



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

# EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

**MÉTODOS PARA SU ESTIMACIÓN EN CONSERVACIÓN DE SUELOS**

**Autor: Miguel Murillo Illanes**

JEFE UNIDAD DE INFORMACIÓN ESTUDIOS Y  
POLITICAS DE DESARROLLO RURAL SOSTENIBLE

La Paz - Bolivia

Octubre - 2010

## CONTENIDO

<b>Presentación.....</b>	<b>i</b>
<b>Contenido.....</b>	<b>ii</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Ciclo del Escurrimiento.....</b>	<b>2</b>
<b>Método de la Formula Racional.....</b>	<b>3</b>
<b>Coeficientes de Escurrimiento C.....</b>	<b>3</b>
<b>Intensidad de Lluvia y Tiempo de Concentración.....</b>	<b>6</b>
<b>Ejemplo de Aplicación de la Fórmula Racional.....</b>	<b>10</b>
<b>Método del Servicio de Conservación del Suelos de EEUU.....</b>	<b>12</b>
<b>Grupos Hidrológicos de Suelos.....</b>	<b>12</b>
<b>Uso y Manejo de los Suelos.....</b>	<b>14</b>
<b>Complejos Hidrológicos Suelo – Cobertura.....</b>	<b>15</b>
<b>Condiciones de Humedad Antecedente.....</b>	<b>15</b>
<b>Estimación del Escurrimiento Directo.....</b>	<b>17</b>
<b>Procedimiento para la Estimación del Escurrimiento.....</b>	<b>19</b>
<b>Ejemplo de Aplicación del Metodología.....</b>	<b>19</b>
<b>Estimación del Escurrimiento Pico, Método del SCS – EEUU.....</b>	<b>20</b>
<b>Ejemplo de Estimación.....</b>	<b>21</b>
<b>Método de Cook.....</b>	<b>22</b>
<b>Ejemplo de Estimación por el Método de Cook.....</b>	<b>24</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>25</b>
<b>Anexos - figuras 8 a 21.....</b>	<b>26</b>

## 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*

# EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

## MÉTODOS PARA SU ESTIMACIÓN EN CONSERVACIÓN DE SUELOS

### Introducción.-

Las aguas que llegan a los cauces de drenaje a partir de la divisoria de aguas de una cuenca, constituyen los volúmenes escurridos provenientes de lluvias, que se desplazan en forma superficial, subsuperficial o subterránea.

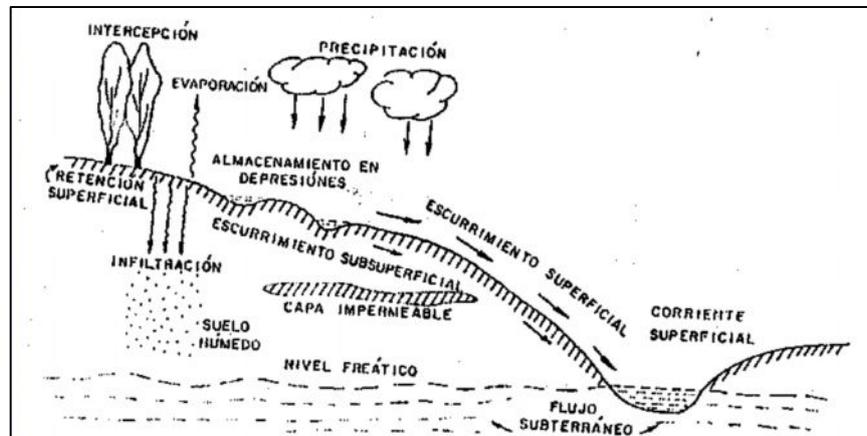
Cuando llueve, una parte es interceptada por las plantas, otra se almacena superficialmente, otra porción se infiltra incrementando las corrientes subterráneas luego de saturar el suelo, y la parte restante escurre superficialmente hacia los cauces naturales de drenaje (fig. 1).

El escurrimiento superficial es el que se mueve por lo superficie del terreno hacia los cauces de drenaje durante y después de ocurrida la lluvia. Este escurrimiento marca el exceso de la capacidad de infiltración del suelo.

El escurrimiento subsuperficial, es la parte del agua de lluvia que se infiltra y se mueve lateralmente por los estratos más elevados hasta llegar al cauce. Su movimiento es más lento que el superficial y tarda más tiempo en llegar al cauce. A veces el flujo subsuperficial aflora antes de llegar al cauce y se convierte en superficial. Otras veces se profundiza agregándose al subterráneo.

El escurrimiento subterráneo proviene de las lluvias que se infiltran hasta alcanzar los niveles freáticos moviéndose muy lentamente (es el más lento) hasta enriquecer las corrientes superficiales. A los efectos del análisis, el escurrimiento total de una corriente, se considera formado por el escurrimiento directo y el escurrimiento base (llamado caudal de estiaje)

Fig. 1. Ciclo de Escurrimiento



El escurrimiento directo es el que se agrega a la corriente durante y/o inmediatamente después de ocurrida la lluvia y está integrado por: a) escurrimiento superficial, b) escurrimiento subsuperficial, y c) precipitación en el cauce o canal (fig. 2).

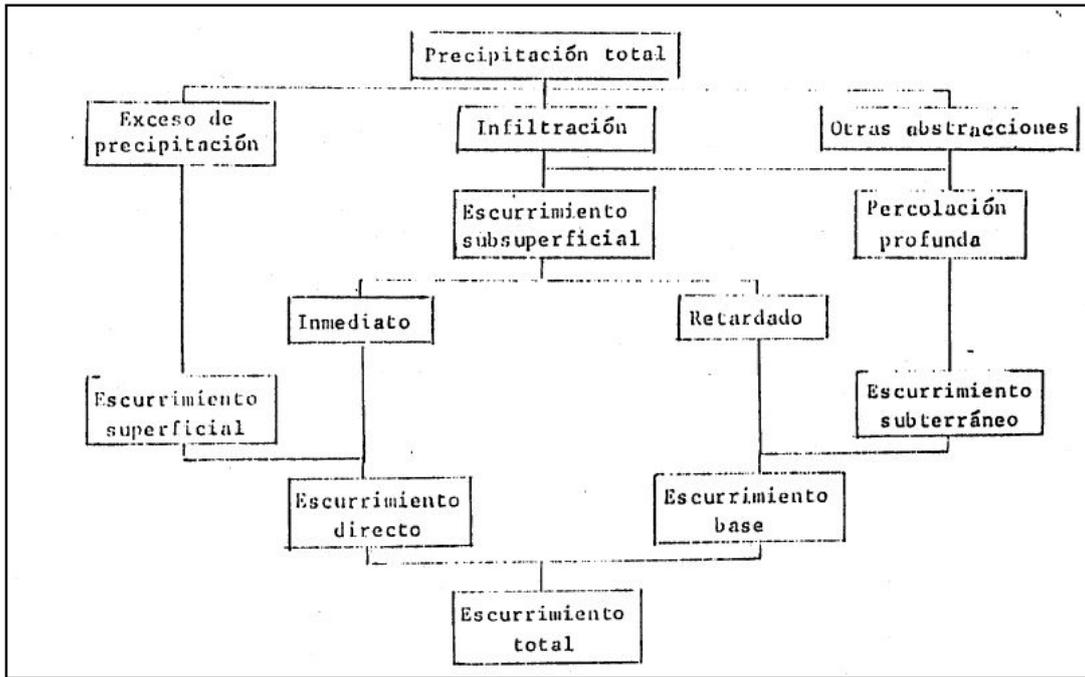
El escurrimiento base o caudal de estiaje es el escurrimiento lento que está integrado por: a) escurrimiento subterráneo y b) escurrimiento subsuperficial retardado.

Durante una tormenta que produce escurrimiento, se considera que la precipitación total consta de una parte abstracta (abstracción) y de una parte llamada exceso de precipitación.

La porción que se considera abstracta está compuesta por la infiltración, intercepción, evaporación, transpiración y almacenamiento en depresiones.

El exceso de precipitación es el que contribuye directamente al escurrimiento superficial una vez satisfecha la abstracción.

**Fig. 2. Distribución de la Precipitación en Relación a las Formas de Esgurrimiento**



**Ciclo del Esgurrimiento.-**

El ciclo de escurrimiento se compone de varias fases:

**Fase 1.** Se refiere a un período sin lluvia, que corresponde a la época de estiaje. Durante esta fase el nivel de las aguas freáticas es bajo y está descendiendo continuamente.

**Fase 2.** Período inicial de la lluvia, ésta se divide en precipitación directa en el cauce, interceptión por la vegetación, retención en depresiones, e infiltración. El agua que infiltra ocasiona un incremento gradual de agua en la zona de aireación. El escurrimiento es casi nulo (excepto en suelos impermeables).

**Fase 3.** Se refiere a la presencia de una lluvia de intensidad variable y más o menos prolongada. Satisface la interceptión y la retención superficial, el exceso de lluvia se transforma en escurrimiento

El escurrimiento ocurre cuando la lluvia excede la infiltración, pudiendo llegar a uno de los cauces naturales en función de la capacidad de retención de los suelos.

El agua que infiltra satura la zona de aireación, la napa comienza a elevarse y el escurrimiento subterráneo se incrementa hasta contribuir al escurrimiento superficial. Como la zona de aireación esta saturada, también contribuye al escurrimiento subsuperficial.

**Fase 4.** El nivel freático se eleva constantemente hasta que el escurrimiento subterráneo se equilibra con la capacidad máxima de recarga posible y toda la lluvia se convierte en incremento directo del escurrimiento superficial (sucede especialmente en zonas bajas con prolongadas lluvias).

**Fase 5.** Comprende al período entre la terminación de la lluvia y el momento en que es alcanzado el máximo nivel de aguas. El agua que se encuentra en la zona de aireación es alcanzada por los niveles freáticos. El escurrimiento superficial es mantenido por los escurrimientos subsuperficiales y subterráneos que afloran, así como por los pequeños almacenamientos superficiales.

## METODOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL MÉTODO DE LA FORMULA RACIONAL (RAMSER)

La fórmula es llamada Racional, porque las variables que intervienen tienen consistencia numérica. El origen de la misma no está claramente demostrado, remontándose al año 1889 en que fue empleada por Kuichling para el diseño de alcantarillas en Rochester, New York. Otros autores sostienen que la fórmula fue desarrollada por Mulvaney en Irlanda en 1851. En Inglaterra, el método en el cual interviene la Fórmula Racional es conocido como método Lloyd - Davis, desarrollado en 1906.

La ecuación fue propuesta por Ramser en 1927, luego de medir escurrimientos en relación a lluvias en pequeñas extensiones agrícolas. Se puede aplicar en cuencas de hasta aproximadamente 1.300 ha o 13 Km<sup>2</sup>; (1ha = 10.000 m<sup>2</sup>; 1 km<sup>2</sup> = 100 ha; 1 km<sup>2</sup> = 1.000.000m<sup>2</sup>)

La Fórmula Racional de predicción del pico de escurrimiento se expresa de la siguiente forma:

$$Q = \frac{C.I.A.}{320}$$

Donde:

Q = Pico de escurrimiento (m<sup>3</sup>/seg.)

C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

I = Intensidad de la lluvia (mm/h) para una duración igual al tiempo de concentración (T<sub>c</sub>) de la cuenca

A = Área de la cuenca (ha)

360 = Factor de conversión de unidades.

El valor consignado en el denominador de la fórmula se obtiene por la conversión de las unidades de intensidad de lluvia (I) y área de la cuenca (A):

$$I = \frac{mm}{h} = \frac{0,001 m}{3600 seg} \quad A = ha = 10.000 m^2 \quad y \quad 1 Km^2 = 1.000.000 m^2 = 100 ha$$

El producto de I x A es igual a:

$$\frac{0,001 m}{3600 seg} \times 10.000 m^2 = \frac{10 m^3}{3600 seg} = \frac{1}{360} \frac{m^3}{seg} = 0,00277 \cong 0,0028 \cong 2,8 \times 10^{-3}$$

La Fórmula Racional, también puede expresarse así:  $Q = 0,0028 \times C \times I \times A$

El mayor o menor grado de exactitud obtenido en la estimación del escurrimiento dependerá del grado de precisión con que se estime el elemento menos exacto. Los elementos más difíciles de evaluar son el coeficiente de escurrimiento (C) y el tiempo de concentración (T<sub>c</sub>).

### Coeficiente de Escurrimiento (C).-

Es la relación entre el volumen escurrido y el volumen llovido  $Q = \frac{\text{volumen ...escurrido}}{\text{volumen ...llovido}}$

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 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".

En los cuadros I al IV se muestran la estimación del factor "C" según varios autores:

**Cuadro I. Coeficientes de Escurrimiento según Ramser (1927)**

USO DEL SUELO	Coeficiente de escurrimiento "C"
Bosque, relieve ondulado	0,18
Bosque, relieve quebrado	0,21
Pastura, relieve ondulado	0,36
Pastura, relieve quebrado	0,42
Cultivos, relieve ondulado	0,60
Cultivos, relieve quebrado	0,72

**Cuadro II. Coeficientes de escurrimiento según Dastane (1974)**

Suelo	Uso del Suelo	
	Tierras cultivadas	Pasturas
Arenoso	0,20	0,15
Limoso	0,40	0,35
Arcilloso	0,50	0,45

**Cuadro III. Coeficientes de Escurrimiento según Frevert, R.K. (1955)**

Condición de relieve y vegetación	Textura del Suelo		
	Franco Arenoso	Franco limoso y Franco arcilloso	Arcilloso
<b>Bosque o Monte</b>			
Plano (0 – 5 %)	0,10	0,30	0,40
Ondulado (5 – 10 %)	0,25	0,35	0,50
Colinado (10 – 30 %)	0,30	0,50	0,60
<b>Pastura</b>			
Plano (0 – 5 %)	0,10	0,30	0,40
Ondulado (5 – 10 %)	0,16	0,36	0,55
Colinado (10 – 30 %)	0,22	0,42	0,60
<b>Cultivado</b>			
Plano (0 – 5 %)	0,30	0,50	0,60
Ondulado (5 – 10 %)	0,40	0,60	0,70
Colinado (10 – 30 %)	0,52	0,72	0,82

El método de Gunnedah, contempla más variables para la estimación que el resto de los autores. Así se consideran variables edáficas, de relieve, de lluvia y uso de la tierra.

El 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 (ver cuadro IV).

Se da un ejemplo para una región con lluvias de una intensidad de 60 mm/h, pendientes entre 1 y 4 %, pocas depresiones superficiales, suelos de textura franco-limosas y cultivos anuales en casi toda la superficie.

**Cuadro IV. Características que producen el Esguerrimiento y Coeficientes Parciales, según Gunnedah, (entre paréntesis los promedios)**

Factores que afectan el esguerrimiento	Valores			
	1. Intensidad de lluvia (mm/h)	76 a 100 (0,30)	50 a 76 (0,25)	30 a 50 (0,18)
2. Relieve	Empinado + de 20 % (0,10)	Muy ondulado 10 a 20 % (0,05)	Ondulado 5 a 10 % (0,02)	Relativ. Plano 0 a 5 % (0,01)
3. Retención por la superficie	Insignificante (0,10)	Pocas depresiones (0,07)	Algunas depresiones (0,05)	Retención por estructuras que cubren el 90% del área (0,02)
4. Infiltración	Sin cubierta (rocas sólida) (0,25)	Suelo de textura arcillosa (0,18)	Suelo franco arenoso a franca limosa (0,10)	Suelo permeable (arenoso profundo) (0,05)
5. Cubierta	Suelo desnudo (0,25)	Cultivos limpios < de 10% de pasturas (0,20)	Alrededor del 50% del área con 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)

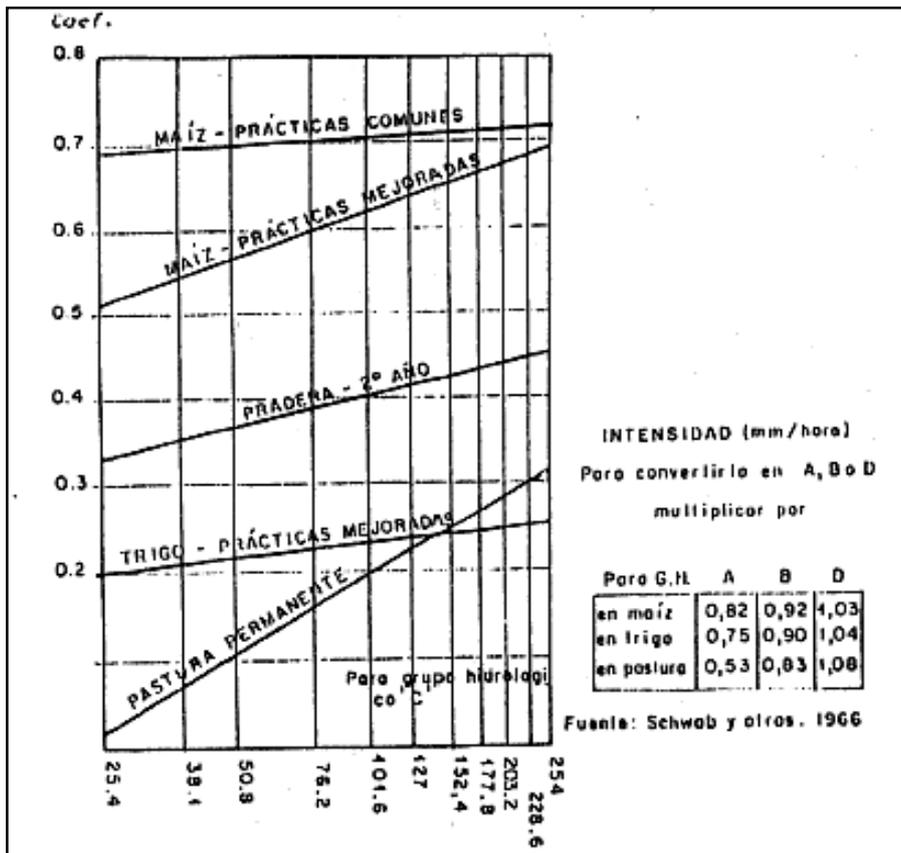
Del cuadro IV so obtienen los siguientes valores:

Lluvia	=	0,25	
Relieve	=	0,01	
Retención	=	0,07	
Infiltración	=	0,10	
Cubierta	=	0,20	
Σ		=	0,63 (Moderadamente alto)

Por lo tanto, el factor "C" de esguerrimiento para las condiciones propuestas es de 0,63.

