen los drenes interceptores, tenemos que:

$$q = K \cdot Y \left(S + \frac{dy}{dx} \right) - - - (2)$$

Y = Espesor del acuífero a una distancia X del dren interceptor (m.)

$\frac{dy}{dx}$ = Pendiente del Nivel Práctico a una distancia X del dren interceptor.

$$H \cdot S = \frac{q}{K} \quad - - - (1)$$

$$\frac{q}{K} = Y \left(S + \frac{dy}{dx} \right) - - - (2)$$

$$H \cdot S = Y \left(S + \frac{dy}{dx} \right) - - - (3)$$

$$H \cdot S = YS + Y \frac{dy}{dx}$$

$$(H-Y) S = Y \frac{dy}{dx}$$

$$\frac{Y}{H-Y} \frac{dy}{dx} = S$$

Integrando

$$Sx = -y - M \ln(x - y) + c \quad (4)$$

dado los límites

$$x = 0 \quad y = h \quad (5)$$

$$C = h + M \ln(H - h) \quad (6)$$

$$Sy = -y - M \ln(x - y) + h + M \ln(H - h)$$

$$Sx = (h - y) + M \ln\left(\frac{H - h}{x - y}\right)$$

$$Y = 1/3 \quad H \ln\left(\frac{H - h}{x - y}\right) + (h - y) \quad (6)$$

Si suponemos que:

$$h = a H \quad (7)$$

$$Y_{\max} = b H \quad (8)$$

Y_{\max} = Espesor máximo tolerable del tanto freático (n)

X^* = distancia de influencia del dren.

$$X^* = 1/3 \left[H \left(\ln \frac{H - aH}{x - bH} \right) + (aH - bH) \right]$$

$$X^* = \frac{H}{3} \left[\ln \frac{H - aH}{H - bH} + (a - b) \right] \quad (9)$$

A veces se acepta que aguas abajo del dren interceptor, el nivel freático tendrá la misma pendiente que la que tenía antes de la existencia del dren para el nivel del agua en el dren interceptor.

La deducción anterior se basa en que el suelo es homogéneo e isotrópico, que la recarga es permanente y el flujo es horizontal.

Cuando el flujo radial es importante, es muy probable que el nivel y la pendiente de la capa freática aguas abajo del dren interceptor no sea verdaderamente disminuida como el nivel de agua en el dren.

Además cuando cambian las características del acuífero, como el gradiente la conductividad hidráulica ó la profundidad, también serán diferentes el nivel y la pendiente de la capa freática.

Por estas razones se puede decir que el procedimiento anterior - es una estimación del espaciamiento de drenes. Pero en general - se puede decir que este no es muy efectivo cuando el estrato impermeable es muy profundo.

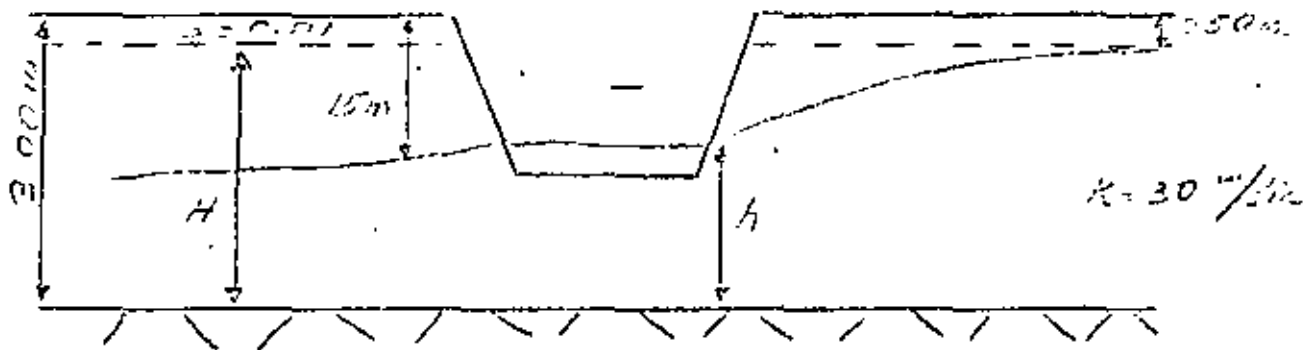
Para disminuir la influencia del flujo radial alrededor del dren se recomienda construir el dren ancho y profundo.

