

DISEÑO DE TERRAZAS NO CULTIVABLES

Koolhaas, M.^{1*}

¹UDELAR, Facultad de Agronomía, Área de Ingeniería Agrícola.

[*michelkoo@yahoo.com.ar](mailto:michelkoo@yahoo.com.ar)

Resumen

El diseño de un sistema de terrazas en la actualidad se presenta como una situación algo confusa en el Uruguay, en virtud de no aplicarse los criterios hidrológicos e hidráulicos comunes a las estructuras hidráulicas de mayor envergadura, que ha llevado a implantar sistemas muchas veces no exitosos con problemas de erosión. El diseño normal de estas estructuras de manejo del agua de escorrentía se basa en el supuesto de terrazas cultivables que es totalmente diferente al diseño de las terrazas no cultivables. Los objetivos de este trabajo son establecer un procedimiento práctico sobre bases científicas firmes y comprobadas, de obtención de las medidas estructurales del sistema de terrazas no cultivables ha instalarse en una chacra en particular. Los materiales de este trabajo son diseños ejecutados y funcionando en diferentes partes del territorio desde hace muchos años, aplicando la metodología hidrológica e hidráulica estándar que se utiliza en el diseño hidráulico de desagües de represas y otras estructuras de manejo de las aguas de escorrentía pluvial. Los métodos que normalmente se aplican en estas obras de ingeniería agrícola, son métodos desarrollados en otras regiones con adaptaciones parciales, en la parte de valores de precipitación. Las terrazas se diseñan en base a la Fórmula Racional o por el modelo TR-55, ya que para el diseño de la sección conductora de los escurrimientos excedentes no es necesario la generación de hidrogramas, sólo basta el caudal máximo para un determinado período de retorno. El parámetro básico del diseño, parámetro inicial fundamental de todo modelo hidrológico, es el tiempo de concentración, (T_c) de una cuenca, es el tiempo que demora en llegar el escurrimiento que se genera en la parte más alejada de la cuenca, más remota, hasta el punto de salida en consideración o punto de interés en la cuenca analizada. El tiempo de concentración (T_c) conviene calcularlo a través de la suma de los tiempos de recorrido (T_t) en los varios segmentos consecutivos de condiciones del flujo hídrico. Al aumentar el tiempo de concentración de la cuenca, por proyectar terrazas de mayor longitud, de baja velocidad de evacuación, la intensidad máxima de la lluvia del diseño disminuye, por lo cual la longitud de las terrazas puede superar los 1200 metros y se pueden manejar cuencas de captación de 10 o más hectáreas. En el caso de terrazas no cultivables podremos manejar pendientes de canal muy inferiores a las recomendaciones convencionales, favoreciendo la acumulación de agua en la sección del canal, estaremos realizando un laminado de la creciente de diseño. En terrazas no cultivadas el terraplén será muy bien compactado e hidráulicamente resistente y la acumulación de agua en el canal además es favorable para mejorar el balance hídrico en la chacra. En definitiva tendremos una estructura hidráulica sólida, capaz de evacuar y manejar caudales importantes a velocidades controladas de flujo no erosivo y la cuenca vertiente puede alcanzar tamaños de hasta 40 hás.-

Palabras clave: sistematización de suelos, creciente de diseño, tránsito de crecientes.

Introducción.

El diseño de la sistematización de suelos mediante las terrazas de canal, se encuentra en una situación confusa para los técnicos en la actualidad, quienes se enfrentan a diferentes contradicciones que bien vale la pena clarificar, para no caer en antiguos problemas de ésta compleja práctica mecánica de conservación de suelos. En efecto, considero que esta situación confusa, se origina por partir de un "menú" de opciones de diseño equivocado, cuando lo primero a definir al plantearse realizar terrazas en una chacra, es si éstas van a ser cultivables o no cultivables. Las terrazas cultivables se diseñan sobre la base de criterios ampliamente difundidos en varios boletines del SCS del USDA¹ de la década de 1950, y tienen como característica el ser

¹ Foster, A. 1967 Métodos aprobados en Conservación de Suelos. 1ª Ed. Trillas S.A. 411p.-
Phillips, R.L y Beauchamp, K.H. 1966. Parallel Terraces. USDA. Soil Conservation Service. Lincoln. Nebraska.