Además existe un método gráfico para determinar el factor "C" (Schwab, 1966), a partir de la intensidad de lluvia corregida según el tiempo de concentración de la cuenca (fig. 3).

**Fig. 3. Coeficiente de Esguerrimiento C**



Las situaciones de uso y manejo contempladas en este método son las siguientes (fig. 3): maíz con prácticas comunes de manejo, maíz con prácticas mejoradas, pastura permanente, pradera de dos años y trigo con prácticas mejoradas.

Dado que para usar este método es necesario corregir la intensidad de lluvia, al Tiempo de Concentración -para su comprensión- es conveniente leer previamente el tema "Intensidad de lluvia" que se desarrolla a continuación. Aquí se hace referencia al Tiempo de Concentración y forma de corrección de las intensidades de lluvia.

Además, el método gráfico para determinar "C" referencia a los "grupos hidrológicos de suelo". Cuya definición se considera al desarrollar el método del Soil Conservation Service (U.S.A.)

### **Intensidad de Lluvia y Tiempo de Concentración.-**

Originalmente, "I" Corresponde a la intensidad máxima de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca.

El Tiempo de concentración ( $T_c$ ) 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.

A veces, se define al Tiempo de Concentración, como el tiempo requerido por el agua para escurrir desde el punto más lejano de la cuenca hasta la salida. Esta definición no es del todo correcta si se generaliza, ya que el tiempo mayor no tiene que ser necesariamente el empleado por el escurrimiento procedente del punto de la cuenca más alejado de la salida. Puede existir un punto más cercano cuyo escurrimiento, ya sea por seguir una pendiente más suave o por quedar temporalmente retenido en el camino, emplee más tiempo en abandonar la cuenca.

Esta posibilidad se contempla en la primera definición, al referirse al tiempo máximo requerido por el escurrimiento para alcanzar la salida de la cuenca desde cualquier punto de la misma. A continuación se pasa a considerar la razón por la cual el Tiempo de Concentración corresponde al del caudal máximo de escurrimiento.

Si un frente de lluvias 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 máximo caudal de escurrimiento, se dará en una tormenta con la duración mínima, que corresponda a la contribución de toda la cuenca al escurrimiento (Tiempo de Concentración).

Entonces, el  $T_c$  es el mayor tiempo requerido por el agua que escurre superficialmente para llegar desde cualquier punto de la cuenca, a la salida de la misma.

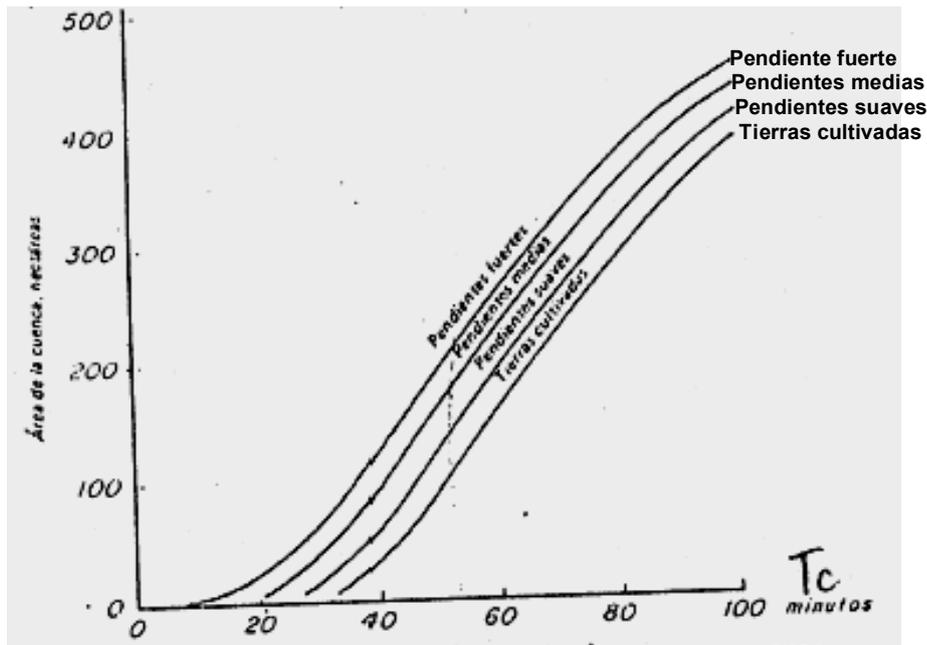
El mínimo tiempo que permite el aporte de toda la cuenca, es el que emplea el agua para llegar hasta la salida de la cuenca, desde aquel punto que requiere más tiempo, y de ahí la definición de Tiempo de concentración.

Las características de la cuenca que afectan al  $T_c$  son:

- a) **Tamaño:** cuanto más grande, mayor será el  $T_c$ ;
- b) **Topografía:** un relieve pronunciado provocará escurrimiento más rápidamente y por lo tanto el  $T_c$  será menor que en un relieve suave;
- c) **Forma:** cuencas largas y delgadas, presentan un  $T_c$  mayor que las cuencas casi redondas o cuadradas, ya que la distancia a la salida será mayor en las primeras que en las segundas (ver Fig. 4).

Una estimación muy aproximada del  $T_c$  puede obtenerse a partir únicamente del área de la cuenca (Ayres, 1939), ver cuadro V.

Fig 4. Efecto de la Pendiente y del Área de la Cuenca sobre el Tc (Cominck, 1951)



Cuadro V. Tc, Estimado en Función de la Superficie de la Cuenca

Superficie de la cuenca (ha)	Tiempo de concentración (min)
0,4	1,4
2,0	3,5
4,0	4,0
40,5	17,0
202,5	41,0
405,0	75,0

Una fórmula adecuada para el cálculo del Tiempo de Concentración es la de Kirpich (1940):

$$T_c = 0,02 \times L^{0,77} \times S^{-0,385}$$

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 VI, se muestran los valores del Tc en minutos, calculados, mediante la fórmula de Kirpich, para diferentes longitudes de recorrido del escurrimiento y gradientes variables (Schwab) y otros, 1966).

Otra fórmula bastante usada es la Bransby – Willians: 
$$T_c = \frac{L}{1,5} \sqrt[5]{\frac{M^2}{F}}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración, en minutos.

L = Distancia máxima a la salida, en Km.

D = Diámetro de un círculo cuya superficie es igual al área de cuenca en km<sup>2</sup>

M = Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

F = Promedio de la caída de la vía principal de agua, en metros por cada 100 metros

**Cuadro VI. Tiempos de Concentración Calculados por la Fórmula de Kirpich para Distintas Longitudes Máximas de Recorrido del Esguerrimiento y Gradientes (Tc, en minutos)**

Máxima longitud recorrida por el esguerrimiento (m)	Gradiente %					
	0,05	0,1	0,5	1,0	2,0	5,0
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

El dato de intensidad de lluvia a considerar en la fórmula puede obtenerse de las siguientes formas (Puriccelli, 1983): **a)** contar con la información pluviográfica válida; **b)** estimarla a partir de valores medios de intensidades para el lugar; **c)** estimarla a partir de datos de precipitaciones máximas de 24 horas, previo tratamiento estadístico adecuado.

Obviamente, lo ideal es contar con información de pluviógrafo, lo cual permitirá un cálculo más preciso de la intensidad correspondiente al tiempo de concentración. De no ser así, se puede estimar la intensidad máxima en 30 minutos, 1 hora, 2 horas, etc., para un período de retorno de 10 años, partiendo de una lluvia máxima de 24 horas mediante el empleo de coeficientes de conversión (Evans, 1971), como se muestra en el siguiente cuadro.

**Cuadro VII. Factor de Conversión para Estimar Intensidades de Lluvia a partir de una Lluvia Máxima de 24 horas**

Duración de la lluvia	30 min	1 h	2 h	6 h	12 h	24 h
Factor de conversión	0,31	0,36	0,44	0,69	0,88	1,00

Una vez determinado el Tiempo de concentración de la cuenca y el valor de intensidad horaria de lluvia, se deberá corregir este valor para el Tc determinado. La corrección no se hace solamente en el caso en que los datos de intensidad se obtengan del pluviógrafo para el Tc establecido.

La corrección puede realizarse empleando métodos gráficos como el de Hathaway (Fig. 5), Se lee en ordenadas (Y) la intensidad horaria elegida y se intercepta en el diagrama la curva correspondiente al Tc calculado. En abscisas (X) se lee la intensidad de lluvia corregida al Tiempo de concentración de la cuenca.

Ejemplo: dada una intensidad de 50 mm/h para un período de retorno de 10 años y un Tc de 30 minutos, calcular la intensidad de lluvia corregida para dicho Tc.

Se lee en ordenadas 50 mm/h, se intercepta la curva del Tc = 30 min y en abscisas se lee 80 mm/h que es la intensidad corregida. En el caso del gráfico de Hathaway, el dato de intensidad de lluvia corregido se refiere a 1 hora por lo que se puede usar tal cual en la Fórmula Racional para estimación del esguerrimiento.

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 (Fig. 6). 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).

Fig. 5. Gráfico de Hathaway

Relación entre la Intensidad de Lluvia (pulgadas y milímetros por hora) para Períodos de 1 hora, con las Intensidades Correspondientes a las Diferentes Duración de Precipitación

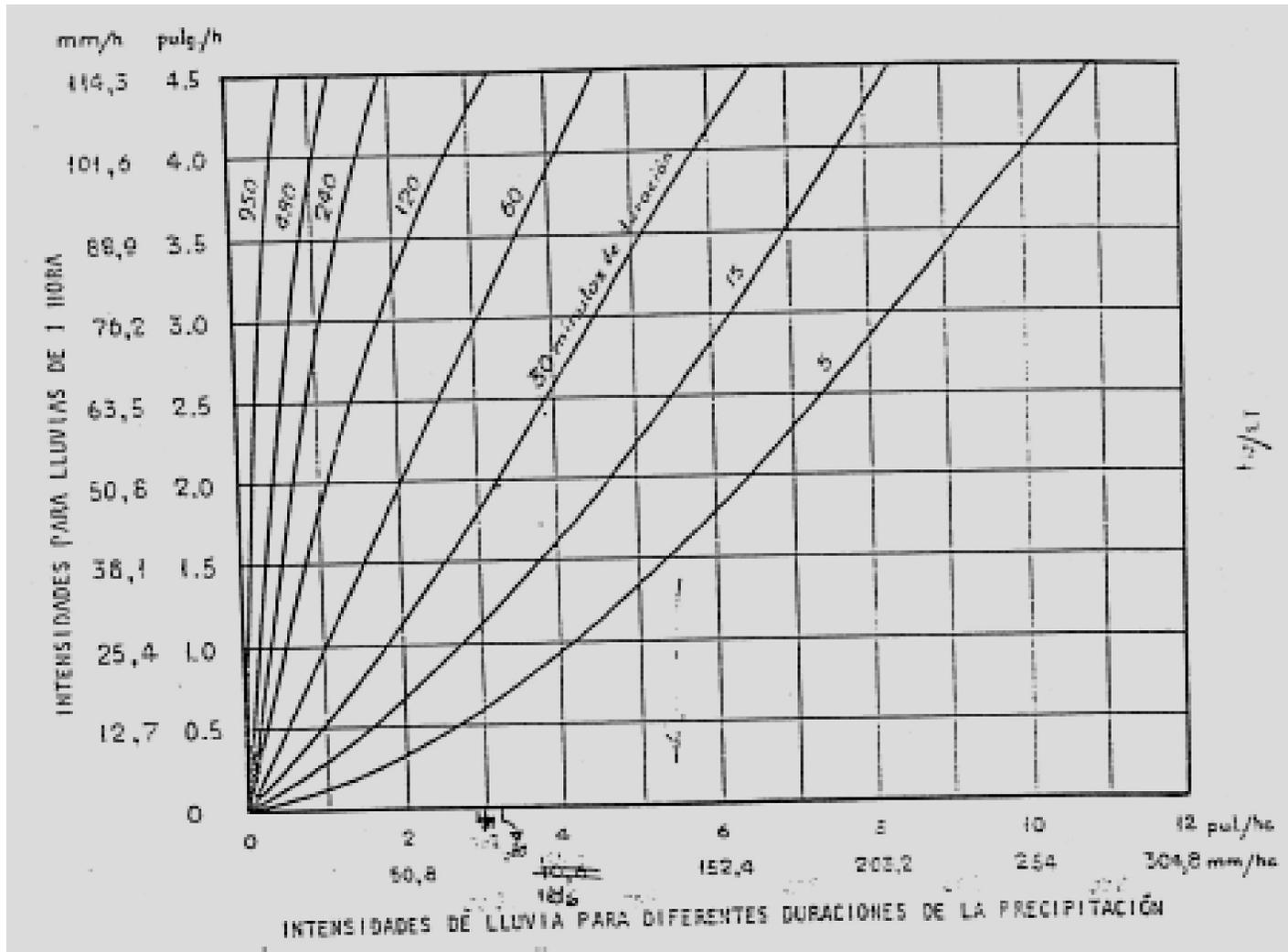
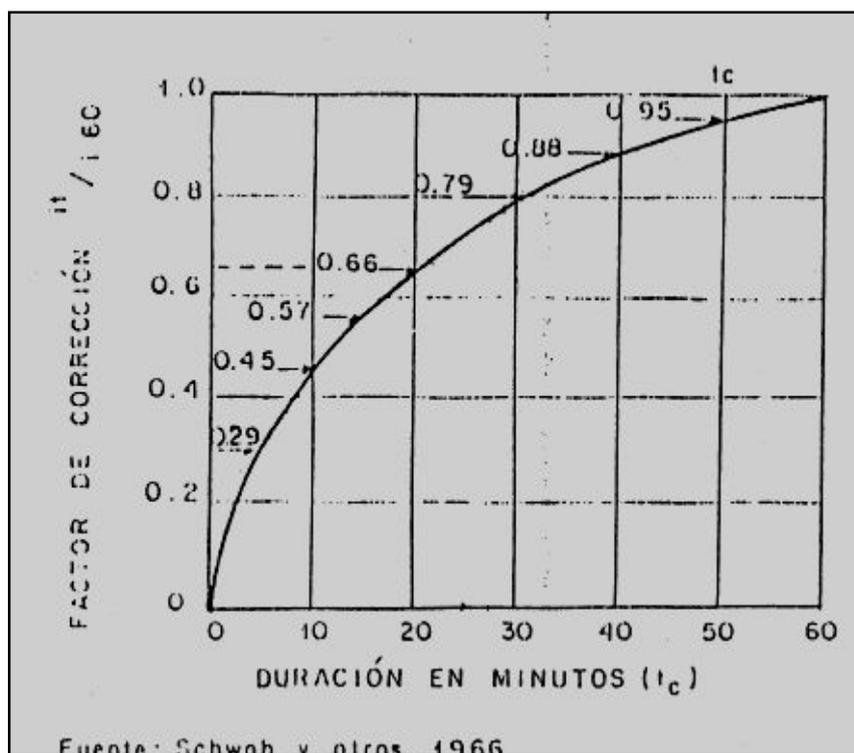


Fig. 6. Factor de Corrección para Calcular la Intensidad de Lluvia



Ejemplo: dada una intensidad de lluvia de 60 mm/h y un  $T_c$  de 30 min, se desea corregir dicha intensidad en función del Tiempo de concentración.

Con el  $T_c$  de 30 min, se calcula en la fig. 6 el factor de corrección 0,8.

Intensidad corregida = 6.0 mm/h x 0,8 = 48 mm/30 minutos

Pero estos 48 mm corresponden al  $T_c$  de 30 minutos, se debe expresar como intensidad horaria, o sea, en 60 min., que es el dato que se aplica en la Formula Racional para estimar el escurrimiento. Es decir:

$$\text{Intensidad corregida} = 48 \text{ mm} \times (60 \text{ min}/30 \text{ min}) = 96 \text{ mm/h.}$$

### Ejemplo de Aplicación de la Fórmula Racional.-

Estimar el escurrimiento por la Formula Racional en una cuenca con las siguientes características fisiográficas y de uso del suelo:

- Superficie de la cuenca: 300 hectáreas
- Gradiente general de la cuenca: 1 % (12 m de desnivel desde la parte más elevada hasta la salida)
- Distancia mayor a recorrer por el escurrimiento superficial: 1.220 metros.
- Grupo hidrológico de suelos: C (suelos con baja infiltración y moderadamente alto escurrimiento).
- Cultivos realizados: trigo (con prácticas mejoradas), 120 hectáreas, maíz (con prácticas mejoradas), 80 hectáreas, pastura permanente, 100 hectáreas
- Intensidad máxima de lluvia: 60 mm/h (para un período de retorno de 10 años).

**1) Cálculo del Tiempo de concentración (Tc):**

$$T_c = 0,02 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad T_c = 0,02 \times 1.220^{0,77} \times 0,01^{-0,385} = 27 \text{ min}$$

**2) Corrección de la Intensidad de lluvia:**

Puede realizarse según los siguientes métodos:

**a) Gráfico de Hathaway:** para 60 mm/h y un tiempo de concentración de 27' se obtiene una intensidad corregida de 100 mm/hora

**b) Gráfico de Schwab:** para un Tc de 27 min, el factor de corrección es 0,75. La intensidad corregida será:

$$60 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \times 0,75 \times \frac{60 \text{ min}}{27 \text{ min}} = 100 \text{ mm / h}$$

Se recuerda, que se debe multiplicar por la relación 60'/27' para expresar el resultado como intensidad horaria.

Díaz y Masiero (1984), mencionan a Hershfield y Wilson (1957), quienes multiplican la lluvia diaria, por el factor 1,13 para obtener la lluvia máxima en 24h. El coeficiente 1,13 correspondería a la discrepancias entre la medición de la lluvia máxima en el día pluviométrico (de 8 a 8 h) y la registrada en un período de 24 h hace el siguiente tratamiento, independiente de la hora específica.

