



Las terrazas en los sistemas de riego

Fotos: Ing. Agr. Pablo Morales

Michel Koolhaas

Ing. Agr. (M.Sc.) Ex Profesor Adjunto de Topografía / Profesor Libre, Facultad de Agronomía, UDELAR.
michelkoolhaas@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La conservación de suelos es posible en la medida que se realice un manejo de las tierras, lo que conlleva el manejo de suelos y el manejo de aguas. Es decir, el control de erosión de las tierras, lo que implica también control de sedimentos, se logra por la combinación de un buen manejo de suelos, o sea por rotación de cultivos, utilización de los suelos de acuerdo con su capacidad, coberturas adecuadas en momentos críticos de ocurrencia de precipitaciones, pero también con un control y manejo del agua de escorrentía.

En este artículo nos proponemos analizar y discutir la necesidad de implementar medidas para el manejo del agua, asunto muy importante a realizar en los sistemas de riego, para que las tierras beneficiadas no corran mayores riesgos de erosión.



Figura 1: Canal de ladera construido con arado de cuatro discos y terminado con pala de cola de tres puntos, para un sistema de riego. También puede considerarse un canal de drenaje, o sea una terraza de drenaje no cultivable.



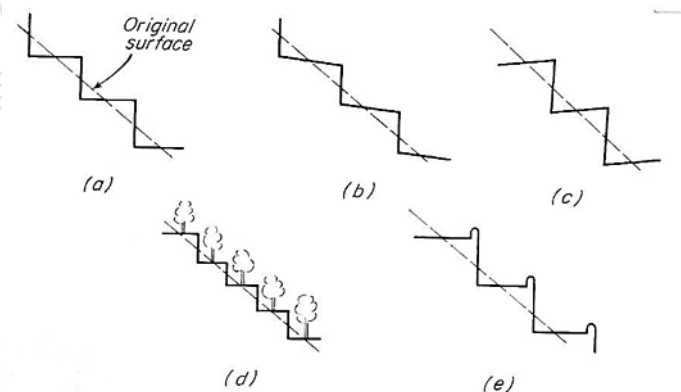
Figura 2: Sistema de riego superficial por desborde de canal, que después de más de 2 kilómetros empieza parte del área de riego de praderas. Las pendientes más críticas en el área oscilan entre 3 y 4 %. El sistema es muy elemental y económico: un lomo regulador a nivel cero, a unos 300 metros abajo regulariza las diferencias de altura de lámina hídrica aplicada.

Los canales de terraplén a un lado, “de una pierna” o de ladera, son los más comunes en las estructuras de conducción del agua en tierras de laderas, se pueden considerar como terrazas no cultivables (Figura 1 y 2).

En otras partes del planeta tierra, como en grandes extensiones en Asia por ejemplo, el cultivo de la tierra sólo es posible mediante terrazas banales o terrazas de banco, debido a la excesiva pendiente del terreno (25-30 %), que exige la modi-

ficación del perfil, formando una suerte de “escalera”. Incluso se realiza el cultivo bajo riego con terrazas banales, asunto que no analizaremos sino que lo mencionamos para que el lector entienda que existen básicamente dos tipos de terrazas, la terraza de banco y la terraza de canal. En la agricultura del Uruguay la única terraza que se utiliza ocasionalmente, pero que debería utilizarse con mayor frecuencia, es la terraza de canal. No tiene sentido implementar la terraza de banco en nuestra agricultura.

Bench terrace



Types of bench terraces

(a) Level bench (b) outward-sloping bench (c) inward-sloping (or reverse-slope) bench (d) step terraces (e) irrigation terraces

Figura 3: (Hudson, N. 1981) Se pueden visualizar los distintos tipos de terraza de banco, según sea el cultivo de secano, frutales o de riego, y distintas opciones para el drenaje.

una compuerta o bomba) y salida a la chacra Q_2 , donde $Q_1 = Q_2$.

En condiciones de drenaje, por ejemplo en el canal de una terraza, donde el agua escurre en ocasión de lluvias más o menos intensas en la chacra que son captadas por el canal de drenaje, la mayor parte del tiempo el flujo hídrico en la terraza es acelerado. El supuesto o el empleo de fórmulas de flujo uniforme es una modelización para simplificar un diseño hidráulico, pero la realidad es diferente.

