



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



VICEMINISTERIO DE DESARROLLO RURAL Y TIERRAS
DIRECCION GENERAL DE DESARROLLO RURAL
UNIDAD DE INFORMACION ESTUDIOS Y POLITICAS DE DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE

MANUAL TÉCNICO

CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE PRACTICAS PARA EL CONTROL DE LA EROSION HÍDRICA DE SUELOS

(CON ENFASIS EN ZONAS DE LLANURA)

Autor: Miguel Murillo Illanes
JEFE UNIDAD DE INFORMACIÓN ESTUDIOS Y
POLITICAS DE DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE

La Paz – Bolivia

Octubre - 2010

CONTENIDO

Contenido.....	i
Presentación.....	ii
Introducción.....	1
Condiciones de Humedad Antecedentes.....	1
Determinación de los números de combinaciones hidrológicas suelo – cobertura CN por medio de registros de precipitaciones y escurrimiento.....	3
Clasificación Hidrológica de Suelos.....	3
Clases de Uso y Tratamientos de Suelos.....	5
Clasificación.....	5
Complejos Hidrológicos Suelo - Cobertura.....	9
Determinación de los Complejos y CN.....	9
Forestaciones Masivas o Comerciales.....	10
Estimación de Escurrimiento Directo a Partir de la Precipitación.....	11
Desarrollo del Calculo.....	12
Aplicaciones y Ejemplos.....	21
Bibliografía.....	25

PRESENTACION

En los últimos años del siglo pasado, la humanidad, asumió un desafío, tomo el paradigma del desarrollo sostenible, para garantizar el bienestar de la población en armonioso desenvolvimiento con la naturaleza. En los principios del este nuevo siglo, el país, y muchos otros a nivel mundial, asumen también un nuevo paradigma, que es la soberanía alimentaria. Pero al mismo tiempo, el mercado mundial ante la crisis de los hidrocarburos (por escasez o elevados precios) inducen a los países desarrollados a optar por la producción agrícola para la obtención de combustibles (biocombustibles).

En tomo a este escenario, surgen posiciones encontradas a favor o en contra de la producción de biocombustibles, antes de atender a la seguridad y soberanía alimentaria. Además se discute sobre los impactos en la biodiversidad, en las sociedades y economías de países llamados en desarrollo.

En todo caso, las universidades están obligadas a desarrollar investigación y enseñar tecnologías con criterio social, económico, ambiental y financiero. En este proceso, es vital y estratégico para el ingeniero agrónomo y para el productor, comprender y asimilar que el aprovechamiento y manejo integral del suelo, agua y cobertura vegetal, resulta imprescindible para marcar la sostenibilidad de cualquier emprendimiento agroproductivo.

Por lo tanto, este trabajo fruto de una recopilación bibliográfica de fácil lectura y asimilación, brinda conceptos y conocimientos más que elementales sobre: La Ciencia del Suelo, la Pedología y la Edafología; y esta dirigido a todo estudiante interesado en profundizar y complementar sus conocimientos en las materias de Edafología, Física y química de suelos, Fertilidad de suelos, Manejo y conservación de suelos.

Miguel Murillo Illanes

1. INTRODUCCIÓN.-

Los recursos naturales renovables constituyen la fuente de ingreso de divisas más importante que posee toda zona, región y país, y su futuro depende de un empleo afinado, no solo en cuanto a la permanencia del recurso mismo, sino también en lo relativo al incremento de la producción - productividad, fundamental para el desarrollo de otros sectores básicos de la economía nacional.

En nuestro país existe actualmente una tendencia generalizada al reemplazo gradual de los sistemas productivos tradicionales por una agricultura continua. Ello puede explicarse en función de una mayor rentabilidad de la agricultura en períodos más cortos, demanda del mercado internacional y, en algunas zonas, a la subdivisión excesiva de los campos.

La agricultura permanente, tal como se practica actualmente en la mayor parte del país (y que difiere de la agricultura permanente "conservacionista") está destinada a exportar fertilidad, a deteriorar físicamente los suelos y ha provocado el agotamiento de los mismos.

El deterioro de la estructura conduce a la densificación de la capa arable, encostramiento superficial ("planchado") después de lluvias intensas y formación de capas densas ("pisos de arado o rastra") subsuperficiales. El deterioro físico, conduce a incrementar el escurrimiento superficial que reduce los tiempos de concentración provocando mayores picos de descarga en los desagües naturales, arroyos, ríos, etc.

Los mayores volúmenes de agua que circulan superficialmente, generan erosión y sedimentación del suelo. Así es común observar erosión en cierres de melga, cabeceras, vías de agua, cunetas, caminos, etcétera.

El propósito del presente artículo consiste en exponer los principales criterios a tener en cuenta para el diseño de algunas prácticas para el control de la erosión hídrica en el ámbito de región de llanura o planas, sin que ello signifique desarrollar en profundidad cada una de las prácticas conservacionistas a que se hace referencia.

No debemos olvidar, que cuando el suelo en una cuenca no está con una cobertura vegetal satisfactoria (menor a 50%, que depende del uso y manejo), las lluvias, provocarán el deterioro del suelo, habrá menor infiltración, mayor escurrimiento, se disminuirán los tiempos de concentración y aumentarán los picos de descarga.

Para las Llanuras de las Regiones del Altiplano, Trópico, Amazonia y Chaco, los conceptos y recomendaciones de este trabajo, pueden ser fácilmente adoptados y/o aplicados.

II. ESTIMACIÓN DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL POR EL MÉTODO DE LA FORMULA RACIONAL

La fórmula es llamada Racional porque las variables que intervienen tienen consistencia numérica. Aunque su origen no está claramente demostrado, la fórmula fue propuesta por Ramser en 1927, luego de medir escurrimientos en relación a lluvias en pequeñas extensiones agrícolas. Se puede aplicar a cuencas de hasta aproximadamente 1.300 ha ó 13 km².

La fórmula de predicción del pico de escurrimiento se expresa de la siguiente manera:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Donde:

Q = Pico de escurrimiento (m³ / seg).

C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

I = Intensidad de la lluvia (mm/h) para una duración igual al tiempo de concentración (Tc) de la cuenca.

A = Área de la cuenca (ha)

360 = Factor de conversión de unidades.

El coeficiente de escurrimiento (C) es la relación que existe entre el volumen escurrido y el volumen llovido. El método de Gunnedah contempla más variables para su estimación que el resto de los autores.