Mencionan además, que para estimar la cantidad de lluvias registradas para cualquier duración entre 24 h y 30 min., se multiplica la lluvia máxima en 24 h, con T = 10 años (tiempos de retorno de 10 años) por el correspondiente coeficiente mostrado en el cuadro VII. De esta forma se obtendría las lluvias máximas en 12, 6, 2, 1 y ½ h.

$$\text{Lluvia máxima diaria} \times 1,13 = \text{Lluvia máxima en 24 h (10 años de tiempo de retorno)}$$

$$\text{Lluvia máxima en 24 h (10 años de tiempo de retorno)} \times 0,36 = \text{Intensidad en mm/h}$$

Obviamente, este método se utiliza cuando sólo se disponen de datos de lluvias diarias; pero, se recomienda trabajar con registros de lluvias máximas diarias, registradas al mes o por año, en cuyo caso ya no se usa el coeficiente 1,13. Tampoco se usaría cuando se tienen datos de pluviógrafos.

**3) Cálculo del coeficiente "C":**

Se efectuará por el método gráfico (Schwab) aunque, de acuerdo a la información disponible, podrán usarse las tablas de otros autores

El cálculo del Coeficiente de escurrimiento "C", se calcula para suelos del grupo hidrológico C,

- Para una intensidad de 100 mm/h, cultivo de trigo con prácticas mejoradas, C = 0,23.
- Para una intensidad de 100 mm/h, cultivo de maíz con practicas mejoradas, C = 0,62.
- Para una intensidad de 100 mm/h, pradera permanente, C = 0,19

El cálculo del Coeficiente "C", tomando en cuenta la superficie ocupada por el trigo, maíz y pastura permanente se efectúa de la siguiente forma:

$$C = \frac{120 \text{ ha}}{300 \text{ ha}} \times 0,23 + \frac{80 \text{ ha}}{300 \text{ ha}} \times 0,62 + \frac{100 \text{ ha}}{300 \text{ ha}} \times 0,19 = 0,32$$

4) Estimación del Esgurrimiento Superficial "Q":

$$Q = \frac{C.I.A.}{360} = \frac{0,32 * 100 * 300}{360} = 26,7 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

### **METODO DEL SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS DE ESTADOS UNIDOS (S.C.S.)**

Es un método adecuado para la estimación del escurrimiento en cuencas reducidas (hasta 800 ha, aproximadamente). Una de las ventajas en relación a otros métodos consiste en que, además de tomar en cuenta las variaciones que se producen debido a las características de las cuencas (relieve, infiltración, cobertura vegetal, etc.), considera los efectos de las prácticas conservacionistas.

Además es importante consignar que este método, a diferencia de la Formula Racional, emplea para la estimación de los escurrimientos, la lluvia total de 24 horas, y no la intensidad horaria.

Se lo utiliza para estimar el volumen medio de escurrimiento de una cuenca y también el pico de descarga.

El método se basa en determinar los grupos hidrológicos de suelos que componen la cuenca, el uso de los mismos y la posible aplicación de prácticas conservacionistas. Con estos elementos se integra el complejo hidrológico suelo – cobertura. En la figura 7 se muestran esquemáticamente los elementos fundamentales empleados para la estimación del Esgurrimiento superficial.

#### **Grupos Hidrológicos de Suelos.-**

Las propiedades físicas del suelo tienen una influencia importante en la generación del escurrimiento superficial, se las debe reunir en un parámetro hidrológico. Este parámetro es el Grupo hidrológico de suelo, y se refiere al grado mínimo de infiltración obtenido en un suelo desnudo, después de una prolongada mojadura.

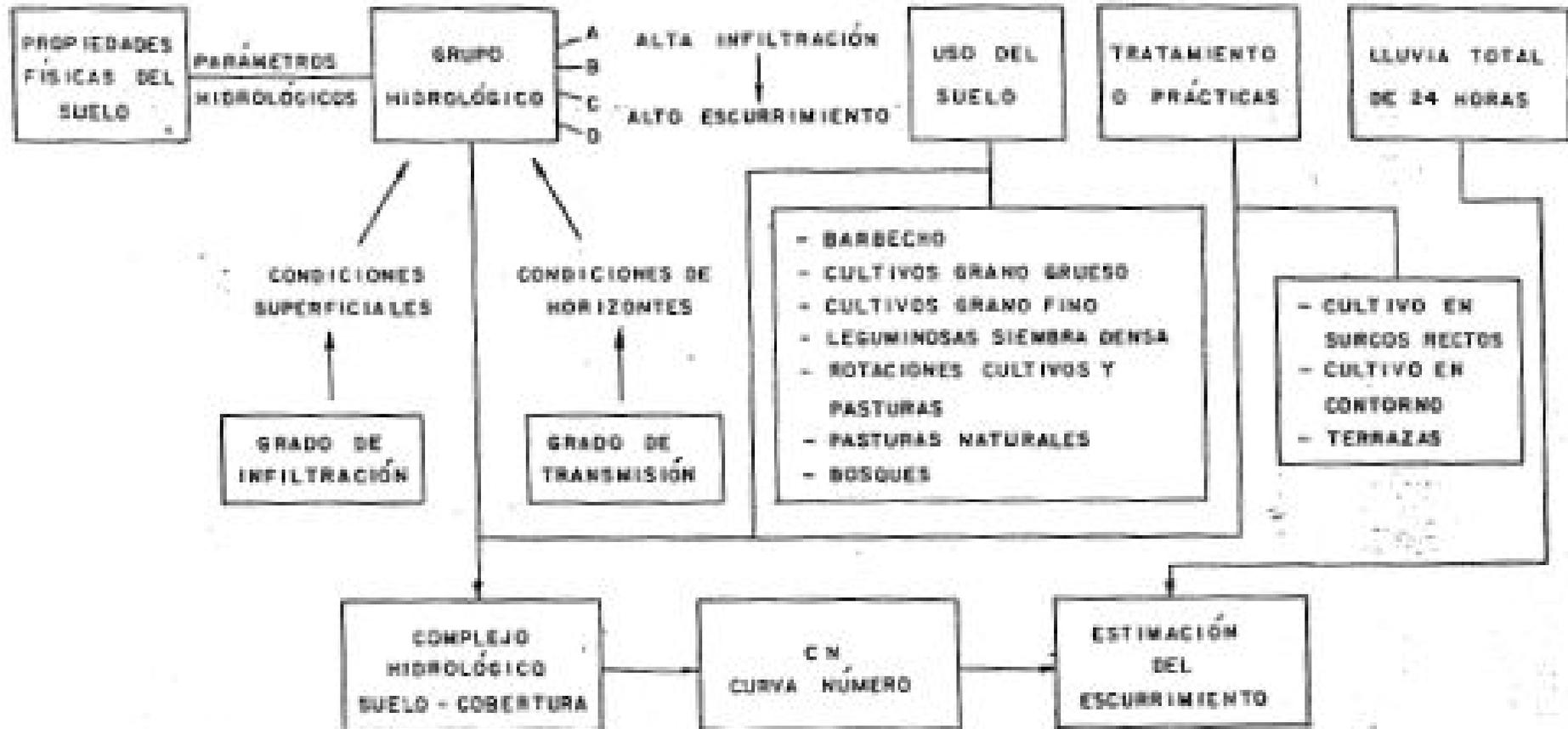
Para definir el Grupo hidrológico de un suelo, se consideran las condiciones de superficie y las de los horizontes. En el primer caso se habla del "Grado de infiltración" y en el segundo, del "Grado de transmisión".

El grado de infiltración se refiere a la velocidad con que el agua penetra en el suelo desde la superficie y depende de las condiciones superficiales.

El grado de transmisión es la velocidad de movimiento del agua en el perfil y depende de la permeabilidad de los distintos horizontes.

Los Grupos hidrológicos son cuatro: A, B, C y D, yendo desde los que poseen un alto grado de infiltración y transmisión (potencial bajo de escurrimiento), hasta los que tienen muy baja grado de infiltración y transmisión (potencial alto de escurrimiento). En el cuadro siguiente se muestran las características generales de los perfiles de suelos correspondientes a cada grupo hidrológico.

Fig. 7. Elementos que Intervienen en la Estimación del Volumen Medio de Escurrimiento por el Método del S.C.S. de los EEUU



**Cuadro VIII. Grupos Hidrológicos de Suelos y Características Generales de los Perfiles que los Definen**

<b>Grupo Hidrológico</b>	<b>Grados de Infiltración – transmisión</b>	<b>Características generales del Perfil</b>
<b>A</b>	Grado alto de infiltración Grado alto de transmisión (potencial bajo de escurrimiento)	Suelos profundos, bien o excesivamente drenados; texturas arenosas, gravas, gravillas, etc.
<b>B</b>	Grado moderado de infiltración Grado moderado de transmisión	Suelos moderadamente profundos, sin barreras físicas importantes, materiales más finos que arenas
<b>C</b>	Grado bajo de infiltración Grado bajo de transmisión	Presencia de capas u horizontes que limitan la infiltración y transmisión hídrica; texturas finas
<b>D</b>	Grado muy bajo de infiltración Grado muy bajo de transmisión (potencial alto de escurrimiento)	Suelos someros o con capa freática alta o capa densificada e impermeable cercana a la superficie; texturas arcillosas con predominio de arcillas expandibles

Para determinar la distribución areal de los Grupos Hidrológicos de un suelo en una cuenca, lo más adecuado es contar con un mapa de suelos a escala conveniente. A partir de la descripción de los perfiles se infieren los distintos Grupos Hidrológicos.

Para determinar el área que cubre cada grupo no es necesario recurrir a métodos demasiado precisos (planímetro o pesajes), sino que bastará con el empleo de una cuadrícula para efectuar el conteo de puntos en las intersecciones. La expresión porcentual del número de puntos correspondientes a cada grupo hidrológico, dará la superficie que abarca cada uno, expresada como un porcentaje de la cuenca.

Se debe tener cuidado en la cuantificación areal de los distintos grupos cuando ellos pertenezcan a grupos lejanos como, por ejemplo, A y D ya que un error aunque no sea demasiado grande, podría modificar sustancialmente la estimación realizada.

Si un suelo no está bien definido en un grupo hidrológico, se pueden crear subgrupos interpolando las "Curvas Número". (Luego se explicara el concepto de Curva Número - CN). Estos subgrupos se denominarán, por ejemplo, A +, B -, C+, etc., o con un subíndice: A1, A2, A3, etc.

### **Uso y Manejo de los Suelos.-**

El uso del suelo se refiere al grado y tipo de cobertura que tienen los suelos de la cuenca incluyendo los distintos tipos de vegetación (cultivos, pasturas y bosques), barbechos y usos no agrícolas del suelo (lagunas, caminos, etc.).

El manejo o tratamiento del suelo se refiere fundamentalmente a la forma de realizar las labranzas: en surcos rectos o en contorno. El cultivo en contorno puede ser a su vez, con o sin terrazas.

Los principales usos que se consideran son:

- a) Barbecho: es el uso con potencial mayor de escurrimiento, ya que se refiere al barbecho desnudo. El barbecho bajo cubierta de rastrojos no se considera, pero se podría evaluar por comparación de sus condiciones de campo con aquellas clases que figuran en las tablas.
- b) Cultivo de grano grueso: se refiere a cultivos efectuados en surcos lo suficientemente separados como para que el suelo quede expuesto al impacto de las gotas de lluvia durante la estación de crecimiento. En el momento de la siembra al cultivo se lo considera como barbecho, al igual que después de la cosecha. La mayoría de los aspectos evaluados se suponen para condiciones generales y promedio.
- c) Cultivos de grano fino: se siembran en surcos cercanos entre sí (cultivos densos, cereales de inviernos) de manera que protegen bien al suelo, salvo un corto período inicial

- d) Leguminosas de siembra densa o rotaciones de cultivos y pasturas; se refiere a leguminosas sembradas al voleo para proteger al suelo durante todo el año y a rotaciones de cultivos entre si o de cultivos con pasturas. Se habla de rotación "pobre" cuando se efectúa sobre la base de uno o dos cultivos agrícolas, sin pasturas. Se considera de "buena rotación" cuando se incluyen pasturas para mejorar la infiltración de los suelos.
- e) Pasturas naturales: se evalúa la efectividad de la cobertura que brindan al suelo, estableciendo en base a ello tres condiciones hidrológicas: "**pobre**" cuando cubren menos del 50 % del área, "**regular**" cuando cubren entre el 50 % y el 75 % y "**buena**" cuando cubren más del 75 % del área.
- f) Bosques: se refiere a bosquecillos de árboles cultivados en las chacras, fundamentalmente. La condición hidrológica se evalúa en función de la cobertura que brindan.

Los manejos o tratamientos considerados son:

- a) Cultivos en surcos rectos: se refiere a campos cultivados a favor de la pendiente. Cuando se efectúa en surcos rectos pero cortando la pendiente, se lo puede considerar como cultivo en contorno.
- b) Cultivo en contorno: se refiere a campos trabajados siguiendo las curvas de nivel o una línea semejante. El efecto hidrológico del contorneo se debe a un mayor almacenamiento de agua en el suelo, al entorpecer el desplazamiento del agua y darle mas tiempo pura infiltrar. La magnitud del almacenamiento dependerá de las dimensiones del surco, laboreo culturales, pendiente del terreno, tipo de cultivo, sistemas de cultivos y por supuesto, del suelo considerado. En general, en cultivos densos, los surcos se destruyen durante la estación de crecimiento por acción climática. En los cultivos de escarda, los surcos se mantienen por las carpidas sucesivas. Los valores consignados en tablas se refieren a condiciones promedio para la estación de crecimiento. El efecto relativo del contorneo que figura en tablas, se basa en cuencas experimentales con pendientes del 3 % al 8 %.
- c) Terrazas: se refiere a sistemas de cultivo en contorno con terrazas que pueden construirse con o sin gradiente. El efecto hidrológico de este sistema consiste en aumentar la posibilidad de que se infiltre mas agua en el suelo, al disminuir la velocidad de desplazamiento y conducir excedentes por desagües vegetados.

### **Complejos Hidrológicos Suelo – Cobertura.-**

Cuando se combina un grupo hidrológico de suelo, con el uso y manejo del suelo se constituye un complejo hidrológico suelo - cobertura (cuadro IX).

Cada complejo hidrológico esta representado por una relación "Curva número" (**CN**) de escurrimiento. Las curvas número indican el escurrimiento potencial de un complejo: a mayor curva numero, mayor escurrimiento potencial.

Los valores de CN consignados en cuadros, son promedios de casos estudiados en cuencas experimentales a 250 ha, con lluvias de una duración de 24 horas, con grupos hidrológicos de suelos diferentes y para usos de la tierra variables.

### **Condición de Humedad del Suelo.-**

El contenido de humedad de un suelo tiene influencia sobre la velocidad de infiltración y posibilidad de almacenaje de agua de lluvia, y por lo tanto sobre el volumen de escurrimiento que se genera. De ahí que se considera el total de lluvias registradas en los cinco días anteriores a la lluvia que se utilizará para estimar el escurrimiento. Ello determinará la "condición de humedad antecedente" (**AMC**).

A tal efecto, se emplean tres niveles de AMC:

AMC I: Corresponde a la situación de escurrimiento potencial más bajo, o sea al suelo seco.

AMC II: Corresponde a la situación promedio de humedad.

AMC III: Corresponde a la situación de escurrimiento potencial más elevado. El suelo se encuentra prácticamente saturado de agua por las últimas lluvias.

**Cuadro IX. Valores de CN para la Condición AMC II de la Cuenca Receptora para los Diferentes Tipos de Uso de la Tierra**

Aprovechamiento de la tierra o de la cubierta	Tratamiento o práctica	Estado	Clase hidrológica del suelo			
			A	B	C	D
<b>Barbecho</b>	<b>Surcos rectos</b>	<b>Malo</b>	<b>77</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>94</b>
Cultivos en surcos	Surcos rectos	Malo	72	81	88	91
	Surcos rectos	Bueno	67	78	85	89
	Curvas a nivel	Malo	70	79	84	88
	Curvas a nivel y bancales	Malo	66	74	80	82
	Curvas de nivel y bancales	Bueno	62	71	78	81
Cereales finos	Surcos rectos	Malo	65	76	84	88
	Surcos rectos	Bueno	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Malo	63	74	82	85
	Curvas de nivel	Bueno	61	73	81	84
	Curvas de nivel y bancales	Malo	61	72	79	82
	Curvas de nivel y bancales	Bueno	59	70	78	81
Leguminosas de siembra densa o praderas en rotación	Surcos rectos	Malo	66	77	85	89
	Surcos rectos	Bueno	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Malo	64	75	83	85
	Curvas de nivel	Bueno	55	69	78	83
	Curvas de nivel y bancales	Malo	63	73	80	83
	Curvas de nivel y bancales	Bueno	51	67	76	80
Pastos o pastizales		Malo	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Bueno	39	61	74	80
	Curvas de nivel	Malo	47	67	81	88
	Curvas de nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas de nivel	Bueno	6	35	70	79
Prado (permanente)		Bueno	30	58	71	78
Bosques (fincas boscosas)		Malo	45	66	77	82
		Regular	36	60	73	79
		Bueno	25	55	70	77

Los cálculos de escurrimiento se realizan siempre sobre la base de una AMC media, o sea para AMC II y éstos son los valores que figuran en los cuadros. Cuando sea necesario, se podrán corregir a AMC I o AMC III. Para ello se emplea el cuadro X, en el cual se representa la precipitación acumulada durante los cinco días anteriores a la lluvia considerada para estimar el escurrimiento según la vegetación se encuentre en la estación de crecimiento o reposo.

En la columna de la izquierda se puede observar el grupo de AMC.

Por ejemplo: se desea conocer la AMC para las máximas precipitaciones del mes de marzo de una determinada localidad, sobre una serie de datos de 30 años.

Para cada lluvia máxima del mes de marzo de cada año, se determina la lluvia de los cinco días anteriores y, por medio del cuadro, la correspondiente AMC. Luego, con estos datos, se calcula el porcentaje de casos de ocurrencia de lluvias con AMC I, AMC II y AMC III. Así, por ejemplo, surge de los 30 años considerados, las lluvias máximas de marzo suceden en un 50 % sobre AMC III, en un 30 % sobre AMC II y en un 20 % sobre AMC I.