canales hidráulicamente muy frágiles, porque al ser cultivables el lomo de las mismas no deberá ser muy compacto, sino afectaría el desarrollo del cultivo, donde la carga hidráulica en dichas terrazas no debe superar los 0,35 m.- Las terrazas no cultivables en cambio, son estructuras hidráulicas mucho más sólidas, por tener un lomo de canal bien compactado, donde la carga hidráulica en los mismos puede ser superior a 0,35 m, permitiendo una mayor capacidad de descarga y las condiciones del flujo hidráulico son más favorables para una buena conservación del propio canal. Las terrazas pueden aumentar la infiltración de agua en los suelos de la chacra, si se diseñan pensando en el almacenamiento temporal de agua de escorrentía, por el tamaño de la sección y el gradiente del canal de la misma, y además confeccionándolas con una extensión mayor al sistema convencional de terrazas cultivables. La otra ventaja de las terrazas no cultivables, es que son las únicas viables para recuperar un campo erosionado, generalmente en los desagües naturales con mucha seguridad, puesto que así se podrá desviar la escorrentía de esos lugares críticos y desaguar en nuevos lugares artificiales o naturales. En efecto, la longitud de las mismas no va a ser una limitante y ello ayuda a configurar una sistematización de terrazas más amigable para el agricultor, por la mayor separación entre las mismas y por la menor cantidad de metros de terraza por ha. Es decir que en las terrazas no cultivables que se proponen estamos manejando metrajes de terraza por hectárea menores a 70 metros

Materiales y Métodos.

El diseño hidráulico de la sección de las terrazas se basa en el conocimiento básico de ciertos principios hidráulicos e hidrológicos. Cuando el proyectista de una obra hidráulica como la que nos ocupa debe conocer la máxima descarga, para diseñar la sección transversal de los canales colectores, utiliza un modelo. La aproximación que debe realizar en el área de ingeniería agrícola, es por medio de relaciones o modelos de lluvia escurrimiento, y con el análisis de frecuencias de precipitaciones, convertir la lluvia de diseño en un caudal de diseño. Cualquier método, requiere la determinación del tiempo de concentración de la cuenca, es un parámetro básico de cualquier método hidrológico. Los métodos que normalmente se aplican en estas obras de ingeniería agrícola, son métodos desarrollados en otras regiones, pero adaptados a las condiciones de precipitaciones registradas en la región. El método más práctico y sencillo de aplicar en el diseño hidráulico de las terrazas es la fórmula racional de lo contrario se puede utilizar el TR-55².- Para el diseño de la sección conductora de los escurrimientos excedentes no es necesaria la generación de hidrogramas, alcanza con el caudal máximo para un determinado período de retorno.

El tiempo de concentración (Tc) de una cuenca, es el tiempo que demora en llegar el escurrimiento que se genera en la parte más alejada de la cuenca o más remota, hasta el punto de salida en consideración o punto de interés en la cuenca analizada. El tiempo de concentración fue expuesto conceptualmente por primera vez por Mulvaney en 1851³ cuando expuso las bases del llamado método racional original.

Tiempo de recorrido (Tt) es el tiempo que necesita o que emplea, el agua de escurrimiento, en desplazarse de una zona a otra en una cuenca vertiente. El tiempo de recorrido (Tt) es un componente del tiempo de concentración (Tc), y una de las formas más racionales de calcular éste último, es mediante la sumatoria de todos los tiempos de recorridos desde el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca hasta el punto de interés o salida de la cuenca.

El tiempo de concentración Tc es la suma de los Tt valores de recorrido de los varios segmentos consecutivos de flujo:

$$T_c = T_{t_1} + T_{t_2} + \dots + T_{t_m} \quad (2)$$

Donde Tc = tiempo de concentración en hrs. y m el número de segmentos para dividir las diferentes condiciones del flujo.

Cuadro 1 Velocidad del agua de escurrimiento en función de la cobertura y la pendiente⁴.