La terraza de canal como se muestra en la Figura 2, tiene una extensión de sólo 5.000 metros, es un canal de distribución del agua de riego proveniente del embalse sobre la derecha de aquella imagen. El ejemplo mostrado, forma parte de un esquema de riego por superficie de pasturas, por el sistema de desborde y que conduce agua hacia otras partes del predio bajo riego. El área de captación de aguas superficiales en ocasión de lluvias, hasta la progresiva 3+440 asciende a unas 70 hectáreas, y es un sistema que ya tiene en funcionamiento más de 20 años, con algún mantenimiento obviamente. Dicha terraza o canal de distribución maneja o controla los escurrimientos y sedimentos generados aguas arriba de la misma. Esa es una función muy importante de dichas estructuras, que dominan parte de un sistema más efectivo del control de los sedimentos. Erosión de suelos implica transporte de sedimentos y son la fuente clave y causa de la contaminación de cauces de cañadas y arroyos.

Por ello, frente a los problemas existentes en la actualidad con lluvias excedentes de gran importancia y muchos años de agricultura especialmente de verano —con la consecuente erosión y sedimentos que contaminan arroyos y ríos— es realmente preocupante que no se esté pensando ni teniendo en cuenta el agregado de una práctica de conservación de suelos milenaria.

2. MANEJO DEL AGUA

El manejo del agua puede implementarse de variadas formas, como las prácticas de manejo de suelos que tienden a mejorar la infiltración del suelo con la aplicación de productos orgánicos o químicos. La incorporación de materiales vegetales de cobertura cuando son enterrados contribuye a la aireación de la capa superior del suelo y mejorar su capacidad de absorción del agua precipitada. La roturación de un campo bajo pradera por una serie de años, es una excelente práctica de manejo de suelos para luego incorporar una serie de años cultivos de semilla fina o gruesa. Pero todas estas prácticas, no son de un gran impacto frente a caídas de lluvia importantes, por lo cual para tener un efecto drástico de control de las aguas de escorrentía en ocasión de lluvias excesivas, la única manera es mediante estructuras hidráulicas, como por ejemplo un canal de intercepción.

En resumen, la manera más efectiva y drástica de controlar escurrimientos de agua sobre el terreno, es mediante estructuras colectoras de canales en tierra, que se conocen como terrazas de canal. Si bien todas las otras medidas de manejo de suelos conducentes a mejorar las tasas de infiltración de los suelos son positivas, no determinan un control efectivo de los excesos hídricos en ocasión de lluvias intensas. Por tanto, afirmamos enfáticamente que el control máximo de los sedimentos se logra con terrazas agrícolas de canal.

Como toda estructura hidráulica que en definitiva es la terraza agrícola, requiere un diseño adecuado a través de una rutina de cálculo que no vamos a detenernos en su análisis, porque está por fuera de los objetivos de este artículo. Pero sin embargo, debemos aclarar al lector que el tema se ha dejado de lado en el país, cuando debería analizarse, discutirse en

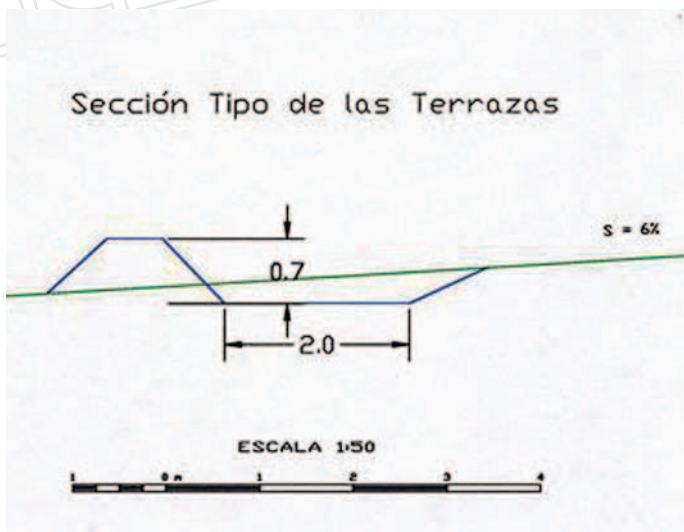


Figura 4: La sección tipo de las terrazas es trapezoidal, con ancho de fondo $1 \leq b \leq 3$ metros y alturas del lomo con respecto al fondo del canal $0,4 \leq H \leq 0,7$ metro.