**Cuadro X. Total de Precipitación Acumulada en los cinco Días Anteriores a la Lluvia Considerada para el Cálculo del Escurrimiento**

Grupos de AMC	Total de precipitación (mm) acumulada en los cinco días anteriores	
	Estación de reposos de la vegetación	Estación de crecimiento de la vegetación
AMC I	Menos de 12,7	Menos de 35,6
AMC II	Entre 12,7 y 2,9	Entre 35,6 y 53,3
AMC III	Más de 27,9	Más de 53,3

De acuerdo con esta situación se deberá realizar la corrección de la CN seleccionada empleando a tal efecto el cuadro N° XI, ya que se reitera que los valores de CN que constan en el cuadro IX, se refieren a la condición AMC II de la cuenca.

**Cuadro XI. Números de CN para las Diferentes Condiciones de Humedad y Valores de S**

CN para la condición II	CN		Valores S (mm)	CN para la condición II	CN		Valores S (mm)
	I	III			I	III	
100	100	100	0,0	58	38	76	181,0
98	94	99	5,1	56	36	75	196,5
96	89	99	10,4	54	34	73	213,0
94	85	98	15,9	52	32	71	230,7
92	81	97	21,7	50	31	70	250,0
90	78	96	27,7	48	29	68	270,0
88	75	95	34,0	46	27	66	292,5
86	72	94	40,7	44	25	64	317,5
84	68	93	47,5	42	24	62	345,0
82	66	92	55,0	40	22	60	375,0
80	63	91	62,5	38	21	58	407,5
78	60	90	70,5	36	19	56	445,0
76	58	89	79,0	34	18	54	485,0
74	55	88	87,7	32	16	52	530,0
72	53	86	97,2	30	15	50	582,5
70	5J	85	107,0	25	12	43	750,0
68	48	84	117,5	20	9	37	1.000,0
66	46	82	128,7	15	6	30	1.417,5
64	44	81	140,5	10	4	22	2.250,0
62	42	79	153,2	5	2	13	4.750,0
60	40	78	166,7	0	0	0	Infinito

**Estimación del Escurrimiento Directo.-**

El escurrimiento superficial ocurre cuando la intensidad de la lluvia supera el grado de infiltración. El escurrimiento aparece en el hidrograma después que las demandas iniciales (abstracción inicial) de interceptación - infiltración y almacenamiento superficial han sido satisfechas.

El escurrimiento subsuperficial ocurre cuando la precipitación que ha infiltrado en el suelo llega a una capa u horizonte de transmisión baja, desplazándose aguas abajo, apareciendo luego como un manantial. Este flujo se llama de "retorno rápido" porque aparece en el hidrograma durante o poco después de la tormenta, El escurrimiento subterráneo aparece tarde como para tener alguna influencia en el hidrograma.

En hidrología se acostumbra a considerar separadamente el escurrimiento subterráneo o basal y reunir los otros tipos, dentro del escurrimiento directo. Dicho escurrimiento abarca el superficial y subsuperficial en proporciones desconocidas.

El método del S.C.S. estima el escurrimiento directo, pero las proporciones de superficial y subsuperficial deben, a su vez, ser estimadas.

La relación lluvia - escurrimiento se ha desarrollado según los datos de lluvias de pluviómetros. Por lo tanto, los datos son totales para un día calendario de tormenta y nada se conoce acerca de la distribución de la lluvia, es decir, se desconoce la intensidad.

La fórmula empleada por el S.C.S. es la siguiente:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Donde:

Q = volumen escurrido, en pulgadas.

P = Precipitación acumulada, en pulgadas

$I_a$  = Retención inicial o abstracción inicial: incluye la retención superficial, intercepción por la vegetación e infiltración en el terreno previa a la producción del escurrimiento, en pulgadas.

S = Máxima retención potencial de agua por el terreno (incluye la  $I_a$ ), en pulgadas

El método supone que:  $I_a = 0,2 \times S$

Es decir que, la retención o abstracción inicial es el 20 % de la capacidad de retención total. El 80 % restante corresponde a la infiltración después que el escurrimiento ha comenzado. Reemplazando en la fórmula:

$$Q = \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{(P - 0,2 \times S) + S}$$

El denominador puede simplificarse, porque:  $+1S - 0,2S = +0,8S$

La fórmula queda así:

$$Q = \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{(P + 0,8 \times S)}$$

De esta fórmula se desprende la importancia de S en la estimación del volumen de escurrimiento. S, es decir, la máxima retención potencial de agua por el terreno depende de:

- a) Estado de humedad del suelo.
- b) Grupo hidrológico del suelo.
- c) Uso y manejo del suelo.

El valor de S puede estar entre cero e infinito; cuando valga cero el escurrimiento será máximo, tratándose de una superficie lisa e impermeable. Será infinito en un medio profundo, altamente poroso, espeso, etc.

Este hecho, se expresa en la relación curva número (CN)

$$CN = \frac{1.000}{10 + S}$$

Donde, si  $S = 0$ ,  $CN = 100$ , que es el máximo valor que puede aparecer en los gráficos de CN para estimar escurrimientos.

Vale decir que, la CN es una relación que está en función de la máxima retención potencial, e indica el escurrimiento potencial de un complejo. Por ejemplo, cuando se recorra la CN 100, en cualquier punto de la misma, la retención máxima será nula. Cuando se recorre la CN 50, en cualquier punto de la misma la retención máxima potencial será de 250 mm (10 pulgadas), y así sucesivamente (cuadro XI).  $10'' = 250\text{mm}$ ;  $1'' = 2,5\text{ mm}$  (  $'' = \text{pulgadas}$ ); (1 pie = 30,68 cm).

$$CN = \frac{1.000}{10 + 10''} = 50$$

Las CN permiten una solución gráfica para las estimaciones del escurrimiento y además realizar ajustes (por ejemplo, por contenido de humedad del suelo) e interpolaciones.

La estimación del escurrimiento puede realizarse también por la fórmula explicada, a partir del dato de lluvia y conociendo la máxima retención potencial del suelo (es decir que se debe conocer S).

Aplicando la CN solamente se deberá conocer el grupo hidrológico del suelo, el uso y manejo del mismo. Con esta información se va a cuadros y se lee la CN que trae, implícito el valor de S que se desconoce.

### **Procedimiento para la Estimación del Escurrimiento.-**

Para la estimación del escurrimiento superficial de una cuenca, se deberá conocer: **a)** el grupo hidrológico de los suelos; **b)** la utilización de la tierra y el estado del cultivo; **c)** la forma de siembra del cultivo: en surcos rectos a favor de la pendiente o en curvas de nivel.

Una vez conocidos estos datos se procede de la siguiente manera:

- 1) En el cuadro IX se obtiene el valor de CN para la AMC II.
- 2) Empleando el cuadro XI se corrigen la CN según la AMC real del suelo (si no se tuvieran los datos antecedentes de humedad del suelo, se emplea la AMC II).
- 3) Sobre la base de la CN y de la precipitación considerada, en el cuadro XII se puede leer el escurrimiento estimado.

### **Ejemplo de Aplicación de la Metodología.-**

Se desea conocer el escurrimiento generado en una cuenca de 300 ha, con suelos Argiudoles típicos, con los siguientes cultivos:

- a) 180 ha de trigo a favor de la pendiente, y
- b) 120 ha de pasturas de leguminosas.

La época considerada para la estimación es el mes de septiembre, la AMC corresponde a AMC I (suelo seco), la precipitación máxima considerada es de 100 mm en 24 horas.

- 1.- En el cuadro IX se obtiene el valor de CN para: a) trigo a favor de la pendiente, grupo hidrológico de suelo C = 83; b) pastura de alfalfa, grupo hidrológico de suelo CN = 81.
- 2.- En el cuadro XI se corrige el valor de CN para la AMC real del suelo, que en este caso es AMC I.

CN Sin corregir (AMC II)	CN Corregidas (AMC I)
83	67
81	64,5 *

\* calculado por interpolación del cuadro XI

**Cuadro XII. Escurrimiento (mm) con Diferentes Valores de CN y Precipitación**

Precipitación (mm)	Valores de CN						
	60	65	70	75	80	85	90
25,0	0,00	0,00	0,00	0,75	2,00	4,25	8,00
30,0	0,00	0,00	0,75	1,75	3,75	7,00	11,50
35,0	0,00	0,50	1,50	3,25	6,00	9,75	15,20
40,0	0,25	1,25	2,75	5,00	8,50	13,00	19,00
45,0	0,75	2,25	4,25	7,25	11,00	16,20	23,20
50,0	1,50	3,50	6,00	9,50	14,00	20,00	27,20
62,5	4,25	7,50	11,50	16,20	22,20	29,50	38,20
75,0	8,25	12,70	18,00	24,00	31,20	39,70	49,50
<b>100,0</b>	<b>19,00</b>	<b>25,70</b>	33,20	41,70	51,00	61,50	73,00
125,0	32,50	41,20	51,00	61,20	72,00	84,20	97,00
150,0	48,00	50,70	70,00	82,00	94,50	107,70	121,20
175,0	65,00	77,50	90,50	103,70	117,20	131,50	145,50
200,0	83,20	97,50	111,70	123,00	140,50	155,50	170,20
225,0	102,50	118,00	133,50	148,70	144,20	179,70	194,70
275,0	143,00	161,00	178,20	195,50	212,00	228,50	244,20
300,0	164,00	183,00	201,20	119,00	236,20	253,00	269,00

3.- Se calcula la CN media ponderada para la cuenca de la siguiente manera:

180 ha de trigo representa el 60 % de la superficie de la cuenca  
120 ha de pastura representa el 40 % de la superficie de la cuenca.

La CN media se calcula de la siguiente forma:

$$0,60 \times 67,0 = 40,2$$

$$0,40 \times 64,5 = \underline{25,8}$$

$$CN = 66,0$$

4.- Sobre la base de la CN de 66 y a la precipitación de 100 mm en el cuadro XII se determina el escurrimiento superficial. El valor de escorrentía más próximo, corresponde a la CN de 65 y es igual a 25,7 mm. Interpolando para la CN 66 se obtiene el valor de  $Q = 25,7 + 1,5 = 27,2$  mm. O sea que el escurrimiento es igual a 27,2 mm (los datos se toman del cuadro XII, ver líneas punteadas).

### **ESTIMACIÓN DEL ESCURRIMIENTO "PICO" EN PEQUEÑAS CUENCAS POR EL MÉTODO DEL SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS DE ESTADOS UNIDOS**

Los elementos en que se basa este método son los mismos que se expusieron anteriormente, en decir, uso de los suelos, AMC y grupo hidrológicos de suelos. Con ellos se determina la CN para la cuenca.

Como este método cuantifica el "pico" de escurrimiento y no la lámina o porción de la lluvia que escurre, es necesario, conocer además la superficie de la cuenca y la pendiente de la misma.

El método considera tres tipos de pendientes:

- a) plana, de 0 a 3 %;
- b) moderada de 3 a 8 %, y
- c) abrupta, de más de 8 %.

Para cada rango de pendiente y para las CN de 60, 65, 70, 75, 80, 85 y 90 existen nomogramas (fig. 8 a fig. 21). Una vez conocida la pendiente de la cuenca, la CN, el área de la cuenca y la lluvia máxima de 24 horas, se determina el "pico" de descarga en el nomograma correspondiente.

Dado que los nomogramas están elaborados sobre la base de unidades inglesas de superficie (acre), lluvia (pulgadas) y "pico" de escurrimiento (pie cúbico por segundo), se recomienda efectuar previamente la transformación de las mismas al sistema métrico del sistema inglés según las siguientes equivalencias:

$$1 \text{ hectárea} = 2,471 \text{ acres} \quad \text{y} \quad 1 \text{ milímetro} = 0,03937 \text{ pulgadas}$$

Una vez que se lee el escurrimiento pico, en pie cúbico por segundo, la transformación al sistema métrico se realiza así:  $1 \text{ pie}^3 = 0,02832 \text{ m}^3$ .

### **Ejemplo de Estimación del Escurrimiento "Pico" por el Método del S.C.S.**

Estimar el escurrimiento "pico" en una cuenca de 300 ha, con una pendiente media y uniforme del 1,5 % y una CN = 65, para una lluvia máxima de 24 horas de 100 mm.

- 1) Transformar las hectáreas en acres multiplicando por 2,471 = 741,3 acres.
- 2) Transformar los milímetros de lluvia en pulgadas multiplicando por 0,03937:

$$100 \text{ mm} \times 0,03937 = 3,9 \text{ pulgadas}$$

- 3) Se utiliza el nomograma que corresponde a pendiente plana (0 - 3 %) ya que en el ejemplo la pendiente media de la cuenca es del 1,5 %, y a la CN 65 (fig. 9).

Ingresando con una superficie de 741,3 acres (aprox. = 750 acres) se intercepta en el cuerpo del nomograma la curva de 4 pulgadas.

Proyectando esta intersección sobre la ordenada, se lee el escurrimiento pico en  $\text{pie}^3/\text{seg.} = 77 \text{ pie}^3/\text{seg.}$

- 4) Para transformar  $\text{pie}^3/\text{seg}$  a  $\text{m}^3/\text{seg}$ , se multiplica por 0,02832:

$$77 \text{ pie}^3/\text{seg.} \times 0,02832 = 2,180 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

El escurrimiento "pico" de la cuenca será  $2,180 \text{ m}^3/\text{seg.}$

## MÉTODO DE COOK

Se lo conoce también como el método  $\Sigma W$  (sigma W) debido a que se suman valores, cada uno de los cuales representa a una característica de la cuenca de considerable influencia sobre el escurrimiento. La letra W proviene del término WATERSHED, que en EEUU se refiere al concepto de cuenca. Se utiliza para estimar el pico de descarga, en m<sup>3</sup>/seg.

Este método ha sido usado por el S.CS, de los Estados Unidos en el área del cinturón maicero y se basa en considerar el efecto de cuatro características de la cuenca: **relieve, infiltración del suelo, cobertura vegetal y almacenamiento en la superficie del terreno.**

A cada una de estas características se le asigna un valor (cuadro XIII) tratando de asimilar las condiciones de la cuenca que se analiza a la descrita en el cuadro. La suma de los valores se denomina suma de características de la cuenca y se indica mediante el símbolo  $\Sigma W$ .

Es importante diferenciar la suma de características de la cuenca del coeficiente de escorrentía "C" de la Formula Racional. El factor "C" indica la fracción de lluvia que se convierte en escorrentía, y por lo tanto, la duplicación del coeficiente significa una duplicación del escurrimiento.

La suma de características de la cuenca es un numero que se usa para predecir el escurrimiento, pero el que se genera es una cuenca cuya  $\Sigma W$  sea 80 no tiene por que ser el doble del que se produce en otra con un  $\Sigma W$  igual a 40. Los cuadros son empíricos, es decir que se han obtenido a partir de escurrimientos en cuencas experimentales. Vale decir que el método de Cook difiere de la fórmula racional en que es empírico y requiere la medición de algunos valores para establecer escalas.

Una vez conocida la  $\Sigma W$  se recurre al cuadro XIV entrando con la superficie de la cuenca a la izquierda y la  $\Sigma W$  en la parte superior: en el cuerpo del cuadro se lee el escurrimiento en m<sup>3</sup>/seg.

**Cuadro XIII. Características de las Cuencas para Estimar la Máxima Escorrentía Probable, Mediante el Método de Cook.**

Característica	100 extrema	75 alta	50 media	25 baja
<b>Relieve</b>	(40) Terreno abrupto quebrado, con pendientes medias generalmente mayor al 30 %	(30) Terreno colinado y ondulado, con pendientes entre 10 y 30 %	(20) Terreno ondulado con pendientes medias entre 5 y 10%	(10) Terreno relativamente llano, con pendientes medias entre 0 y 5%
<b>Infiltración del suelo</b>	(20) Sin cobertura edáfica, roca desnuda, suelo delgado, con casi nula capacidad de infiltración.	(15) Lenta absorción del suelo: arcillas u otros suelos de escasa infiltración (suelos pegajosos).	(10) Limo profundo, normal con infiltración igual al suelo de pradera	(5) Elevada, arenas, suelos de alta capacidad de infiltración
<b>Cobertura vegetal</b>	(20) Sin cobertura vegetal efectiva, terreno desnudo o con cobertura muy dispersa.	(15) Pobre o ligera, cultivos limpios o cobertura natural dispersa, menos del 10% del área.	(10) Moderada a buena, aprox. el 50% del área cubierta por pradera, bosque o manto equivalente, menos del 50% del área con cultivos limpios.	(5) Buena a excelente, cerca del 90% de la cuenca cubierta por pradera bosque o manto equivalente.
<b>Retención en superficie</b>	(20) Despreciable; depresiones superficiales escasas y someras; lechos de drenaje cortos y pendientes; sin charcas ni pantanos.	(15) Baja; sistema definido de pequeñas cauces de drenaje; sin charcas ni pantanos.	(10) Norma, considerable retención en depresiones superficiales; los lagos, charcas y pantanos ocupan menos del 2% del área.	(5) Elevada; mucho almacenamiento en depresiones superficiales; sistema de drenaje pobremente definido.

