

D E S A R R O L L O

1. SISTEMATIZACION DEL SISTEMA RIEGO:

1. Elementos previos:

Las necesidades de agua de la planta de arroz pueden evaluarse tomando como base las cantidades de agua transpiradas por las hojas, en la relación con la unidad de materia seca formada.

La transpiración varía a lo largo del ciclo del cultivo, aumentando muy rápidamente a partir del transplante durante el macollaje; disminuye de la espigazón a la floración, para crecer de nuevo durante unos veinte días, y disminuir por fin definitivamente durante los veinte últimos días de la maduración. Es así que las necesidades globales de agua varían en función de las variedades y de la duración del ciclo.

Referidas a una hectárea de arroz, estas necesidades de agua, sobre la base transpirada, varían entre 250 a 400 mm. Durante el ciclo.

El agua es particularmente indispensable, sobre todo cuando se está formando la panoja, especialmente al comenzar la iniciación floral y más aún cuando tiene lugar la diferenciación de los primordios de ésta. En segundo lugar desde el desarrollo radicular, después de la espigazón, de la floración y de la maduración del grano; éstos son los períodos durante los cuales la planta de arroz es más sensible a la sequía.

El exceso de agua es causa de graves daños que dependen de su importancia, especialmente en función del grado y duración del encharcamiento. Los daños serán tanto más importantes cuanto más elevada sea la temperatura y más turbia el agua.

Ecología del Cultivo de Arroz

Las condiciones ecológicas de la producción arroceras son extremadamente diversas.

El arroz es una planta muy plástica que se cultiva desde el ecuador hasta los 45° de latitud Norte y 34° de latitud sur, desde el nivel del mar hasta los 1500 m de altitud, en los suelos más diversos, tanto en cultivo acuático como en secano.

2. Fuente de Agua.

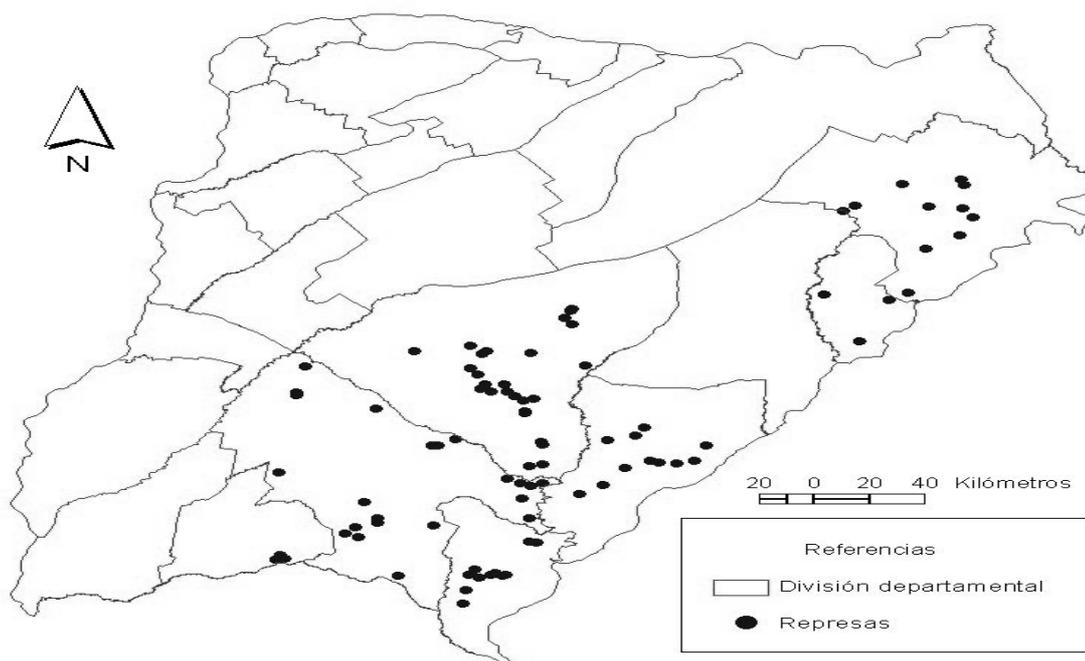
La oferta de agua para el cultivo del arroz, tiene tres diversos orígenes en la Provincia de Corrientes; el provenientes de los Ríos Paraná y Uruguay, con módulos medios de $16500 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ y $2500 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ respectivamente, lo cual significa una oferta instantánea de agua, y solo tomando un 25% de dichos módulos (4125 y $625 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$) de 2 y 0,3 millones de hectáreas, con una dosis de $2 \text{ lts seg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$.

Además de las fuentes de aguas naturales, que por los normales ciclos de sequías e inundaciones, pueden eventualmente, poner en riesgo la actividad arroceras, en la

Provincia y a través del sector privado ha construido en los últimos 15 años unas 80 represas de tierra para riego del arroz.

La potencia de riego se expresa en términos de una relación, la cual indica, que por cada hectárea de espejo de agua se riegan tres de arroz (1:3), en condiciones normales a regulares de manejo del agua; cuando la eficiencia es alta, dicha relación es de hasta (1:5), en tales casos las potencias de riego serían de entre 60 y 100 mil hectáreas, dado que la superficie cubierta por represas es de alrededor de 19 mil hectáreas.

Distribución de represas en la provincia de Corrientes



Departamentos	Cantidad	Superficie (ha)
ALVEAR	3	499
CURUZU CUATIA	22	5871
MERCEDES	26	3840
MONTE CASEROS	11	1221
PASO DE LOS LIBRES	11	5295
SAN MARTIN-SANTO TOME	1	192
SANTO TOME	10	2334
SAUCE	3	482
TOTAL	87	19734

La demanda de agua para el cultivo del arroz puede establecerse en función del área histórica de riego y de la evolución del consumo de agua, que ha evolucionado desde los 20 mil metros cúbicos por hectárea por ciclo (de 110 días), hasta la actualidad en la cual muchas arroceras operan con volúmenes de no más de 10.000 mil metros cúbicos por hectárea por ciclo.

3. Tipos de Riego en Arroz.

Los suelos inundados ofrecen un ambiente único para el crecimiento y nutrición del arroz, pues la zona que rodea al sistema radicular, se caracteriza por la falta de oxígeno. Por tanto para evitar la asfixia radicular, la planta de arroz posee unos tejidos especiales,

unos espacios de aire bien desarrollados en la lámina de la hoja, en la vaina, en el tallo y en las raíces, que forman un sistema muy eficiente para el paso de aire.

El aire se introduce en la planta a través de los estomas y de las vainas de las hojas, desplazándose hacia la base de la planta. El oxígeno es suministrado a los tejidos junto con el paso del aire, moviéndose hacia el interior de las raíces, donde es utilizado en la respiración. Finalmente, el aire sale de las raíces y se difunde en el suelo que las rodea, creando una interfase de oxidación-reducción.

Arroz de regadío

Se está describiendo bajo esta definición, al cultivo al que se le suplementa su necesidad de agua mediante riego. La roturación del suelo puede realizarse mientras el suelo está seco o mojado, según la abundancia de agua, pero para el arroz de regadío el suelo se prepara húmedo o anegado en Asia, mientras que el anegamiento no se practica por lo general en Europa, Asia y Africa.

En los terrenos excesivamente anegados, que carecen de piso para el paso de máquinas y animales, el arroz se siembra mediante el uso de azadones de mano. Independientemente que la tierra se prepare húmeda o seca, el agua posteriormente suministrada se suele retener mediante el uso de taipas o camellones.

El arroz de riego se trasplanta en muchas regiones del mundo. En este caso se deja germinar la simiente y luego se planta en semilleros húmedos durante 9 a 14, 20 a 25 o 45 a 50 días después de la siembra, trasplantándose seguidamente a mano o con trasplantadores mecánicos.

Otros sistemas son la siembra sin trasplante, que en Asia se realiza echando manualmente a voleo el grano pregerminado, mientras que en los Estados Unidos y Australia se siembra en algunos casos en el agua desde un aeroplano. Finalmente, la última variante es la siembra sin trasplante en suelo seco.

Otros ecosistemas arroceros

El arroz de **tierras bajas de secano** se cultiva en suelos anegados de campos muy limitados por diques que pueden almacenar agua con 0 a 25 cm de profundidad (baja) y con 25-50 cm (media), superándose algunas veces esta profundidad. No reciben agua de riego procedente de desviaciones fluviales, represas o pozos, sino que se alimentan de agua de lluvia o por escorrentía de una cuenca local de captación.

En general este tipo de manejo se identifica con un bajo nivel tecnológico, escaso uso de fertilizantes y rendimientos escasos, pero sigue en importancia al arroz de regadío en lo que respecta a superficie sembrada.

El arroz **de montaña o de secano** se cultiva en superficies que no tienen diques, y que dependen de las lluvias para su humedad. En el Brasil, gran parte del cultivo de arroz que se produce es de secano. En la India y en todo el Asia sudoriental, el cultivo de montaña es común en las riberas de los ríos al retirarse las aguas al final de la

temporada de lluvias. Los suelos suelen ser densos, y la humedad residual sostiene por sí sola el desarrollo de la planta.

El cultivo de arroz de montaña va desde el cultivo migratorio de zonas colinosas o montañosas desforestadas que se limpian y queman, hasta grandes operaciones mecanizadas. Entre estos dos extremos está el cultivo de arroz de montaña a la que recurren centenares de miles de agricultores en regiones montañosas en pendiente, que están expuestas a una grave erosión de los suelos y a frecuentes sequías. Los cosecheros más pobres de arroz labran esas colinas, con perjuicios ecológicos gravísimos.

En el sur y sureste de Asia, un 13% de la superficie arrocerá total es de montaña. En algunos países de África y América Latina, el arroz de montaña supera el 50% de la superficie nacional dedicada a este cultivo. Los rendimientos son bajos.

El arroz **de aguas profundas**, el agua es de por lo menos un metro de lámina durante gran parte de la temporada de cultivo. En vastas regiones de Bangladesh, así como en partes de los deltas del Mekong y del Chao Praya, la profundidad del agua puede superar los 5 m, pero en otras regiones se halla normalmente entre 1 y 3 m.

Cuando el agua crece rápidamente después del comienzo de las lluvias monzónicas, el arroz se suele sembrar a voleo en terrenos no enlodados que raras veces están circunscriptos por diques de algún tipo. Las variedades sembradas son altas y foliares, con pocos tallos. Son sensibles al fotoperíodo y maduran solo después de la temporada de lluvias. Pueden alargarse y flotar al subir el nivel de agua.

Las grandes obras de construcción de diques y de protección contra inundaciones que se han realizado en las dos últimas décadas han mejorado muchos arrozales que antes eran de aguas profundas, convirtiéndolos en arrozales de secano o de riego en Bangladesh, la India, Tailandia y el sur de Vietnam.

Técnicas tradicionales de inundación permanente	Técnicas intermitentes de cultivo en seco y húmedo (lámina de inundación)	Cultivo en seco (secano y bajo riego) sin inundación
Ventajas		
<ul style="list-style-type: none"> - Generar múltiples usos del agua - Costos compartidos de manejo del agua muchos usos del agua - Control de malezas 	<ul style="list-style-type: none"> - Ahorro de agua, pero solamente para el cultivo - Cronograma flexible del cultivo 	<ul style="list-style-type: none"> - No se requiere de un suministro adicional de agua, o solamente en manera suplementaria - Ahorro de agua a nivel de campo
Inconvenientes		
<ul style="list-style-type: none"> - Alta extracción de agua - - Riesgo potencial contaminación por - lixiviación de productos químicos - Poca flexibilidad en el cronograma de cultivo (organización en bloques) 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere de un servicio de agua de alta calidad - Requiere de deshierba - Alto costo del manejo asumido solamente por los agricultores 	<ul style="list-style-type: none"> - Técnica de conservación de agua (cobertura) - Requiere de deshierba

4. Necesidad del agua.

El agua para el cultivo es aportada por las lluvias y por los sistemas de riego. Las lluvias, si bien son importantes, son muy irregulares en cantidad y distribución, por lo que el riego debe compensar esas deficiencias.

De acuerdo con lo ya expresado, el consumo promedio del cultivo durante el riego puede estimarse en 15.000 m³/ha. Esta cifra puede variar mucho según las condiciones climáticas y cantidad de lluvia caída en el período, del tipo de suelo, pero fundamentalmente del manejo del agua que realice el productor. Si bien cada caso debe ser estudiado en forma particular, no hay duda de que en general, se utiliza bastante más agua de la necesaria y se podría llevar el consumo a valores cercanos a 10.000 m³/ha en la mayoría de los casos.

Este tema se torna muy importante debido al costo que tiene el riego en el cultivo. Todas aquellas prácticas de manejo que puedan ayudar a disminuir el agua consumida, reducirán costos y aumentarán beneficios.

En la chacra el agua se gasta de varias formas: 1) evapotranspiración, 2) percolación, 3) pérdidas laterales, 4) manejo del agua.

1) Evapotranspiración. Comprende lo que transpiran las plantas y lo que se evapora de la superficie del agua. Este gasto depende de los factores climáticos (temperatura, radiación, humedad y viento). La evaporación registrada en un tanque especialmente diseñado, llamado “tanque A”, es una buena estimación de lo que ocurre en la chacra.

2) Percolación. Es lo que se pierde por gravedad a las capas más profundas del suelo. Depende de las características del suelo, horizonte B textural, contenido de arcilla, etcétera.

3) Pérdidas laterales. Son producidas por filtraciones, desbordes y roturas de rondas y taipas. Depende de la topografía, localización y construcción de las taipas y rondas, etcétera.

4) Manejo del agua. El consumo de agua depende del manejo que realiza el productor, al dar baños, saturar el suelo para la inundación, establecer una determinada lámina de agua, drenar al final del cultivo o seguir regando, realizar riego corrido, cambiar el agua por determinadas circunstancias.

En estudios realizados durante 1983-84, Blanco (1988), de la E.E.A obtuvo los siguientes resultados en 100 días de riego del cultivo:

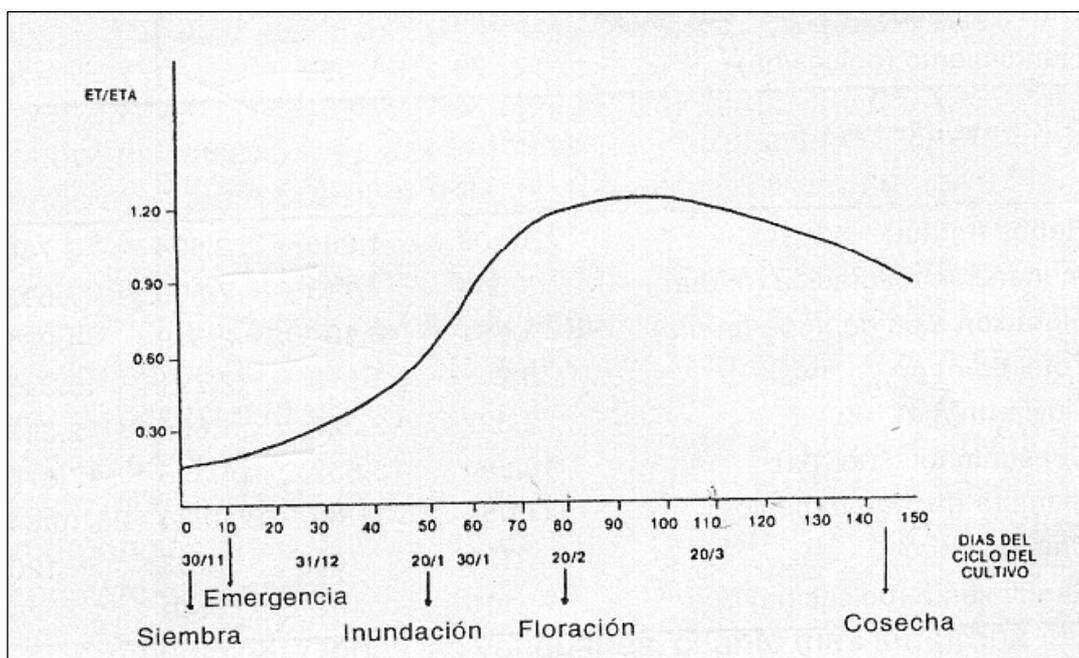
Concepto	Gasto en mm
Evapotranspiración	600
Percolación	100
Pérdidas laterales	460
Manejo del agua	170
Total	1330

Este resultado implica $13.300\text{m}^3/\text{ha}$. La zafra 1983-84 fue muy lluviosa y las pérdidas laterales fueron muy importantes debido a este exceso de lluvia.

Si no hubiera ocurrido esto y no se contabilizaran los 460 mm, el gasto total hubiera sido $8.700\text{ m}^3/\text{ha}$.