Superficie/Pendiente	0-3%	4-7%	8-11%	>12%
-----------------------------	------	------	-------	------

² Soil Conservation Service, 1986. Technical Release No.55 (2nd Edition) .Urban Hydrology for Small Watersheds. USDA.

³ Dooge,J.C.1973. Linear Theory of Hydrologic Systems. In the rational method pp.:79-84. U.S.Department of Agriculture. Technical Bulletin No.1468. 327 p.-

⁴ Ven Te Chow,1964.Handbook of Applied Hydrology.McGraw Hill.New York

Bosques	0-0,5 m/s	0,5-0,8 m/s	0,8 – 1,0 m/s	+ 1,0 m/s
Pasturas	0 – 0,8 m/s	0,8- 1,1 m/s	1,1 – 1,3 m/s	+ 1,3 m/s
Cultivos	0 – 0,9 m/s	0,9 – 1,4 m/s	1,4 – 1,7 m/s	+ 1,7 m/s
Pavimento	0 – 2,6 m/s	2,6 – 4,1 m/s	4,1 – 5,2 m/s	+ 5,2 m/s

En las terrazas de canal, existen básicamente dos tipos de condiciones de flujo de la escorrentía, el flujo laminar que es el que ocurre en ocasión de lluvias aguas arriba del canal de la terraza en una extensión variable, y por otro lado el flujo en el cauce del canal de la terraza. La fórmula racional es la siguiente

$$Q \text{ (m}^3\text{/seg)} = 0,0028 \times C \times i_{tc} \times A \quad (3)$$

donde

- C es el coeficiente de escurrimiento
- i_{tc} es la máxima intensidad de lluvia en mm/hora para un tiempo igual al tiempo de concentración de la cuenca y un determinado período de retorno.
- A es el área de la cuenca vertiente en Hás.
- Q es la máxima descarga en $\text{m}^3\text{/seg}$ para el período de retorno seleccionado para i .

La separación entre terrazas la podemos fijar en un valor alrededor de 100-120 metros en la zona de pendiente del terreno más crítica. Obviamente asumimos que el proyectista está diseñando un sistema sobre una carta planialtimétrica en un CAD, por lo cual una vez determinado el punto de inicio, dibujará en la referida carta la ubicación de la terraza inicial y las siguientes. Es decir, que desde que existe la USLE el criterio de proyecto de ubicación de las terrazas en el plano es la distancia y no más el intervalo vertical. En efecto, el criterio altimétrico es del siglo pasado, de una época donde las tareas de dibujo eran manuales y demoradas, y el replanteo se realizaba "in situ" sin proyecto previo. Eventualmente es razonable prescindir de una carta planialtimétrica, en el caso de resolver situaciones puntuales, como erosión en cárcavas, en predios pequeños o que por su forma y ubicación en el paisaje, sea conveniente replantear en el lugar sin carta topográfica previa.

Resultados y Discusión

Veamos a continuación el procedimiento de cálculo de la dimensión del canal, mediante un ejemplo real. De acuerdo con la Figura 1 que se muestra, deseamos calcular el T_c para estimar el caudal de diseño para la terraza que se piensa construir. En el ejemplo se muestran tres terrazas de longitudes entre 485 metros a 574 metros.