En los sistemas de riego puedo emplear canales propiamente de riego en los cuales la descarga de los mismos se puede considerar constante, es decir, la descarga no varía en el tiempo, en otras palabras, el flujo es permanente.

Pero también hay situaciones que emplearemos en el sistema de diseño del riego, canales de drenaje, como por ejemplo terrazas, que funcionan como un canal de riego y también de drenaje de los excesos hídricos de escorrentía, y estos canales de drenaje tienen una descarga o flujo que varía en el tiempo y el *flujo no es permanente*. Por lo tanto, esencialmente un canal de riego no funciona teóricamente exactamente igual que un canal de drenaje y es una diferencia conceptual que debemos tener en cuenta a la hora de realizar los diseños y manejar pendientes especialmente en las condiciones agropecuarias del Uruguay, con canales en tierra sin revestimientos.

El flujo normal o flujo uniforme se da en un canal de riego que está funcionando a régimen, es decir luego del llenado del mismo en toda su extensión y con una entrada Q_1 (descarga de

profundidad los criterios, e investigarse sobre diferentes formas y maneras del diseño de sistema de terrazas.

El asunto importante de análisis es el caso del sistema de riego por Pivot Central, un sistema de riego presurizado que ha tenido un desarrollo de cierta importancia en los últimos veinte años en el Uruguay y que requiere una atención particular de manejo del agua de escorrentía. El pivot central no ha tenido la adecuada atención por parte de técnicos y de autoridades, se ha desatendido la problemática intrínseca del sistema, que representa un incremento del potencial erosivo de la lluvia en el lugar, siendo el tema central de atención de este artículo. Se ha pensado hasta la actualidad que dicho sistema de riego estaba exento de problemas erosivos, lo que resulta gran falacia. Los pivotes han generado problemas erosivos en muchos lugares donde aplican agua en tierras con cierta pendiente, asunto muy típico en casi todas las tierras agrícolas del Uruguay.

Las terrazas agrícolas se aplican sin discusión en general en la solución de la recuperación de campos erosionados con cárcavas, porque de lo contrario el «tapado» o regularización del campo con palas niveladoras o bulldócer en general, conduce a un trabajo en el que en pocos años vuelve a reproducirse el zanjado de la chacra, incluso con la introducción de pasturas artificiales.

3. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE PIVOT CENTRAL

La patente del sistema data de 1950 en EE.UU, y en Uruguay se introdujeron los primeros equipos hacia fines del siglo pasado, existiendo actualmente alrededor de 520 equipos que estarían regando aproximadamente 35.000 ha.

El sistema se conforma por una línea o tubería lateral que se mueve en forma circular centrada en un punto del terreno,

por donde entra el agua a presión, y el extremo final del lateral se mueve en forma circular. Esa tubería lateral está montada en una serie de torres con propulsión propia y tiene montado la cantidad suficiente de aspersores, siendo variable la extensión de esta tubería lateral entre 60 y 400 metros, aunque se han implementado variantes que llegan hasta los 800 metros. Vamos a detenernos en el detalle de las tasas de aplicación de agua al suelo que tiene la máquina de riego así diseñada para entender el problema de cómo pueden aumentar el potencial erosivo de la lluvia en un lugar, por aplicación de un sistema de pivot central mal diseñado. Entender el origen de este problema nos permite ver la conveniencia de implementar un sistema de manejo del agua de escorrentía (terrazas) para disminuir los riesgos de erosión.

El sistema de pivot central es muy atractivo a primera vista sin ninguna duda, porque puede adaptarse a diferentes condiciones de suelos, cultivos y topografía, siendo además un sistema que puede hacerse totalmente automatizado. El sistema originalmente fue diseñado para regar un área máxima de 50 has, es decir con una tubería lateral máxima de 400 metros, pero también en áreas relativamente planas, los grandes llanos de Norteamérica.

El costo de un pivot central es importante, entonces al aumentar el área de riego, por extensión de la barra lateral, se disminuyen los costos por unidad de área regada. En orden de disminuir costos, aumentar la productividad y mejorar el retorno de la inversión en una máquina de este tipo, se ha buscado por los vendedores en el país, de sistemas que operen en bajas presiones con los adecuados aspersores que en definitiva conducen a menores consumos de energía y extensiones mayores de la barra lateral hasta 800 metros. Sin embargo, estos sistemas de baja presión se caracterizan por altas tasas de aplicación de la lluvia que prácticamente en nuestras condiciones, exceden la capacidad de infiltración de los suelos, conduciendo a generar escurrimiento y erosión.