La media diaria para la ET fue de 4 mm/día. La relación evapotranspiración/evaporación del tanque A (ET/ETA), fue variable con la época del ciclo (figura 1). Esta relación indica la importancia relativa de la transpiración del cultivo con respecto a la evaporación en los diferentes momentos del ciclo.

Figura 1. Evolución de la evapotranspiración en relación a la evaporación del tanque "A" (Blanco, 1988; Gamarra 1996).



Este resultado implica tener una capacidad de riego de 1,5 l/s/ha.

En mediciones realizadas por el mismo autor en chacras comerciales durante las zafas 1983-84 y 1984-85, dejando que cada productor realizara su propio manejo del agua y utilizando un testigo con un manejo más ajustado a las necesidades del cultivo, obtuvo los resultados que se detallan en el cuadro 1.

Se observó una variación muy grande entre productores. Los valores van desde 10.000 hasta 26.000 m³/ha en todo el ciclo. Se encontró que:

- los productores eficientes fueron bastante similares al testigo.
- los ineficientes gastaron el doble,
- no existió relación entre consumo y rendimiento,
- en el año con más lluvias paradójicamente se gastó más agua.

Conclusiones

- Se debe trabajar mucho para disminuir el gasto de agua.
- A mayor consumo, mayor costo.
- Al consumir más se está desperdiciando un recurso importante y se imposibilita que puedan entrar más áreas al cultivo donde el recurso es escaso.
- Con más agua hay más lavado de nutrientes del suelo y del agua de inundación.
- Se saturan drenajes e inundan caminos y campos no sembrados.

CUADRO 1. Consumo de agua en chacras comerciales (Blanco ,1988; Gamarra, 1996)

A. Consumo 1983-4					
	I	II	III	IV	Testigo
Baños (m ³ /ha)	179	1.261	2.342	1.108	1.980
Inundación a floración (m ³ /ha)	2.850	3.527	3.910	5.089	1.900
Floración a fin de riego (m ³ /ha)	7.646	7.515	9.959	14.417	1.990
Total de riego (m ³ /ha)	10.675	12.303	16.211	20.614	5.870
Lluvia (m ³ /ha)	4.364	6.220	5.336	6.140	7.430
Consumo total (m ³ /ha)	15.039	18.523	21.547	26.754	13.300
Siembra (fecha promedio)	1/12/83	5/12/83	25/11/83	5/12/83	30/11/83
Días de riego	103	119	121	117	102
Rendimiento (bolsas/ha)	79	50	71	76	87

A. Consumo 1984-5						
	A	B	C	D	E	Testigo
Baños (m ³ /ha)	1.106	1.200	2.694	2.750	2.936	1.221
Inundación a floración (m ³ /ha)	2.850	3.527	3.910	5.089	10.490	4.961
Floración a fin de riego (m ³ /ha)	7.646	7.515	9.959	14.417	5.700	1.908
Total de riego (m ³ /ha)	10.675	12.303	16.211	20.614	19.126	8.090
Lluvia (m ³ /ha)	4.364	6.220	5.336	6.140	2.327	1.743
Consumo total (m ³ /ha)	15.039	18.523	21.547	26.754	21.423	9.833
Siembra (fecha promedio)	1/12/83	5/12/83	25/11/83	5/12/83	10/11/84	19/10/84
Días de riego	103	119	121	117	120	93
Rendimiento (bolsas/ha)	79	50	71	76	122	140

Momento de Inundación

En general se acepta que el momento óptimo de inundación esta entre los 30 y 45 días de la emergencia, dependiendo de las lluvias que ocurran, la posibilidad de dar baños antes de inundar y asociado al control de malezas y al manejo de la fertilización nitrogenada en cobertura (figura 2).

Se puede decir que si las lluvias son abundantes, o si es posible dar un baño dentro del período emergencia-inundación y si hay un buen control de malezas, no sería necesario inundar hasta los 45 días.

Por el contrario, si el suelo se seca demasiado y se hace difícil poder bañar el cultivo o es necesaria una inundación temprana para ayudar en el control de malezas, se debe pensar en inundar a los 30 días, pero teniendo en cuenta que la lámina de agua no debe ser mayor a los 5 a 8 cm.



Figura 2. Inicio de la inundación en una chacra de arroz.

Por otro lado, si se planifica una aplicación de N en cobertura para el momento del macollaje, no hay duda que la inundación debe ser hecha alrededor de los 30 días. Por otra parte, con la inundación temprana hay mayor disponibilidad de P para la planta.

En un ensayo realizado por Blanco en 1993, en el que se evaluaron distintos momentos de inundación, 15,30,45,60 y 75 días después de la emergencia para cuatro variedades (EP 144, BB, EP 48 e INIA Yerbal) se constató lo siguiente:

- En promedio para todas las variedades, cuanto más temprana fue la inundación, mayor fue el rendimiento final (cuadro 2 y figura 3);
- La inundación temprana determinó:
 - Mayor número de plantas y macollos
 - Aceleró el crecimiento de las plantas que lograron mayor altura
 - Acortó el ciclo, por lo que si bien aumenta el consumo de agua al principio, luego se disminuye
 - Al desarrollarse antes, las plantas compiten mejor con las malezas, por lo que hay menor enmalezamiento de la chacra
- Con relación a las variedades:
 - INIA Yerbal: en rendimiento no hubo diferencias significativas entre los cuatro primeros tratamientos, sí las hubo entre éstos y la inundación a los 75 días. Se observó un mayor número de plantas y macollos con la inundación a los 15 días.
 - Bluebelle y EP 48: no hubo diferencias en rendimiento entre tratamientos
 - El Paso 144: en rendimiento mostró una diferencia clara a favor del tratamiento de inundación más temprana. No hubo diferencias entre plantas, macollos y panojas. La diferencia estuvo en los granos llenos por panoja, que fueron notoriamente más con la inundación temprana.
 - En ensayos hechos por Gomez y otros (1986), de EMBRAPA, Pelotas, Río Grande do Sul, se determinó que el mejor momento para inundar era a los 30 días luego de la emergencia para BB, BR 409 y BR410.

CUADRO 2. Rendimiento de grano y sus componentes en cuatro variedades y los diferentes momentos de inundación (extraído de Blanco:INIA- Resultados experimentales 1992-3

	Rendimiento (t/ha)	Peso 1000 grs.(g)	Panojas/ m² (número)	Granos lentos/10 Panojas (número)
Variedad				
INIA Yerbal	6.76 b	27.6 b	434 b	1.050 c
Bluebelle	6.43 b	25.4 c	415 bc	1.385 b
El Paso 48	6.14 b	25.6 c	353 c	1.523 a
El Paso 144	9.02 a	28.3 a	522 a	1.134 c
M.D.S (0.05)	0.99	0.51	69	130
Significación (%)	5	5	5	5
Momento de Inundación				
15 días posemergencia	7.62 a	27.2 a	509 a	1.195 c
30 días posemergencia	7.53 a	26.8 ab	427 b	1.240 bc
45 días posemergencia	7.13 ab	26.3 c	414 b	1.336 a
60 días posemergencia	6.72 bc	26.8 ab	399 b	1.386 a
75 días posemergencia	6.45 c	26.6 bc	406 b	1.210 c
MDS (0.05)	0.53	0.43	41	117
Significación (%)	5	5	5	5
Interacción				
Significación	NS	NS	NS	NS
CV (%)	8.9	1.9	11.4	11.0
Media	7.08	26.7	430	1.273

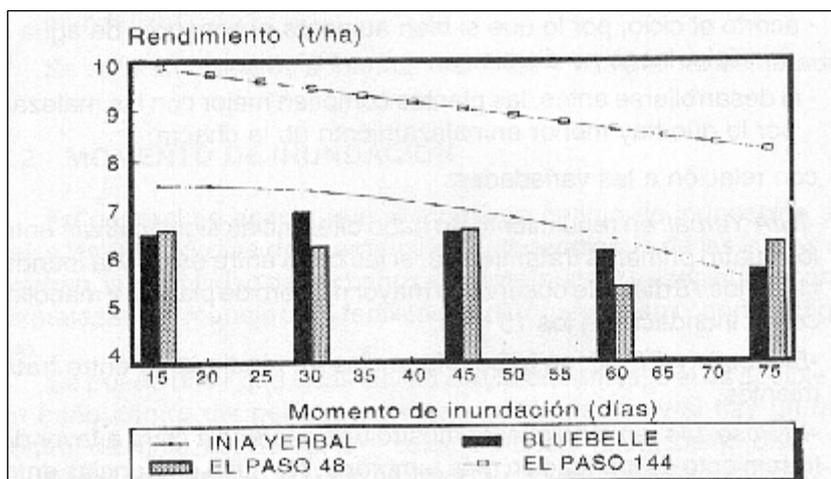


Figura 3. Efecto del momento de inundación sobre el rendimiento de las variedades (extraído de Blanco: INIA- Resultados experimentales 1192-3).

Altura de la lámina de agua.

A medida que se ha ido mejorando la nivelación de las chacras, se ha podido ir bajando la altura del agua sin que queden áreas sin regar.

A pesar de que los resultados de varios ensayos experimentales señalan que el arroz sólo necesita de suelo saturado en forma permanente para cubrir sus requerimientos, este manejo es muy difícil en la chacra, ya sea por los problemas de nivelación como por el desnivel natural entre taipa y taipa.



Figura 4. Riego establecido con una capa uniforme de 8 a 10 centímetros.

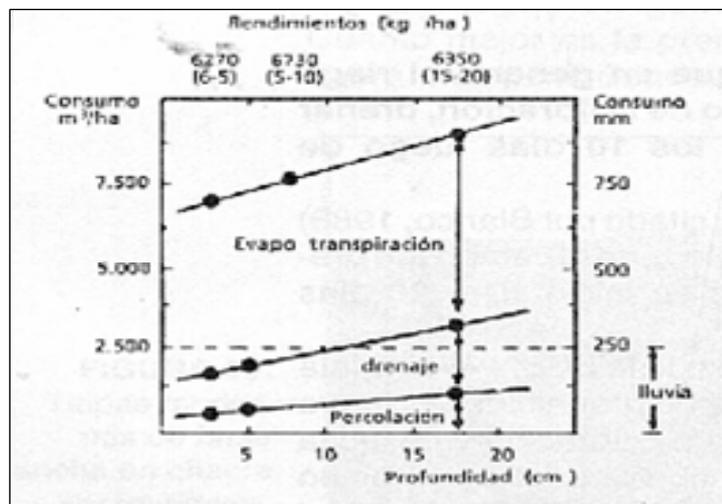


Figura 5. Consumo de agua a diferentes profundidades en Arkansas (E.U.A.) (promedio 1968-9, citado por García Ricci, 1982).

Se entiende que una lámina de 5 a 10 cm es suficiente siempre y cuando no haya problemas de desniveles importantes en el terreno (figura 4). Este nivel de agua resultó el mejor según una información de Arkansas, E.U.A., citada por García Ricci (1982), que se ve en la figura 5.

Por otra parte, en el período considerado más crítico a las bajas temperaturas, que va desde el alargamiento de entrenudos hasta la floración plena, puede ser conveniente elevar el nivel de agua a 15 cm para que el agua pueda amortiguar el efecto de las bajas temperaturas.

En ensayos realizados por Blanco de la EEA, INIA Treinta y Tres durante 1992-93 y 1993-94, en que se probaron 3 niveles de lámina de agua, encharcado permanente, 10 cm y 20 cm, no se encontraron diferencias de rendimiento entre ellos, si bien hubo una tendencia a obtener mejores resultados con los niveles mayores.

En estos ensayos las variedades fueron BB, EP 48, Inia Yerbál y EP 144.

En general puede decirse que las variedades semienanas como EP 144, deben ser manejadas con altura de agua menores que las variedades americanas, sobre todo en la inundación temprana, ya que tienen menor porte y puede disminuir el macollaje.

Momento de finalización de riego.

El tema tiene gran importancia, ya que implica por un lado dejar de regar lo antes posible sin afectar al arroz, y por otro la posibilidad de cosechar en seco.

La cosecha con agua en la chacra sigue siendo una práctica bastante corriente. Esto es problemático para la maquinaria, dificulta el tránsito en los caminos y deja el rastrojo

con muchas irregularidades que hacen difícil la salida del agua y la preparación posterior de la tierra.

El drenaje de la chacra previo a la cosecha permite:

- Secar el suelo y tener piso firme para el tránsito de la maquinaria sin dejar huellas.
- Cosecha más rápida al ser más fácil el tránsito y no perderse tiempo en maniobras y peludos.
- Disminución de costos de operación y mantenimiento de la maquinaria.
- Menor consumo de agua de riego, lo que también significa menos costo.
- Facilita el drenaje posterior de la chacra al no quedar huellada.
- Favorece un mejor laboreo posterior.

En este sentido se puede establecer que en general el riego puede detenerse a los 30 días luego del inicio de la floración, drenar la chacra 10 días después y cosechar a los 10 días luego de drenada.

En una Tesis de Graduación, Acosta (1981; citado por Blanco,1988) encontró que el máximo rendimiento se obtuvo cuando el campo fue drenado a los 35 días posfloración y la cosecha se inició 10 a 20 días después.

En ensayos realizados por Blanco y Méndez de la EEE, INIA Treinta y Tres (1986), se evaluaron distintos momentos de drenaje de la chacra y de cosecha; drenaje a los 15, 25, 35, 45 días posfloración y cosecha a los 45, 55, 65 y 75 días posfloración.

No se encontraron diferencias en rendimiento y se concluyó que el rendimiento no se ve afectado por el drenaje de la chacra, aún en momentos tan tempranos como 15 días después de floración.

De acuerdo con algunos otros parámetros como peso del grano, porcentaje de verde y porcentaje de entero, se concluía que el momento más conveniente para drenar era a los 30 días luego de la floración (50% de panojas emitidas) y para cosechar, entre 50 y 55 días luego de ésta.

En estos ensayos se estudió la evolución de la humedad del suelo y se constató que por debajo del 80 % de agua útil en el suelo (10 mm en 30 cm de suelo), el piso está suficientemente firme para que la cosechadora no deje huella.

Esto se lograba entre 7 y 10 días luego del retiro del agua, dependiendo del momento, de la demanda atmosférica y las lluvias que pudieran caer.

En ensayos realizados por Gomes (1986), de EMBRAPA, Pelotas, Río Grande do Sul, con las variedades BB, BR 409 y BR 410, concluyó que el mejor momento para suspender el riego es a los 10 días luego de la floración plena (80 % de panojas emitidas).

i. La Ecuación de Beltrame y Louzada.

Para Jetter y Marín (1998), el conocimiento del manejo del agua involucra el control de la misma a fin de obtener un rendimiento óptimo del cultivo; y también el uso eficiente del agua en lo referido a la economía del cultivo. El manejo del agua comprende no solo el riego, sino también el drenaje, aspecto muchas veces descuidado.

Estos mismos autores, refiriéndose a las necesidades de agua, expresan que la misma debe reponer las pérdidas producidas por transpiración, evaporación, percolación e infiltración lateral. La más variable generalmente es la pérdida por percolación, que depende del tipo de suelo y de la presencia o no de un horizonte impermeable. Señalan además que, para Corrientes, el total de dichas pérdidas puede variar entre 5 y 20 mm día⁻¹.

En el cultivo del arroz el uso del agua, por la forma y magnitud de su utilización, puede tener mayor importancia que la del mismo terreno. La demanda total de agua depende esencialmente de los valores de evapotranspiración (EVT) y de la percolación, o sea, de las pérdidas en superficie y por infiltración, (Tinarelli, 1989).

De Datta (1986) se refiere a las principales pérdidas de humedad en el arrozal, agrupándolas en pérdidas de vapor y en pérdidas en forma líquida. Ambas pueden determinarse mediante mediciones de campo. Las pérdidas de vapor, a su vez, pueden agruparse en pérdidas por transpiración a partir de la superficie de la hoja y por evaporación en la superficie del agua.

Los dos tipos de pérdidas líquidas son: movimiento descendente o percolación vertical del agua libre y el escurrimiento del exceso del agua sobre los bordos del campo; distinguiéndose la *infiltración perimetral* (agua que se mueve de un área de cultivo de arroz a un arroyo pequeño o áreas no sembradas) y la *infiltración de bordos* (movimiento lateral subterráneo del agua dentro del área donde se cultiva el arroz).

De acuerdo a lo expresado por Topolanski (1975), las necesidades de agua son causadas por los siguientes factores: evaporación, filtración (percolación), absorción por la planta y transpiración. Las dos primeras se consideran pérdidas, por lo tanto deben ser reducidas en lo posible. La evaporación es más intensa en el período previo en que el macollaje cubre la superficie del agua, luego disminuye notablemente hasta que se forman las panículas.