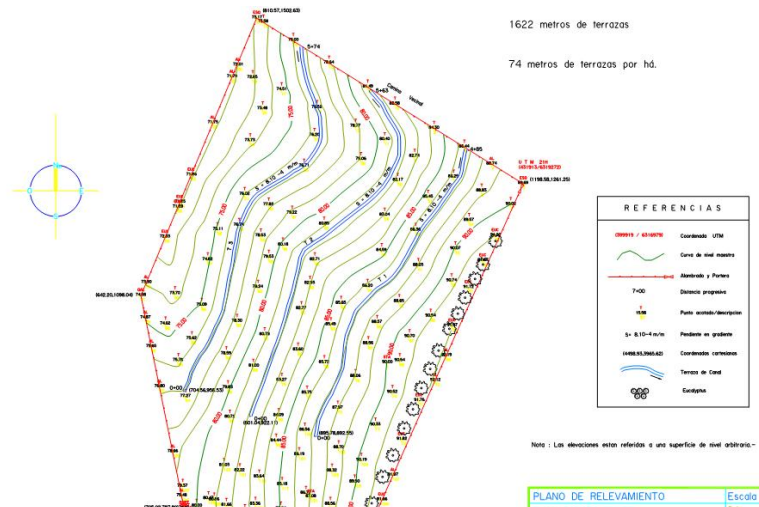


Fig.1 Parte de una chacra sistematizada en base a terrazas no cultivables de base angosta, con espaciamiento a distancias de ≈ 100 metros en los sectores de máxima pendiente, con gradiente de la terraza de $S= 8 \times 10^{-4}$ m/m constante.-

Seleccionamos la metodología de los tiempos de recorrido, teniendo en cuenta que la velocidad en el canal de una terraza conviene que esté por debajo de 0,5 m/s. Si la terraza a construir es **no cultivable** y considerando la terraza como un medio de incrementar los volúmenes de agua infiltrada, podemos diseñar la misma con el mismo criterio conservador aumentando los tiempos de concentración, aumentando los tiempos de oportunidad para la infiltración y disponiendo almacenamiento temporal de agua en ocasión de tormentas, laminando la creciente de diseño.

Caso A.- $574 \text{ m} / 0,5 \text{ m/s} + 150 \text{ m} / 1 \text{ m/s} = 1140 + 150 = 1298 \text{ seg} \approx 22 \text{ minutos}$. La cuenca vertiente en este caso es de 5,3 há.

Por ejemplo, si para el mismo emplazamiento, la terraza la hacemos más larga cambiando el punto de inicio, alargamos la misma en más 300 metros, o sea una longitud total de 874 metros.

Caso B.- $874 \text{ m} / 0,5 \text{ m/s} + 150 / 1 \text{ m/s} = 1748 + 150 = 1898 \text{ seg} \approx 32 \text{ minutos}$. La cuenca en este caso aumentaría a 7,5 há.

Como conclusión, el lector puede deducir que al aumentar el tiempo de concentración de la cuenca, la intensidad media máxima de la lluvia del diseño disminuye. Por lo tanto para una terraza de mayor longitud, mayor será la cuenca de captación, mayor será el tiempo de concentración y menor la I_{max} para un período de retorno dado. Aplicando la fórmula racional con $C=0,50$ y para un período de retorno de $T = 5$ años, asumiendo un espaciamiento horizontal de ≈ 100 metros, tenemos $Q_{pA} = 0,46 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_{pB} = 0,56 \text{ m}^3/\text{s}$, por tanto al aumentar un $\approx 50\%$ el área de captación de la cuenca vertiente el caudal máximo no crece linealmente como puede parecer a simple vista, sino sólo un 22%. Esto no es un descubrimiento, sino una verdad en hidrología⁵, si el escurrimiento se expresa como cantidad por unidad de área (caudal específico), generalmente $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, se observa para otras condiciones idénticas, que los caudales específicos disminuyen con el incremento del área de la cuenca vertiente. Esto se explica por el incremento del tiempo de concentración de la cuenca y debido a una intensidad media máxima menor al incrementarse la duración de la tormenta de diseño.



Fig.2 Terraza estandarizada en dimensiones mostrando, ancho de fondo $b=2,5 \text{ m}$ con la inclinación de $S= 8 \times 10^{-4} \text{ m/m}$ constante.



Fig.3. Terraza en construcción en el mismo predio anterior (Cololó, Soriano), con la motoniveladora conformando por atrás de la terraza de canal y tentando compactar el lomo del canal. El manejo de los suelos es sustentable

⁵ Wilson, E.M. 1974. Engineering Hydrology. (2nd Edition). The McMillan Press Ltd. 250p.-

teóricamente, sin embargo como también es previsible, es necesario superar problemas localizados que generan erosión en cárcavas, por lo cual la práctica mecánica de terrazas para conservar el suelo sigue vigente.

La dimensión estandarizada de las terrazas propuestas, se basan en una sección trapezoidal con $b = 2,0$ m, gradientes preferentemente uniformes dentro de $5 \cdot 10^{-4} \text{ m/m} \leq S \leq 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/m}$ y borde libre total de $D = 0,70$ m.