Debido a que el coeficiente de escurrimiento no es un factor constante, sino que varía con la intensidad de la lluvia y las condiciones de la cuenca, su determinación es aproximada. Cuando no existen datos de aforo a la salida de la cuenca, la estimación del factor "C" se basa en la comparación de la cuenca con otras de características climáticas,

de extensión, suelos, pendientes, vegetación, forma, etc., semejantes y en las cuales se cuente con datos de aforo que permitan determinar el factor "C".

Si bien diversos autores han elaborado tablas para determinar el valor de "C" el Método de Gunnedah contempla más variables para su estimación. Este método considera cinco factores que afectan el escurrimiento: **a)** intensidad de lluvia, **b)** relieve, **c)** retención superficial, **d)** infiltración y **e)** cubierta vegetal. Se establecen cuatro categorías para cada factor y con cada factor parcial cuantificado se va integrando el coeficiente de escurrimiento "C" para una situación dada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características que Producen el Escurrimiento y Coeficientes Parciales (entre paréntesis)

Factores que afectan el escurrimiento	Alto	Moderado	Medio	Bajo
1. Lluvia (mm/h)	76 a 100 (0,30)	50 a 76 (0,25)	30 a 50 (0,18)	25 a 30 (0,12)
2. Relieve	Empinado (promedio > de 20 %) (0,10)	Muy ondulado (promedio 10 a 20 %) (0,05)	Ondulado (5 a 10 %) (0,02)	Relativamente plano (0 a 5 %)
3. Retención por la superficie	Insignificante (0,10)	Pocas depresiones (0,07)	Algunas depresiones y zanjas (0,05)	Retención por estructuras que cubren el 90 % del área (0,02)
4. Infiltración	Sin cubierta (roca sólida) (0,25)	Suelo de textura arcillosa (0,18)	Suelo de textura franco arenosa a franco limosa (0,10)	Suelo permeable (arenoso profundo) (0,05)
5. Cubierta	Suelo desnudo (0,25)	Cultivos limpios menos del 10 % de buenas pasturas (0,20)	Alrededor del 50 % del área cubierta (0,10)	Alrededor del 90 % del área con cubierta (0,05)
Σ	1, 00 (extremo)	0, 75 (alto)	0,45 (normal)	0, 25 (bajo)

La intensidad "I" corresponde a la intensidad máxima de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, el tiempo de concentración (Tc) se define como el mayor tiempo requerido por el agua que escurre superficialmente para llegar desde cualquier punto de la cuenca a la salida de la misma.

La razón por la cual el tiempo de concentración corresponde al del caudal máximo de escurrimiento, se pasa a considerar.

Si un frente de lluvia disperso cubre la totalidad del área de la cuenca, llegará un momento en que toda la superficie estará aportando escurrimiento. Dado que las relaciones – intensidad - duración de las lluvias demuestran que la intensidad decrece cuando la duración es mayor, la máxima intensidad y por lo tanto el caudal máximo de escurrimiento, se dará en una tormenta con la duración mínima que se corresponda con la contribución de toda la cuenca al escurrimiento (tiempo de concentración).

El tiempo mínimo que permite el aporte de toda la cuenca, es el que emplea el agua para llegar hasta la salida de la misma, desde aquel punto que requiera más tiempo y de ahí la definición de tiempo de concentración.

Una fórmula adecuada para el cálculo de Tc es la de Kirpich (1940)

$$Tc = 0,20 \times L^{0,77} \times S^{-0,385}$$

Donde

Tc = Tiempo de concentración, en minutos
L = Distancia máxima recorrida por el escurrimiento, en metros
S = Pendiente media, en metros por metro.

En el Cuadro 2, se muestran los Tc calculados por la formula de Kirpich para distintas longitudes máximas de recorrido del escurrimiento y gradientes.

Cuadro 2. Tiempo de Concentración en Minutos

Máxima Longitud del escurrimiento en mm	Gradiente en %					5,0
	0,05	0,1	0,5	1,0	2,0	
152,5	18	13	7	6	4	3
305	30	23	11	9	7	5
610	51	39	20	16	12	9
1.220	86	66	33	27	21	15
1.830	119	91	46	37	29	20
2.440	149	114	57	47	36	25
3.050	175	134	67	55	42	30
6.100	306	234	117	97	74	52

Fuente: G. Schwab y otros, 1966.

El dato de intensidad de lluvia a considerar en la formula, puede obtenerse de las siguientes formas: **a)** información pluviográfica, **b)** estimarla de valores medios de intensidad para el lugar, **c)** estimarla partir de la lluvia máxima de 24 horas (multiplicando por el factor de Evans, 1971).

Una vez determinado el Tc y la intensidad horaria de lluvia, se deberá corregir este valor para el Tc determinado (salvo que el dato obtenido sea del pluviógrafo).