Para el cálculo de la capacidad del dren se debe conocer el gasto que capta el acuífero,

$$q_l = q \frac{H - h}{H}$$

q_l = Gasto interceptado por unidad de ancho del acuífero m³/día/m.

Ejemplo:



¿ A que profundidad debe ser mantenido el nivel del agua en los drenes y cual será el gasto de descarga de los drenes, cuando el nivel freático se encuentre a 1.50 m. de profundidad ?

$$H = 3.00 - 0.50 = 2.50 \text{ m.}$$

$$h = 3.00 - 1.50 = 1.50 \text{ m.}$$

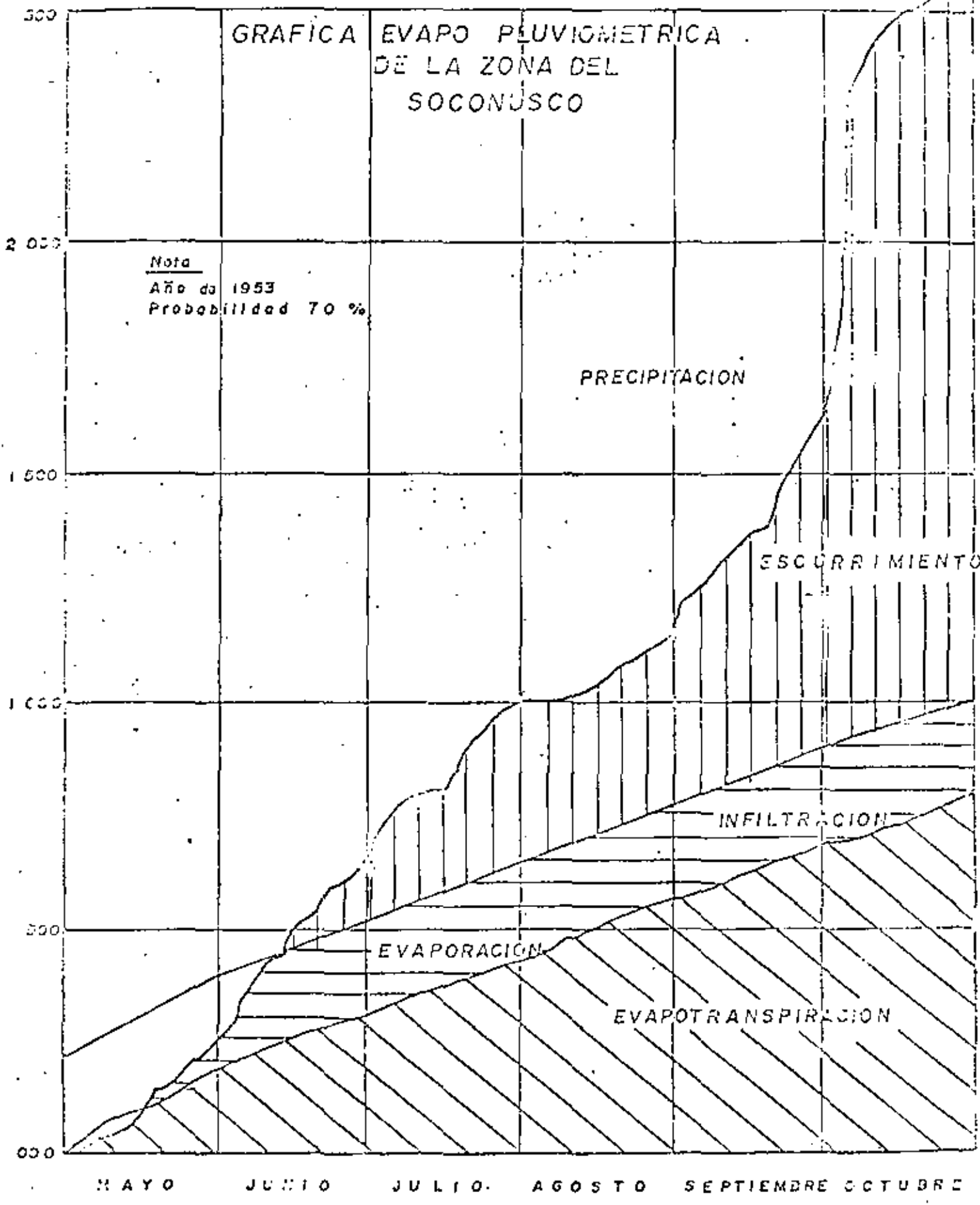
$$q = K H S = 30 \times 2.50 \times 0.01 = 0.75 \text{ m}^3/\text{día.}$$