**Cuadro XIV. Cuadro de Escurrimiento para Proyectos de Canales Empastados Basado en Lluvias con Período de Retorno de 10 años.**



Superficie de drenaje en hectáreas	Características de la cuenca $\Sigma W$										
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	85
	Pico de escurrimiento en metros cúbicos por segundo										
1,6	0,141	0,198	0,226	0,255	0,283	0,311	0,368	0,424	0,481	0,566	0,679
2,4	0,170	0,226	0,283	0,311	0,368	0,453	0,509	0,594	0,661	0,792	0,952
3,2	0,198	0,255	0,340	0,360	0,481	0,566	0,679	0,792	0,906	1,047	1,245
4,0	0,226	0,283	0,396	0,453	0,591	0,707	0,849	0,990	1,132	1,302	1,500
4,8	0,255	0,311	0,453	0,538	0,679	0,821	0,990	1,160	1,358	1,528	1,755
5,6	0,283	0,368	0,509	0,623	0,792	0,934	1,132	1,330	1,556	1,755	2,000
6,4	0,311	0,424	0,566	0,707	0,877	1,075	1,273	1,500	1,755	1,984	2,264
7,2	0,339	0,481	0,623	0,792	0,962	1,189	1,415	1,670	1,953	2,207	2,519
8,0	0,396	0,538	0,679	0,877	1,076	1,362	1,556	1,889	2,151	2,484	2,773
10,0	0,453	0,623	0,792	1,019	1,302	1,556	1,860	2,207	2,547	2,915	3,339
12,0	0,509	0,707	0,906	1,189	1,500	1,811	2,179	2,575	2,971	3,396	3,934
14,0	0,566	0,792	1,019	1,330	1,698	2,066	2,462	2,993	3,396	3,877	4,500
16,0	0,623	0,906	1,160	1,500	1,924	2,321	2,778	3,311	3,820	4,358	5,066
18,0	0,679	1,019	1,302	1,670	2,151	2,575	3,035	3,679	4,245	4,839	5,660
20,0	0,736	1,132	1,443	1,839	2,249	2,830	3,360	4,019	4,669	5,264	6,226
24,0	0,849	1,273	1,670	2,151	2,745	3,311	3,931	4,669	5,462	6,254	6,226
28,0	0,962	1,415	1,868	2,462	3,113	3,764	4,500	5,320	6,254	7,160	8,433
32,0	1,075	1,556	2,094	2,745	3,481	4,217	5,066	5,871	7,010	8,065	9,848
36,0	1,189	1,698	2,292	3,028	3,849	4,698	5,632	6,622	7,754	8,971	10,677
40,0	1,302	1,839	2,490	3,311	4,245	5,151	6,160	7,245	8,490	9,848	11,829
48,0	1,500	2,122	2,887	3,820	4,952	6,028	7,245	8,490	9,933	11,683	13,782
56,0	1,698	2,405	3,283	4,358	5,660	6,905	8,292	9,735	11,348	13,329	15,735
64,0	1,896	2,688	3,651	4,868	6,339	7,782	9,311	10,980	12,763	14,971	17,687
72,0	2,066	2,971	4,019	5,377	7,010	8,631	10,301	12,226	14,160	16,555	19,640
80,0	2,236	3,254	4,386	5,858	7,669	9,452	11,263	13,471	15,565	18,112	21,621
88,0	2,405	3,509	4,754	6,339	8,320	10,273	12,226	14,603	16,923	19,612	23,546
96,0	2,575	3,736	5,094	6,820	8,921	11,094	13,131	15,735	18,253	21,112	25,442
101,0	2,745	3,990	5,434	7,273	9,622	11,914	14,037	16,836	19,555	22,612	27,231
112,0	2,887	4,217	5,773	7,726	10,245	12,735	14,942	17,942	20,820	24,112	29,092
120,0	3,056	4,217	6,113	8,179	10,867	13,584	15,848	19,018	22,102	25,611	30,847
128,0	3,226	4,471	6,452	8,631	11,518	14,291	16,725	20,065	23,319	27,055	32,545
136,0	3,360	4,726	6,792	9,084	12,141	14,999	17,631	21,112	24,536	28,781	34,243
141,0	3,500	4,953	7,160	9,537	12,763	15,706	18,508	22,159	25,725	29,941	35,941
152,0	3,650	5,207	7,499	10,046	13,386	16,414	19,354	23,206	26,942	31,385	37,639
160,0	3,820	5,434	7,839	10,499	13,980	17,121	20,178	24,225	28,130	32,828	39,337
168,0	3,990	5,888	8,150	10,924	14,574	17,801	20,970	25,215	29,290	34,215	
176,0	4,132	6,113	8,462	11,348	15,140	18,480	21,763	26,206	30,451	35,573	
184,0	4,273	6,113	8,462	11,348	15,140	18,480	21,763	26,206	30,451	35,573	
192,0	4,115	6,566	9,084	12,226	16,188	19,810	24,347	28,187	32,771	38,140	
200,0	4,556	6,764	9,396	12,650	16,697	20,461	24,140	29,149	33,932	39,394	
208,0	4,698	6,962	9,679	13,075	17,178	21,112	24,649	30,111	35,036	40,610	
216,0	4,839	7,160	9,962	13,471	17,659	21,763	25,725	31,073	36,139	41,827	
224,0	4,981	7,358	10,245	13,867	18,140	22,385	26,517	32,007	37,243	43,044	
232,0	5,112	7,556	10,528	14,263	18,621	23,008	27,309	32,911	38,205	44,233	
240,0	5,235	7,754	10,811	14,659	19,102	23,630	28,102	33,845	39,280	45,421	

Las marcas corresponden guías para el ejemplo posterior

Del Manual Número 135, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

### Ejemplo de Estimación del Esguimiento por el Método de Cook.-

Superficie de la cuenca, 200 hectáreas; pendiente media del 2 %; suelos predominantes profundos y de texturas limosas; toda la superficie cubierta por cultivos anuales, y con retención superficial baja.

- 1) En el cuadro XIII; se deterjan los valores que representan las características de la cuenca, para luego sumarlos. Así:

Pendiente del 2 % .....10

Suelos limosos profundos.....10

Cobertura vegetal de cultivos anuales .....15

Retención superficial baja.....15

$$\sum W = 50$$

- 2) Con el dato de superficie de la cuenca (200 ha) y con el de suma de características de la cuenca, se determina en el cuadro XIV el pico de esguimiento en m<sup>3</sup>/seg. Así, para una superficie de 200 ha y un  $\sum W = 50$ , el pico de esguimiento es de 16,697 m<sup>3</sup>/seg.

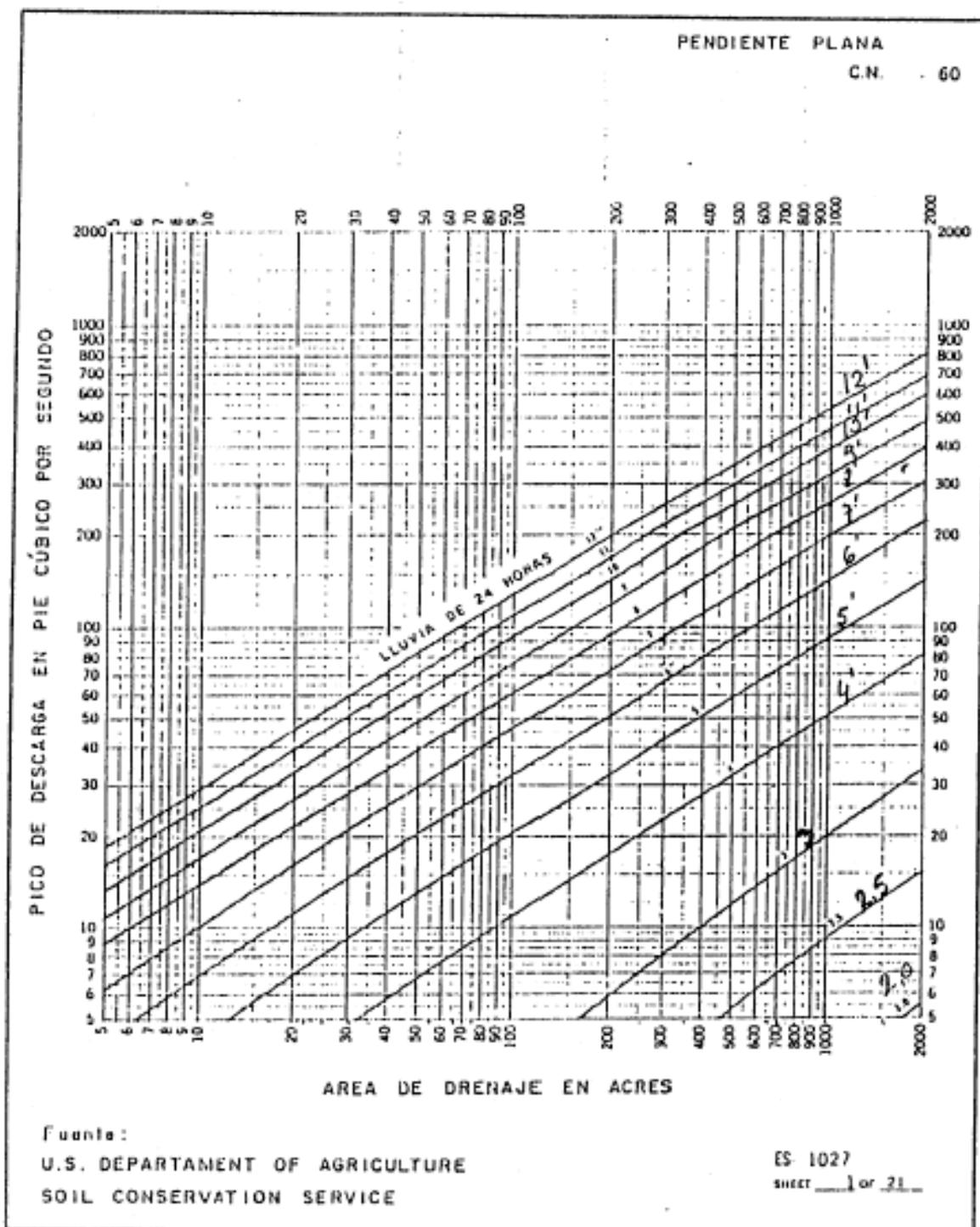
## Bibliografía

- **Ayres Q.C. and D. Coates.** 1939 Land drainage and reclamation. Mc Graw-Hill, New York.
- **Bridges, E. M.** 1997. Suelos del Mundo (3ª ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- **Boulaine J.** 1989. Histoire des pédologues et de la science des Sols – ed. INRA, 285 pp.
- **Buol, S. W. y otros.** Génesis y clasificación de suelos. México, D. F.: Editorial Trillas, 1981. Manual técnico; incluye bibliografía
- **Bridges, E. M., Batjes, N. H., & Nachtergaele, F. O.** (Eds.). 1998. Base Referencial Mundial para recursos de suelos: atlas. Leuven: ACCO.
- **Dastane, N.G.** 1974; Precipitación efectiva en la agricultura de regadío. FAO. Estudió sobre riego y avenamiento. N° 25, 68 p
- **Deckers, J. A., Nachtergaele, F. O., & Spaargaren, O. C.** (Eds.). 1998. Base Referencial Mundial para recursos de suelos: introducción. Leuven: ACCO.
- **Evans, T.E.** 1971. Consultan`s reort in hydrology. Program UNEP - FAO. INTA. Argentina. 26. Part. I. Paraná.
- **FAO.** 1998. World Reference Base for Soil Resources. Roma: FAO.
- **Foster, A.** 1967. Métodos aprobados en conservación de suelos. México. 441p.
- **Hans Jenny,** 1994 (2005), Factors of Soil Formation, A System of Quantitative Pedology. Foreword by Ronald Amundson, RONALD AMUNDSON, University of California, Berkeley.
- **Hudson, H.** 1971; Soil Conservation. Cornell Univ. Pres. Ithaca, New York. 320 p.
- **Jahn, R., Joisten, H., & Kabala, C.** 2004. The “Reference Soil Series” Concept of the First European Joint Soil Map at a Scale of 1:50 000, Sheet Zittau – a Framework to Upgrade the Information Content of Lower Level WRB Units. Papel presentado en la EUROSOIL 2004, Freiburg im Breisgau (D).
- **Kirpich, P.Z.** 1940; Time of concetration of small agricultural watersheds. Civil engineering 10. 362 p.
- **Legros J.P.** 2006. Mapping of the Soil - Science Publishers, 411 pp.
- **Murillo Illanes, M.** 2008. Curso Gestión de Cuencas II. Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Documento de enseñanza de 280 páginas. Gestión Académica 2008. Universidad Mayor Real y Pontificia San Francisco Xavier de Chuquisaca – Centro de Estudios de Postgrado e Investigación CEPI. Sucre - Bolivia, Mayo 2008.
- **Murillo Illanes, M,** 2007. Determinación de la Escorrentía a Partir de la Precipitación sobre una Cuenca. Monografía. Universidad de Extremadura, Facultad de Filosofía y Letras, Departamento de Geografía y Ordenamiento del Territorio. Cáceres – España. Programa Doctorado:Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio. Cáceres - España.
- **Murillo Illanes, M.** 2007, 2008, y 2009. Curso Manejo Integral de Cuencas - Estudio de las Características Hidrogeomórficas, Topológicas y Geoedáficas en la Subcuenca Berenguela – Bolivia”. Documento de enseñanza de 275 páginas. Maestría Ingeniería Agronómica –

Unidad Académica Campesina Tiahuanaku – Universidad Católica Boliviana “San Pablo”.  
La Paz - Bolivia.

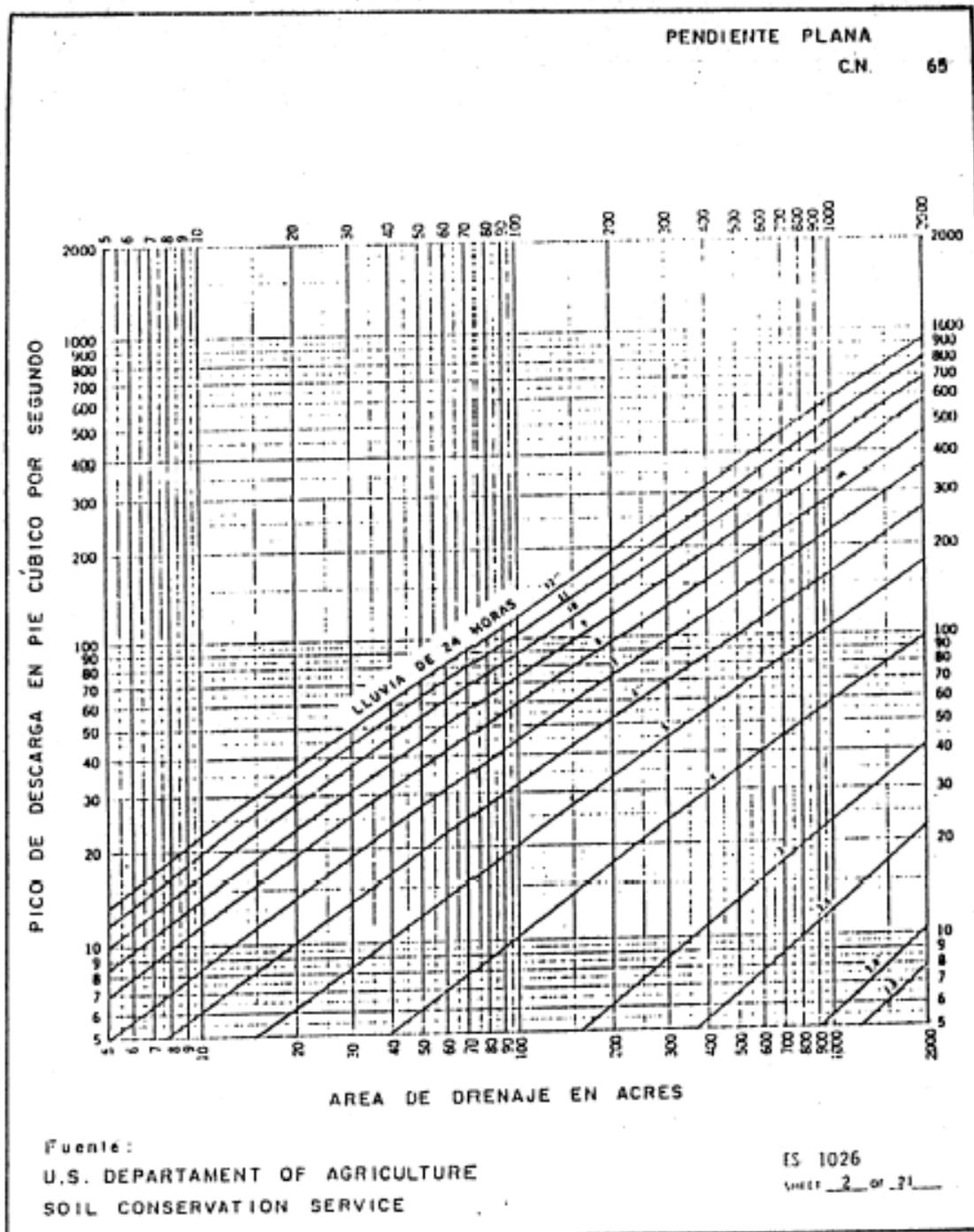
- **Murillo Illanes, M.** 2003. Estudio Geomorfológico y Edafológico de la Sub Cuenca Berenguela. MAGDER - La Paz.
- **Murillo Illanes, M.** 2003 La erosión y las Cuencas Hidrográficas, Ministerio de Asuntos Campesinos Indígenas y Agropecuarios. La Paz - Bolivia.
- **Murillo Illanes, M.** 2003. Procesos Hidrológicos: Precipitación Efectiva y Volúmenes de Aporte en la Subcuenca Berenguela – Bolivia. Ministerio de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural. La Paz - Bolivia.
- **Murillo Illanes, M.** 2001. Estudio de las Características Hidrogeomórficas y Geoedáficas en Relación con los Caudales de Escurrimiento en la Subcuenca Berenguela, Bolivia. Universidad Nacional del Sur. Becario Gobierno Argentino Programa MUTIS. Tesis Magister en Ciencias Agrícolas. Bahía Blanca – Buenos aires - Argentina
- **Puricelli, C. A.** 1983; Evaluación de la escorrentía en cuencas reducidas. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Boletín N° 3 del área de Recursos Naturales y Ecología.
- **Secretaria de Recursos Hidráulicos.** 1974; Elementos de escurrimiento Superficial, Memorandum técnico N° 330. 225 p. México.
- **Schwab, G.O., R.K. Frevert, T.Q. Edminster and K.K. Barnes.** 1966; Soil and Water Conservation Engineering. J. Wiley (2° ed.) New York.
- **Soil Conservation Service.** 1953; Engineering Handbook for Farm Planners; Upper Mississippi Valey Region. III. EE.UU.
- ---- National Engineering Handbook. 1964, Section 4. Hydrology Part I. Watershed planning. EE.UU
- --- A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds. SCS-TP-149. 19 pp. EE.UU.
- --- Engineering field manual for conservation practices. 1975; Chapter 2: Estimating runoff. EE.UU.