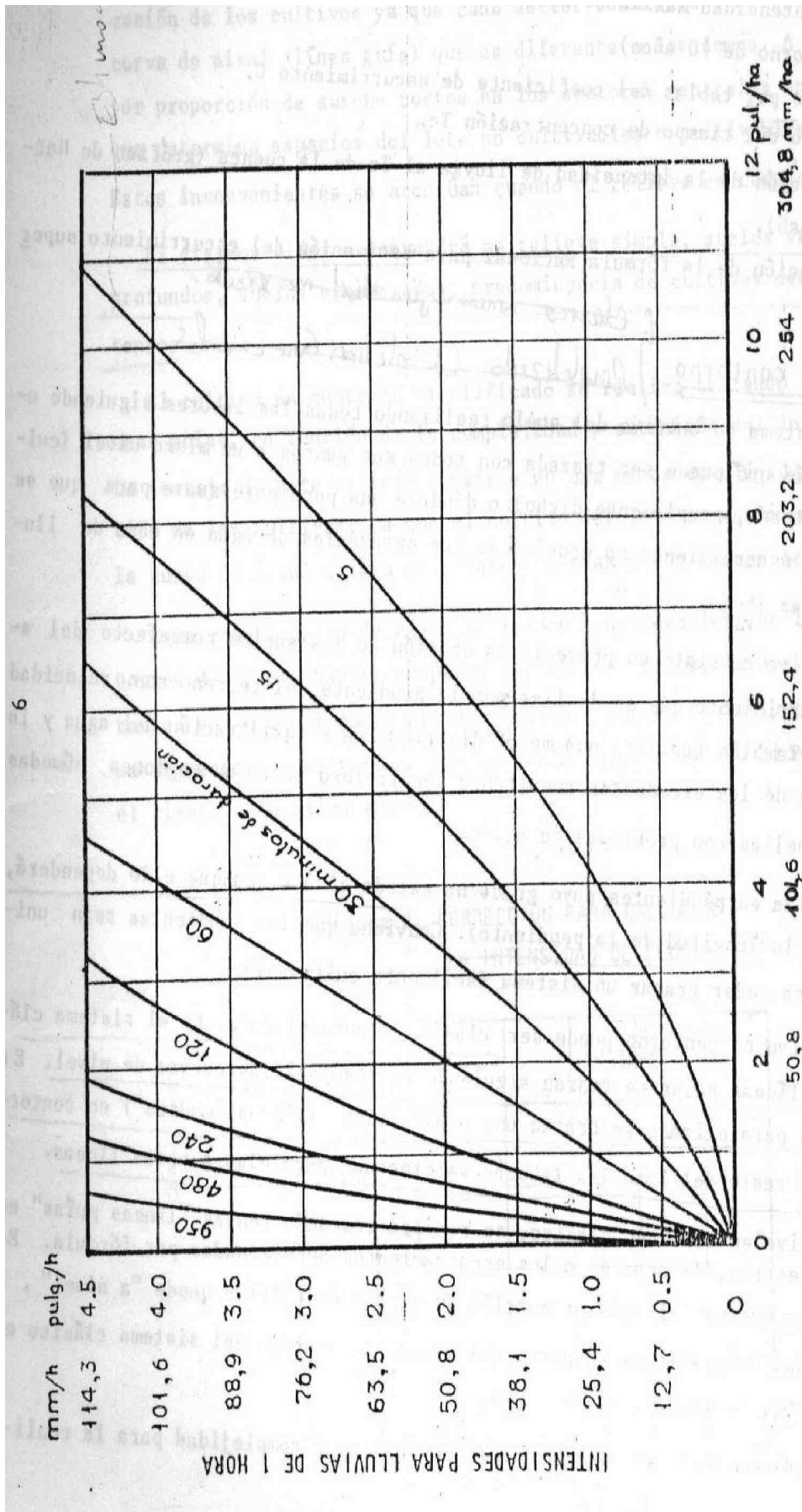
La corrección puede realizarse empleando métodos gráficos tales como el gráfico Hathaway (Figura 1). Se lee en ordenadas la intensidad horaria elegida y se intercepta en el diagrama la curva del Tc calculado. En abscisas se lee la intensidad de lluvia corregida al Tc de la cuenca.

Otro método gráfico (Schwab, 1966) permite obtener el factor de corrección en la ordenada, a partir del dato de intensidad de lluvia horaria que se localiza en la abscisa (Figura 2). Conocido el factor de corrección, se lo multiplica por la intensidad horaria sin corregir, para luego expresarlo para una hora de duración (se lo debe convertir a una hora).

En síntesis, los pasos a seguir, para estimar el escurrimiento por la formula Racional son los siguientes:

- a)** Conocer la superficie de la cuenca, pendiente general, distancia mayor a recorrer por el escurrimiento superficial, uso de la tierra, intensidad máxima de lluvia la tierra, (o lluvia máxima de 24 horas para un período de retorno de 10 años).
- b)** Cálculo por tablas del coeficiente de escurrimiento C.
- c)** Cálculo del tiempo de concentración Tc.
- d)** Corrección de la intensidad de lluvia al Tc de la cuenca (gráfico de Hathaway o Schwab).

Aplicación de la formula Racional para estimación del escurrimiento superficial



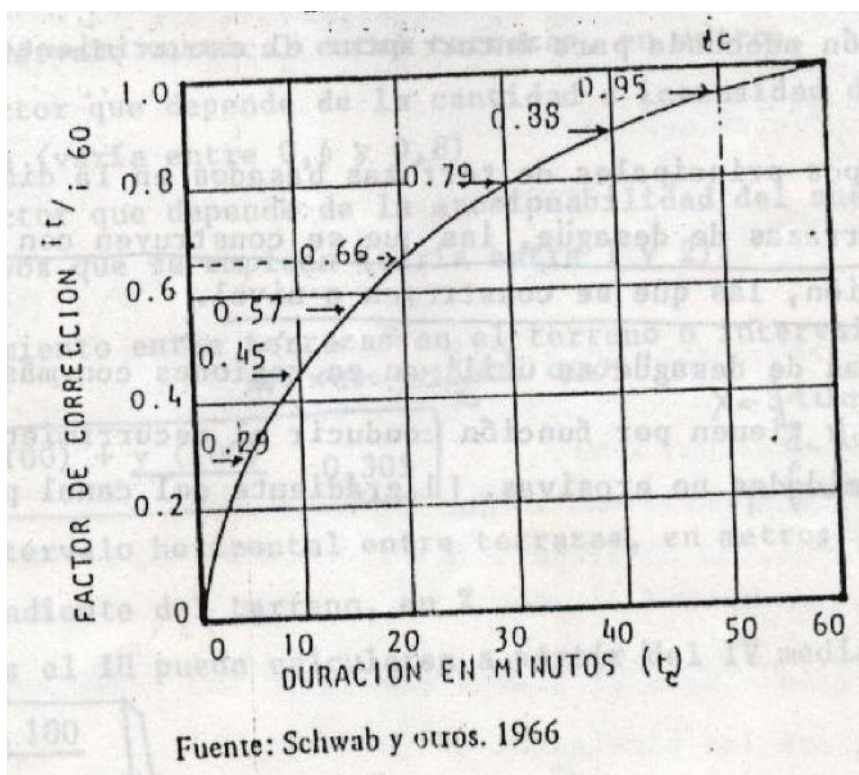
INTENSIDADES DE LLUVIA PARA DIFERENTES DURACIONES DE LA PRECIPITACIÓN

GRÁFICO DE HATHAWAY

FIGURA 1.

RELACIÓN ENTRE INTENSIDADES DE LLUVIA (PULGADAS Y MILÍMETROS POR HORA) PARA PERÍODOS DE 1 HORA, CON LAS INTENSIDADES CORRESPONDIENTES A DIFERENTES DURACIONES DE LA PRECIPITACIÓN (MINUTOS).

Figura 2. Corrección para Calcular la Intensidad de Lluvia



III. CULTIVO EN CONTORNOS

Es un sistema de cultivo del suelo realizando todas las labores siguiendo una línea guía que puede ser trazada con todos sus puntos a un mismo nivel (cultivo en contorno, propiamente dicho) o dándole una pendiente suave para que se produzca un escurrimiento no erosivo de los excedentes de agua en caso de lluvias intensas (Fotografías 1).