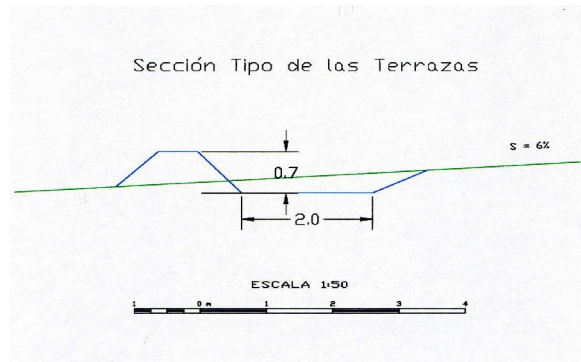


Fig.4 Dimensiones de la sección estándar, con un borde libre total de 0,70 recién construida.

Obviamente, mediante los cálculos hidráulicos se ajustaran las dimensiones que pueden llegar a $b = 3,0$ m, o ajustando los espaciamientos en distancia a valores de $b = 1,0$ metro. El cálculo hidráulico se hace por la simplificación tradicional del flujo uniforme, aplicando la fórmula de Manning, $V = 1/n \times R^{2/3} \times S^{1/2}$, por lo cual el caudal $Q = A \times 1/n \times R^{2/3} \times S^{1/2}$.

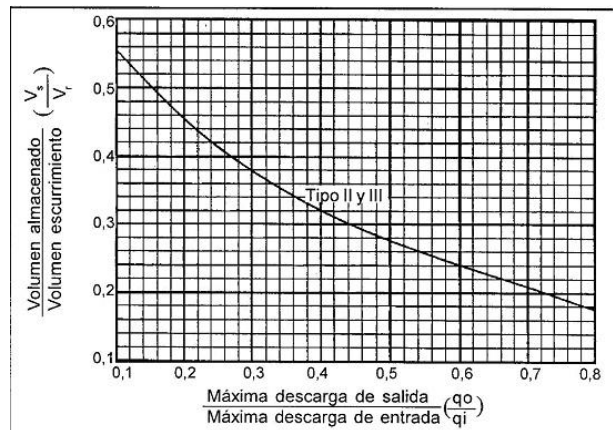


Fig.5 Diagrama de la ecuación $V_s / V_r = 0,6279 e^{(-1,6044 q_o / q_i)}$ del modelo TR55⁶ que permite apreciar que con un almacenamiento temporal del 20% del volumen de escorrentía en la cuenca calculado por el modelo CN, estamos laminando la creciente de diseño en un 70% con mínimo, cuando a veces con este tipo de terrazas la laminación puede ser todavía mayor.

Conclusión

La propuesta del sistema que se presenta en este trabajo, ha sido recibida con beneplácito por muchos productores, y se ha pensado incluso en aumentar el espaciamiento señalado de los 100 metros en áreas críticas, para establecer en principio una terraza clave que solucione insinuación de problemas de erosión en zonas de concentración de aguas. En la Fig.6 por ejemplo, se realiza un manejo de suelo sustentable de acuerdo con la USLE/RUSLE, pero sin embargo como es lógico y previsible, hay lugares de la chacra que igual muestran insinuación de problemas de erosión. En ese caso, la T5 proyectada corta convenientemente los problemas que se insinúan en los dos desagües naturales que dicha terraza intercepta, lo cual conduce todo a un excepcional desagüe natural del predio en la progresiva 11+70.- El área de la sección necesaria para la T5 sin

⁶ USDA, Soil Conservation Service, 1986. Technical Release No.55 (2nd Edition) .Urban Hydrology for Small Watersheds.

hacer la T4, es de $b = 3$ m con un gradiente de $S = 0,001$ m/m constante, la carga hidráulica máxima es de $d = 0,52$ m, la descarga laminada es de $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ($T=10$ años) para una velocidad media de $0,47$ m/s y el área hidráulica de la sección alcanza $2,34 \text{ m}^2$, esto se muestra en la fig.7. la salida del programa de hidráulica FlowPro. El programa muestra claramente que el flujo uniforme se alcanzaría recién al final de la longitud de la terraza, cuando a una tasa constante el canal funcionaría en régimen. Por ello es recomendable que los gradientes de las terrazas sean $S \leq 1,5 \cdot 10^{-4}$ m/m, para mantenerse en velocidades no erosivas $V \leq 0,5$ m/s.-