La percolación, si bien no es directamente aprovechable por la planta, es necesaria, pues es de vital importancia que se efectúe por debajo de la zona ocupada por el sistema radicular a fin de regular la temperatura del agua y eliminar sustancias perjudiciales, como el ácido sulfúrico y, a su vez, llevar oxígeno a las capas más profundas.

Currie (1996) indica que son tres las principales causas de pérdidas: percolación profunda, evapotranspiración y pérdidas en el extremo de la chacra; señala además, que los valores de conductividad comienzan siendo altos para deprimirse parcialmente a lo largo de la campaña; esto supone una suerte de acomodamiento del material que implica el sellado del suelo y, por lo tanto, pérdidas hídricas menores.

En lo que respecta a la estimación de la evapotranspiración; afirma que el Método de Penman para calcularlo es el más apropiado, debido a que tiene en cuenta variables como la radiación solar, la heliofanía real y relativa entre otros; pero el método presenta limitaciones, por cuanto la disponibilidad de aquella información se torna dificultosa; por otra parte indica que el balance hídrico de Blaney y Criddle requiere de pocas variables para su cálculo, y que a su vez no involucran directamente al cultivo del arroz; sin embargo, al tomar los valores mensuales del coeficiente fenológico, se ajusta el cálculo empírico en la determinación de la EVT.

Los investigadores brasileños Beltrame y Louzada (1986), señalan que la cuantificación del consumo de agua debe realizarse a través del balance hídrico integral (climático, edáfico y fenológico), cuyos componentes son agrupados en la siguiente ecuación:

$$\int_{ti}^{tf} (P + I).dt = \int_{ti}^{tf} (ET + FD_p + FE_L).dt + W$$

donde:

ti; *tf*: Tiempo inicial y final del balance
P : Precipitación del periodo considerado
I : Necesidad de agua
ET : Evapotranspiración
FD_p: Pérdida por percolación
FE_L: Pérdidas laterales
W : Almacenaje del suelo

Considerando que toda el agua de precipitación sólo circula a través de cauces y es eliminada por zanjás abiertas; las necesidades hídricas serán:

$$I = (tf - ti) = (ET + FD_p + FE_L).(tf - ti) + W + HL$$

HL: Altura de la lámina de riego.

La *percolación profunda* se define por: $FD_p = -k \cdot y/2$

$$k = \frac{\frac{PPC}{k_1} + \frac{ECI}{k_2}}{\frac{PPC}{k_1} + \frac{ECI}{k_2}}$$

donde:

PPC : Profundidad del perfil
ECI : Espesor de la capa impermeable
k₁ y *k₂*: Conductividad hidráulica del perfil y de la capa impermeable respectivamente.

$$y/z = \frac{HL + PPC + ECI}{PPC + ECI}$$

Las *pérdidas laterales* se expresan como: $FE_L = -k_h \cdot y$

$$y = X/E$$

donde:

X : Altura del agua en la sección.

E : Espesor de la sección de tránsito.

k_h : Conductividad hidráulica horizontal en la sección considerada.

ii. Estación de bombeo:

Al momento de tomar la decisión de incorporar la técnica de riego a cultivos extensivos es normal que se preste mucha atención a la elección del tipo de equipo en el caso de aspersión o a su diseño en riegos por gravedad, a la forma de regar, a la cantidad de milímetros, los momentos del riego, etc.

Sin embargo es usual encontrar que el pozo, bomba y motor sea un conjunto ineficiente, es decir que cada litro que esté extrayendo nos salga más caro de lo que nos debe salir. Esto es frecuente debido a que, a diferencia de lo que sucede cuando compramos el equipo de riego, los componentes muchas veces son comprados a diferentes proveedores, que seguramente, pondrán el énfasis en su producto, el pozo, la bomba o el motor, pero no en la eficiencia total del conjunto.

Una solución a esta situación es recurrir a una empresa integral de equipos de bombeo que nos entregue "llave en mano" el pozo dándonos todas las características técnicas del equipo, garantizándonos así, la mejor eficiencia de bombeo para esa situación.

En cualquier caso es conveniente que como empresario se conozcan los aspectos mínimos que hacen al equipo y a su eficiencia.

Tipos de bombas

Las bombas utilizadas para extracción con destino a riego pueden ser horizontales de flujo axial o mixto para aquellos lugares donde se pueda acceder a agua cercana a superficie como ser ríos, lagunas o represas, estas bombas presentan gran caudal con bajas presiones.

Para agua subterránea (de pozo) se utilizan mayoritariamente bombas centrífugas verticales de flujo mixto, que combinan gran caudal con relativamente altas presiones, las mismas se encuentran dentro de la napa y son movidas por un eje desde la superficie.

En la actualidad, casi todas son fabricadas con el sistema llamado de sello hidráulico lo que significa menores rozamientos y mayor capacidad de bombeo.

El elemento activo de la bomba es la llamada celda o turbina. Cada bomba puede tener varias celdas (multicelulares), en la medida que necesitamos elevar más metros el agua,

y no porque aportará mayor caudal. El caudal que puede generar cada una de ellas dependerá de sus revoluciones y del diámetro de la celda (obsérvese la importancia del diámetro del pozo que condiciona la elección de bomba).

Si bien es cierto que, dentro de ciertos límites, a medida que aumentamos la velocidad de la turbina podemos bombear mayor caudal y/o elevar más metros, también es cierto, que rápidamente nos alejamos de los valores de eficiencia aceptables que deben ser de alrededor del 80%.

Cualquier bomba fabricada por una empresa responsable tiene disponible sus curvas de rendimiento que es el único elemento que debemos utilizar al momento de elegir el modelo. Para ello los datos que necesitamos son el caudal deseado y la altura manométrica total del pozo, es decir la suma de la altura dinámica (distancia entre la superficie y el agua bombeándose, las pérdidas de carga (roces, codos, descarga, etc) y si el sistema de riego necesita presión o no (gravedad o por ejemplo un pivot).

Estos datos son los que deberían suministrarnos la empresa que hizo la perforación y la del equipo de riego.

Ahora tratemos de ver que significa en la práctica una correcta elección de estos elementos con un sencillo cálculo. Consideremos un pozo con una altura manométrica total de 34 metros (30 de altura dinámica y 4 de pérdidas de carga), donde se necesita extraer 450 m³/h.

Según tablas se pueden utilizar dos bombas de diámetro similar pero de dos o de tres celdas con una diferencia de 150 rpm (revoluciones por minuto) entre ellas. Por supuesto la primera es más barata que la segunda y la diferencia en el régimen no parece importante, sin embargo la eficiencia de bombeo entre ellas en esas condiciones es de 80% versus 60% ¿cuanto significa esto?.

La potencia necesaria para moverlas será:

Bomba tres etapas (tres turbinas)

$$HP = \frac{450 \text{ m}^3/\text{h} \times 34 \text{ m}}{270 \times 0,8} = 71 \text{ HP}$$

Bomba dos etapas

$$HP = \frac{450 \text{ m}^3/\text{h} \times 34 \text{ m}}{270 \times 0,6} = 94 \text{ HP}$$

Otra opción en bombas son las electrobombas sumergibles. Similares a las ya descritas pero con un motor eléctrico en el propio cuerpo funcionando dentro del agua.

Desde el punto de vista energético son las más eficientes, tienen menos partes móviles y son más seguras al no poseer cabezales con motores en la superficie.

Sus principales inconvenientes radican en que son muy exigentes en lo que a filtro del pozo se refiere, (obsérvese nuevamente como la construcción del pozo condiciona luego las opciones del equipo) y los modelos más grandes no producen caudales superiores a los 400 - 450 m³.

Fuentes de energía

Otro de los aspectos interesantes a considerar es el tipo de energía a utilizar, las opciones más frecuentes son electricidad o diesel. En un primer análisis ello dependerá del costo de la electricidad rural de la zona y de los plazos de pago, pero también hay otros aspectos que deben ser tenidos en cuenta.

El motor eléctrico casi no requiere mantenimiento, permite la posibilidad de automatizar todo el sistema y se lo puede (y debe) utilizar casi al 100% de su capacidad. También nos brinda la posibilidad de utilizarlo en forma vertical adosado al eje de la bomba lo que ahorra el cabezal cardánico o las poleas y es más eficiente, aunque para ello el motor debe estar preparado.

Los motores diesel, usados más frecuentemente, deben tener alrededor de un 15 a un 20% más de potencia que el requerido por la bomba. Un aspecto clave al momento de su instalación es no solo conocer la potencia necesaria, como ya fue calculado, sino elegir una relación de diámetros correcta entre la polea de la bomba y la del motor, de manera de que ambos funcionen a los regímenes correctos, ya que raramente coinciden sus valores.

Como regla general se puede considerar que si el motor está bien elegido, debería estar funcionando muy cerca de su régimen nominal. Es frecuente observar motores por debajo de ese régimen encontrándose en sobrecarga, el pequeño ahorro de combustible nunca compensará la menor vida útil del motor, por el contrario en la situación opuesta es usual observar consumos superiores al 20 o 30% de lo necesario.

Sistemas de transmisión

Las bombas centrífugas de inmersión, a excepción de las electrobombas de inmersión, se mueven por un eje que va desde la superficie a la bomba. Este eje en la superficie termina en un cabezal que es traccionando por una correa plana o mediante un sistema cardánico.

La correa plana tiene como ventaja un menor costo y una construcción muy sencilla, sin embargo, el sistema cardánico es más eficiente y conveniente. El ahorro por patinamiento es de alrededor del 10%, pero además de ello, se le deben agregar otras ventajas, como ser la casi ausencia de mantenimiento y una mayor seguridad para las personas. El cardan debe estar bien diseñado con sistemas de refrigeración por agua y/o aire y debe contar con acoples elásticos para su puesta en marcha.

Ríos con riego por bombeo.

En este caso el agua requerida para el riego del cultivo se obtiene de ríos u otros cursos de agua, con caudal suficiente para abastecer a toda la superficie cultivada a través de

bombas. Éstas succionan el agua de la fuente, y por medio de cañerías y canales la llevan hasta el destino.

Muchas veces, además de la bomba para extraer el agua de la fuente, se necesita otra para superar desniveles y elevar el agua hasta una altura desde la cual pueda moverse por gravedad (estos lugares donde el agua es elevada de una cota a otra mayor se denominan levantes); ya que en la mayoría de los casos los cursos de agua se encuentran en vaguadas más o menos profundas. Para describir este sistema de riego, se utilizará un ejemplo real, llevado a cabo en un establecimiento de la región.

iii. Capacidad de la fuente de agua.:

Se refiere al volumen neto disponible para una campaña de riego; la capacidad de la fuente de riego adoptará distintos criterios según sea el origen de la fuente de agua.

Así en el caso de ríos y arroyos de tipo permanente se adopta el criterio de expresar esa capacidad en términos de caudales: m³ seg o lts/hora; aunque más habitual lo primero que lo segundo. Así por ejemplo los arroyos y ríos interiores del área arroceras de la Mesopotamia no superan los 100 m³/seg y es obvio que este caudal está en función del régimen de precipitaciones.

Para represas de riego abiertas, cerradas y lagunas la capacidad se expresa en m³ o Hm³, recordando que 1 Hm³ es igual a un 1 millón de m³.

Tanto en el primer caso cursos de agua permanente o reservorios hay que relacionar con la demanda estática del cultivo 15.000 m³ ha⁻¹ ciclo⁻¹ y la dosis de riego, alrededor de 2 lts seg⁻¹ ha⁻¹.

iv. Capacidad de Extracción y Transporte de Agua.

La capacidad de extracción está en función a la demanda instantánea para una determinada superficie de riego, y por lo tanto relacionada con la bomba a utilizar, esta a su vez variará, como ya se ha visto, en relación al origen del agua, pudiendo por lo tanto tratarse de bombas de superficies o de profundidad.

A su vez la estación de bombeo guardará relación, como se verá más adelante con la capacidad de transporte de agua, es decir las dimensiones de la cañería o del canal.

Una forma práctica de establecer el diámetro de la cañería es utilizar la siguiente fórmula:

$$D(mm) = 35 * \sqrt{A(ha)}$$

D= diámetro del Caño

35= Constante de conversión de unidades

A= Superficie a regar (ha)

O la otra fórmula que se puede utilizar es y de cuyo resultado también se obtiene el diámetro de la cañería a utilizar es:

$$D(mm) = 25 * \sqrt{q(lt / seg / ha) * A}$$

Donde:

D = Diámetro en mm

25 = Constante de conversión

Q = Caudal en lt seg⁻¹ ha⁻¹.

A = Área (Has)

Conviene advertir que estas dimensiones obtenidas no son comerciales y por lo tanto hay que adaptarse a ello y por otra parte no están consideradas las pérdidas de carga, las que para un cálculo grueso se puede sobre asignar un 25% al valor obtenido.

5. Estructura de la Chacra : Drenajes, Caminos Canales:

La estructuración o diseño de una chacra comprende la marcación de caminos, canales y desagües. Este diseño debe permitir la realización de las prácticas de manejo del cultivo, como preparación de tierras, siembra, riego, drenaje, aplicación de fertilizantes, herbicidas y cosecha, de una forma adecuada y eficiente.

Ya se mencionó la importancia de planificar lo que se va a hacer con cierta anticipación, idealmente en el verano anterior a la siembra.

En ese momento las condiciones climáticas son mejores y no existe exceso de humedad en el suelo.

Cada chacra es diferente, ya que tendrá sus propios parámetros en cuanto a topografía y tipo de suelo, pero se pueden definir ciertas pautas generales que deben ser tenidas en cuenta. La viabilidad técnica, así como la posibilidad económica de realizar estas tareas en forma anticipada, deben ser una de las primeras consideraciones del productor.

El primer paso para proyectar una chacra de arroz consiste en el relevamiento altimétrico del área elegida. Este trabajo debe ser realizado por un profesional idóneo, y consiste en la marcación de cotas de nivel en un cuadrulado del área. La distancia entre los puntos dependerá de la pendiente; a menor pendiente deben estar más cerca. A mayor pendiente pueden estar más lejos.

En general se utilizan estacas cada 25 metros. Una resolución no tan ajustada pero más práctica y barata puede ser la marcación de curvas de nivel, de la misma forma en que se hacen las taipas, ya sea con nivel óptico o con rayo láser. En el caso de áreas muy planas se pueden marcar cada 6 cm de desnivel, y en el caso de mayores pendientes puede usarse un desnivel de 9 a 12 cm. se trata solamente de hacer una raya visible que marque la curva de nivel.

Si el área tiene taipas viejas, éstas podrían utilizarse como referencia, pero hay que asegurarse de que estén bien marcadas.

Una vez que se tiene el relevamiento de la chacra se está en condiciones de proyectar los caminos, canales y drenajes. Si éstos ya existen, debe ser revisada su ubicación y dimensión.

Importancia de caminos, canales y drenajes.

Caminos

Son de importancia fundamental, ya que por ellos se realiza todo el transporte de máquinas, la llegada de los insumos a la chacra y la salida de la cosecha. Además, si se localizan bien, sus cunetas pueden ser una vía importante de drenaje del agua. (figura 6).



Figura 6. Mantenimiento de camino de chacra con motoniveladora. Se observa la cuneta profunda hacia la chacra.

Deben ser más altos que el nivel de la chacra, por lo menos 30 cm y de alrededor de 5 m de ancho. Se deben construir de manera que queden con un parte alta en el centro y luego una buena pendiente hacia las cunetas. Estas no solo servirán para recoger el agua del camino, sino que también deben recoger parte del agua de la chacra. Por eso se recomienda que las cunetas tengan 40 a 50 cm por debajo de la superficie de la chacra. Esto implica que deben tener puentes de madera o de caños para poder entrar con el equipo a la chacra.

También es importante que tengan descargues anchos, para cargar camiones por los dos lados.

Drenajes o desagües

El sistema de drenajes es tan importante como el de riego. Debe funcionar en forma adecuada, principalmente en la época de preparación de tierras y siembra, y en la cosecha.

La red de drenajes debería estar diseñada para sacar el agua que cae en la cuenca de la chacra en un período máximo de 48 hs. (figura 7)



Figura 7. Desagüe principal. En este caso se trata de una cañada natural que se mantiene limpia.

Los desagües principales pueden ser cañadas o arroyos. Los desagües secundarios o internos llevan el agua de la chacra a los desagües principales, y éstos a las corrientes de agua mayores como arroyos y ríos.

Dentro de la chacra se utilizan desagües primarios de zanjadora o valetadeira de 30 cm de ancho y 20 cm de profundidad, que llevan el agua a los desagües secundarios.