Fotografías 1. Cultivos en Contorno



El objetivo consiste en prevenir la erosión de los suelos por efecto del agua de escurrimiento que se desliza por la pendiente del terreno con velocidad creciente. También facilita una mejor distribución e infiltración del agua y la eliminación de los excedentes resultando beneficioso tanto en regiones húmedas, como en aquellas con problemas de aridez.

Se realiza en pendientes cuyo grado no exceda el 3 % (aunque ello dependerá, además, de la longitud de la pendiente). Conviene que las pendientes sean uniformes, para poder trazar un sistema fácilmente cultivable.

El cultivo en contorno puede ser clásico o paralelizado. En el sistema clásico, las líneas guías se trazan siguiendo exactamente las curvas de nivel. En el sistema paralelizado se trazan una o más líneas "madres" en contorno y en el resto del lote las labores se efectúan paralelas a estas líneas.

El cultivo en contorno clásico, se realiza trazando tantas "líneas guías" como sea necesario, de acuerdo a los espaciamientos determinados por fórmula. Ello asegura que una elevada proporción de surcos de cultivo quede "a nivel", o con pequeñas desviaciones respecto del mismo. La ventaja del sistema clásico es por lo tanto, su mayor confiabilidad.

Este sistema posee el inconveniente de una mayor complejidad para la realización de los cultivos ya que cada sector del terreno se cultiva siguiendo una curva de nivel (línea guía) que es diferente a las demás. A ello se suma una mayor proporción de surcos cortos en los sectores centrales entre líneas guías, que determina espacios del lote no cultivables o cultivables con dificultades. Estos inconvenientes se acentúan cuando el relieve es complejo.

El sistema clásico convendrá en relieve simple, suelos erodibles y/o poco profundos, suelos erosionados, predominancia de cultivos densos y en lotes extensos.

El cultivo en contorno simplificado se realiza trazando una o unas pocas líneas guías, en función de la complejidad y extensión del lote a sistematizar. La ventaja de este sistema consiste en una menor complejidad para la realización de los cultivos, ya que el cultivo del lote se realizará siguiendo una sola curva de nivel (línea guía única) o unas pocas líneas de nivel.

Como consecuencia de ello, se reduce considerablemente la proporción de espacios desaprovechables ocupados por surcos cortos. La desventaja del sistema radica en su menor confiabilidad debido a que al trazar pocas líneas guías, habrá sectores del terreno que no serán cultivados "a nivel", en los cuales el riesgo de erosión aumentará.

El sistema paralelizado convendrá utilizarlo en relieve complejo, suelos poco erodables y profundos, sin erosión o con erosión ligera, predominancia de cultivos carpidos y en lotes poco extensos.

Para el cálculo del distanciamiento entre líneas guías en el terreno se usan las mismas formulas empleadas para terrazas (ver capítulo de Terrazas del documento Cultivos en Contorno).

La realización de la nivelación en el terreno se efectúa de la siguiente manera: una vez que el mirero se ubica próximo a la línea del alambrado, a la mitad del distanciamiento horizontal determinado por formula, comienza a desplazarse "sobre la curva".

Cada 20 o 25 metros aproximadamente, el mirero se detiene y el observador con el nivel debe hacerlo mover pendiente arriba o abajo hasta localizar la lectura de mira establecida. Este punto es marcado con una estaca. Cuando el mirero llega al final de la curva, se desplazará pendiente abajo hasta que el observador con el nivel ubique la lectura de mira correspondiente al intervalo vertical calculado por fórmula con esta lectura se traza la segunda curva de nivel, y así sucesivamente

IV. TERRAZAS

En un terraplén o bordo y canal, construidos transversalmente a la pendiente, en una posición adecuada para interceptar el escurrimiento de agua superficial (Figura 3).

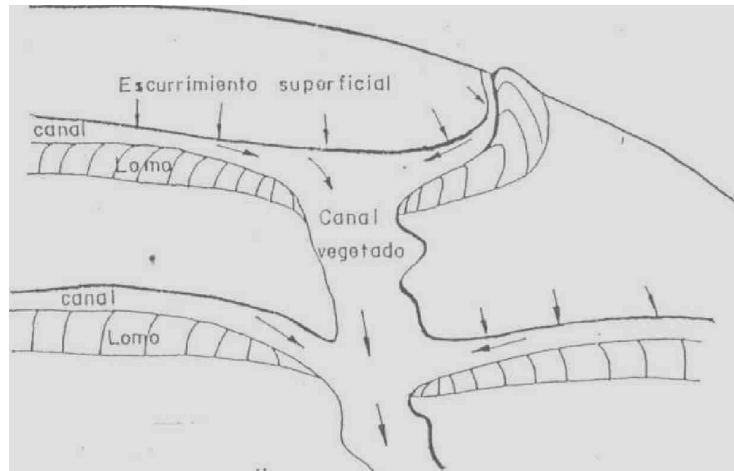
Hay dos tipos principales de terrazas basados en la distribución del escurrimiento:

- a) terrazas de desagüe, las que se construyen con gradiente, y
- b) terrazas de absorción, las que se construyen a nivel.

Las terrazas de desagüe se utilizan en regiones con más de 500 a 700 mm anuales de lluvia y tienen por función conducir el escurrimiento hacia desagües vegetados, a velocidades no erosivas, El gradiente del canal puede ser uniforme o variable.

Las terrazas de absorción se utilizan en regiones con menos de 500 mm anuales de lluvia y tienen por finalidad infiltrar el escurrimiento superficial que se genera entre terrazas, además de reducir la erosión. El canal y bordo son construidos a nivel para que el escurrimiento se almacene a lo largo de la terraza.