$$q_l = q \frac{H - h}{H} = 0.75 \frac{2.50 - 1.50}{2.50} = 0.30 \text{ m}^3/\text{día.}$$

Si suponemos que el área de recarga tiene un largo de 1500 m. la descarga total del dren interceptor será:

$$Q = q_l \times L = 0.30 \times 1500 = 450 \text{ m}^3/\text{día.}$$

GRAFICA EVAPO PLUVIOMETRICA DE LA ZONA DEL SOCONUSCO





DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO DENOMINADO "RIEGO Y DRENAJE" PARA PERSONAL PROFESIONAL DE LA SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.
DEL 16 AL 27 DE JUNIO DE 1980.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
1. ALVAREZ ROMO JORGE RAFAEL Mier y Pesado No. 137-32 Col. del Valle, México. tel: 523-24-83	DIRECCION GENERAL DE GRANDE IRRIGACION. S.A.R.H. JEFE DEL DEPTO. ANALISIS -- AGROECONOMICOS. Reforma 35-10 México, Z.P. 1 tel: 535-82-24
2. ARROYO OSEGUERA JOSE Bahía de todos los Santos # 175-6A Col. Anzures, Cd. México, D.F., z.p. 17	S. A. R. H. PROYECTISTA Reforma No. 45-10 Col. Centro, Cd. México, D.F. tel: 592- 01- 08
3. AVALOS GUTIERREZ CLAUDIO Sur 81-A No. 353-10 Col. Lorenzo Boturini, México. tel: 552-34-43	ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES. CUAUTITLAN, UNAM. Km. 11 Carr. Cuautitlán-Teoloyucan. Cd. Cuautitlán Izcalli, México. tel: 3-09-84
4. BERLANGA OCHOA J. HUMBERTO Encino Grande 72-3 Col. Tetelpan. México 20, D.F. tel: 595-50-18	DIR. GRAL. DE GRANDE IRRIGACION. S.A.R.H. Jefe de la Unidad de Organización Métodos y Programación de Grande Irrigación. Reforma 69-5° piso, Col. Centro. Méx. D.F.. z.p. 1 tel; 591-05-51
5. BOBADILLA GIL ELIAS Leandro Valle, Sector 3 Sur No. 37 Texcoco.	S. A. R. H. Auxiliar de la Jefatura.
6. CABRERA GOMEZ JOSE MANUEL Loma Bonita, No. 407 Col. Arquitos, Cd. Querétaro, Qro.	S. A. R. H. Auxiliar de Residente Colón No. 2, Int. 2 Cd. Querétaro, Qro.

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO DENOMINADO "RIEGO Y DRENAJE" PARA PERSONAL PROFESIONAL DE LA SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.
DEL 16 AL 27 DE JUNIO DE 1980.