Estos deben tener una profundidad mínima de 50-60 cm por debajo de la superficie de la chacra, y se recomienda mantener una pendiente de 0.1 a 0.2% para su buen funcionamiento (figura 8).



Figura 8. Construcción de canal para riego que servirá también como desagüe.

Los desagües principales (cañadas, etc) deben tener una profundidad mínima de 10 cm por debajo de los desagües secundarios, una pendiente mayor a 0.3% y una profundidad de alrededor de 1 m, en relación a la superficie de la chacra. (figura 9)

Los desagües se deben localizar en las partes bajas del terreno, excavados en el suelo y aprovechando la pendiente natural. En el caso de que la pendiente sea muy fuerte, deberían hacerse diques cada tanto para reducir la velocidad del agua y evitar la erosión.

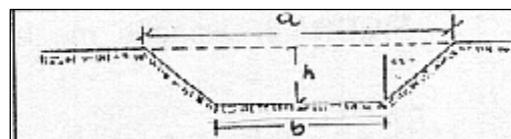


Figura 9. Limpieza del desagüe Principal con excavadora.

CUADRO 3 .Cálculo de desagüe trapezoidal. Extraído de Mendes (1977).

Para $h = 50$ cm.

Valores de a y b en metros.



Área de la cuenca colectora en ha	Cantidad de agua a ser drenada en 48 h, m ³	Cantidad a ser drenada en l/s	Pendiente del desagüe en cm/km				
			20 0.02%	40 0.04%	60 0.06%	80 0.08	100 0.1%
20	3.000	17.36	a 1.16 b 0.16	a 1.15 b 0.15	- -	- -	- -
30	4.500	26.04	a 1.24 b 0.24	a 1.18 b 0.18	a 1.15 b 0.15	- -	- -
40	6.000	34.72	a 1.30 b 0.30	a 1.22 b 0.22	a 1.18 b 0.18	a 1.15 b 0.15	a 1.12 b 0.12
50	7.500	43.40	a 1.40 b 0.40	a 1.25 b 0.25	a 1.23 b 0.23	a 1.20 b 0.20	a 1.18 b 0.18
60	9.000	52.08	a 1.45 b 0.45	a 1.32 b 0.32	a 1.27 b 0.27	a 1.23 b 0.23	a 1.22 b 0.22
70	10.500	60.76	a 1.53 b 0.53	a 1.38 b 0.38	a 1.30 b 0.30	a 1.26 b 0.26	a 1.24 b 0.24
80	12.000	69.44	a 1.59 b 0.59	a 1.43 b 0.43	a 1.35 b 0.35	a 1.30 b 0.30	a 1.27 b 0.27
90	13.500	78.12	a 1.66 b 0.66	a 1.49 b 0.49	a 1.40 b 0.40	a 1.34 b 0.34	a 1.30 b 0.30
100	15.000	86.84	a 1.72 b 0.72	a 1.53 b 0.53	a 1.44 b 0.44	a 1.38 b 0.38	a 1.33 b 0.33
150	22.500	130.20	a 2.05 b 1.05	a 1.77 b 0.77	a 1.65 b 0.65	a 1.56 b 0.56	a 1.51 b 0.51
200	30.000	173.60	a 2.36 b 1.36	a 1.98 b 0.98	a 1.80 b 0.80	a 1.72 b 0.72	a 1.65 b 0.65
250	37.500	217.00	a 2.65 b 1.65	a 2.20 b 1.20	a 1.98 b 0.98	a 1.88 b 0.88	a 1.78 b 0.78

El cálculo de las dimensiones de un desagüe trapezoidal es igual al usado para calcular los canales de riego, tema que se verá al tratar éstos.

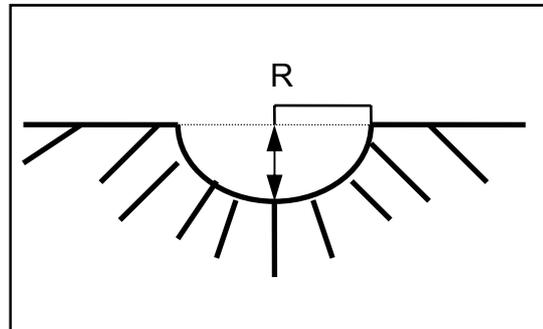
En el cuadro 3 se presentan diferentes dimensiones de desagües para sacar el agua de varias áreas. Dicha tabla está calculada para evacuar una lluvia de 50 mm en 48 h, suponiendo que el 30% del agua caída escurra en la superficie y sea la que deba ser colectada por los desagües.

El porcentaje de agua que escurra superficialmente depende de la intensidad de la lluvia, permeabilidad del suelo, grado de saturación de éste, pendiente, vegetación, pero un 30 % es una buena aproximación a la realidad.

En las chacras muy planas los desagües no deben estar a más de 250 m entre sí, para lograr drenarlas correctamente.

Los desagües “media caña” son más eficientes que los trapezoidales, ya que las pérdidas por fricción contra las paredes son menores (figura 10).

Figura 10. Desagüe “media caña”.



A continuación se plantean las fórmulas de Bazin para poder calcularlos.

$$(1) \quad V = C\sqrt{R \times l}$$

$$(2) \quad Q = V \times S$$

$$(3) \quad C = \frac{87\sqrt{R}}{Y + \sqrt{R}}$$

$$(4) \quad R = \frac{S}{M}$$

$$(5) \quad S = \frac{\pi \times R^2}{2}$$

$$(6) \quad M = \frac{\pi \times 2R}{2}$$

R = radio hidráulico en m

V = velocidad en m/s

Q = caudal en m³ / s

l = pendiente en m/m

S = sección en m²

M = perímetro mojado en m

Y = coeficiente de velocidad. depende del tipo de pared, paredes de tierra tienen un coeficiente igual a 1.30

C = coeficiente de velocidad. Sus valores se presentan en el cuadro 4.

Ejemplo. Para una pendiente determinada $l = 0.1\%$ (1mm de desnivel por metro), un radio hidráulico de 0.50 m , un valor conocido de $Y = 1.30$, se hallan la velocidad del agua y el caudal:

$$V = 30.6\sqrt{0.50 \times 0.001} = 0.68 \text{ m / s}$$

El desagüe media caña de $Q = 0.393 \times 0.68 = 0.27 m^3 / s$ 0.50 de radio y 0.1% de pendiente tendrá una velocidad del agua de 0.68 m/s y un caudal de 270 litros/s

CUADRO 4. Valores del coeficiente c de velocidad de Bazin (extraído de Dakar, 1970).
 $c = 87 \sqrt{R/y} \div \sqrt{R}$

Valores de Y							Valores de Y						
0.35	79.0	68.4	48.8	35.7	27.2	22.0	0.40	83.4	78.1	65.6	54.3	45.3	38.9
0.37	79.2	68.8	49.5	36.3	27.7	22.4	0.42	83.7	78.8	67.1	56.2	47.3	40.8
0.38	79.3	69.0	49.8	36.6	28.0	22.7	0.44	84.0	79.1	67.4	56.5	47.6	41.1
0.40	79.5	69.2	50.0	36.8	28.2	22.9	0.46	84.2	79.3	67.6	56.7	47.8	41.3
0.07	70.9	54.2	31.7	20.6	14.7	11.4	0.48	84.4	79.5	67.8	56.9	48.0	41.5
0.08	71.8	55.6	33.1	21.7	15.5	12.1	0.50	84.6	79.7	68.0	57.1	48.2	41.7
0.09	72.5	56.7	34.4	22.7	16.3	12.7	0.55	85.1	80.2	68.5	57.6	48.7	42.2
0.10	73.1	57.7	35.5	23.6	17.0	13.3	0.60	85.6	80.7	69.0	58.1	49.2	42.7
0.11	73.6	58.7	36.5	24.4	17.7	13.9	0.65	86.1	81.2	69.5	58.6	49.7	43.2
0.12	74.1	59.5	37.4	25.2	18.3	14.4	0.70	86.6	81.7	70.0	59.1	50.2	43.7
0.13	74.6	60.2	38.2	25.9	18.9	14.9	0.75	87.1	82.2	70.5	59.6	50.7	44.2
0.14	75.0	60.9	39.0	26.7	19.4	15.3	0.80	87.6	82.7	71.0	60.1	51.2	44.7
0.15	75.3	61.5	39.7	27.2	19.9	15.8	0.85	88.1	83.2	71.5	60.6	51.7	45.2
0.16	75.6	62.1	40.5	27.8	20.4	16.2	0.90	88.6	83.7	72.0	61.1	52.2	45.7
0.17	75.9	62.7	41.2	28.4	20.9	16.6	0.95	89.1	84.2	72.5	61.6	52.7	46.2
0.18	76.2	63.2	41.8	29.0	21.4	17.0	1.00	89.6	84.7	73.0	62.1	53.2	46.7
0.19	76.5	63.6	42.4	29.5	21.8	17.3	1.10	90.1	85.2	73.5	62.6	53.7	47.2
0.20	76.7	64.1	42.9	30.0	22.3	17.7	1.20	90.6	85.7	74.0	63.1	54.2	47.7
0.21	76.9	64.5	43.5	30.5	22.7	18.1	1.30	91.1	86.2	74.5	63.6	54.7	48.2
0.22	77.1	64.9	44.0	30.9	23.1	18.4	1.40	91.6	86.7	75.0	64.1	55.2	48.7
0.23	77.3	65.2	44.4	31.4	23.4	18.7	1.50	92.1	87.2	75.5	64.6	55.7	49.2
0.24	77.5	65.5	44.8	31.8	23.8	19.0	1.60	92.6	87.7	76.0	65.1	56.2	49.7
0.25	77.6	65.9	45.3	32.2	24.2	19.3	1.70	93.1	88.2	76.5	65.6	56.7	50.2
0.26	77.3	66.2	45.7	32.6	24.5	19.6	1.80	93.6	88.7	77.0	66.1	57.2	50.7
0.27	78.0	66.5	46.1	33.0	24.8	19.9	1.90	94.1	89.2	77.5	66.6	57.7	51.2
0.28	78.1	66.8	46.5	33.4	25.2	20.2							
0.29	78.3	67.0	46.9	33.7	25.5	20.5							
0.30	78.4	67.3	47.3	34.1	25.8	20.7							
0.31	78.5	67.6	47.6	34.3	26.1	21.0							
0.32	78.6	67.8	47.9	34.7	26.4	21.2							
0.33	78.8	68.0	48.2	35.1	26.7	21.5							
0.34	78.9	68.2	48.5	35.4	26.9	21.7							

6. Mediciones Planialtimétricas.

Como es sabido, la Topografía tiene dos grandes divisiones las cuales abarcan, en conjunto, el estudio completo de las dimensiones de la Tierra y las distribuciones de terreno, y facilitan un mayor entendimiento de este estudio. La Topografía se subdivide en Planimetría y Altimetría.

i. *Planimetría*

Se le llama Planimetría al levantamiento de información y confección de planos

ii. *Altimetría*

La *Altimetría* se encarga de la medición de las diferencias de nivel o de elevación entre los diferentes puntos del terreno, las cuales representan las distancias verticales medidas a partir de un plano horizontal de referencia. La determinación de las alturas o distancias verticales también se puede hacer a partir de las mediciones de las pendientes o grado de inclinación del terreno y de la distancia inclinada entre cada dos puntos. Como resultado se obtiene el esquema vertical.

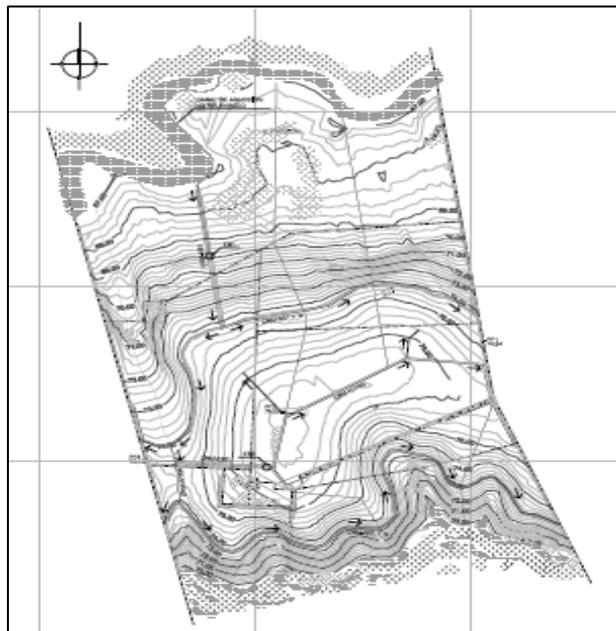


Figura 11

Tipos de nivelación y tecnologías disponibles

La labor de nivelación de tierra se puede clasificar por la precisión o las condiciones de humedad en que se encuentra el suelo durante la labor:

A) Según su precisión

Macronivelación o de baja precisión: la macronivelación es la nivelación donde la conformación del terreno requiere precisión de corte y relleno de centímetro de desnivel, realizando labores con equipos o maquinaria pesadas (tractor de oruga con pala o Bullozer, motoniveladora, mototraíllas y otras).

Requiere levantamiento planialtimétrico (topográfico) y replanteo con estacas señalizadoras en el campo, con auxilio de nivel o teodolito. A pesar de que el levantamiento planialtimétrico se realiza con bastante precisión, la precisión de corte, acarreo y relleno con este tipo de maquinarias, están limitadas a la experiencia del operador.

Micronivelación de alta precisión: aunque se puede realizar con los equipos o maquinarias utilizadas en la macronivelación, así como la intervención necesaria del topógrafo como apoyo orientador, se diferencia porque la precisión de los cortes y rellenos se ubica por debajo del centímetro, es decir, milímetros.

Esto se logra al incorporar equipos especializados de nivelación (palas alisadoras, palas traíllas o moto niveladora), con la incorporación de innovaciones del uso de la combinación de tecnología láser y de la computación. Esto se conoce como controladores automáticos de profundidad de trabajos de precisión.

B) Según la condiciones de humedad del suelo

Nivelación en seco: donde la preparación y conformación altitudinal del terreno se hace bajo condiciones de baja humedad en el suelo (por debajo de la capacidad de campo). En este tipo de nivelación de suelo se puede realizar a diferentes precisiones de cortes y rellenos, con los equipos y maquinarias mencionados anteriormente.

Nivelación en suelo inundado: en América Latina existen áreas húmedas y mal drenadas donde la preparación del suelo en seco se dificulta, siendo lo más práctico hacer operaciones bajo agua o suelo inundado y utilizando la lámina de agua como nivel. Para ello se usa tractor dotado de aditivos o implementos para trabajar como rodillo, jaula y chapaletas en ruedas motrices, palas acopladas, rotor tilles o arado rotativo, rastrillo de púas, entre otras variantes.

Indistintamente del implemento y el número de pases usados en el campo, es un método de nivelación de baja precisión, sólo justificado bajo condiciones en que no se puedan usar otros métodos de suelo en seco, y cuando las condiciones de drenaje del terreno no lo permitan; si se observa que el terreno evidencia un alto desnivel dentro de los lotes que dificultan la labor de riego y manejo del cultivo de arroz.

¿Por qué nivelar tierra usando tecnología láser?

A continuación se enumeran un conjunto de ventajas que, desde el punto de vista operativo, indican las razones para realizar la labor de nivelación de tierra usando

maquinarias y equipos mediante control de precisión de profundidad de trabajo con tecnologías láser y computadora, es decir, niveladoras láser.

1. Menor tránsito de maquinarias pesadas y compactación de suelo: existen en el mercado palas niveladoras (palas, traíllas y alisadoras) para ser acopladas a la barra de tiro o al enganche de tres puntos de tractores agrícolas con ruedas de cauchos u oruga con el fin de realizar labores de movimiento de tierra, especialmente para nivelación. Están diseñadas y adaptadas con sistemas de control de profundidad de corte con tecnología láser y computador.

Esto permite sustituir las maquinarias pesadas usadas comúnmente en construcciones civiles y que por mucho tiempo han sido usadas para labores de nivelación y movimiento de tierras en campos agrícolas. Estas últimas, debido a sus características (tamaño, elevado peso, diseños de sus palas y baja maniobrabilidad en su operación en campo agrícola y diseño para su uso en obras de construcción civiles), producen una creciente compactación de los suelos, a medida que aumentan el número de pases de las maquinarias y el contenido de humedad.

Con el uso de las nuevas palas niveladoras láser, diseñadas para uso en suelos agrícolas, y la precisión que brindan los sistemas de control automático de nivel de trabajo, se reduce el tránsito de maquinaria pesada y se facilitan sus maniobras, y con ello se reduce la intensidad de compactación de los suelos.