Figura 3. Terraza de Desagüe



Para el cálculo del espaciamiento entre terrazas pueden usarse varias formulas. Una de las más usadas es la del S.C.S. de Estados Unidos:

$$IV = (X \times S + Y) 0,305$$

Donde:

IV = Intervalo vertical entre terrazas, en metros

X = Factor que depende de la cantidad e intensidad de las lluvias en el área (varía entre 0,4 y 0,8)

Y = Factor que depende de la erodabilidad del suelo y sistemas de cultivos que se empleen (varía entre 1 y 2)

El espaciamiento entre terrazas en el terreno o intervalo horizontal, se calcula así:

$$IH = X (100) + \frac{Y (100)}{S} \times 0,305$$

Donde:

IH = Intervalo horizontal entre terrazas, en metros

S = Pendiente del terreno, en %

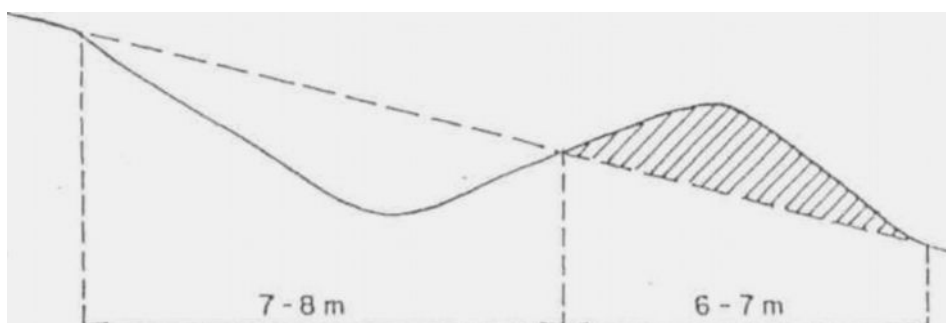
Además el IH, puede calcularse a partir del IV mediante la relación:

$$IH = \frac{IV \times 100}{S}$$

La sección transversal de la terraza (canal y lomo), y por lo tanto, el hecho de que sean cultivables o no, depende fundamentalmente de la pendiente del terreno.

La terraza de base ancha es enteramente cultivable, tiene un ancho entre 10 y 14 metros y se emplean en pendientes que varían entre 3 y 6 % (Figura 4).

Figura 4. Ancho del Canal y Lomo en Terrazas de Base Ancha Enteramente Cultivables



La terraza de base angosta generalmente no se cultiva, o solo se cultivan dos caras (las del canal), tiene un ancho de 4 a 5 metros y se emplea en pendientes superiores al 6 %.

La sección transversal del canal en terrazas de base ancha varía entre 1 y 1,5 metros cuadrados.

En la evacuación de las aguas de escurrimiento por el canal de la terraza, tiene gran importancia el gradiente del mismo, ya que si es elevado habrá erosión, y si es bajo se producirá sedimentación.

Para el cálculo de la sección transversal del canal de la terraza se debe conocer el caudal crítico o pico de descarga a conducir por el canal.

$$Q = Ac \times V$$

Donde:

Q = Pico de descarga, m³/s.

Ac = Sección transversal del canal de la terraza, m²

V = Velocidad máxima no erosiva del agua en el canal de la terraza, m/s (se considera entre 0,4 - 0,5 m/s).

Las formulas usadas para el dimensionamiento del canal de una terraza de sección parabólica, son las siguientes (Figura 5):

Figura 5. Medidas a Considerar en el Dimensionamiento del Canal de una Terraza de Sección Parabólica

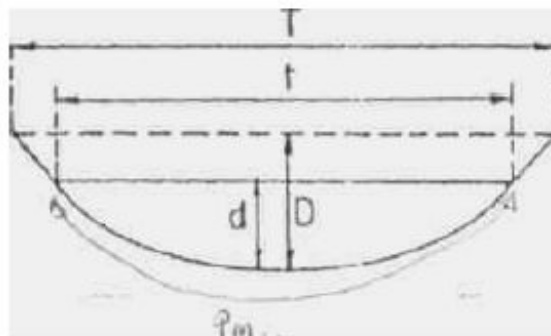
$$Ac = \frac{2}{3} t \times d$$

$$Pm = t + \frac{8d^2}{3t}$$

$$Rh = \frac{2d}{3}$$

$$t = \frac{3Ac}{2d}$$

$$T = t \left[\frac{D}{d} \right] \times \frac{1}{2}$$



Los pasos a seguir para el cálculo de la sección transversal y gradiente del canal de la terraza se resumen así:

1. Se calcula el pico de descarga a conducir por el canal.
2. Se calcula el área transversal del canal de la terraza Ac.
3. Conociendo el área Ac, se dimensiona un ancho (t) y profundidad (d) del canal usando la formula $Ac = 2/3 t \times d$.
4. Conocida la profundidad (d) se calcula el radio hidráulico (Rh) por la formula $Rh = 2d/3$
5. Se fijan los valores del coeficiente de rugosidad "n" (Cuadro 3) y la velocidad no erosiva "V" (0,4 a 0,5 m/s).
6. Se calcula el gradiente del canal de la terraza empleando el nomograma que resuelve la formula de Manning (Figura 6).

El gradiente del canal generalmente varía entre el 1 y 5 % y puede mantenerse constante o variar, incrementándose a medida que el canal de la terraza se acerca el punto de desagüe. Así, en los primeros 100 metros de terraza puede ser del 1 % de 100 a 200 metros 2 %, de 200 a 300 metros, 3 % y de 300 a 400 metros 4 %.