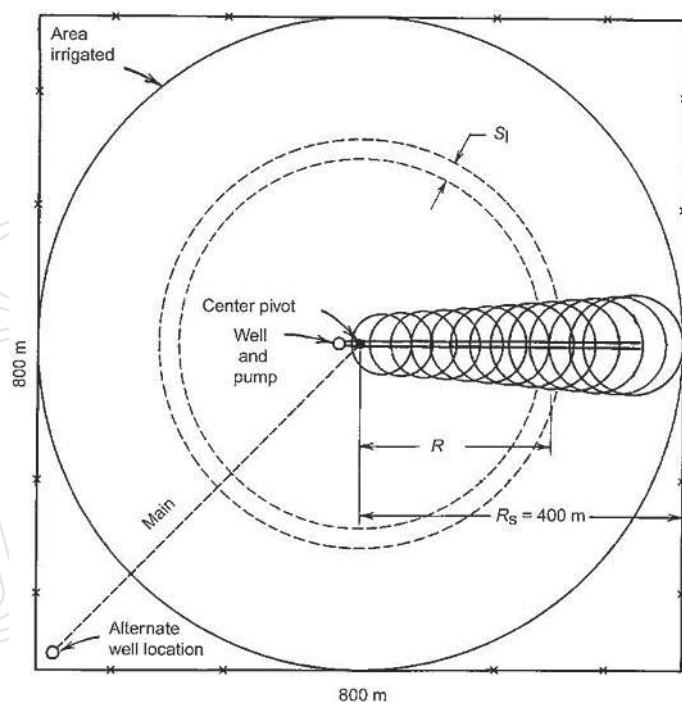


Figura 5. Esquema de un pivot y las distintas pluviometrías de los aspersores a lo largo de la barra lateral estándar de 400 metros máxima, con aspersores de tamaño variable, crecientes hacia el extremo.

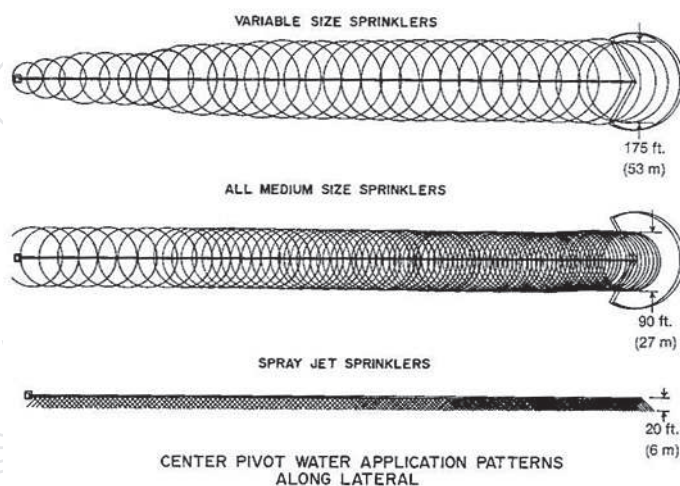


FIGURE X-11
Sprinkler arrangements along the lateral.

Figura 6. (Sears, R.C. 1983) Esta es otra alternativa de colocar los aspersores, el esquema superior es el señalado en primer término de aspersores progresivamente de mayor caudal y diámetro, o un mismo tipo de aspersor con menores espaciamientos que progresivamente se alejen del centro de pivot, y en último término aspersores de gotas muy finas y poco alcance.

Asociada a estas altas tasas de aplicación del agua de riego se produce una alta energía cinética de la lluvia artificial generada, que produce encostramiento de la capa superficial del suelo, favoreciendo el escurrimiento y la erosión del suelo.

Por lo tanto, está demostrado también en otros países que la erosión debida a sistemas de riego con pivot central puede ser de la misma o mayor magnitud que la erosión debida a la lluvia natural (Marques da Silva J.R & Silva L.L . 2010).