2. Mayor precisión de cortes y rellenos: como se ha referido, la tecnología láser en la nivelación ha incrementado la precisión en las labores de cortes y rellenos, debido a programas de cálculos en computadoras que emiten instrucciones en tiempo real al sistema hidráulico y mecánico de las palas niveladoras; ajustando con precisión de milímetros la profundidad de operación.

3. Menos dependencia de levantamiento topográfico: aunque no es recomendable por la necesidad de conocer previamente la topografía del terreno, para los fines agrícolas de la nivelación, el sistema de nivelación mediante control de profundidad de trabajo, es prácticamente un nivel de precisión aceptable y de cálculo y decisión automática. Se puede omitir o prescindir de un levantamiento topográfico planialtimétrico, por medios convencionales.

Sistema de control de nivel de trabajo con Láser: tecnología disponible para la nivelación agrícola de tierra con mayor rapidez y precisión

Los avances en la informática, en la tecnología láser y en ingeniería mecánica ponen a disposición diferentes marcas y modelos, un conjunto de tecnología de control de cota o nivel de trabajo con láser cada día de mayor precisión en la operación automática de la nivelación de tierra con fines agrícolas.

Están diseñada y adaptadas a las nuevas palas alisadoras y minitraíllas de mando hidráulico de diferentes tamaños para diferentes volumen de trabajo que van desde 2 hasta 10 m³ de capacidad máxima de carga, y mayor requerimiento de potencia de trabajo a mayor volumen, para ser operadas acopladas al tiro de tractores agrícolas de mediana a alta potencia (80 a 160 Hp).

El dispositivo de control de nivel o cota de trabajo está compuesto de un emisor o transmisor de haz de luz láser que gira sobre su eje, entre 300 a 1.200 rpm, en una estación fija fuera del campo donde se realiza esta labor que define el *datum* o cota fija de referencia , un receptor especial colocado en un mástil sobre las traíllas o palas , una computadora que recibe la información del receptor y envía un conjunto de instrucciones a un sistema de válvulas solenoides para el control de los gatos hidráulicos de levante .

Los emisores láser vienen de cero pendiente, una sola pendiente en un sentido o dirección, y doble pendiente en dos sentidos. Con la tecnología existente, la nivelación se puede realizar a precisiones de hasta 3 a 4 mm en cota y de 0.5 segundo en el ángulo de la pendiente resultante o modificada.

Modo y operación en la nivelación de suelo con el sistema de control con láser

La nivelación se realiza con pases sucesivos del tractor y la pala o traílla sobre el campo previamente preparado con varios pases de rastras (3 a 5 pases) o con otro implemento de roturación que permita aflojar el suelo y facilitar el corte, transporte y relleno. Para ello se debe tener una pendiente de diseño y conocimiento del relieve del área a nivelar. La labor de preparación de suelo se realiza antes y durante la labor de nivelación para mantener una capa de suelo suelto que facilite el trabajo de la niveladora.

El sistema de control de nivel de corte o trabajo funciona con una computadora que gobierna el sistema de levante hidráulico a través de un conjunto de válvulas solenoides para subir o bajar la hoja de corte de la pala, tratando de mantener la altura o cota de recepción predeterminada en el mástil, sobre la pala, con respecto a la altura o cota del haz de luz láser recibido desde el sitio de emisión .

Al inicio de la nivelación, se coloca el emisor láser a una distancia no mayor de 300 a 400 m sobre un trípode o traílla especial a una altura fija y en un sitio fuera del campo a nivelar, de forma tal que domine y permita la captación del haz de luz a lo largo y ancho del campo por el receptor colocado a una altura predeterminada en la pala o traílla niveladora. Se debe evitar que no existan obstáculos que interfieran la operación. Se seleccionan las pendientes de trabajo, según el diseño previo, se ajusta el emisor a ella y se deja funcionando para la labor.

Con el tractor, la pala y el receptor moviéndose en el campo, se ubica la parte más alta del terreno, el sitio donde está la cota mayor con respecto a la superficie del suelo. Se baja manualmente la pala a la superficie del suelo y se ajusta la altura del receptor en el mástil a la posición de nivelado en que el indicador lumínico del mismo indique altura donde no hay ni corte ni relleno. Posteriormente, se sube el receptor en el mástil uno 2 a 5 cm por encima de la altura anterior, para producir un corte entre 4 a 10 cm cuando el tractor y la pala niveladora estén en operación.

Se pone en marcha el tractor con las palas dirigiendo la labor desde la parte más baja y pasar por el sitio de la parte más alta. En pases sucesivos la pala ira haciendo sucesivamente cortes de capas entre 2 a 10 cm de grosor en la parte más alta, sin sobrepasar la carga máxima de la misma. La carga es arrastrada o transportada a las partes más bajas donde, por efecto de la elevación de la pala por el sistema, se la deposita, relleno las depresiones de cotas más bajas al punto de arranque inicial. Esta labor se repite hasta que la pala, en los pases, no realice corte ni acarreo de material del suelo de la parte alta.

La labor concluye cuando al último ajuste de la altura sobre el mástil del receptor, se observa que la hoja de corte de la pala sólo roza la superficie del suelo desde la parte más alta hasta la parte más baja sin realizar corte, acarreo ni relleno, lo cual indica que el terreno está nivelado a la pendiente de diseño referenciada por el emisor láser fuera del campo nivelado.

Rendimiento en campo de labor de nivelación de tierra con tecnología láser

El rendimiento de la labor en campo dependerá de la capacidad de trabajo de la niveladora, la potencial del tractor, la experiencia y pericia del operador, de las irregularidad y pendiente inicial del terreno, de la textura y humedad del suelo, de la pendiente de diseño y la geometría del lote a nivelar.

Con niveladora de 10 m³ de capacidad, el rendimiento es de 1.5 ha en 8 a 12 horas. Usando niveladora alisadora de 1 m³ de capacidad, se registraron rendimientos de 0.5 ha en 10 a 12 horas con pendiente de diseño cero grado.

7.Las labores culturales y la sistematización del cultivo.

La nivelación de tierra consiste en modificar el microrrelieve natural o modificado, uniformizan alisándolo, manteniendo la pendiente o cambiándola, con objeto de poder mejorar y fácil establecimiento del cultivo bajo riego, su manejo agronómico y desarrollo posterior. En las primeras introducciones esta práctica está asociada a facilitar el manejo del agua en métodos de superficial o por gravedad, y facilitar el drenaje del campo

Además de estos beneficios, también se ha comprobado que coadyuva en la eficiencia y eficacia de otras prácticas agronómicas asociadas al manejo agronómico del cultivo arroz.

Esta labor requiere el uso de gran cantidad de energía mecánica para remover volúmenes significativos de suelo, entre 1 a 2 toneladas por m³ en peso, de áreas de cortes (parte altas de microrrelieve) y transportar a cortas distancias, hacia áreas de rellenos o más bajas (parte donde están las depresiones y microdepresiones), siguiendo el sentido general de las pendientes predominantes del terreno.

Para una pendiente de diseño determinada, el volumen de tierra o suelo removido y transportado será mayor a medida que es mayor la pendiente del terreno ha modificar y sea mayor la diferencia entre la pendiente inicial y la modificada. La pendiente se puede modificar de 0 hasta más de 1,5%. No obstante, en campos donde se van a sembrar cultivos anuales, densos como el arroz, por lo general, se procura mantener las pendientes naturales o reducirlas a una menor, dependiendo de la necesidad que justifica la modificación.

En el cultivo de arroz –debido al uso de métodos de riego por gravedad con inundación continua con lámina fija o variable–, se procura, con la labor de nivelación de tierra, reducir la pendiente inicial del terreno, a modificarla a mínima pendiente con el objetivo de permitir un manejo adecuado de la profundidad de la lámina de inundación. No obstante, los volúmenes y profundidad de corte son mayores a medida que se acerca a cero pendiente, lo cual produce un incremento en el consumo de energía y maquinarias, y por ende, de los costos directos de la operación.

El arroz es una gramínea que se adapta a ecosistemas donde la tierra presenta mal drenaje interno y externo, una pendiente predominante muy baja y suelos con textura pesada (con alto contenido de arcillas), lo cual crea condiciones limitativas para su uso en el establecimiento de otros cultivos. En la actualidad el incremento unitario de la producción de la mayoría de los cultivos, es mayor en siembras que se realizan bajo riego que las realizadas en secano (sólo dependientes de aguas provenientes de las lluvias).

La nivelación de suelo produce un conjunto de ventajas que favorecen la producción de arroz bajo riego: propician una mayor eficiencia en las operaciones de preparación de suelo y siembra; permiten el manejo agronómico más preciso del cultivo; potencian la eficiencia de aplicación de insumos y la respuesta del cultivo; contribuyen al control de malezas, plagas y enfermedades; al manejo del riego con economía del agua y ahorro de tiempo y facilitan las labores de cosecha, entre otros.

8.Etapas.

Introducción

La altimetría tiene como fin el estudio de las distintas elevaciones o alturas entre dos o más puntos, mediante la operatoria de "nivelación".

Conceptos generales

Superficie de nivel: es un plano horizontal de altura arbitraria, el cual sirve para relacionar puntos de la superficie terrestre y determinar así su altura relativa.

Línea de nivel: es toda línea perteneciente a una superficie de nivel o plano horizontal.

Altura de un punto de la superficie terrestre: es la distancia vertical que separa al punto del plano de comparación o superficie de referencia.

Desnivel entre dos puntos: es la distancia vertical entre las dos superficies de nivel que pasan por los mismos.

Cota: es la altura relativa de un punto de la superficie terrestre, con respecto a un determinado plano de comparación de altura arbitraria.

Altitud: es la altura de un punto con respecto al Nivel Medio del Mar. Para nuestro país está dado por el mareógrafo de Mar del Plata.

Punto fijo: punto de cota conocida al que se vinculará (altimétricamente) los demás puntos.

Pendiente de una línea

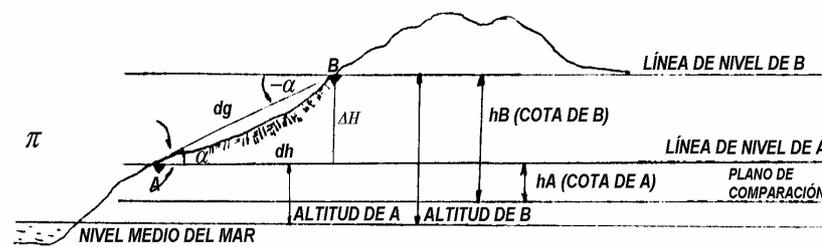


Figura 12

Sean dos puntos A y B donde la cota de B es mayor que la de A; y ambos se encuentran sobre un mismo plano vertical π , formándose en dicho plano un ángulo de elevación α . Los puntos A y B se encuentran separados por una distancia horizontal dh .

Queda así formado un triángulo rectángulo cuyo cateto opuesto es ΔH (desnivel) y el cateto adyacente dh .

Se define como pendiente de la línea a la tangente trigonométrica del ángulo vertical α ; que por definición resulta ser el cociente entre ΔH y dh .

Si bien el resultado de este cociente es adimensional, en Topografía, se la expresa en tanto por ciento o tanto por mil. Por ejemplo una pendiente del 1% significa que en 100 metros hay un desnivel de un metro.

Generalmente la pendiente se indica con la letra "i"; y será positiva si es un ángulo de elevación y negativa si es de depresión.

$$i \text{ ó } \operatorname{Tg} \alpha = \Delta H / dh = (\text{Cota de B} - \text{Cota de A}) / dh =$$

$$i = (\text{Cota final} - \text{Cota inicial}) / dh$$

Nivelación

Definición:

Se llama así a toda operatoria topográfica que conduce a la determinación de una diferencia de nivel, o sea, determinar la distancia vertical entre las líneas de nivel de los distintos puntos, y a través de estos desniveles, obtener las cotas de los mismos.

Tipos de nivelación

- *Nivelación geométrica*: (directa o por altura)

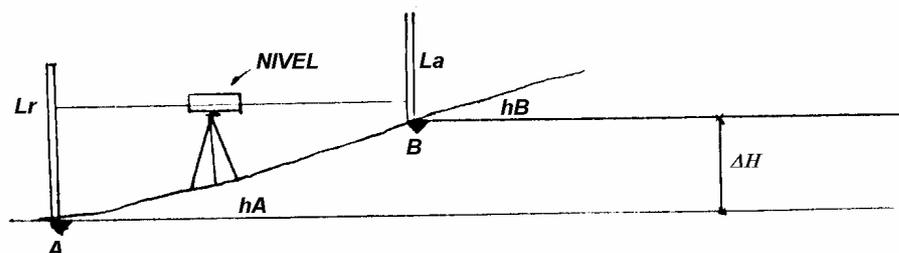


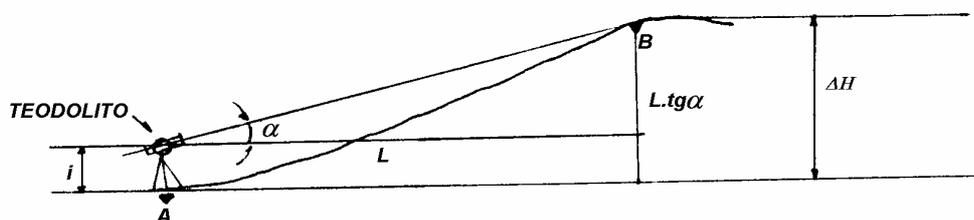
Figura 13

Es la determinación de desnivel entre dos o más puntos mediante visuales horizontales a miras verticales, su precisión es al mm.

Lr = lectura atrás
 ΔH = desnivel (diferencias de cotas)
La = lectura adelante
PH = plano horizontal

- *Nivelación trigonométrica*: (indirecta o por pendiente)

Es la determinación de desniveles por medio de medición de ángulos verticales y distancias horizontales, su precisión es al cm.



i = altura del instrumento

$$\Delta H = L \cdot \text{tg} \alpha + i$$

Figura 14

- Nivelación barométrica:

Determinación de desniveles por medio de diferencia de presión atmosférica en ambos puntos.

A mayor altura hay menor presión atmosférica; luego por las diferencias de presiones puede determinarse las diferencias de alturas (se emplea un barómetro aneróide). Su precisión es al m.

Nivelación geométrica

Esta nivelación consiste en determinar desniveles **por medio de visuales horizontales, mediante un instrumento llamado nivel, a miras verticales.**

Usos de la nivelación:

Nivelación de puntos fijos: son los que se hacen por nivelación geométrica en cualquiera de sus órdenes de acuerdo a la precisión deseada.

Esto permite utilizarlos luego como elementos de vinculación de futuros trabajos topográficos, ya sean estos de relevamiento o replanteo.

Nivelación de líneas: si se supone la intersección de un plano vertical con la superficie terrestre se obtiene una línea que puede ser nivelada mediante nivelación geométrica.

Nivelación de superficies: consiste en tomar la altura de varios puntos que pertenecen a una superficie dada con diversos fines; por ejemplo obtención de planos con curvas de nivel o proyectos de movimiento de suelo.

Operaciones de nivelación geométrica

- *Nivelación geométrica simple:*

Para utilizar esta nivelación se debe tener en cuenta que entre los puntos a determinar el desnivel, no haya una distancia mayor de 120 metros ni una pendiente muy pronunciada.

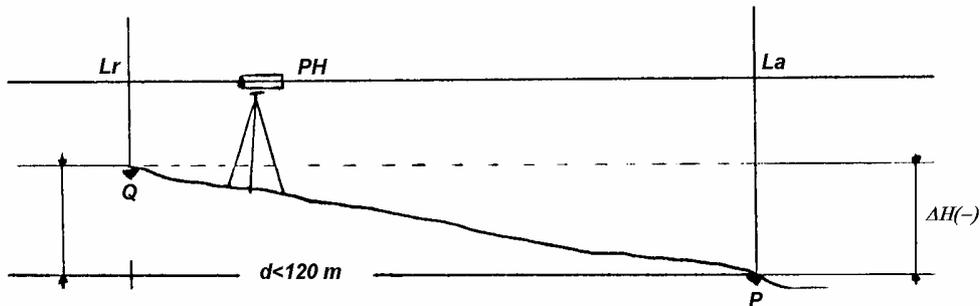


Figura 15

Sea determinar el desnivel entre P y Q, puntos en lo que se han colocado dos miras verticales. Una vez estacionado el nivel se bisecta la mira en Q y se obtiene Lr. Luego se gira el anteojo y se apunta hacia P y se lee La.