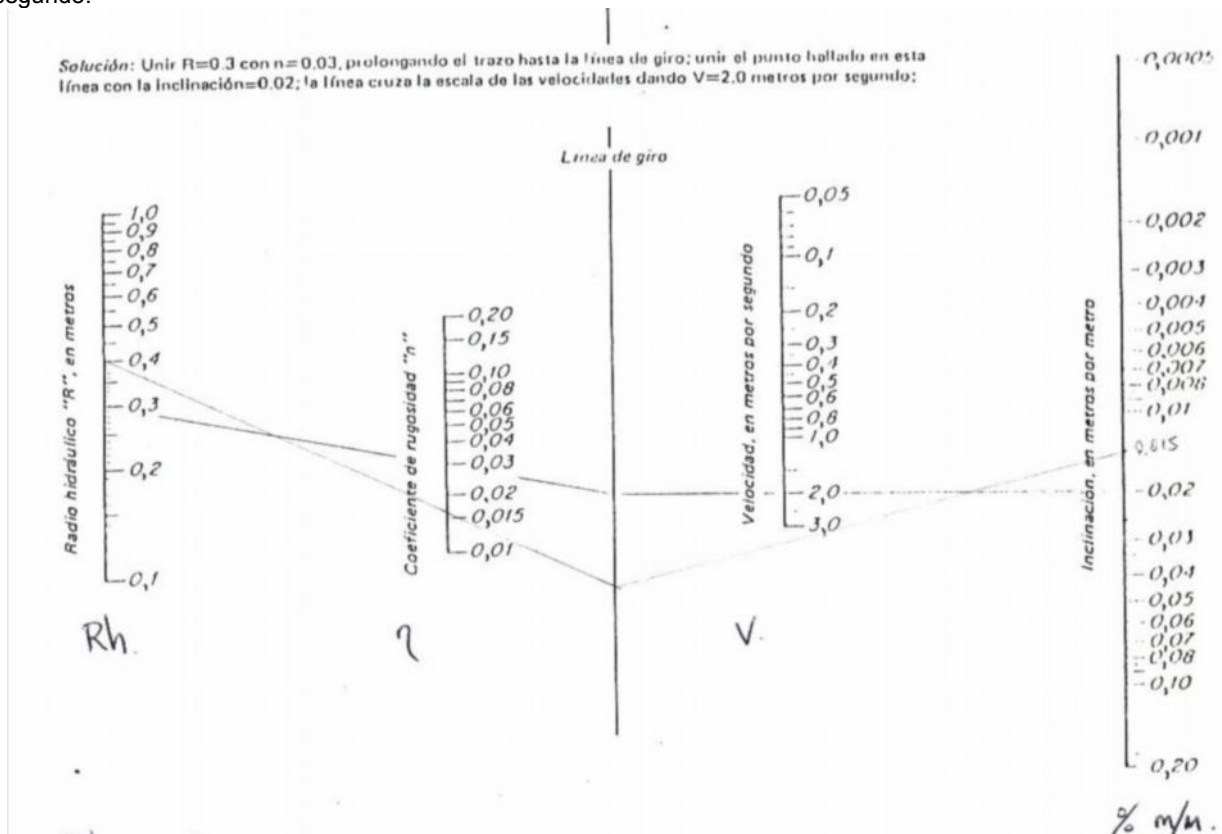
Cuadro 3. Coeficientes de Rugosidad de Manning

A. canales libres de Vegetación	n
Sección transversal uniforme, orientación rectilínea, sin piedras ni vegetación, en suelos sedimentarios y finos	0,016
Sección Transversal Uniforme, orientación rectilínea, sin piedras ni vegetación, sobre arcilla dura o margas.	0,018
Sección transversal uniforme, orientación rectangular, pocas piedras, poca vegetación, sustrato limo arcilloso	0,020
Sección transversal, con pequeñas variaciones, orientación semirregular, hierba fina en los bordes, suelo arenoso o arcillosos, también canales recién limpiados, cavados o rastrillados	0,0225
Orientación no regular, ondulaciones en el fondo, suelo de grava o pizarra, con orillas irregulares o pobladas de vegetación	0,025
Sección y orientación irregulares, piedras dispersas y grava en el fondo, o vegetación importante en las orillas pendientes, o sobre lecho de cantos de hasta 15 cm diámetro	0,030
Canales irregulares erosionados o canañales abiertos por explosión en roca viva.	0,030
B. Canales de Vegetación	n
Hierba Corta (5 a 15 cm)	0,030 – 0,060
Hierba media (15 a 25 cm)	0,030 – 0,085
Hierba largo (25 a 60 cm)	0,040 – 0,150
C. Cauces de Arroyos Naturales	n
Limpios y rectos	0,025 – 0,030
Sinuosos, con pozos y bancos someros	0,033 – 0,040
Con mucha vegetación, tortuosos y encajados	0,075 – 0,150

Figura 6. Solución Nomográfica de la Formula de Manning

Ejemplo: Dados $R = 0,30$ m; $n = 0,03$, Inclinación = 2 % ó 0,02 metros por metro. Hallar la velocidad V .

Solución: en el Nomograma, Unir $R = 0,3$ con $n = 0,03$, prolongando el trazo hasta la línea de giro, unir el punto hallado en esta línea con la Inclinación = 0,02; la línea cruza la escala de las velocidades dando $V = 2,0$ metros por segundo.



Rh 0,4
 Coeficiente de rugosidad para transversal rectilínea suelo suelto $n = 0,016$
 Gradiente 1,5 % ó 0,015 m/m
 Velocidad = ? 4 - 5

Se deberán señalar y marcar las terrazas en forma similar a lo indicado para las curvas de nivel del cultivo en contorno. Se comenzaran a marcar en el sector más alto del lote y desde el cauce vegetado hacia el extremo más alto de la terraza.

Por ejemplo, si se supone que se comienza la marcación de la terraza con un gradiente constante del canal del 2 ‰ (4 cm en 20 m), para ello el mirero se ubica en la parte superior del lote a una distancia igual a la mitad del intervalo horizontal entre terrazas a partir del punto más alto del lote a sistematizar junto al desagüe vegetado. En este punto el observador lee en el nivel 1,50 m, por ejemplo. El mirero se desplaza unos 20 metros y en ese nuevo punto el observador debe leer 1,46 metros (gradiente del 2 ‰). Así se continúa hasta llegar al extremo superior de la terraza.

La construcción se puede realizar con arado de discos, de reja y vertedera, hojas niveladoras o motoniveladoras. Consiste en mover tierra pendiente abajo para construir un canal amplio y un bordo. Este sistema de construcción requiere menor movimiento de tierra ya que gran parte de lo que funcionará como canal es la excavación misma. También se puede construir desde ambos lados, es decir, moviendo tierra desde pendiente arriba y pendiente abajo.

La construcción se comienza por la terraza superior, en la cual se debe poner especial atención porque de ella depende en gran medida el funcionamiento de todo el sistema.

V. DESAGÜES EMPASTADOS

Es un cauce natural o construido artificialmente en general ancho y poco profundo, vegetado con pastos de sistema radical que aumenten la resistencia a la erosión del suelo, empleado para conducir y eliminar aguas superficiales de los terrenos agrícolas. El objetivo de esta práctica consiste en conducir a velocidad no erosiva el desagüe de terrazas u otras estructuras destinadas a interceptar el escurrimiento superficial, hasta un curso natural o desagüe principal.

Para emplazarlos, se aprovechan vaguadas naturales si convienen al diseño del sistema, de lo contrario, se los construye en el sitio más conveniente.

Las formulas empleadas para el dimensionamiento de desagües empastados de sección parabólica (sección transversal, perímetro mojado, radio hidráulico y ancho) son las mismas que para canales parabólicos de terrazas.