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | | |
|-----|---|--|
| 7. | CALDERON PACHECO ROGER HECTOR
Jade 28.
Col. Estrella,
México 14, D.F.
tel: 517-40-20 | S. A. R. H.
(SUBDIRECCION ESTUDIOS ESPECIFICOS)
Proyectista.
Plaza República No. 31,
Col. Tabacalera, D.F.
Z.P. 1:
tel: 535-30-16 |
| 8. | CASTILLEJOS SANCHEZ ARMANDO
Nopolztca No. 60-506
Col. Anáhuac
México, D.F.
tel; 584-72-01 | C. P. N. A.
General de Planeación Regional
Col. Roma
México, 7 D.F.
tel: 584-72-01 |
| 9. | CASTILLO MANZANO LUIS SERGIO
Valle del Rhin 27-3
Col. U. Valle de Aragón,
Cd. Netzahualcōyotl
Edo. de México. | S. A. R. H.
Plaza de la República 31-1° piso
Col. Tabacalera.
México 1, D.F.
tel: 546-43-62 |
| 10. | CERVERA CASTRO HERNAN J.
16 de Septiembre No. 8
Col. Tepexpan
Edo. de México. | S. A. R. H.
Av. Reforma No. 45, 9° piso
Col. Tabacalera.
México 4, D.F.
tel: 535-29-61 |
| 11. | CISNEROS SOLANO VICTOR MANUEL
Oriente 245 No. 369
Col. Agrícola Oriental
México 9, D.F.
tel: 558-08-87 | ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES, CUAUTITLAN.
UNAM. (CAMPO 4).
Km. 11 Carr. Cuautitlán-Teoloyucan
Cd. Cuautitlán Izcalli,
México.
tel: 3-09-84 |
| 12. | CRUZ MARTINEZ EFRAIN
Tlalpan No. 1215 A-8
Col. Portales
México 13, D.F. | S. A. R. H.
San Antonio Abad No. 32- piso 13
Col. Tránsito
México, D.F.
tel: 542-99-96 |

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO DENOMINADO "RIEGO Y DRENAJE" PARA PERSONAL PROFESIONAL DE LA SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.
DEL 16 AL 27 DE JUNIO DE 1980.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
13. CRUZ VALENCIA JONAS J. Jilotepéc, Edo. de México.	S. A. R. H. Guerrero No. 30
14. DIAZ SOSA ALVARO Puente de Peredo 10-2 Col. Centro México 1, D.F. tel: 512-11-36	S. A. R. H. Av. Sn. Antonio Abad No 34-13° piso México 1, D.F.
15. DUEÑAS BEDOLLA EUSEBIO Villa Olímpica, Edif. 4-101 México 22, D.F. tel: 568-18-71	JEFATURA DE ZONAS DE RIEGO Reforma 45-10 Col. Juárez México, D.F. tel: 592-01-08
16. FALCON HERRERA ADAN L. Cárdenas 725-A-3 Col. Portales México, D.F.	S. A. R. H. Reforma 45 México, D.F.
17. FLORES JUAREZ ALFREDO	
18. FLORES MUÑOZ JORGE Sierra Nevada 316. Col. Lomas Chapultepec México 10, D.F. tel: 520-00-88	S. A. R. H. Insurgentes Sur México, D.F.
19. GALLARDO LOPEZ CESAR.	
20. GARCIA DE LA TORRE LEOPOLDO Argentina 97-7 Col. Centro México 1, D.F.	ENEP CUAUTITLAN Km. 11 Carr. Cuautitlán-Teoloyucan Cd. Izcalli tel: 3-09-84
21. GOMEZ MONDRAGON HECTOR. ING. Fortuna 115 Col. Industrial México 14, D.F. tel: 577-50-39	S. A. R. H. Reforma 45-10° piso México, D.F. tel: 592-00-34

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO DENOMINADO "RIEGO Y DRENAJE" PARA PERSONAL PROFESIONAL DE LA SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.
DEL 16 AL 27 DE JUNIO DE 1980.