Luego se tiene que $\Delta H = Lr - La$

$$\text{Cota } Q + Lr = PH$$

$$PH - La = \text{Cota } p$$

$$\text{Cota } p = \text{Cota } Q + \Delta H$$

Donde: ΔH_{QP} = desnivel entre los puntos

Lr = lectura atrás

La = lectura adelante

PH = Plano horizonte

- Nivelación geométrica compuesta:

Cuando se desea determinar el desnivel entre dos puntos alejados o separados por una pendiente pronunciada, se procede a hacer una nivelación geométrica compuesta, que consiste en la reiteración consecutiva de varias nivelaciones simples, determinando así un polígono de nivelación. Cuyos vértices son los puntos en donde se hacen lecturas atrás o adelante.

En los puntos en donde se efectúan dos lecturas (adelante y atrás) se denominan “puntos de cambio”, porque allí se produce un cambio de la altura del plano visual.

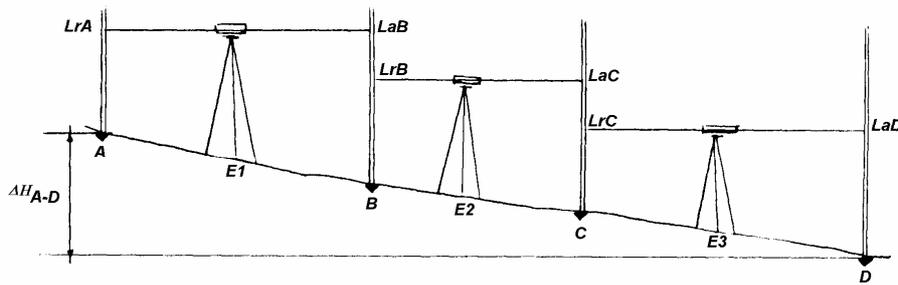


Figura 16

$$\Delta H_{AB} = Lr_A - La_B$$

$$\Delta H_{BC} = Lr_B - La_C$$

$$\Delta H_{CD} = Lr_C - La_D$$

----- Sumando miembro a miembro

$$\Delta H_{AD} = \Sigma \Delta H = \Sigma Lr - \Sigma La$$

$$Cota_D = Cota_A \pm \Delta H_{AD} = Cota_A \pm (\Sigma Lr - \Sigma La)$$

En el caso del ejemplo se parte de A con una cierta cota y se quiere determinar la del punto D, por lo que las miras en B y en C se consideran puntos de cambio (porque cambia el plano visual).

Las nivelaciones geométricas compuestas pueden ser:

Abiertas: en donde el punto final no coincide con el inicial. No tiene control de cierre.

Cerradas: en donde el punto final coincide con el inicial. Tiene control de cierre y se puede realizar la compensación de ser necesaria.

Vinculadas: nivelaciones que parten de un punto de cota conocida.

Doblemente vinculadas: se parte de un punto de cota conocida y, mediante nivelación abierta se llega a otro punto de cota conocida. Tiene control de cierre. Cabe aclarar que dentro del itinerario de la nivelación se puede encontrar otros puntos de cota conocida.

Tolerancia de cierre de una nivelación compuesta cerrada:

Una vez realizado el levantamiento se hace el control de la siguiente forma:

$$\Sigma Lr - \Sigma La = 0$$

Si se realiza con puntos de cota conocida o puntos fijos:

$$Ci - Cf = 0 \quad \begin{array}{l} Ci = \text{cota inicial} \\ Cf = \text{cota final} \end{array}$$

Si difiere de cero existe error y éste se considerará aceptable si es menor que el valor de tolerancia calculado para dicho levantamiento; en consecuencia se procederá a efectuar la compensación.

La tolerancia se calcula así:

$T = 5\text{mm} \cdot \sqrt{Ne}$, en donde Ne es el número total de estaciones realizadas en la nivelación.

Compensación:

Se aplica de acuerdo a si el error total (Et) es por defecto o por exceso. Siendo Et el error de cierre cometido en la nivelación.

a) Error por defecto:

Si es por defecto será $\Delta H \neq 0$ entonces $\Delta H = \Sigma Lr - \Sigma La = -Et$, o si es por diferencia de cotas $Ci - Cf = -Et$.

Luego para compensar las lecturas:

$$Lrc = Lr + \left| \frac{-Et}{2 \cdot Ne} \right|$$

$$Lac = La - \left| \frac{-Et}{2 \cdot Ne} \right|$$

Donde Lrc y Lac son los valores corregidos de las respectivas lecturas.

b) Error por exceso:

Aplicando un razonamiento similar al visto en el punto anterior se llega a:

$$Lrc = Lr - \left| \frac{Et}{2 \cdot Ne} \right|$$

$$Lac = La + \left| \frac{Et}{2 \cdot Ne} \right|$$

Replanteo

El replanteo, desde el punto de vista altimétrico, consiste en materializar en el terreno un punto con una altura determinada. Para ello se realiza el siguiente procedimiento:

- 1) Se coloca la mira en el **punto fijo** y se efectúa la lectura.
- 2) Luego con la Cota del punto fijo, ya conocida, y su lectura se calcula la altura del plano visual.

$$C_{PF} + L_{PF} = PV$$

- 3) Para cada uno de los puntos a replantear y teniendo el valor de cota (C_m) de cada uno de ellos se calcula la lectura (L_m) a provocar en la mira.

$$L_m = PV - C_m$$

- 4) En cada punto a replantear se le pide al mirero que suba o baje la mira hasta que se lea el valor de (L_m) calculado. En este instante el pie de la mira se encuentra a la altura (C_m), que era la cota a replantear.

Curvas de nivel

El estudio del dibujo de curvas de nivel es considerado como la culminación de un proceso que abarca el levantamiento planialtimétrico; su cálculo y la confección del plano acotado.

Definición:

Es la proyección ortogonal sobre un plano horizontal de la intersección del terreno con planos horizontales que se hayan a igual distancia entre sí.

La diferencia de cota entre esas superficies paralelas será la misma que hay entre las curvas de nivel que se originan, generalmente constante dentro de un plano o carta topográfica, recibe el nombre de equidistancia.

La equidistancia es la separación alimétrica de los planos horizontales. Es fijada por el topógrafo con anterioridad al levantamiento en función de la escala y de las pendientes del terreno.

Si en parte de la zona a relevar cambian apreciablemente las pendientes predominantes respecto al resto, puede utilizarse para dicha fracción una equidistancia distinta a la adoptada.

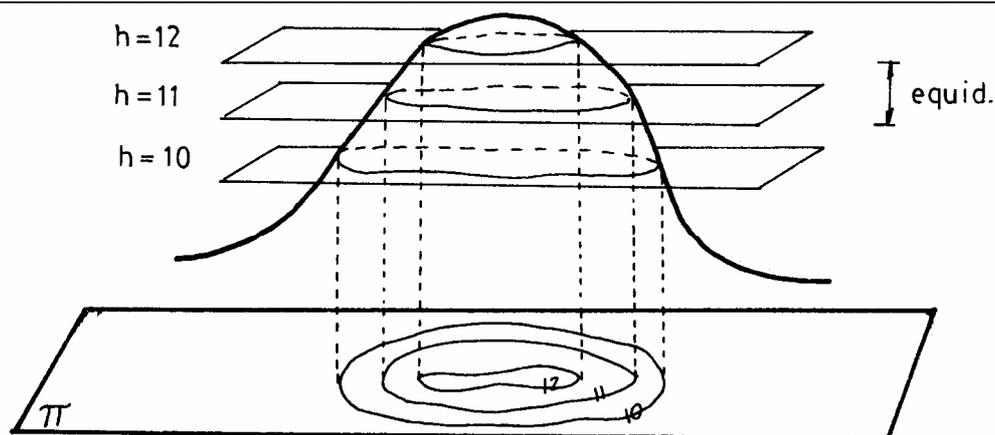


Figura 17

Existen otros métodos para representar las formas del terreno: trazas de pendientes, el esfumaje o las capas hipsométricas; pero sólo se hará referencia a las curvas de nivel, por que son las que permiten obtener conclusiones más exactas en cuanto el relieve terrestre partiendo de los datos consignados en los planos o cartas topográficas.

Un plano general de una zona con curvas de nivel permitirá realizar estudios de pendientes; dibujo de perfiles; determinación de recorridos de pendientes; cálculo de la cota de un punto cualquiera del plano; dibujo de anteproyectos y cálculos estimativos de movimiento de tierra; fijación de los límites de una cuenca y de su superficie, etc..

Líneas de máxima pendiente: son normales a las curvas de nivel y por ellas se toma el gradiente.

Líneas directrices: son líneas que indican las divisorias de aguas o los cauces.

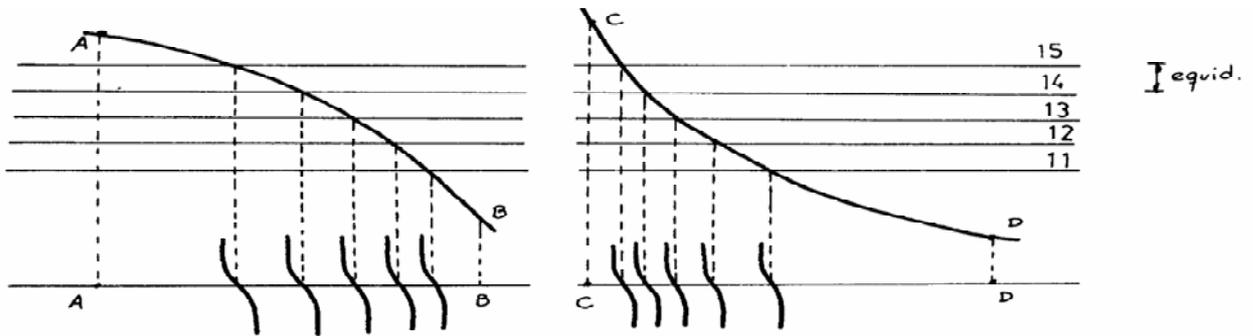
Gradiente topográfico: se define como la pendiente de la línea de máxima pendiente y se calcula así:

$$g = \frac{\Delta H}{dh}$$

Formas topográficas comunes

La forma más elemental que podemos considerar es una ladera, y éstas pueden ser convexas o cóncavas.

Perfil transversal de laderas



Laderas convexas

Laderas cóncavas

Figura 18

Puede apreciarse que las curvas de nivel se acercan entre sí en las zonas de pendiente más fuerte y se separan cuando disminuye la misma

La unión de dos laderas convexas sucesivas forman un alto y la unión de dos laderas cóncavas sucesivas forman un bajo.

Todo terreno es considerado como una sucesión de bajos y altos que pueden recibir distintas denominaciones de acuerdo a su importancia

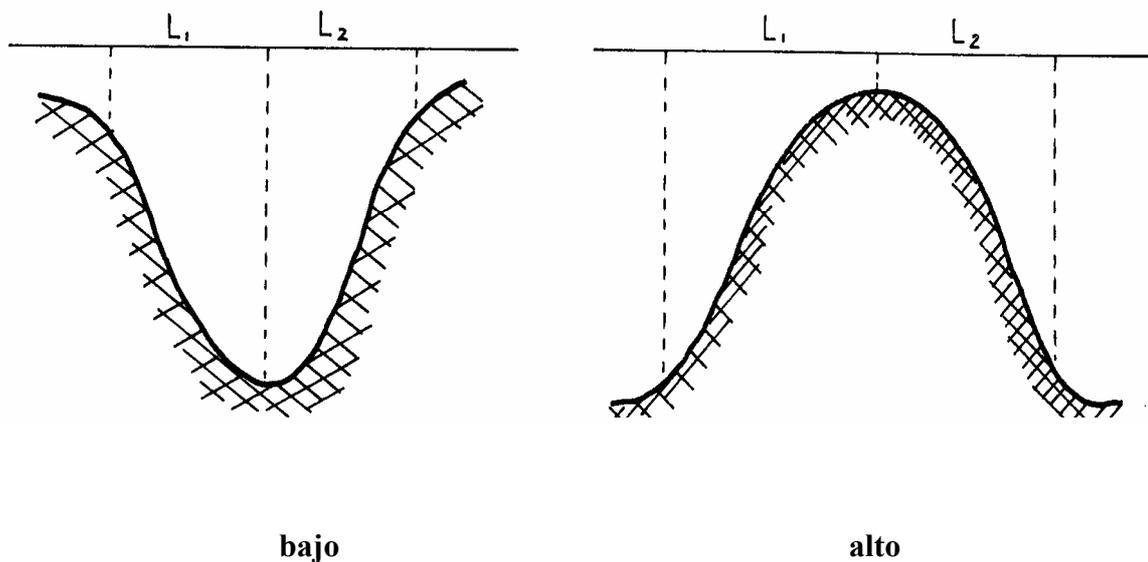


Figura 19

Bajos

El bajo está originado por la unión de dos laderas cóncavas y según su magnitud o conformación el bajo puede recibir distintos nombres: desfiladero, quebrada, cañadón, etc.

Cuando estos bajos han sido originados por erosión hídrica reciben el nombre de valles.

Se distinguen en los bajos o valles una línea directriz definida por los puntos de menor cota de las sucesivas secciones transversales de los perfiles que recibe el nombre de talweg o vaguada.

Se caracteriza el Talweg por poseer en algunos tramos pendiente casi uniforme; pero considerándolo en conjunto cuando corresponde a un curso de agua que ha labrado su cauce, el talweg tiende a tener un perfil aproximadamente parabólico denominado perfil de equilibrio.

El perfil de equilibrio es lo que puede observarse en un río o curso de agua, que por erosión hídrica, ha labrado (definitivamente) su cauce, arrastrando materiales de su parte superior y depositándolos por pérdida de velocidad, en su tramo inferior, alcanzando en su estado de vejez el llamado perfil de equilibrio.

Tiende a ser parabólico con fuerte pendiente en su curso superior, llegando a ser casi horizontal en su desembocadura o base de erosión

Aguas arriba el cauce es profundo y bien definido y las curvas que la representan serán cerradas y con vértices netos (valle en V); mientras que en la parte inferior en la zona de llanura el cauce puede subdividirse o formar meandros divagantes en cuyo caso el valle es ancho y llano.

Todo bajo se representa por un conjunto de curvas de nivel que tienen dos ramas; pertenecientes respectivamente a cada una de las laderas que lo forman; cuyo vértice es el punto de unión de ambas ramas; que es la línea por donde comienzan a escurrir las aguas.

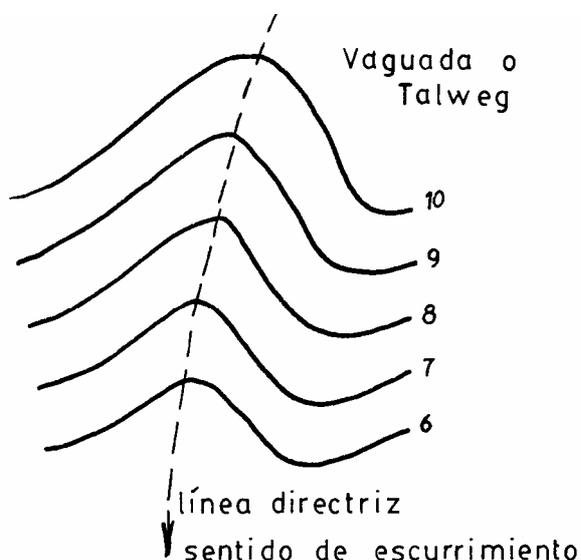


Figura 20

Los vértices de las curvas se dirigen a las zonas más altas. Las curvas de mayor cota abrazan a las de menor cota. Si el plano no está acotado; con estas dos premisas anteriores podemos llegar a deducir cual es el sentido de escurrimiento de las aguas.

Dentro de los bajos se destacan como forma singular las denominadas hoyas que son depresiones sin salida y se representan mediante curvas de nivel aproximadamente semejantes entre sí y cerradas.

Si a causa de la equidistancia utilizada la hoya está representada por una sola curva; debe acotarse un punto interior o indicar con una flecha el sentido de escurrimiento de las aguas.

Altos

Los altos están originados por la unión de dos laderas convexas y según su magnitud o conformación reciben distintos nombres: cordilleras, sierras, cuchillas, lomas, etc. En todo alto o dorsal existe una línea directriz que une los puntos de mayor cota de las sucesivas secciones transversales; llamadas divisorias; que separa ambas vertientes. Las divisorias de las dorsales son de pendiente variable pero en general la altura de las dorsales disminuye hacia la desembocadura de los dos valles laterales.

Las dorsales forman un conjunto de líneas divergentes, desprendiéndose de las dorsales principales otras de menor importancia y así sucesivamente hasta llegar a las más pequeñas elevaciones del terreno.

Los desprendimientos de las dorsales reciben los siguientes nombres: cordón, contrafuerte, grupa, espolón, mogote, silla, etc.