Para el diseño de un desagüe se siguen los pasos que se detallan a continuación:

1. Se debe conocer el pico de escurrimiento que deberá conducir el desagüe a diseñar (se puede estimar por la formula Racional o por otro método)
2. Se debe determinar en tablas la velocidad permitida para el flujo de agua, según el suelo y la cobertura vegetal (Cuadro 4).
3. Conocidos el escurrimiento a conducir, la velocidad permitida y la pendiente, se emplean las tablas del Manual de Ingeniería para Conservación de Suelos del Cinturón Maicero del S.C.S. de Estados Unidos (Cuadro 5), para determinar el ancho y profundidad de desagüe.
4. Una vez calculadas las dimensiones del desagüe se puede comprobar si se ajustan a la velocidad permitida empleada. Para ello debe calcularse la velocidad media por la formula de Manning o por el nomograma que la resuelve (Figura 6). La velocidad media debe ser inferior a la velocidad permitida.

Cuadro 4. Velocidad Permitida Según el Suelo y la Cobertura Vegetal

Cobertura vegetal (Schwab y otros, 1966)	Pendiente	Velocidad Permitida	
		Suelos resistentes	Suelos poco resistentes
Festuca alta	0 – 5 %	2,14 m/s	1,53 m/s
Mezcla de pasturas	0 – 5 %	1,53 m/s	1,22 m/s
Alfalfa	0 – 5 %	1,07 m/s	0,76 m/s
Suelo desnudo	Arenoso	0,75 m/s	
Hudson (1971)	Franco arcilloso	1,0 m/s	

Cuadro 5. Dimensionamiento de Desagües Revestidos de Pastos

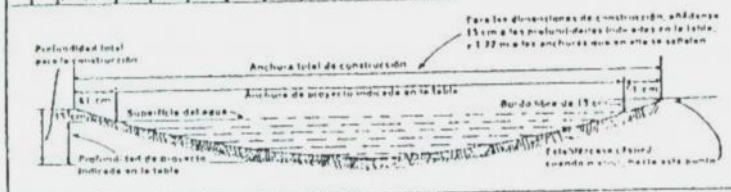
EV	ZV	Pendiente 0.5%			Pendiente 1%			Pendiente 2%			Pendiente 3%			Pendiente 4%			Pendiente 5%			Pendiente 6%			Pendiente 8%			Pendiente 10%			Pendiente 12%			Pendiente 15%					
		Velocidad	61	91	122	91	122	152	91	122	152	91	122	152	91	122	152	91	122	152	91	122	152	91	122	152	91	122	152	91	122	152					
		Anchura			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₁			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₂			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₃			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₄			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₅			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₆			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₇			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₈			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₉			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₁₀			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₁₁			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₁₂			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₁₃			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₁₄			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₁₅			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₁₆			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₁₇			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₁₈			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₁₉			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₂₀			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₂₁			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₂₂			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₂₃			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₂₄			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₂₅			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₂₆			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₂₇			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₂₈			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₂₉			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		
		H ₃₀			30.5			34.8			40.1			45.4			50.7			56.0			61.3			66.6			71.9			77.2			82.5		

EXPLICACION

La primera columna de la izquierda es el valor del escalamiento en metros cúbicos por segundo. La primera línea horizontal de la tabla indica el tanto por ciento de la pendiente del cauce de agua. La segunda línea indica una elección entre tres distintos valores de la velocidad para el proyecto: de 61, 91 y 122 centímetros por segundo. La tercera línea indica la profundidad en centímetros en el centro del cauce y se lee debajo de la velocidad de cada una ellas del cuerpo de la tabla con la anchura respectiva del canal indicada en metros.

NOTA

Para pendientes menores del 5%, utilice el coeficiente que se indica para la pendiente del 5%, o emplee se la tabla para proyectos de derivación. Hay que utilizar los proyectos especiales a un logaritmo. Para las dimensiones de construcción, añadirse 15 centímetros a las profundidades indicadas en la tabla, y 1.22 metros a las anchuras que en ella se señalan.



Del Manual núm. 135, del Depto. de Agr. de los Estados Unidos

La construcción de desagües se puede realizar con arado de rejas, arado de discos y rastra de discos. Para darle mejor terminación puede emplearse una hoja niveladora.

En la construcción de desagües empastados se deberá tener en cuenta:

- Construirlos con uno o dos años de anticipación a cualquier otro canal que vaya a descargar en el (ejemplo. canales de terrazas).
- Se deben sembrar pasturas cespitosas bien adaptadas a la zona, con una densidad igual al doble de la normal.
- Si la siembra densa de maíz, sorgo, mijo o cereal de invierno, según la época y la región.
- Relizada la siembra de la pastura es conveniente efectuar un cubrimiento con rastrojo picado.
- Deben construirse bordos provisorios para evitar la entrada de agua al desagüe, hasta que la pastura este bien implantada.

VI. CULTIVOS EN FRANJAS

Consiste en realizar franjas con cultivos que brinden distinto grado de protección al suelo, adecuadamente distribuidas en el terreno, Esta práctica es de gran utilidad para disminuir el escurrimiento y controlar la erosión en lotes donde debido a las pendientes heterogéneas es dificultoso la construcción de terrazas.

En general, el resultado del cultivo en franjas en el control de la erosión hídrica es la mitad del que se obtiene con terrazas y el doble al obtenido con cultivo en contorno solamente. Esta comparación es aproximadamente válida para suelos similares, igual pendiente y dentro de un rango de pendientes en que las tres practicas son eficientes.

El cultivo en contorno sin terrazas reduce la erosión en aproximadamente un 50 % en relación al cultivo a favor de la pendiente. Cuando se combina con cultivos en franjas, se logra un 75 % de reducción de la erosión.

El cultivo en franjas no reduce la longitud de la pendiente, por lo que es más efectivo en pendientes cortas.

Se pueden diferenciar tres tipos de cultivos en franjas:

- 1) Franjas en contorno;
- 2) Franjas cortando la pendiente predominante;
- 3) Franjas cortando la dirección de los vientos erosivos (no se considera en este trabajo).

Franjas en Contorno: existen tres variables:

- a) Ambos bordes de la franja en la línea de contorno;
- b) Grupos de franjas de ancho uniforme intercalando una franja irregular, y
- c) Alternancia de franjas de ancho uniforme con franjas de ancho irregular (todas con cultivos agrícolas, o alternadas con pasturas)

Franjas cortando la pendiente: son de ancho uniforme, construidas transversalmente a la pendiente predominante, aconsejándose en pendientes muy irregulares.

Franjas transversales a la dirección de los vientos erosivos: se construyen de ancho uniforme y transversales a los vientos erosivos.