3.1. TASAS DE APLICACIÓN DEL AGUA

Primer concepto básico para entender la problemática del pivot central, con relación al potencial erosivo de la máquina, es que para una velocidad angular (número de vueltas / unidad de tiempo) dada, la velocidad en el extremo de la longitud del lateral (velocidad periférica) va a ser mayor que a la mitad de esta barra, por consiguiente la tasa de aplicación de agua al suelo varía a lo largo de la tubería central del pivot, porque la velocidad periférica aumenta al alejarnos del centro del pivot.

Por ello un sistema posible o común de diseño de un fabricante, es colocar cerca del punto central pequeños aspersores, o sea con una tasa de aplicación algo mayor hacia la mitad de la tubería lateral, y aspersores de mayor descarga hacia el extremo final de la tubería, que viaja a mayor velocidad lineal o periférica (Figura 5). De esta forma se obtiene una aplicación más o menos uniforme de agua en el área circular que moja la máquina de pivot central, porque el objetivo del fabricante es la aplicación de una lámina hídrica lo más uniforme posible.

4. CASO DE EROSIÓN SIGNIFICATIVA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOT

En la figura 7 se muestra la situación de un proceso erosivo importante, generado por la instalación y operación incorrecta de un sistema de dos pivotes, básicamente por pendiente importante del área y el tamaño del círculo o longitud excesiva de la barra lateral.

Las características fundamentales del sistema al Oeste del tajamar son: lámina aplicada a velocidad periférica máxima 3,5 mm, la pluviometría media es de 75 mm/hora y la pluviometría máxima en el extremo es de 95 mm/hora. Es una pluviometría de una intensidad muy elevada para la permeabilidad de nuestros suelos, en su mayoría pesados a muy pesados a nivel subsuperficial. Consideramos que la pluviometría media debería ser del orden de 20 a 30 mm/hora, pero no se han realizado investigaciones en el país al respecto. No obstante la observación empírica sabiendo datos de las máquinas permite hacer algunas aseveraciones.

Elevar la longitud de la barra lateral al doble del diseño original de la máquina, es totalmente inconveniente por el incremento importante de la intensidad media. La otra situación inconveniente es las pendientes críticas en parte del área de riego que oscila entre 5 y 6 %, por lo cual suelos pesados de baja permeabilidad recibiendo altas tasas pluviométricas en lugares de pendientes importantes, y además longitudes de laderas del orden de 300 a 350 metros, dan como resultado seguro una erosión laminar y en cárcavas.