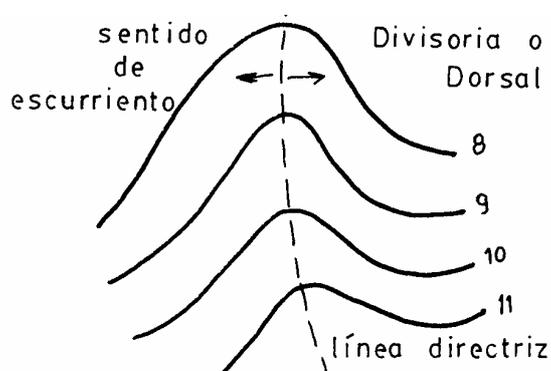


Figura 21

Las curvas de menor cota abrazan a las de mayor cota

Las dorsales por lo general divergen desprendiéndose de las dorsales principales hacia otras de menor importancia.

Desprendimientos de las Dorsales

- Cordón: es el desprendimiento de mayor importancia por su magnitud con forma de continuas elevaciones.
- Contrafuerte: al cambiar de dirección la dorsal principal, se desprende una ramificación en la dirección de la bisectriz del ángulo obtuso.

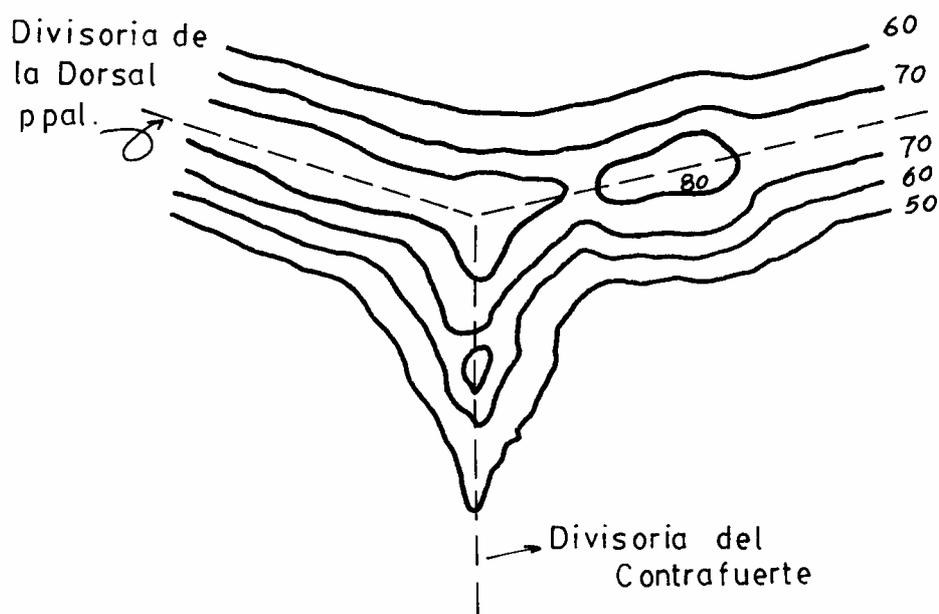


Figura 22

- Grupa: desprendimiento corto con divisoria convexa bruscamente descendente.
 - Espolón: es una grupa que en lugar de descender en forma continua, vuelve a subir para terminar en una elevación denominada mogote.
 - Mogote: también llamado cerro o mamelón; es una elevación de forma aproximadamente tronco-cónica. Si por razones de equidistancia tuviera que representarse al mogote con una sola curva, conviene consignar un punto acotado en su interior.
- Si el mogote termina prácticamente en punta recibe el nombre de Pico, y si su parte superior es plana se llama meseta.
- Silla: es una depresión entre 2 elevaciones continuas, correspondiente a una divisoria.

Puntos que deben ser acotados

No existe una regla relativa a la densidad del acotamiento que indique en forma más o menos precisa cuantos puntos deben levantarse por estación taquimétrica o por Km².

Se considerará a los puntos necesarios para una correcta representación del relieve mediante curvas de nivel y no aquellos que deben ser levantados para ubicar detalles planimétricos.

La cantidad de puntos necesarios para definir la altimetría dependerá de:

- 1-La topografía del terreno
- 2-La escala elegida para el plano

En el caso de pendientes fuertes debemos tomar mayor cantidad de puntos y en pendientes suaves o terrenos ondulados menos puntos.

Se deben ubicar los puntos de las vaguadas y de las divisorias, de manera tal que podamos representar en el plano la planimetría de las líneas directrices, con la cota de los puntos donde ellas cambian de pendiente.

Además de las líneas directrices el topógrafo debe ubicar para representar el relieve del terreno, todos los puntos característicos: mogotes, sillas, hoyas, etc. y en general todos los puntos donde se produzca un cambio de pendiente.

Condiciones que deben cumplir las curvas de nivel

1-Toda curva de nivel es cerrada.

2-El número de curvas de nivel que cortan los bordes del plano o carta es par. Esto es considerando que una curva de nivel puede cerrarse fuera de los límites del levantamiento efectuado.

3-Dos o más curvas de nivel pueden tener un tramo común.

Es el caso típico que se presenta cuando estamos en presencia de una barranca o un acantilado.

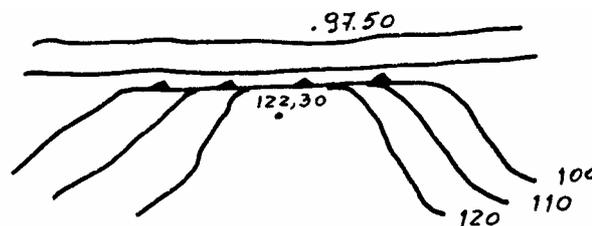


Figura 22

4-Entre dos curvas de Nivel de igual cota existe un número par de curvas.

5-Una curva de nivel no se bifurca.

6-Una curva de nivel no puede cruzarse consigo misma.

La excepción poco probable es el de la silla en la cual la cota del punto más bajo coincide con uno de los planos horizontales que interceptan la superficie terrestre.

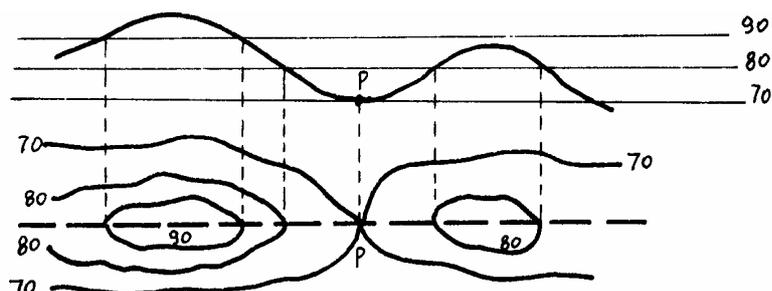


Figura 23

7- Dos curvas de distinta cota no pueden cortarse.

La excepción es el caso de una cornisa o una gruta.

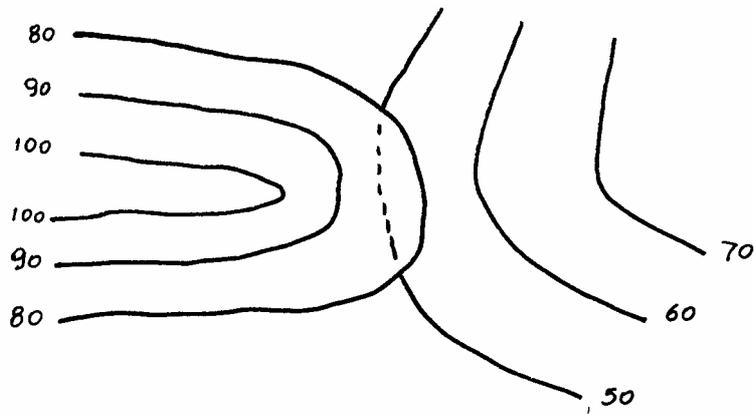


Figura 24

Dibujo de curvas de nivel

A partir de un plano acotado se podrá obtener un plano de curvas de nivel, en el cual se apreciará, en una representación bidimensional, la forma tridimensional del terreno relevado. Existen diversos procedimientos para dibujar el trazado de curvas de nivel:

Procedimientos manuales

Dibujo a mano alzada

Este se basa en la experiencia del profesional, el cual irá estimando, a ojo el trazado de las curvas de nivel de cota múltiplo de la equidistancia elegida, de acuerdo a los valores de cota presentes en el plano y respetando las observaciones hechas en el croquis de levantamiento.

De este modo se obtiene rápidamente un plano de curvas de nivel con una aceptable precisión.

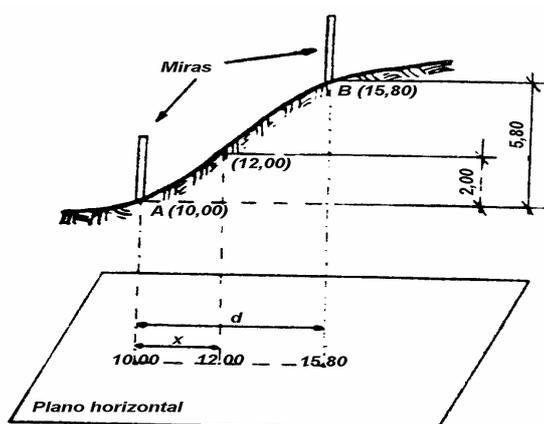


Figura 25

Interpolación lineal

Los puntos que pertenecen a una curva de nivel determinada se puede obtener mediante interpolación lineal entre dos puntos contiguos no separados por una línea directriz.

Por ejemplo: dado dos puntos A y B, de cota 10 y 15,80 respectivamente, separados una distancia "d", medida

en el plano, se llega a determinar la ubicación de la cota 12, tomando como apoyo para este ejemplo la cota inferior, de acuerdo a la siguiente proporción:

$$\frac{x}{d} = \frac{12,00 - 10,00}{15,80 - 10,00} \quad \therefore \quad x = d \cdot \frac{2,00}{5,80}$$

Una vez que se han encontrado los puntos pertenecientes a una misma curva de nivel, se procede a unirlos con un trazo a mano alzada de modo que represente la forma natural del terreno y no con trazos rectos, lo que no ocurre casi nunca en la naturaleza. Este método es preciso, pero su desventaja principal es la lentitud en la obtención de los puntos por donde pasan las curvas, lo que lo hace inapropiado para relevamientos de grandes extensiones.

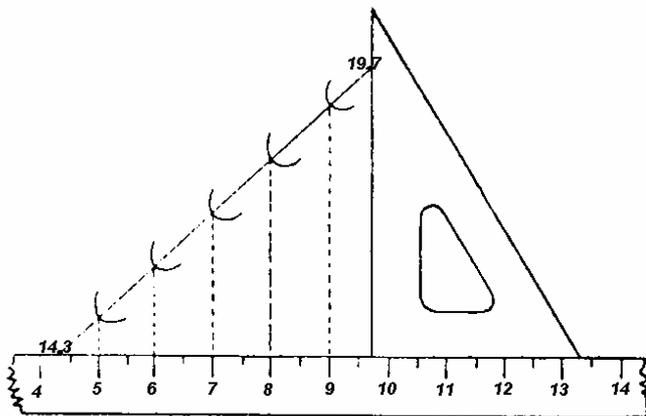


Figura 26 *Isógrafos*

Si se desea trazar las curvas de nivel, con una equidistancia de un metro, entre los puntos de cota 14,30 y 19,7 (en la figura), utilizando un escalímetro y una escuadra, haciendo coincidir la división 4,3 con el punto de cota 14,30; se hace girar el escalímetro alrededor de dicho punto junto con la escuadra hasta que el borde de la escuadra pase por el otro punto y coincida con la división 9,7 del escalímetro. Luego al

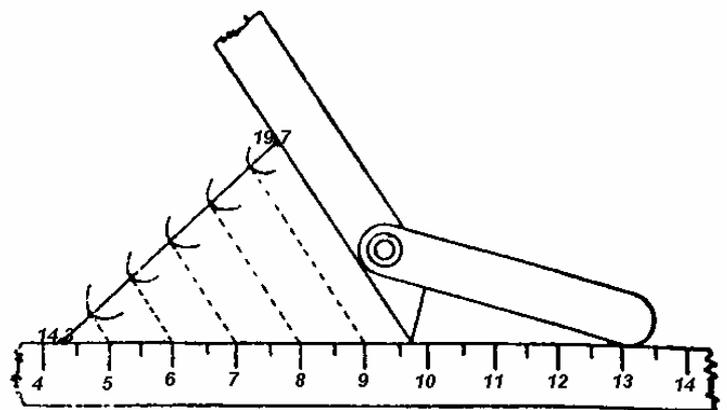
deslizarse la escuadra por el escalímetro en los puntos donde se encuentran las divisiones enteras (9, 8, 7, etc.), se marcarán los puntos de paso de las curvas respectivas (19;18;17; etc.)

Ofrece el inconveniente, de que cada escala tiene un empleo limitado, en relación con el desnivel y pendiente entre los puntos, o bien de que la escuadra corte en ángulos muy agudos.

Para resolver algunos de los inconvenientes citados más arriba se utiliza el isógrafo de Sanguet.

En éste se sustituye la escuadra por dos reglas articuladas, cuyo ángulo puede fijarse a voluntad mediante un tornillo de presión.

Figura 27



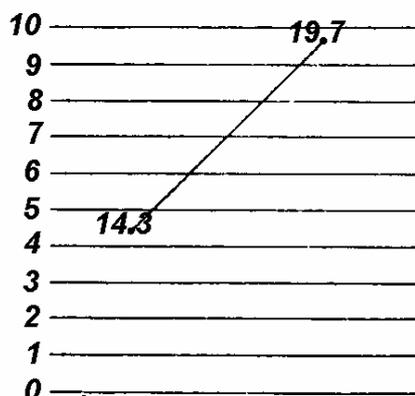


Figura 28

El isógrafo más sencillo es el denominado isógrafo transparente; consiste en un papel transparente en el que se trazan varias rectas paralelas a igual distancia, la que se graduará según el caso, para el ejemplo cada un metro.

Se sitúa sobre los puntos a interpolar y se mueve hasta hacer coincidir la graduación con los valores de las cotas; en los puntos en donde se interseca las rectas dibujadas en el

isógrafo y la recta que une los dos puntos, se encontrarán los puntos pertenecientes a las diversas curvas de nivel.

Procedimientos por computadora En la actualidad existe un gran número de programas de computación que permiten obtener, con muy buena precisión, el dibujo de isolíneas. En general estos programas utilizan diversos procedimientos de interpolación y algunos de ellos, admiten que se les indique la presencia de divisorias y límites de las parcelas, de manera de calcular la ubicación de las curvas de nivel por sectores.

El láser en la nivelación de terrenos

Introducción

En la nivelación de parcelas en los últimos años ha tenido mucho auge el uso del rayo láser. Éste se ha usado fundamentalmente en los equipos para el relevamiento altimétrico de las parcelas a sistematizar (nivel láser) y en las maquinarias usadas en el movimiento de suelo.

El primero ya ha sido descrito en el capítulo de El Nivel y el segundo se desarrollará a continuación.

Descripción

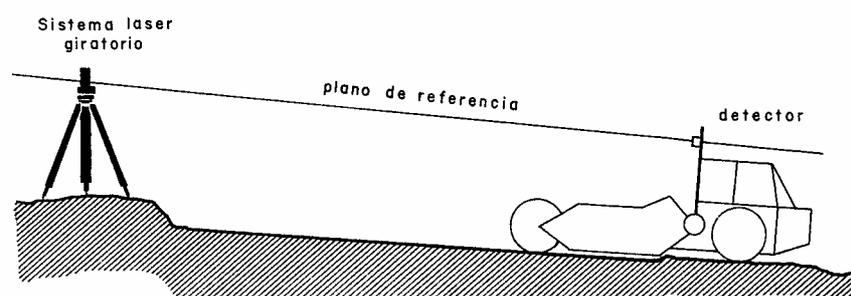


Figura 29

Estos equipos están formados por un emisor de luz láser y por varios receptores. El emisor posee un pentaprisma giratorio que es el que emite el haz de luz láser, generando un plano (horizontal, vertical o inclinado), de aproximadamente 450m de radio.

Los receptores están ubicados en las máquinas a usar – tales como palas, motoniveladoras, o traíllas. Este detector recibe la señal láser y envía la información a la cabina del maquinista, donde se realiza el control del elemento de corte, ya sea en forma manual o automática. En este último caso, por medio de un procesador, se controla el movimiento de los con componentes hidráulicos que le indican a las cuchillas enterrarse más o menos en el terreno.

Si el procedimiento es manual, el elemento cortante posee un mástil tubular solidario. Este detector tiene unos diodos luminosos que indican si se debe bajar, subir o se encuentra a la altura adecuada el implemento, con respecto al plano proyectado a obtener.