El tipo de cultivo en franjas a utilizar dependerá de las condiciones locales tales como: cultivos a realizar, peligro de erosión hídrica o eólica, erodabilidad del suelo, pendientes, épocas, sembradoras, cosechadoras., cultivos, etc.

El ancho de las franjas a adoptar varía según:

- a) Grado y longitud de la pendiente;
- b) Permeabilidad del suelo;
- c) Susceptibilidad a la erosión;
- d) Cantidad e intensidad de lluvias;
- e) Tipo y disposición de los cultivos en la rotación, y
- f) Equipo agrícola utilizado.

Pese a que el ancho de las franjas es muy variable en función del clima, suelo, relieve y cultivos; se pueden dar algunas pautas orientativas sobre el ancho que podrían tener las franjas protectoras y protegidas según el grado de la pendiente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Ancho de las Franjas Según el Grado de las Pendientes

Grado de Pendiente (%)	Ancho Mínimo de la franja protectora (m)	Ancho máximo de la franja protegida (m)
0 – 1	4	50
1 - 3	8	30
3 – 6	12	20
4 - 6	16	15

El ancho de la franja protegida (cultivable) podría incrementarse tentativamente hasta un 30 % en suelos permeables o pendientes cortas. De igual manera se debería disminuir en los suelos poco permeables y con pendientes largas.

En el Cuadro 7, se muestra los rangos de pendiente aproximados en los cuales se usan más eficientemente algunas prácticas para controlar el escurrimiento y la erosión hídrica. Por supuesto, estos rangos son orientativos y habrá que tener en cuenta también otras características edáficas, de pendiente (principalmente longitud), cultivos a realizar, técnicas de laboreo del suelo, etc., para poder aconsejar correctamente la práctica conservacionista a aplicar.

Cuadro 7. Rangos de Pendiente Aproximados en los Cuales se Usan más Eficientemente Algunas Prácticas para Controlar Escurrimiento y Erosión Hídrica

Práctica	Grado de Pendiente %
Cultivo en Contorno	1 – 3
Terrazas de base ancha (cultivadas)	3 – 6
Terrazas de base angosta	6 – 9
Cultivo en franjas	3 – 6
Terrazas de banco	> 10

VII. BIBLIOGRAFÍA

AYRES, Q.C. La erosión del suelo y su control. Oniega. Barcelona. 441 p. 1960.

CASAS, R.R. El cultivo en contorno, una práctica para el control de la erosión hídrica. INTA, Suelos, Tir. Interna N° 77, Cas telar. 1985.

FOSTER, A. Métodos aprobados en Conservación de Suelos. Méjico, 441 p. 1967.

HUDSON, N. Conservación del suelo. Ed. Reverte. Barcelona, 335 p. 1982.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. EERA Marcos Juárez. Técnicas de conservación de suelos. Prácticas conservacionistas para el sector este del río Carcarañá. Información para extensión. Serie Suelos y Agrome-teorología N° 3, 120 p. 1983.

PURICELLI, CA. Evaluación de la escorrentía en cuencas reducidas. Bol. N° 3 del Área de Recursos Naturales y Ecología. Secr. Agrie, y Gan. 1983.

SCHWAB, G.; R. FREVERT; T. EDMINSTER; K. BARNERS. Soil and Water Conservation Engineering. John Wiley, Inc. New York, pp. 683. 1966.

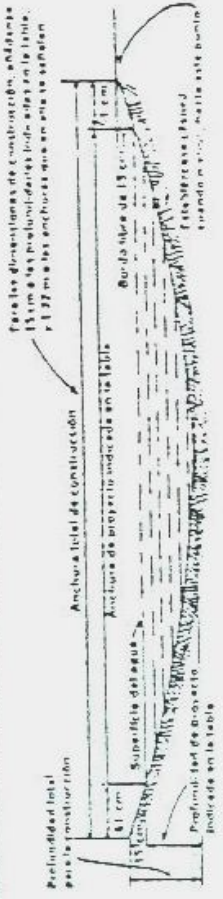
SECRETARÍA DE RECURSOS HIDRÁULICOS. Elementos del escurrimiento superficial. Memorándum técnico N° 330. Méjico, 225 p. 197A.

SOIL CONSERVATION SERVICE. National Engineering Handbook. Sect. 4, Hidrology. Part I. Watershed planning. EE.UU. 1964.

—— A method for estimating volume and rate of runoff in small Watersheds. SCS.-TP-149. EE.UU., 19 p. 1968.

MGMI, 2010

EV EN	Tendencia	Pendiente	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	1.0%	1.2%	1.5%	1.7%	Pendientes	
Abundancia	61	91	122	157	91	122	157	91	122	157	91	122	157	91	122
Hundida	30.5	34.8	41.7	21.3	30.5	41.7	21.3	30.5	41.7	21.3	30.5	41.7	21.3	30.5	41.7
Ha. Ha. m. por Ha.	0.283														
0.413	3.25														
0.366	4.37														
0.708	5.29														
0.819	7.01														
0.921	8.23														
1.133	9.14														
1.416	11.28														
1.629	12.72														
1.902	15.05														
2.265	18.29														
2.518	20.42														
2.912	22.95														
3.300	27.43														
3.969	32.09														
4.510	36.58														
5.097	41.15														
5.867	47.22														
6.229	50.29														
6.796	54.80														
7.352	59.10														
7.918	63.22														
8.473	67.10														
9.061	70.82														
9.627	74.35														
10.194	77.70														
10.760	80.88														
11.326	83.88														
11.892	86.70														
12.459	89.34														
13.025	91.81														
13.592	94.11														
14.158	96.24														



EXPLICACION

La primera columna de la izquierda es el valor del excentricismo en metros cubicos por segundo. La primera linea horizontal de la tabla indica el tipo por el tipo de la pendiente del caso de agua. La segunda linea muestra una eleccion entre tres distintos valores de la velocidad para el proyecto: de 61, 91 y 122 centímetros por segundo. La tercera linea indica la profundidad en centímetros en el centro del canal y se le delojo de la velocidad de cada. Las cifras del cuerpo de la tabla son la anchura superior del canal indicada en metros.

NOTA

Para pendientes menores del 5%, utilizar el coeficiente que se indica para la pendiente del 0.5%, o emplee la tabla para proyectos de derivaciones. Hay que utilizar los proyectos especiales a un logaritmo. Para las derivaciones de construcción, añadirse 13 centímetros a las profundidades indicadas en la tabla, y 1.22 metros, a las anchuras que en ella se señalan.