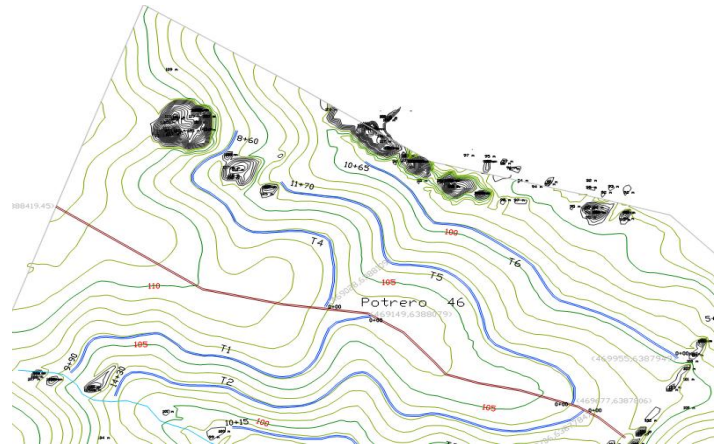


Fig.6 Parte de un Proyecto de sistematización en el área de Young, Río Negro, con áreas de cuenca de 22,4 has para T4 y 34 has en el caso de la T5, siempre en caso de no construir la T4.

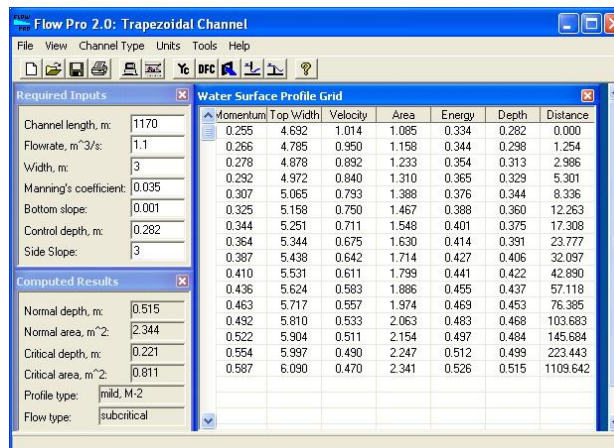


Fig.7 Salida de una corrida del programa Flow Pro 2.0 con los datos de la situación para la T5 sin construir la T4.

Las terrazas no cultivables con anchos de fondo de 2,0 metros y alturas totales dentro del canal de 0,60 a 0,70, en el Uruguay han demostrado que pueden ser trazadas con longitudes mayores a los 500 metros y hasta 1900 metros, con una separación de distancias de 100 a 120 metros en lugares de máxima pendiente.

Bibliografía

- Chow, Ven Te. 1959. Open channel hydraulics. New York. McGraw-Hill.-
- Chow, Ven Te 1964. Handbook of Applied Hydrology. New York .McGraw Hill.
- Dooge, J.C. 1973. Linear Theory of Hydrologic Systems. In the rational method pp.:79-84. U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin No. 1468. 327 p.-
- Foster, A. 1967 Métodos aprobados en Conservación de Suelos. 1ª Ed. Trillas S.A. 411p.-
- Koolhaas, M. 2003. Embalses Agrícolas. Diseño y Construcción. Editorial Hemisferio Sur. 336p.-
- Phillips, R.L y Beauchamp, K.H. 1966. A text for training in the planning, layout, design, and construction of parallel terrace systems, Lincoln, Nebr. Parallel Terraces. USDA. Soil Conservation Service.
- USDA, Soil Conservation Service, 1954. Handbook of channel design for soil and water conservation. SCS-TP-61.-

-USDA, Soil Conservation Service, 1986. Technical Release No.55 (2nd Edition) .Urban Hydrology for Small Watersheds.

-Wilson, E.M. 1974. Engineering Hydrology. (2nd Edition). The McMillan Press Ltd. 250p.-