mgmi/2010



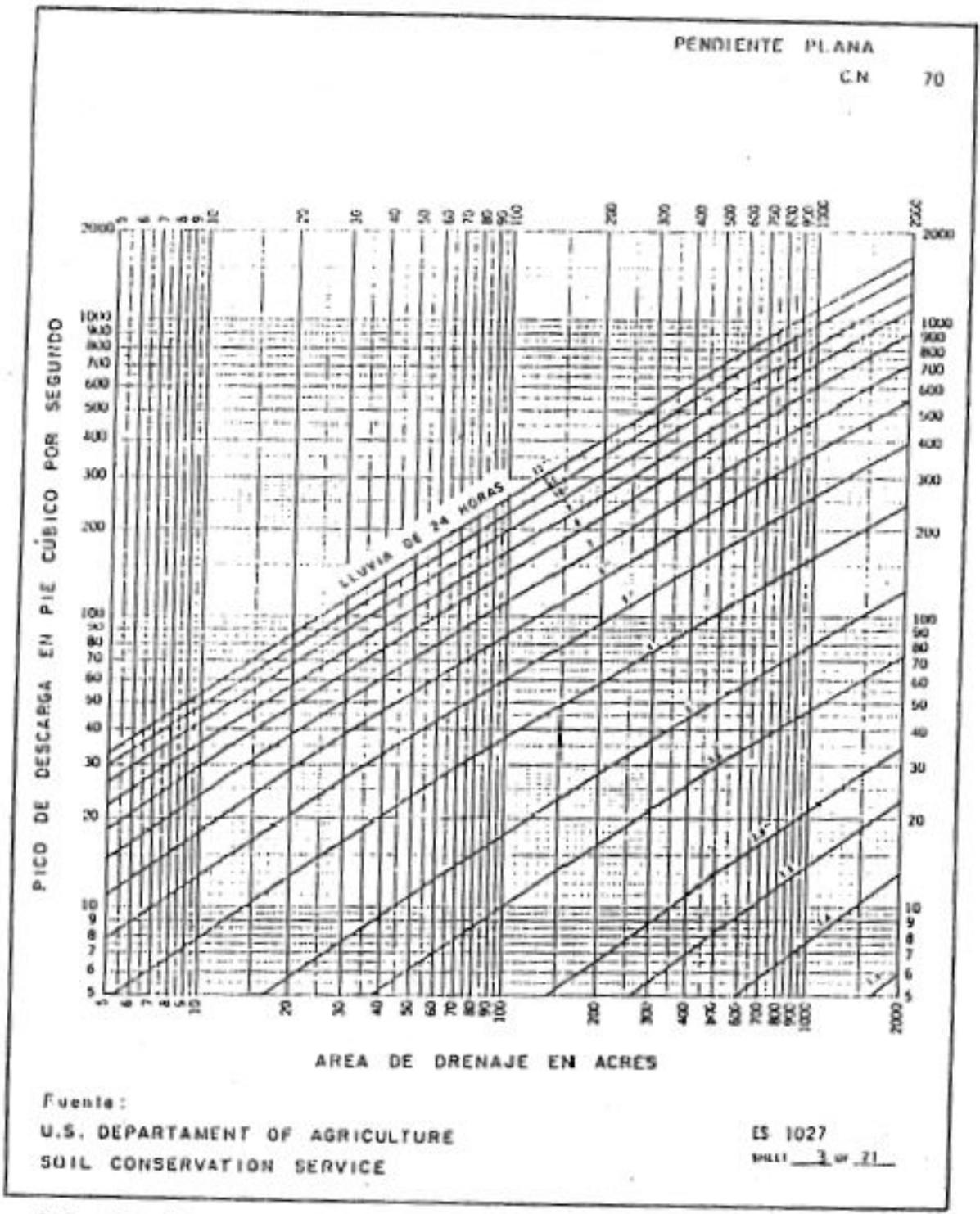
SCS - TP - 149  
January 1968

Figura 8. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE PLANA Y C.N. 60.



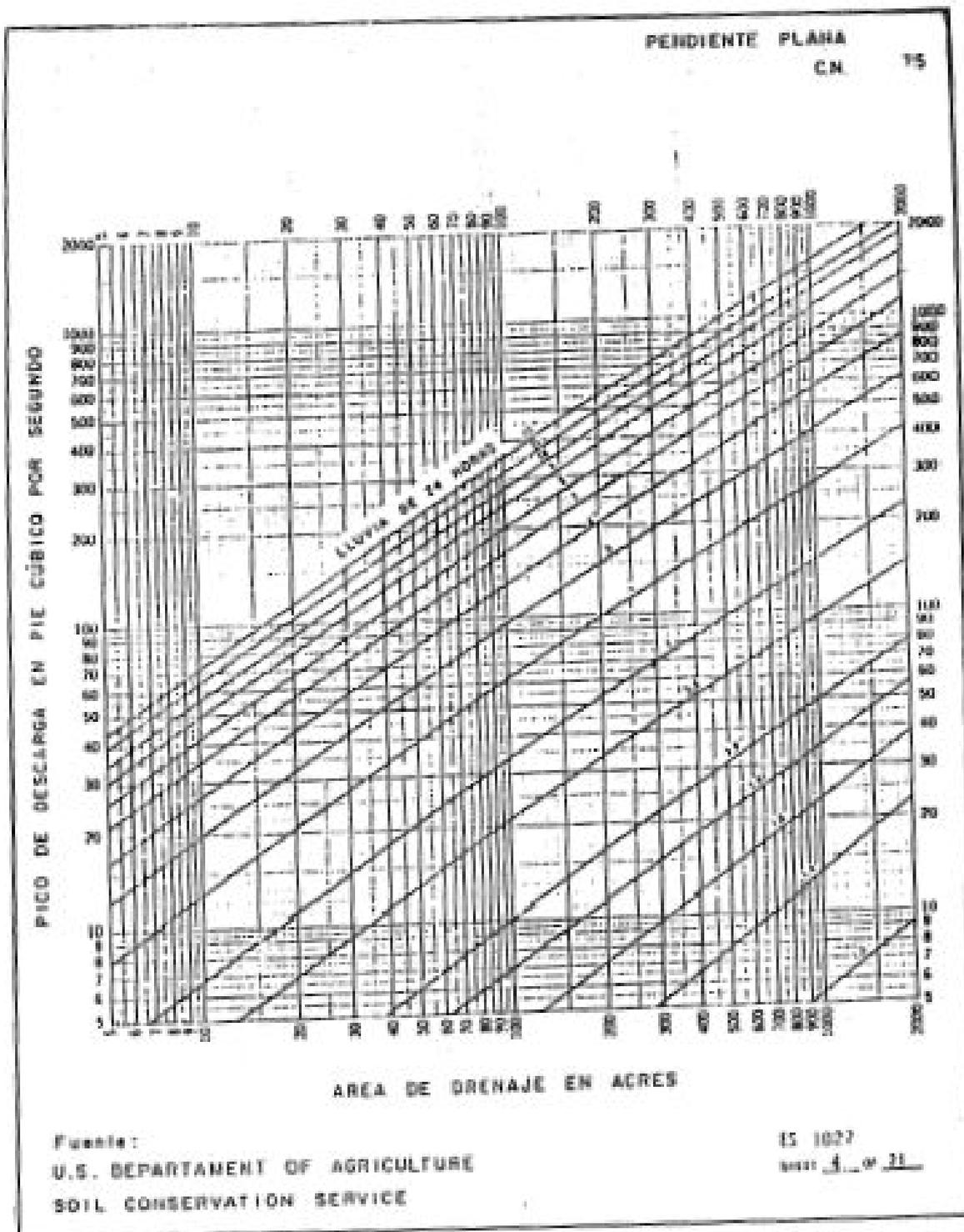
SCS - TP - 149  
January 1968

Figura 9. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE PLANA Y C.N. 65.



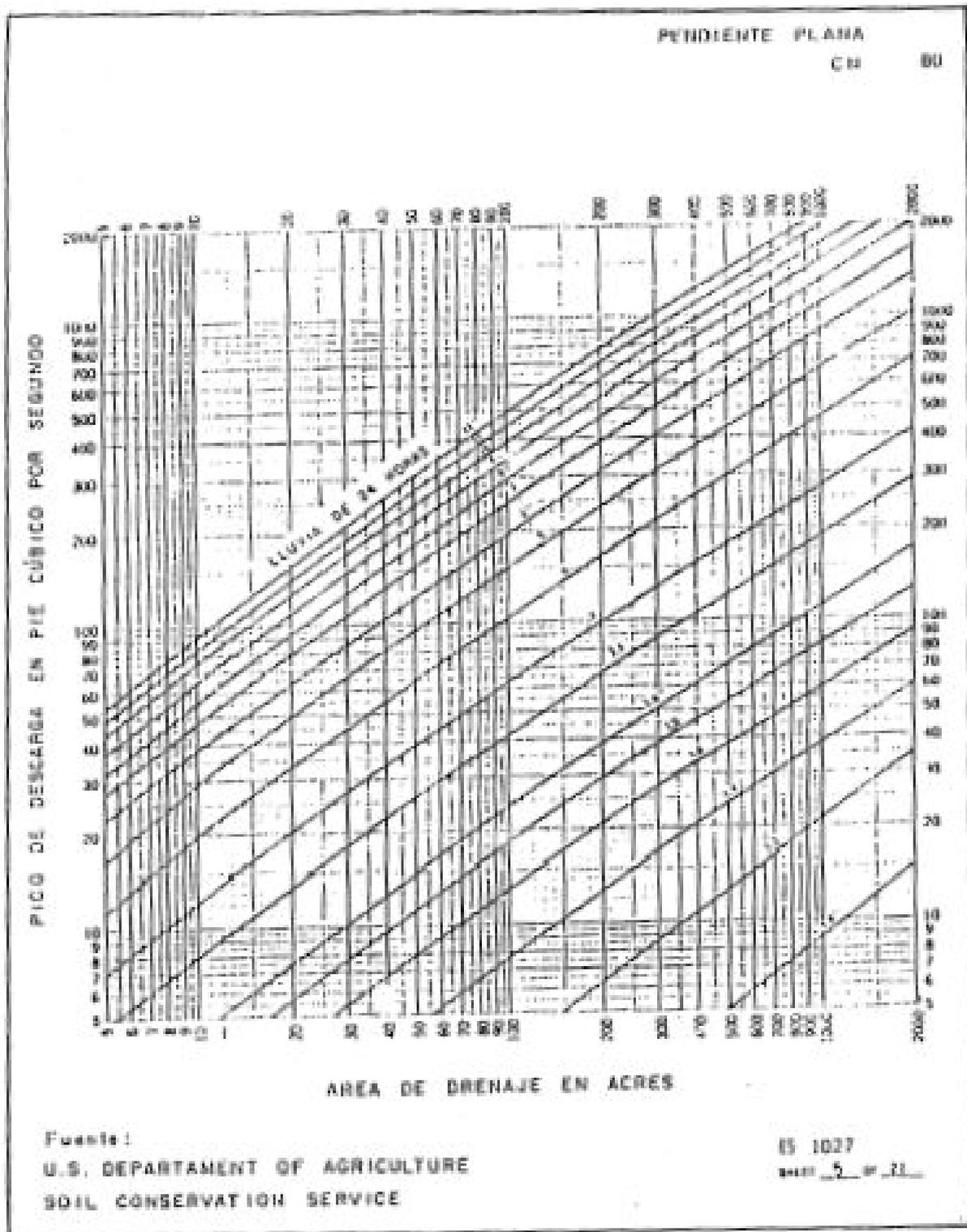
SCS - TP - 149  
January 1968

Figura 10. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE PLANA Y C.N. 70.



BCS - TP - 149  
January 1968

Figura 12. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE PLANA Y C.N. 75.

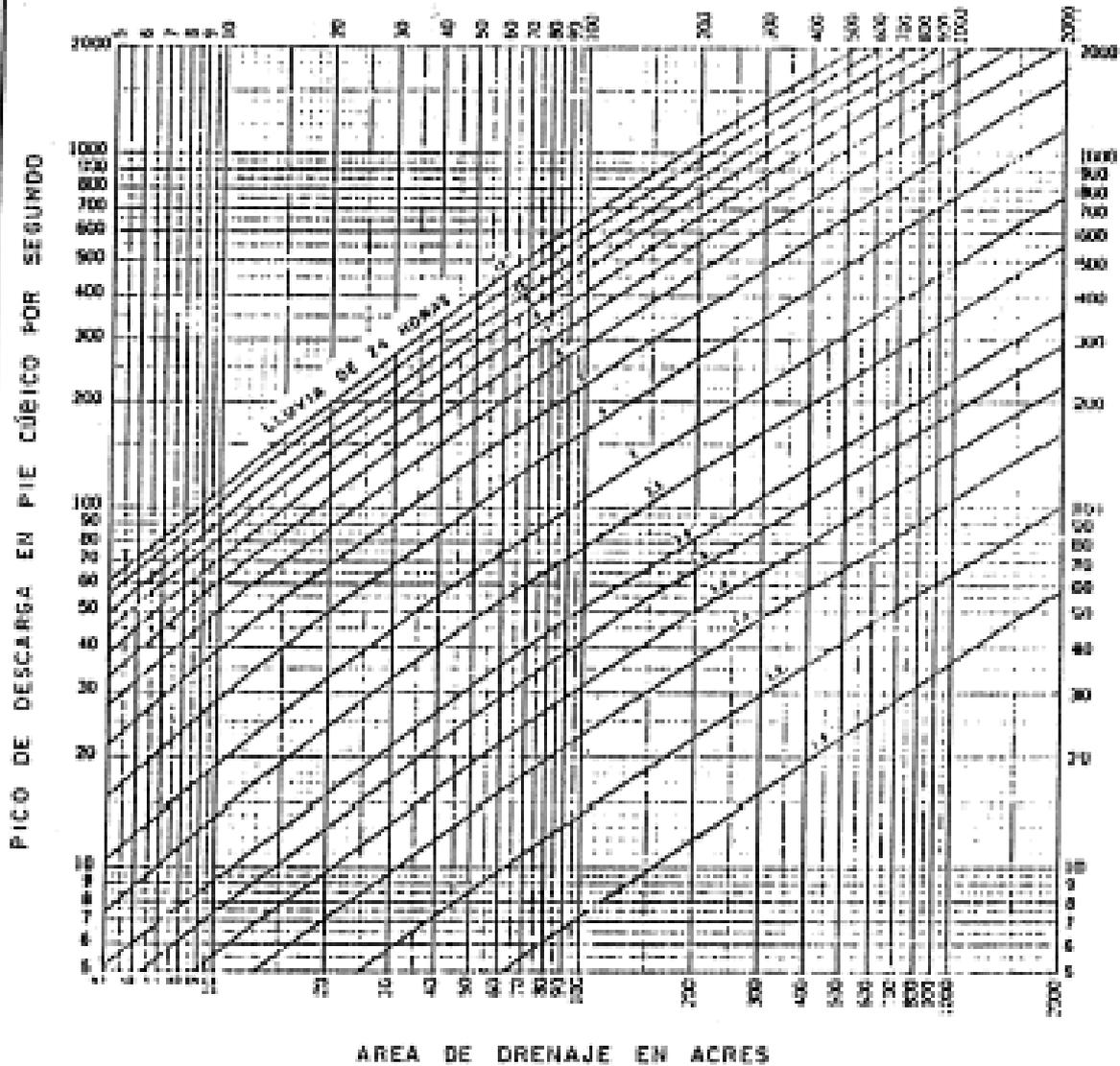


SCS - TP - 149  
January 1960

Figura 12. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE PLANA Y C.N. 80.

PENDIENTE PLANA

C.N. 85



Fuente:

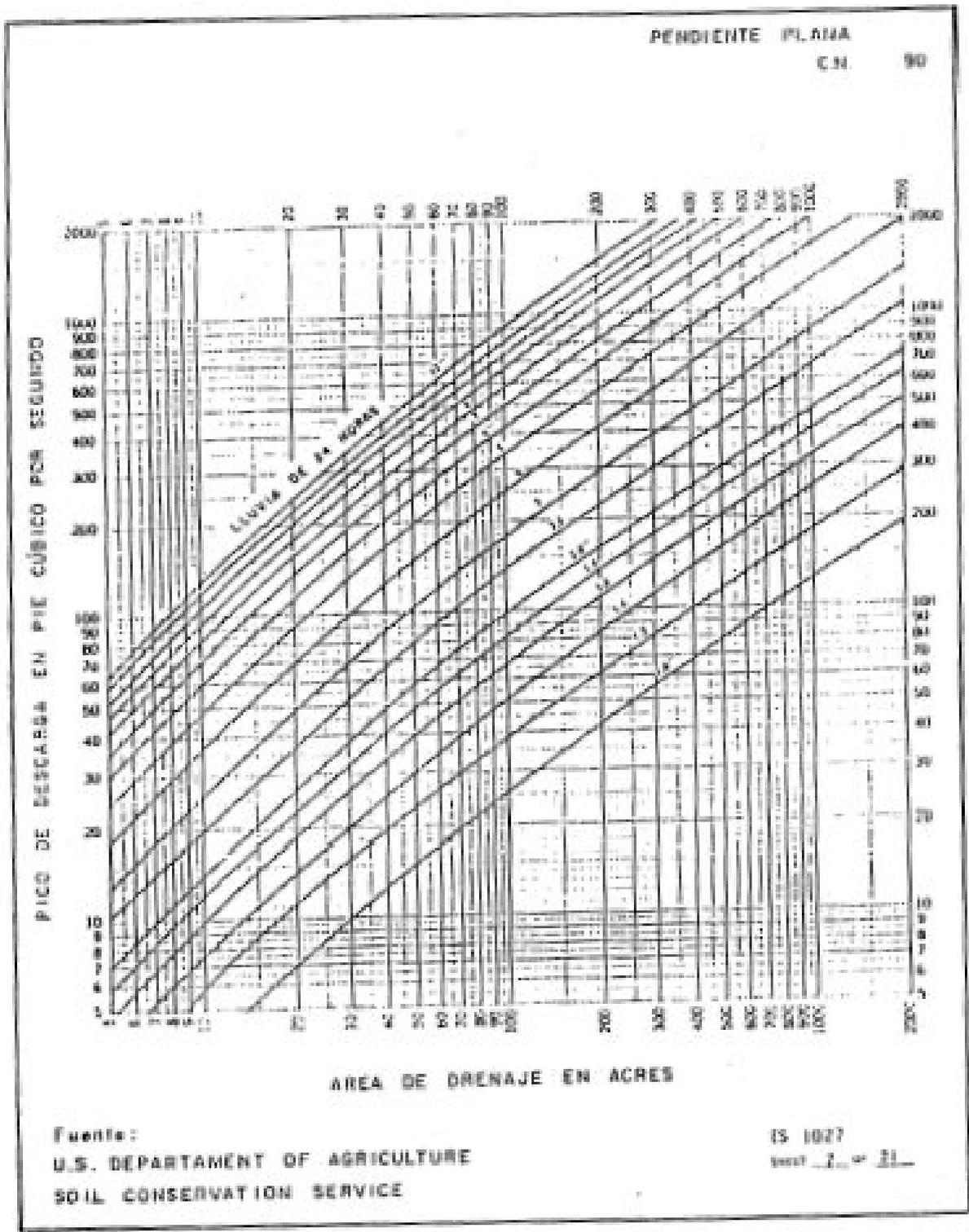
U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE  
SOIL CONSERVATION SERVICE