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | | |
|-----|---|---|
| 22. | GONZALEZ ARAGON ABELARDO
Av. Benjamín Franklin 99-101
Col. Condesa
México 11, D.F. | S. A. R. H.
D. GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA.
Av. San Bernabé 549
Col. San Jerónimo Lídice
México 20, D.F.
tel: 595-44-53 |
| 23. | HERNANDEZ BAZALDUA PABLO MANUEL
Calle 1325
Col. Del Parque
México 8, D.F.
tel: 768-12-02 | COMISION DEL PLAN NAL. HIDRAULICO
Tepic 40
Col. Roma
México 7, D.F.
tel: 574-17-50 |
| 24. | HERNANDEZ L. FRANCISCO JAVIER
Nicolás San Juan No. 20
Col. Del Valle
México 12, D.F.
tel: 543-31-23 | |
| 25. | JARDINES MORENO JOSE LUIS
Paseo de la Reforma 35-11° piso
Col. Tabacalera
México 1, D.F.
tel: 591-03-53 | S. A. R. H.
Paseo de la Reforma 35-11° piso
Col. Tabacalera
México 1, D.F.
tel: 591-03-53 |
| 26. | JIMENEZ VIRGEN ARNULFO
Jesús Carranza No. 15
Zumpango, Edo. de México.
tel: 701-94 | S. A. R. H.
Jesús Carranza No. 15
Zumpango, Edo. de México
tel: 701-94 |
| 27. | LOPEZ DIAZ ARMANDO
Av. Guerrero No. 30
Cd. Jilotepéc
México.
tel: 4-00-31 | S. A. R. H.
Av. Guerrero No. 30
Cd. Jilotepec
México
tel: 4-00-31 |
| 28. | LOPEZ FLOREZ J. JESUS
Dr. Lucio 103-801
Edif. B-10-1
Col. Doctores
México 7, D.F.
tel: 584-72-74 | C. P. N. H.
Tepic 40
Col. Roma
México 7, D.F.
tel: 584-72-74 |

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO DENOMINADO "RIEGO Y DRENAJE" PARA PERSONAL PROFESIONAL DE LA SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.
DEL 16 AL 27 de JUNIO DE 1980.

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
29. MARTINEZ RIVERA CARLOS FRANCISCO Chiapas No. 135, Depto. 703 Col. Roma Sur México 7, D.F.	DESARROLLO Y SISTEMAS S.A. Artemio del Valle Arizpe No. 16, 5° piso Col. del Valle México 12, D.F. tel: 536-86-00
30. MAYA SALAZAR MARIO Calle 23 B No. 22 Col. Guadalupe Proletaria México 14, D.F. tel: 392-78-53	ENEP-CUAUTITLAN-UNAM Col. Cuautitlán Izcalli Edo. de México
31. MENENDEZ ALVAREZ RAFAEL	
32. OROZCO JACINTO ROSENDO ROLANDO Av. 1545 No. 89 Col. Unidad Aragón México 14, D.F. tel: 794-51-24	INVENTARIO FORESTAL. S. A. R. H. Av. Progreso No. 5 Col. Coyohuacán México 21, D.F. tel: 554-82-98 ext. 27
33. PARRA TERRAZAS SAUL Leandro Valle, Sector 3 Sur Texcoco, Edo. de México.	S. A. R. H. Chiconautla, Edo. de México tel: 8-19-08
34. SALGADO PATIÑO JOSE LUIS Calle D. Federico Manz. 599 Lote 13 Col. Santa Ursula Coapa México 21, D.F. tel: 677-21-05	PLAN NACIONAL HIDRAULICO Tepic 40-1° piso Col. Roma México 7, D.F. tel: 564-51-07

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO DENOMINADO "RIEGO Y DRENAJE" PARA PERSONAL PROFESIONAL DE LA SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS"
DEL 16 AL 27 DE JUNIO DE 1980.

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | | |
|-----|---|---|
| 35. | PALOMARES HILTON ROLANDO
Cda. de Presa No. 4
Col. San Jerónimo
México 20, D.F.
tel; 595-08-91 | FABRICAS DE PAPEL DE SAN RAFAEL
Y ANEXAS.
Dom. Conocido en Progreso Industrial.
Municipio de Villa Nicolás Romero
Edo. de México.
tel: 91-594 30-322 |
| 36. | PEREZ GARCIA ANTONIO
Ex. hda. Galeana,
Zacatepec, Mor.
Col. Caleana.
Cd. Zacatepec
tel: 2-12-31 (Zacatepec)
2-06-65 (Cuautla) | DISTRITO DE RIEGO No. 16
S. A. R. H.
Ex Hda. Galeana,
Zacatepec, Mor.
Col. Galeana.
Cd. Zacatepec,
tel: 2-12-31 (Zacatepec)
2-06-65 (Cuautla) |
| 37. | PUGA CEH CESAR AUGUSTO
Horacio Nelson No. 65,
Depto. 101
Col. Moderna
México 13, D.F.
tel: 696-01-03 | S. A. R. H.
Col. Centro
Reforma 45-10° piso
México 1, D.F.
tel: 592-01-08 |
| 38. | RAMIREZ JIMENEZ GERARDO
Masagua 15-A
Col. Lindavista
México 14, D.F.
tel: 567-44-79 | S. A. R. H.
Paseo de la Reforma No. 35-10° piso
Col. Centro
México 1, D.F.
tel: 592-50-22 ext. 22 |
| 39. | RANGEL RODRIGUEZ POLICARPO
16 de Sept. No. 8
Tepexpan
Edo. de México | S. A. R. H.
Av. Reforma No. 51-9° piso
Col. Tabacalera
México 1, D.F.
tel: 592-00-78 |
| 40. | RENTERIA JURADO JAIME. ING.
Av. Guerrero No. 29
Jilotepéc, México.
tel: 4-00-31 | S. A. R. H.
DISTRITO DE RIEGO # 44
Av. Guerrero No. 30
Cd. Jilotepéc, México. |