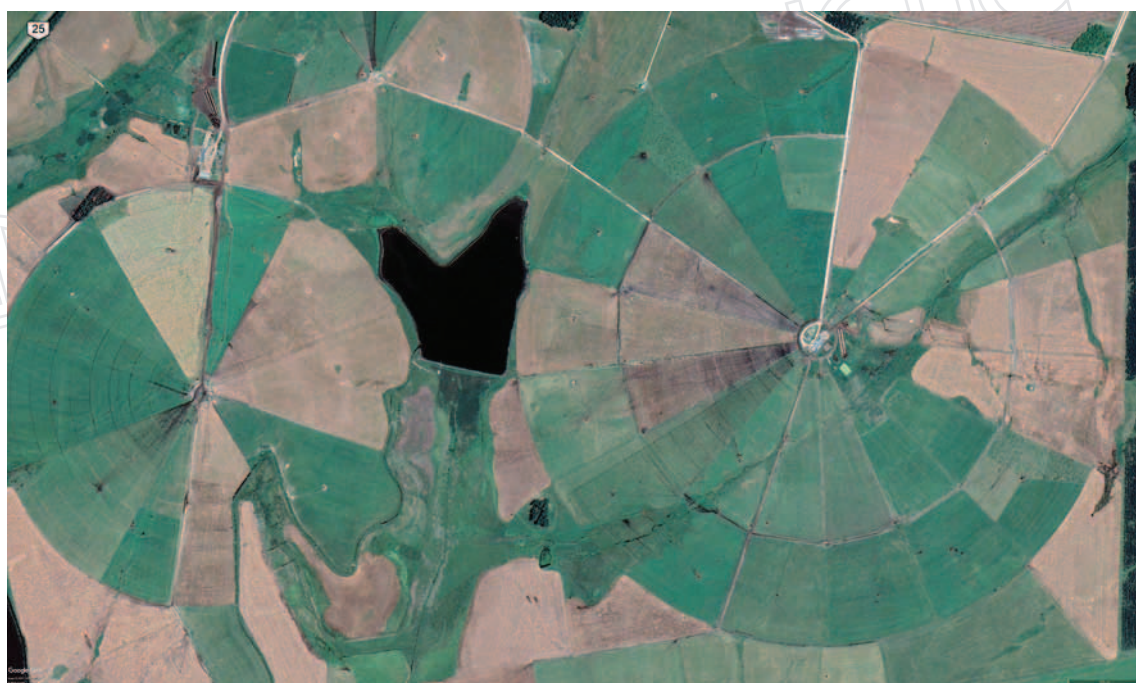


Figura 7. En esta zona se observan dos círculos de riego, ambos con excesivas longitudes de la barra lateral: 590 metros el que se encuentra a la izquierda, o sea al Oeste del tajamar, y de 840 metros el de la derecha. La erosión es severa en ambos casos, pero mucho más grave en el que está al Este del tajamar. La razón de esta observación está en la diferencia de longitudes de la barra lateral, lo cual convierte al sistema pivot de la derecha con un mayor potencial erosivo.



Figura 8. Esta imagen muestra la topografía del área bajo riego, curvas a un metro de intervalo, donde las pendientes críticas están sobre las laderas que vierten hacia el cauce interceptado para la reserva de agua. Se puede observar en color azul las terrazas propuestas para controlar el escurrimiento y volcarlo nuevamente hacia la reserva hídrica, aumentando la eficiencia del uso del agua almacenada y aumentando la cuenca vertiente. Una terraza tiene una longitud de 1.950 y la otra 1.050 metros.

En la figura 8 se muestra la planialtimetría del área y una posible solución para mitigar el alto potencial erosivo resultante de aplicar una máquina de riego de semejantes características, con 840 metros de longitud de la barra. Por más que el vendedor se esfuere en desmentir la problemática de la máquina, bajando la presión de trabajo recomendada para bajar la tasa de aplicación, igual será elevada para las condiciones de nuestros suelos. En general los sistemas de pivot hasta hoy instalados en el Uruguay no son de diseños tan extremos pero este es un ejemplo de la necesidad de recuperación de

un campo con erosión severa, que exige además de cambios en el sistema de producción e inclusión del manejo del agua por terrazas de canal.

En la figura 8 se puede notar la diferencia de cobertura de un pivot estándar y los que fueron colocados. Cualquiera sea la rugosidad del terreno donde se vaya a instalar este tipo de máquina de riego, un problema más a resolver es el surco de las ruedas de las torres y el eventual daño que pueda generar, encauzando escurrimientos (Figura 9).



Figura 9. Esta imagen muestra el surco generado por el rodado de una de las torres del sistema de Pivot, donde los riesgos dependen de la cobertura existente, las condiciones topográficas y tipo de suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Chow, Ven Te.** 1959. *Open-Channel Hydraulics*. International Student Edition, McGraw-Hill Book Co. Inc. 378 p.-
- Fangmeier, D.D. et al.** 2006. *Soil and Water Conservation Engineering*. 5ª Edition. Thomson Delmar Learning. pp 403-409.-
- Hudson, N.** 1981 *Soil Conservation*, Second edition. Cornell University Press, New York, 324p.-
- Koolhaas, M.** 2003. *Embalses Agrícolas. Diseño y Construcción*. Edit. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 336p.-
- Marques da Silva, J.R. & Silva, L.L.** 2010. *Comparative analysis of potential soil erosion in dry farming and centre-pivot irrigation*. Department of Rural Engineering, University of Evora, Portugal. www.geospatialworld.net
- Ritzema, H.P. (Editor)** 1994. *Drainage Principles and Applications*. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen. The Netherlands. 1124p.
- Sears, R.C. (Editor)** 1983. *Irrigation (formerly Sprinkler Irrigation)*. 5th edition. Second Printing. The Irrigation Association. Chapter X, pp.323-345.-
- Simon, A.L.** 1981. *Practical Hydraulics*. 2º Edition. New York. John Wiley and Sons, Inc. 310p.-

Fotografías de Michel Koolhaas, excepto la indicada.



Inicio del canal de riego o terraza de canal de la estructura que se muestra en la Figura 1 con un ancho de fondo $b = 1,0$ metro y gradiente de pendiente de $0,001$ m/m..