15 1027

PLATE 5 OF 21

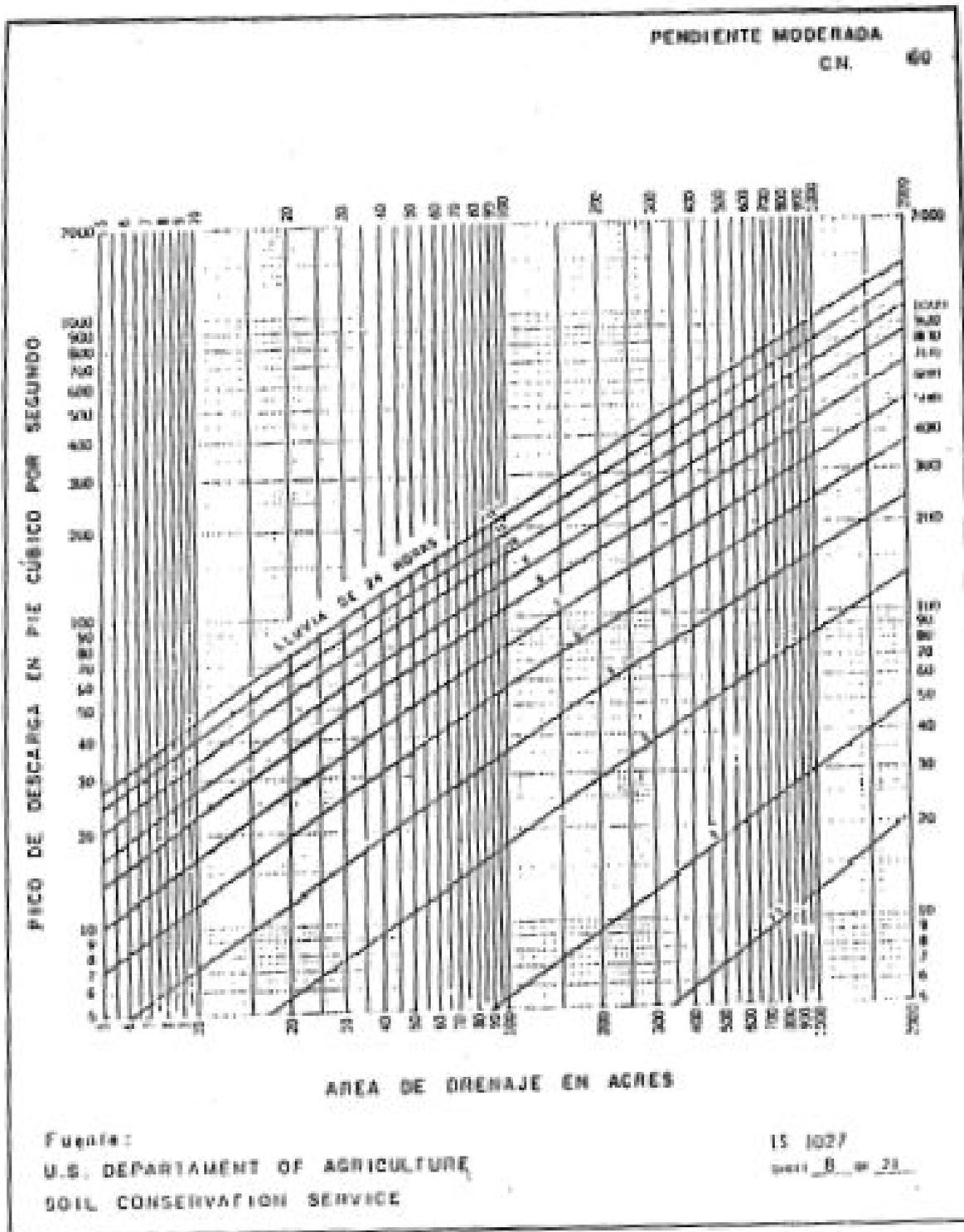
SCS - TP - 149  
January 1960

Figura 13. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE PLANA Y C.N. 85.



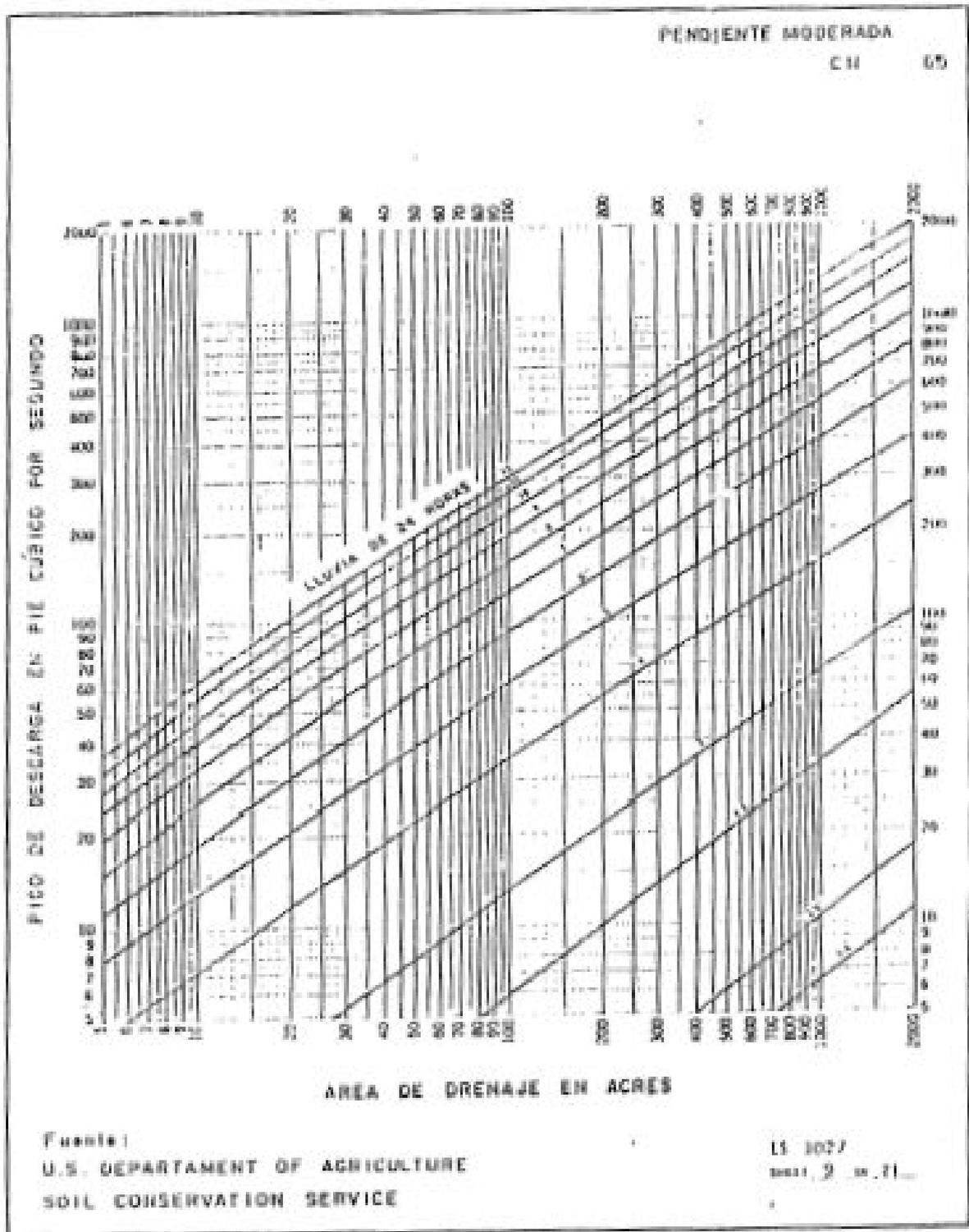
SCS - TP - 149  
January 1968

Figura 14. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE PLANA Y C.N. 90.



SCS - TP - 149  
January 1948

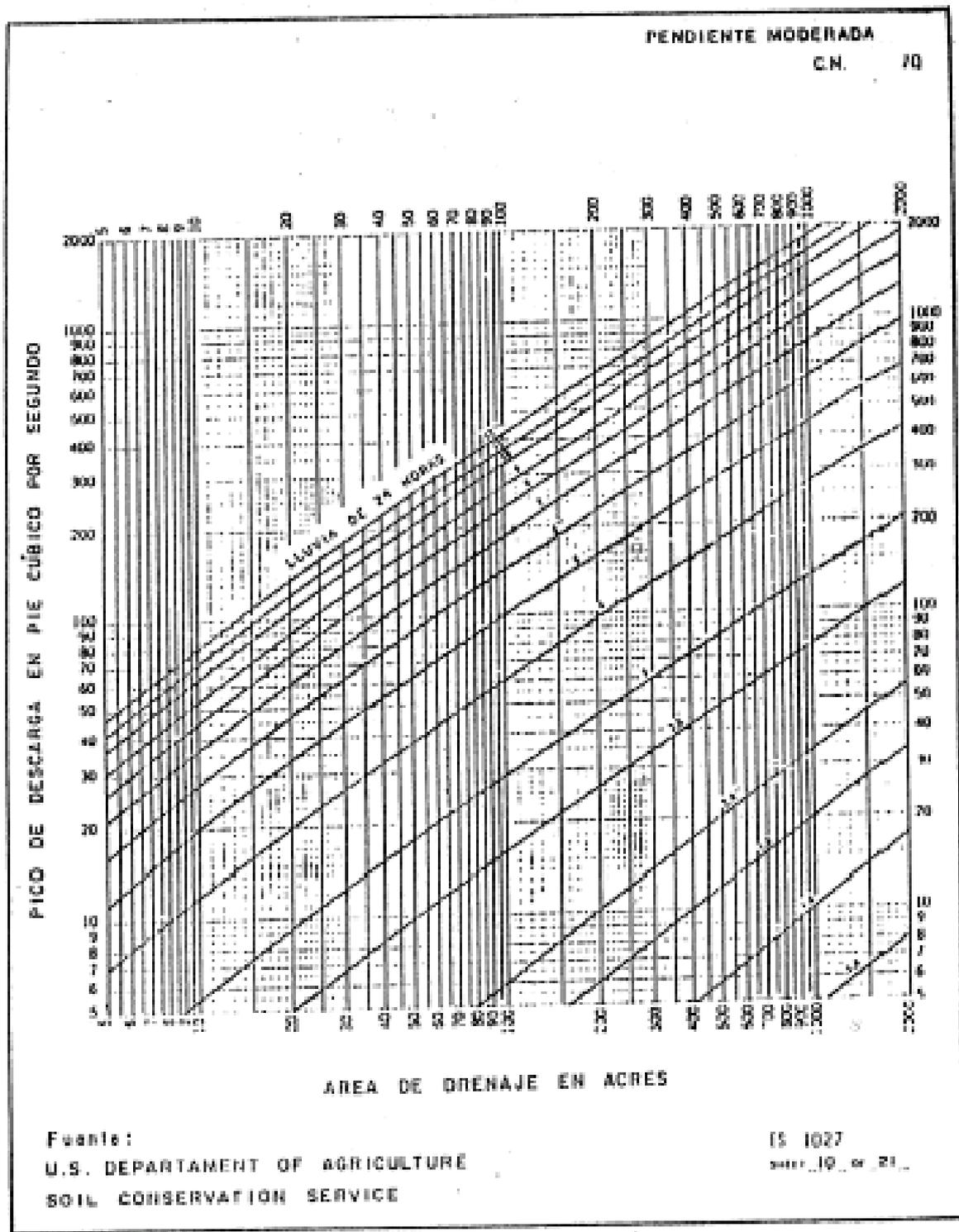
Figura 15. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE MODERADA Y C.N. 60.



SCS - TP - 149

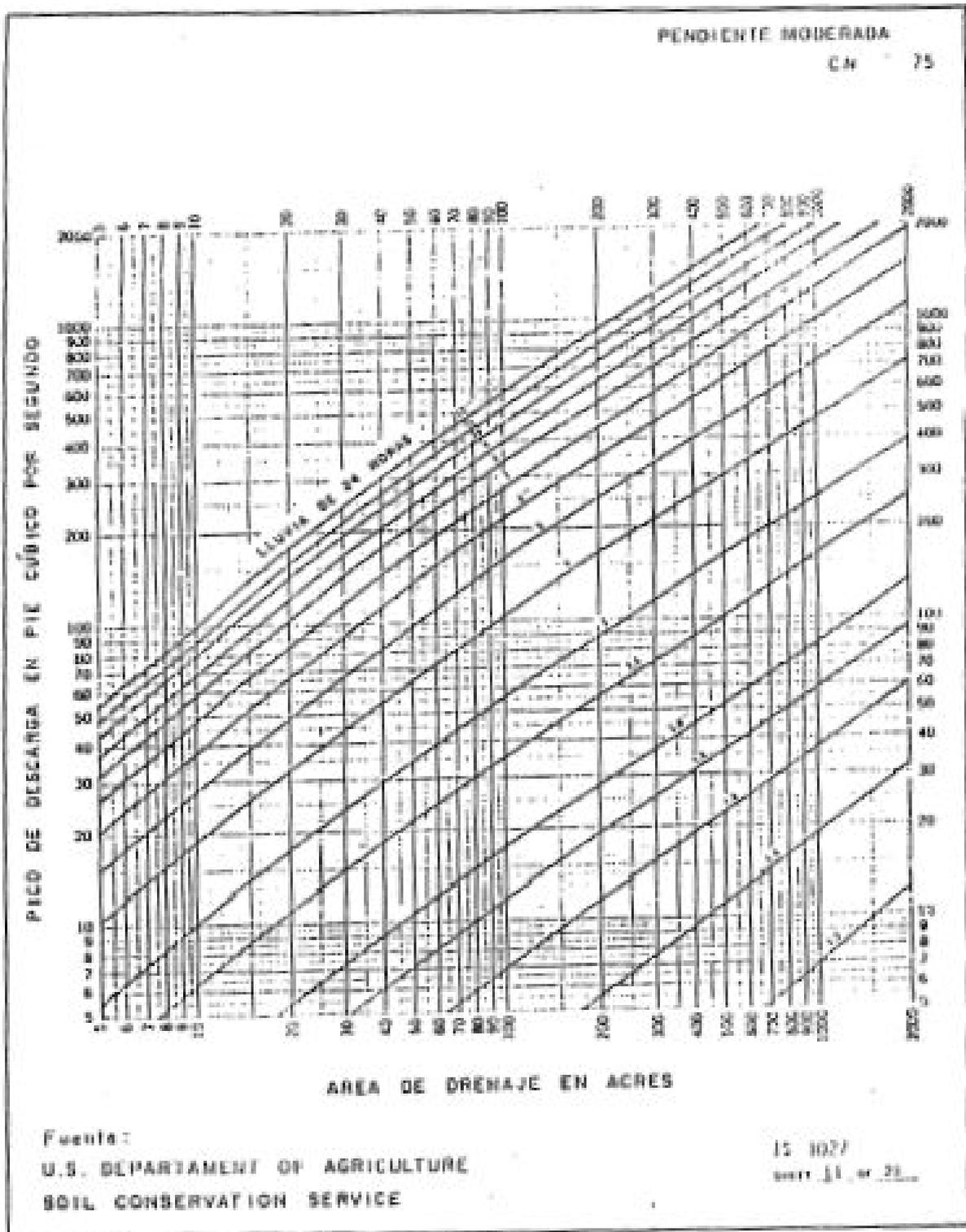
January 1968

Figura 16. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE MODERADA Y C.H. 65.