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO DENOMINADO "RIEGO Y DRENAJE" PARA PERSONAL PROFESIONAL DE LA SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.
DEL 16 AL 27 DE JUNIO DE 1980.

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | | |
|-----|---|--|
| 41. | REYES QUIJADA CLARO
Ixtlahuaca, Edo. de Méx.
Col. Gustavo Baz
Cd. Ixtlahuaca
tel: 3-00-22 | S. A. R. H.
-JILOTEPEC, EDO. DE MEX.
Guerrero No. 30 |
| 42. | ROSA RICO JESUS ANTONIO DE LA
Ejército Nacional No. 500
Col. Burócrata
Cd. San Luis Potosí
Tel: 3-36-84 | S. A. R. H.
Mariano Otero 600-A
Cd. San Luis Potosí,
tel: 3-49-12 |
| 43. | SADA Y RAMOS GILBERTO MATEO
Retorno 21, de Lic. Genaro García
No. 8, Depto. 1
Col. Jardín Balbuena
México 9, D.F.
tel: 768-42-11 | S. A. R. H.
Av. San Bernabé 549
Col. San Jerónimo Lídice
México 20, D.F.
tel: 595-44-53 |
| 44. | TAMAYO PENNOCK SERGIO OCTAVIO. ING.
J. Año 1775 No. 6,
Col. Romero de Terreros
México 21, D.F.
tel: 554-80-19 | DIRECCION GRAL. DE CONSERVACION
DE SUELO Y AGUA.
Insurgentes Sur 540, 6° piso
México 7, D.F.
tel: 574-09-88 |
| 45. | TERRONES RINCON TERESITA DEL ROSARIO L.
Toussaint No. 28
Col. Coyoacán
México 21, D.F.
tel: 554-40-23 | DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y
ORDENACION ECOLOGICA:
San Bernabé No. 549
Col. San Jerónimo Lídice
México 20, D.F.
tel: 595-44-53 |
| 46. | TORRE DUEÑAS ESPERANZA ALICIA DE LA
Río Elba No. 47-3
Col. Cuauhtémoc
México 5, D.F.
tel: 553-74-67 | S. A. R. H.
Reforma 45-9° piso
México, D.F.
tel: 566-60-40 |

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO DENOMINADO "RIEGO Y DRENAJE" PARA PERSONAL PROFESIONAL DE LA SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS.
DEL 16 AL 27 DE JUNIO DE 1980.

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

- | | | |
|-----|--|--|
| 47. | VEGA PONCE GILBERTO. ING.
Cerrada Miguel Negrete 404
Cd. Texcoco
tel: 4-08-21 | S. A. R. H.
Chiconautla,
Edo. de México.
(Campamento el Huérfano)
tel: 8-19-08 |
| 48. | VOLANTIN ROBLES SERGIO
Calz. Ignacio Zaragoza No. 1010
Col. Pantitlán
México, Z.P. 09
tel: 558-04-39 | COMISION DEL PLAN NAL. HIDRAULICO
Tepic. No. 40
Col. Roma
-México 7, D.F.
tel: 584-72-74 |
| 49. | GONZALEZ A. XICOTENCATL. | |
| 50. | SOLIS PEÑA MARTIN AURELIO. | |