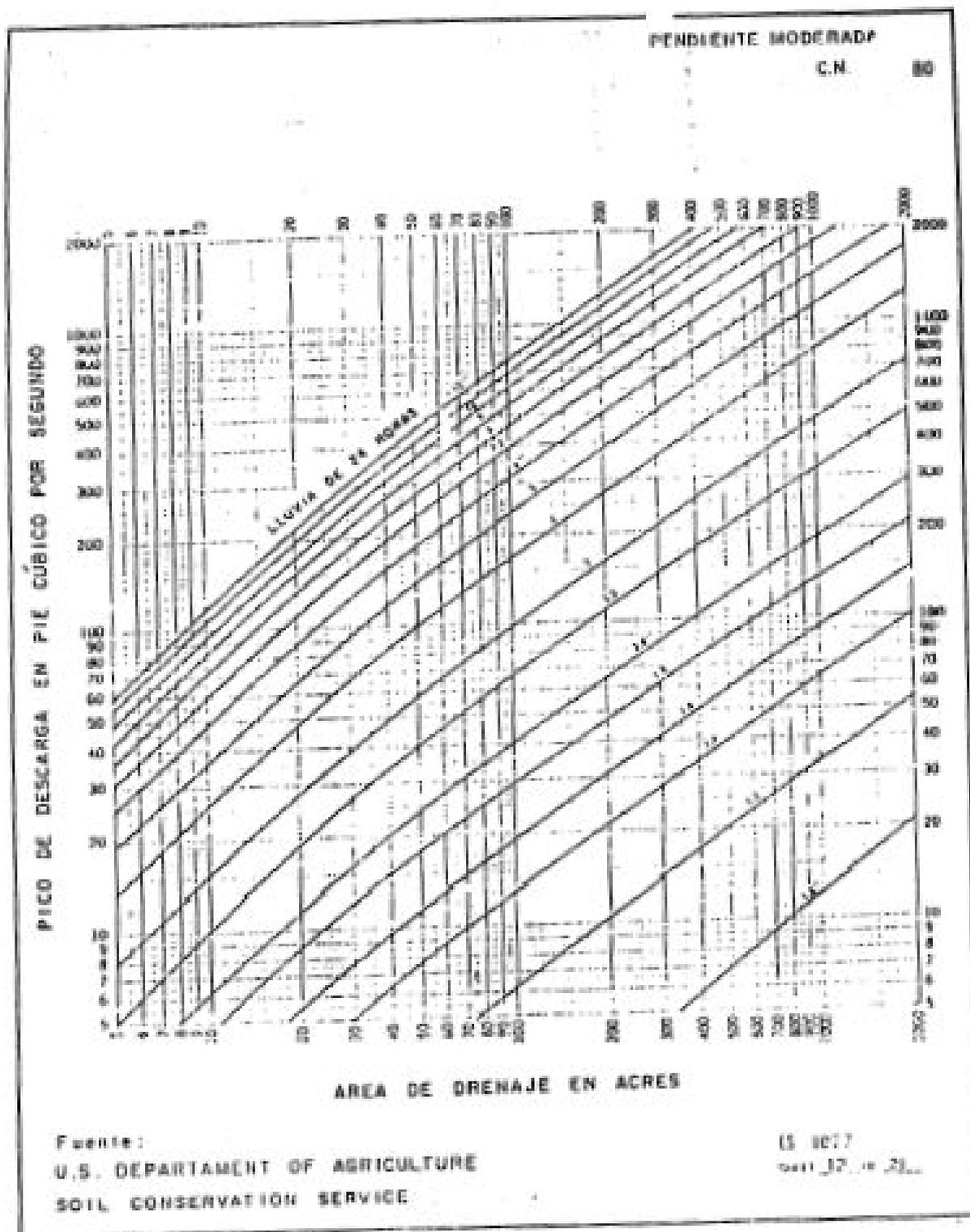
SCS - TP - 149  
January 1960

Figura 17. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE MODERADA Y C.N. 70.



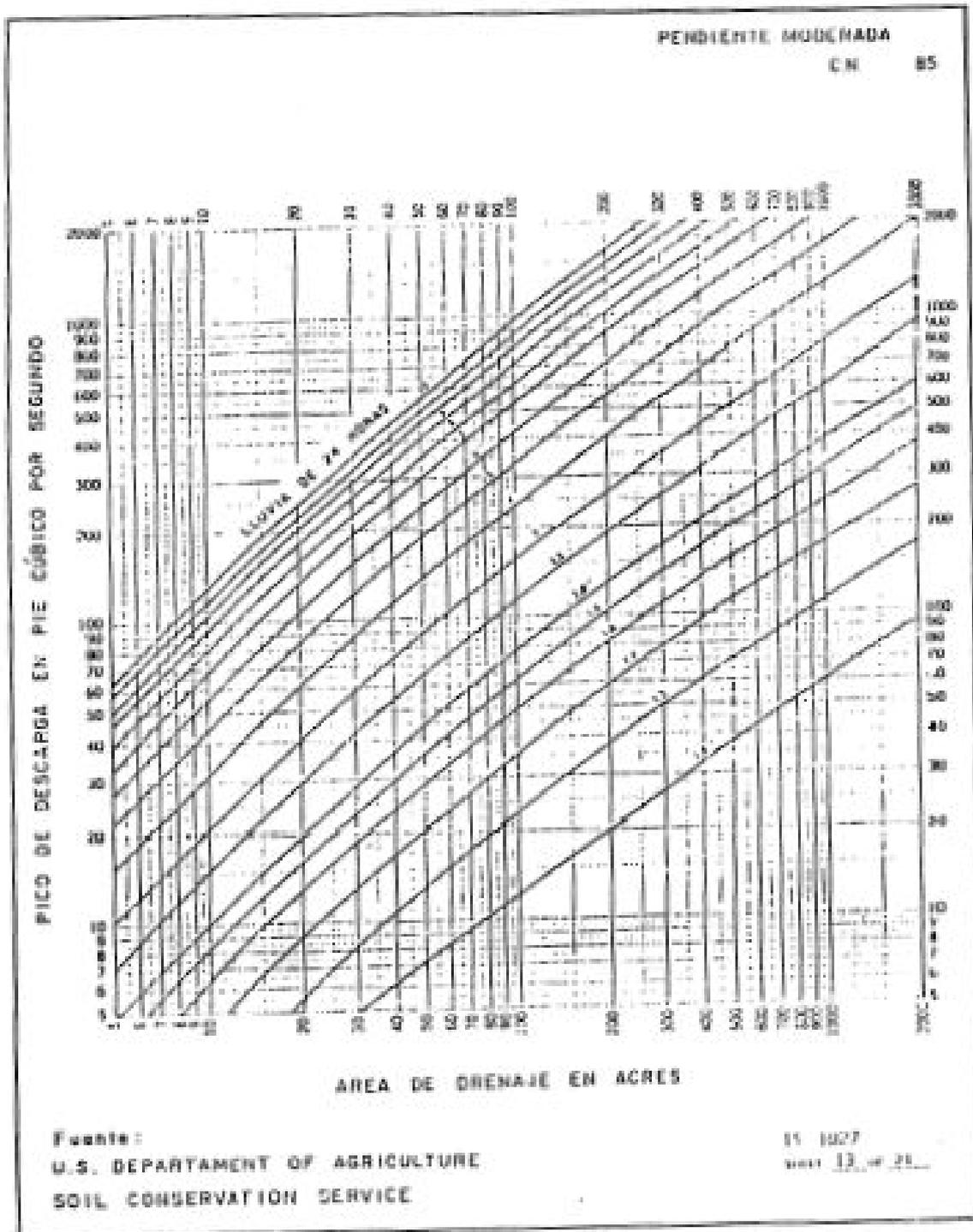
SCS - TP - 149  
January 1968

Figura 18. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE MODERADA Y C.N. 75.



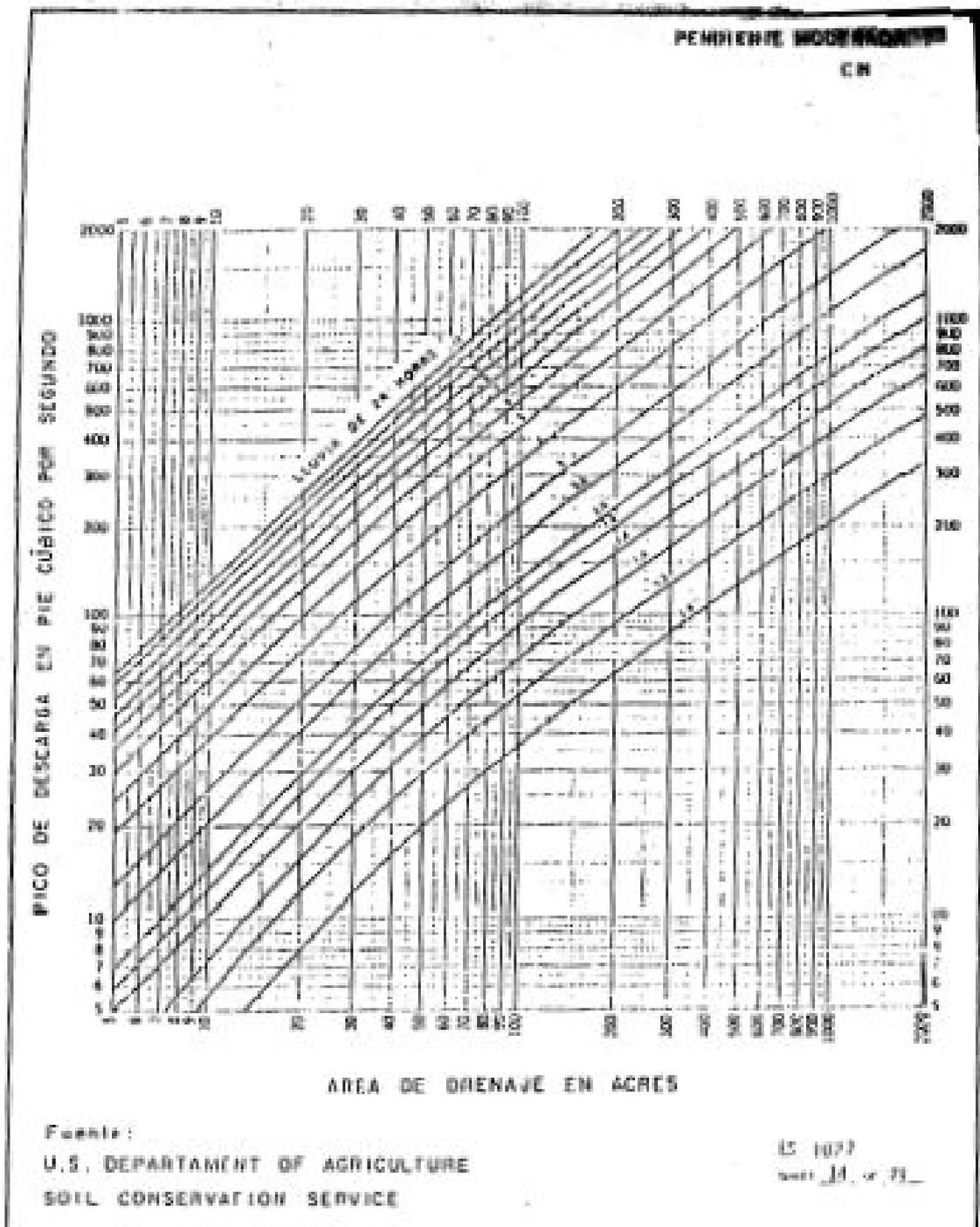
SCS - TP - 149  
January 1960

Figura 19. NOMOGRAFIA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE MODERADA Y C.N. 80.



SCS - TP - 149  
January 1968

Figura 20. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE MODERADA Y C.N. 85.

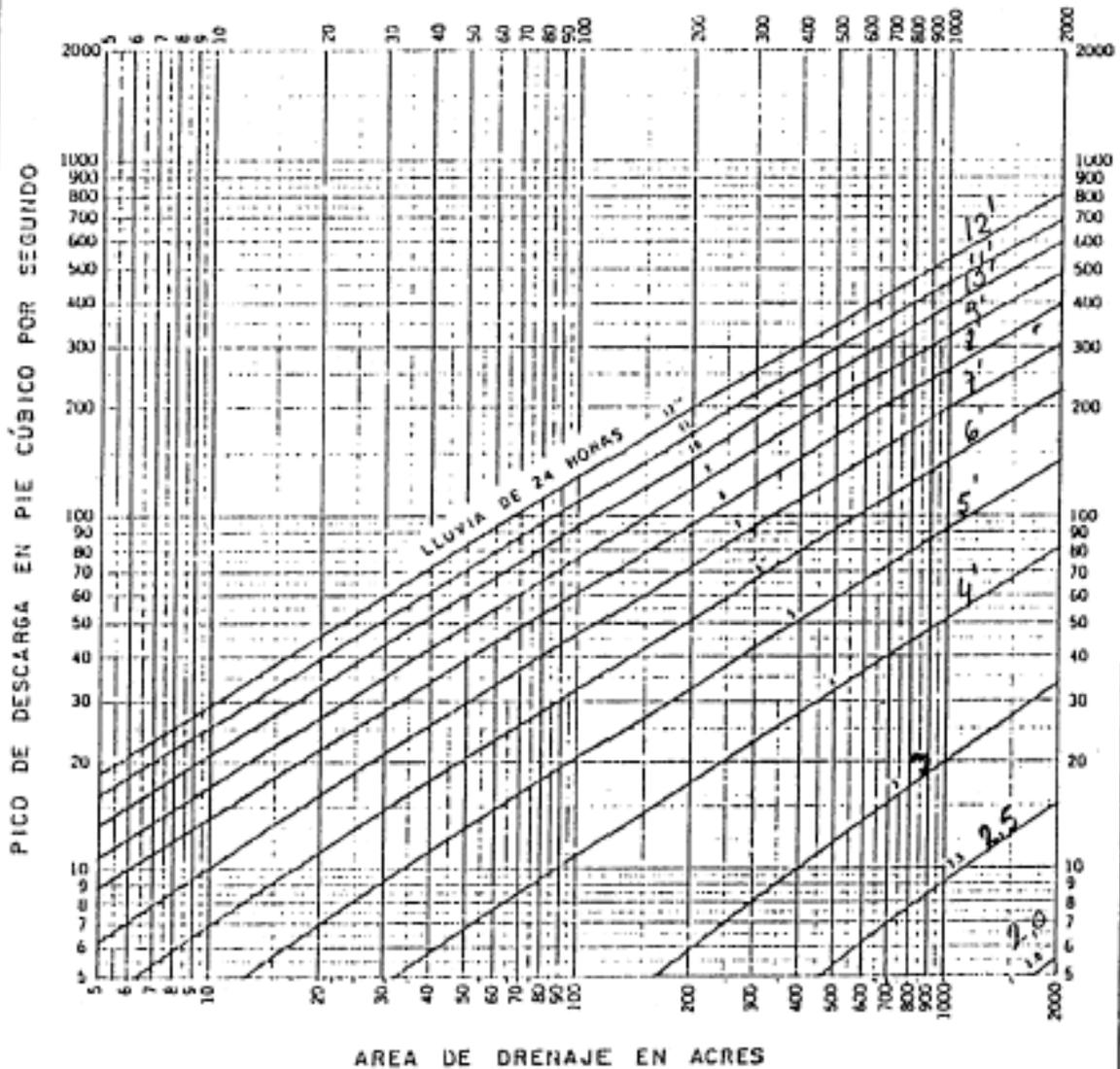


SCS - TP - 149  
January 1960

Figura 21. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE MODERADA Y C.N. 90.

PENDIENTE PLANA

C.N. 60



Fuente:

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE  
SOIL CONSERVATION SERVICE

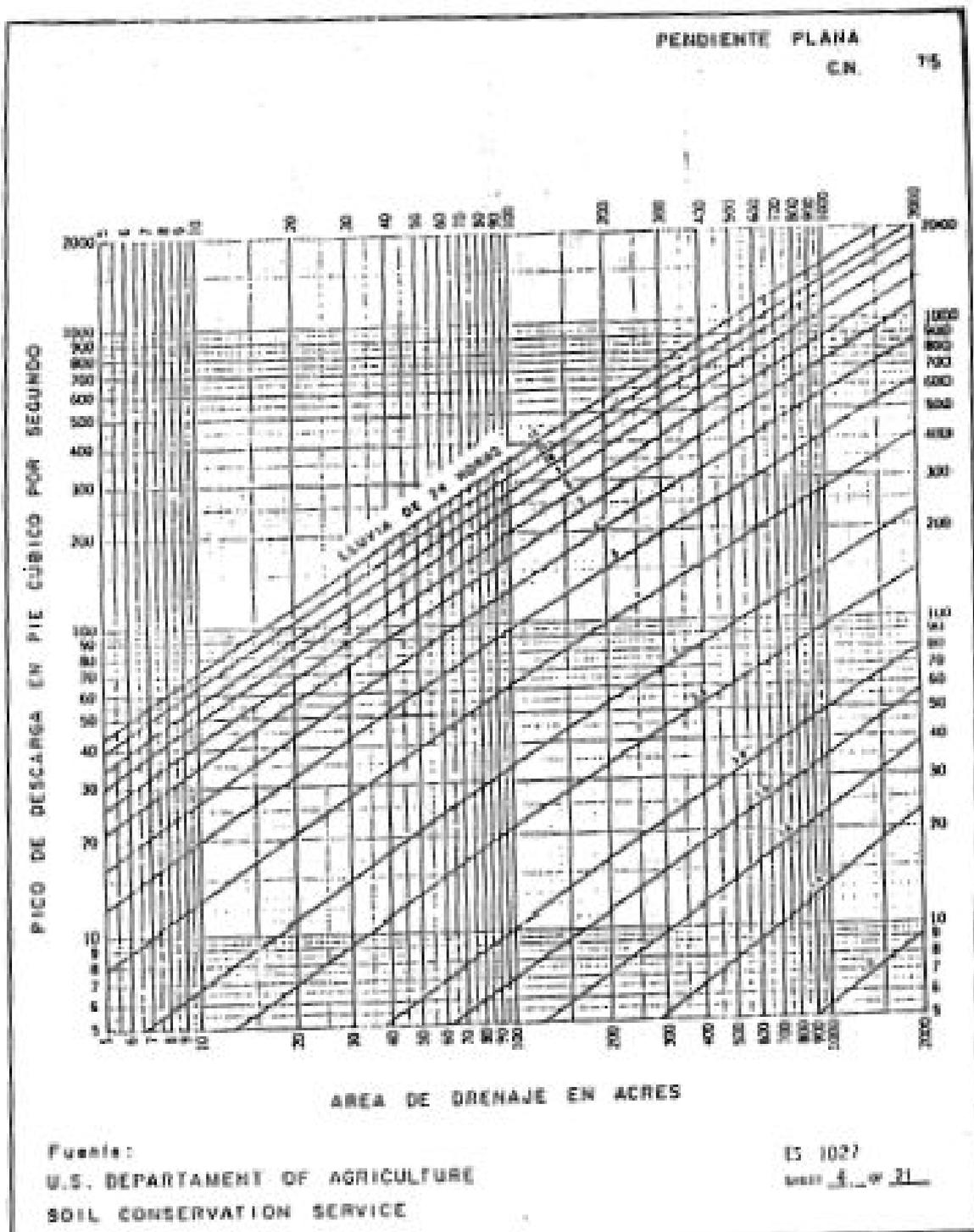
ES 1027

SHEET 1 of 21

SCS - TP - 149

January 1960

Figura 8. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE PLANA Y C.N. 60.



SCS - TP - 149  
January 1968

Figura 12. NOMOGRAMA PARA ESTIMAR PICO DE DESCARGA CON PENDIENTE PLANA Y C.N. 75.