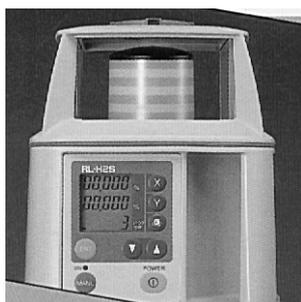


Figura 30 La precisión de estos instrumentos varía, siendo de 5 a 10mm, para el sistema automático y de hasta 50mm en el manual.

Operación

Para materializar en el paño el plano proyecto calculado se procede de la siguiente forma:

- a) Se le indica al emisor el valor de la pendiente en cada una de las direcciones (X e Y).



Sin Pendiente



Pendiente en ambas direcciones

Figura 31

- b) Se coloca el elemento cortante de una máquina en un punto de la parcela en donde la cota proyecto coincida con la cota terreno; o en su defecto en un punto de relleno, donde se haya provocado, mediante una estaca, la cota proyecto.

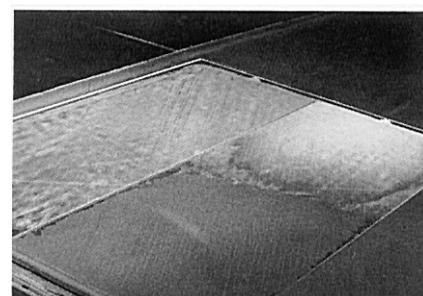


Figura 32

- c) Se encienden tanto el emisor como el detector.
- d) Se ubica en una torreta de soporte el emisor y se eleva o se baja el mismo hasta que en el detector la señal indique que se encuentra a nivel. Se ajusta a esa altura el emisor y se ponen en funcionamiento la maquinaria.
- e) Los diversos maquinistas recorren el terreno en direcciones perpendiculares efectuando los cortes y rellenos a realizar, hasta dar el acabado final.

Riego de Melgas de 400m de longitud niveladas con Láser.

Figura 33



9. Taipas :

La mejor nivelación de los campos junto con la topografía plana de la mayoría de los suelos arroceros, permiten la marcación de taipas a intervalos de 6 a 9 cm y el uso de taipas modernas más bajas y seguras. Esto facilita el mantenimiento de una lámina de agua de 5 a 10 cm. (figura 34).

La siembra de taipas ha ido en aumento en los últimos años, disminuyendo el área perdida por éstas, afirmando la taipa para el riego y permitiendo que el arroz compita mejor con las malezas. (figura 35)

La taipas en general se construyen enseguida de la siembra. Cuanto mejor es la preparación de la tierra, la taipa quedará mejor y habrá más posibilidades de que el arroz sembrado en ella nazca bien.



Figura 34. Taipas modernas de base ancha en chacra a ser inundada.



Figura 35. Taipa sembrada, totalmente cubierta de arroz.

Luego se deben abrir los cortes de drenaje con zanjadora, para evitar problemas de exceso de agua por lluvias en el nacimiento del arroz de las parcelas. Por esta razón cuando se prepara la chacra para el riego, hay un trabajo manual importante que es cerrar estos cortes y los “boquetes” en los extremos de las taipas contra la ronda. La mecanización de esta tarea, mediante tractor y pala hidráulica trasera de acople al 3 puntos, se justifica para extensiones grandes (figura 36).



Figura 36. Cerrando “boquetes” con pala trasera de acople al 3 puntos del tractor.

i. Marcación, construcción.

Marcación

Se utilizan en la actualidad equipos con rayos láser o con nivel óptico. En el primer caso la tarea es mucho más rápida y eficiente. Se coloca un emisor en el centro del área a marcar y a no más de 300 m del lugar más alejado que se pretende marcar.

El receptor va colocado en un tractor chico con un tablero que señala las diferentes cotas del nivel, el receptor recibe la señal en el tablero, de manera que el tractorista va marcando en el terreno todos los puntos de igual nivel.

Debido a que el tractor lleva una pequeña reja en el 3 puntos y va corrigiendo en forma rápida el recorrido hacia arriba y hacia abajo, buscando el nivel, la taipa queda marcada con muchas curvas cerradas, las cuales deberán ser enderezadas al construir la taipa.

Cuando termina de marcar la primer taipa, va a la siguiente cota que estará 6 cm hacia abajo en el sentido de la pendiente.

El láser marca las taipas en forma continua sin interrupciones.

En general las taipas se marcan con un desnivel de 6 cm de una a otra. En zonas con mayor pendiente se puede llegar a marcar hasta a 15 – 18 cm unas de otras, pero este desnivel hace más difícil mantener el agua de riego.

ii. Tipos de Taipas.

En la actualidad hay prácticamente un solo tipo de taipa, que es la taipa baja, de alrededor de 1,2 metros de base y excepcionalmente supera los 0,30 metros; lo habitual es mucho menos; es decir la tendencia ha sido reemplazar la taipa alta, más parecida a un camellón a la taipa moderna, que apenas está insinuada en el terreno.

A continuación se describen ambas y sus desventajas:

La marcación hecha con láser deja una marca muy sinuosa que debe ser enderezada al construir la taipa.

Taipa tradicional: es una taipa construida por discos encimadores de gran diámetro y rodillos compactadores que se pasan detrás y dejan una taipa angosta, alta y con préstamos profundos ya que la tierra se saca de muy cerca del centro de la taipa.

Llevan varias pasadas de implementos. Tienen una altura de cerca de cincuenta cm., una base de 60-70 cm y un ancho total de 2 m.

Ventajas:

- Para chacras mal niveladas permite mayor nivel de agua, lo que facilita cubrir el arroz de las partes altas,
- Los préstamos profundos pueden ayudar en el drenaje, si ocurren grandes lluvias enseguida de sembrar o en el momento de secar la chacra para la cosecha.

Desventajas:

- Mas fácil que se rompa durante el riego. Se deben hacer “traviesas” cada tanto (rectas en sentido perpendicular) para facilitar el riego y para que no sean tan graves las roturas cuando se producen.
- Préstamo muy profundo en el que no nace arroz.
- No se implanta arroz en la taipa.
- Debido a los puntos anteriores implica mucha área perdida.
- Mayor desarrollo de malezas.

Taipa moderna: Es una taipa redondeada, de aproximadamente 30 cm de altura, de 1-1,20 m de base y de 3 m de ancho total.

Su préstamo es poco profundo, la característica que la distingue es que la tierra para construirla se trae en forma gradual desde bastante lejos del centro de la taipa. Para eso se utiliza una encimadora de dos cuerpos laterales de 7 discos cada uno, y lleva detrás un rodillo compactador que marca el arco, la altura y compacta la tierra.

Ventajas:

- Se trabaja con niveles más bajos de agua, por lo que hay menos gastos.

- Es más resistente, no se rompe fácilmente ni con el riego ni con las lluvias.
- El arroz se desarrolla bien en la taipa al tener más humedad.
- También crece en el préstamo, ya que el agua no es profunda y la tierra esta suelta en el momento de la siembra.
- Mejor control de malezas en la taipa por mayor competencia con el arroz.
- Más facilidad para cosecharla y las máquinas pueden atravesarlas.

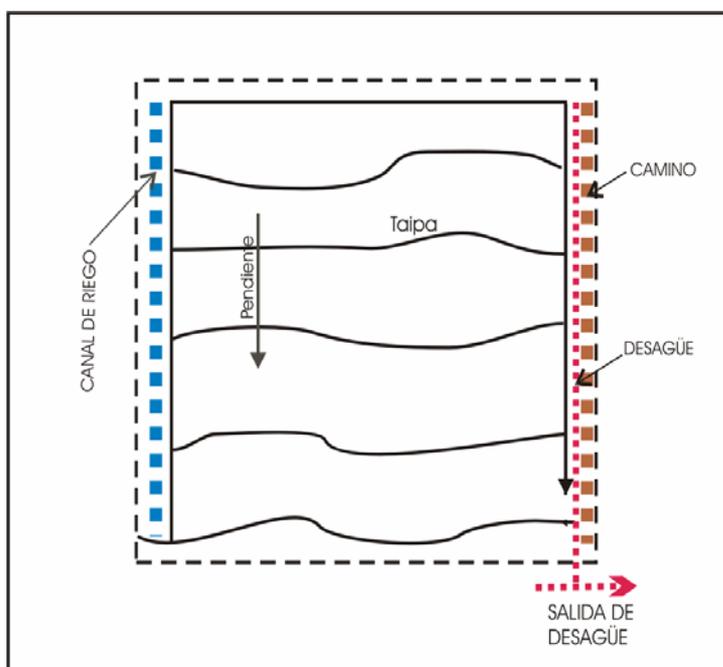
Desventajas:

- La chacra debe estar bien nivelada, de lo contrario no se puede regar con niveles bajos de agua.
- Al no existir préstamos éstos no actuaran como colectores de agua cuando se deba drenar la chacra.

iii. Diferentes estructuras y formas de sistematizar, criterios, ventajas y desventajas

Estructura 1

Campo con pendiente continua. El canal se coloca de un lado en sentido de la pendiente y el camino en el mismo sentido del lado contrario. Entre ambos hay 250-300 m. El largo de la chacra es aproximadamente 1000 m. El desagüe secundario va en la cuneta del camino y el desagüe colector va en la parte baja de la chacra.



Ventajas:

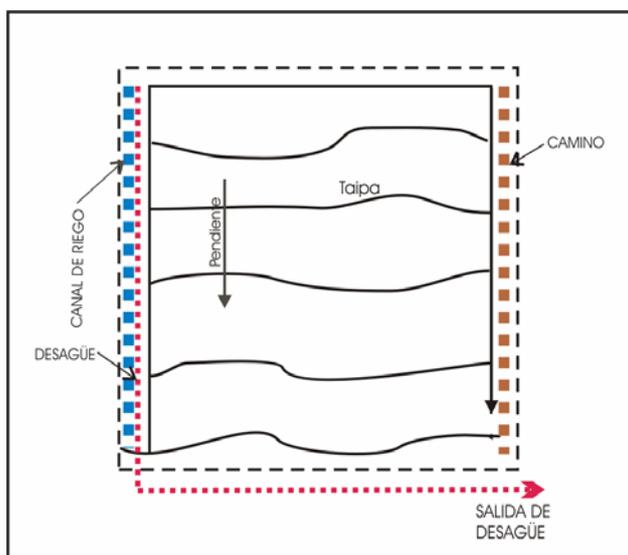
- Buen control del agua.
- Se puede desaguar el campo desde el camino.
- La tierra que sale del desagüe se usa para levantar el camino.

Desventajas:

- Para ir desde el camino a la chacra con las máquinas se debe cruzar el desagüe.
- Se utiliza muchas áreas para las estructuras mencionadas.

Estructura 2

El canal sirve para riego y drenaje, ya que se hizo el desagüe en el interior. El camino está del lado contrario y el desagüe colector en la parte baja.



Ventajas:

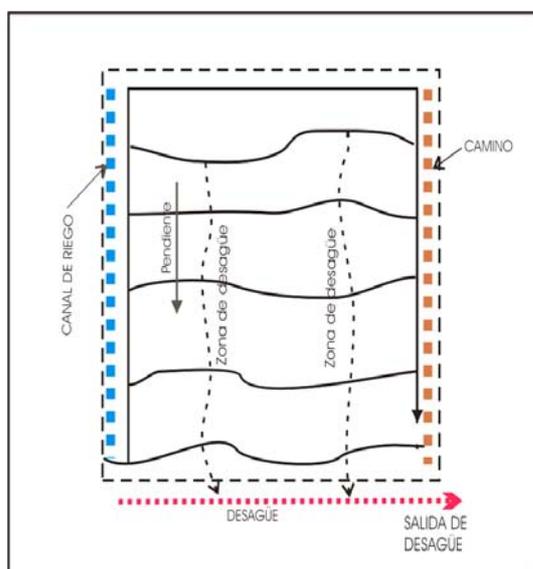
- No se necesita cruzar desagües para entrar a la chacra.
- Se usa menos área para las estructuras construidas.

Desventajas:

- Salida más difícil del agua.
- El agua en el canal debe ser desaguada antes que el campo.
- La pared del canal debe ser cortada o cerrada según se use para drenaje o para riego.
- Para drenar hay que ir a pie al canal.

Estructura 3

El canal está en un lado, el camino en el otro y el desagüe colector en la parte más baja. Dentro de la chacra, las zonas más bajas son utilizadas como desagües naturales.



Ventaja:

- El equipo no necesita cruzar desagües para entrar a la chacra.

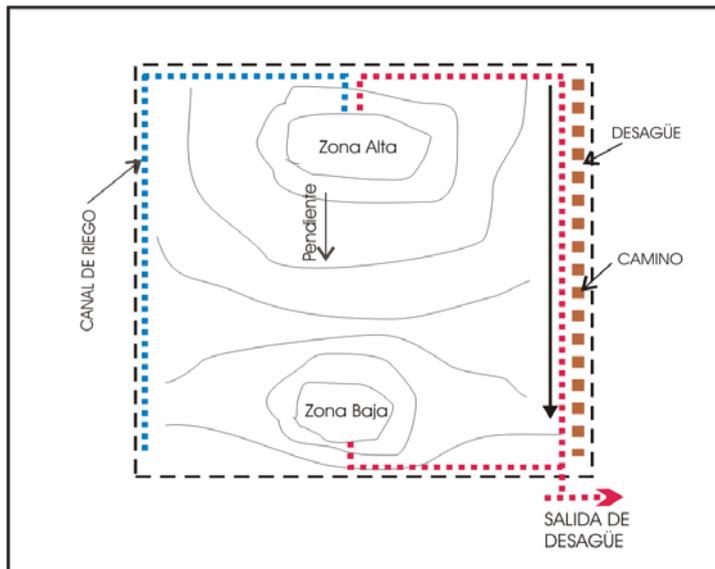
Desventajas:

- Las zonas de desagües deben ser cruzadas para pasar de un lado a otro.
- Se pierde área de cultivo en la zona de desagües.
- Cuando es necesario desaguar se debe ir a pie a la intersección de la zona de desagüe y la taipa.
- Al desaguar, el agua de las parcelas altas debe pasar a través de las bajas.

Estructura 4

El campo presenta una zona alta y otra baja, a pesar de que la pendiente general va en sentido similar al la de el ejemplo anterior. La zona alta debe recibir el agua directa del canal, por lo que hay que construirlo hasta allí. También debe salir de allí el desagüe.

La parte baja se riega de las parcelas más altas, pero el drenaje debe salir de aquella.



Ventajas:

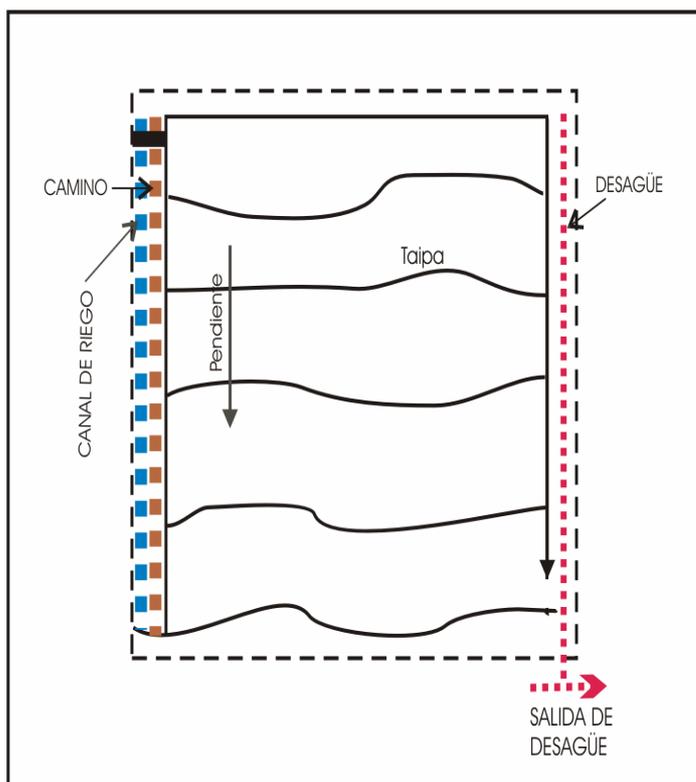
- Buen control del agua.
- La tierra del desagüe se usa para levantar el camino.

Desventajas:

- Área grande perdida.
- El equipo debe atravesar desagües para ir a la chacra.

Estructura 5

El canal va de un lado y el camino junto a éste. El desagüe está del lado opuesto.



Ventajas:

- El camino permite un acceso conveniente al canal para el manejo del riego, así como a la chacra sin cruzar desagües.
- Aprovecha parte de la pared del canal.

Desventajas:

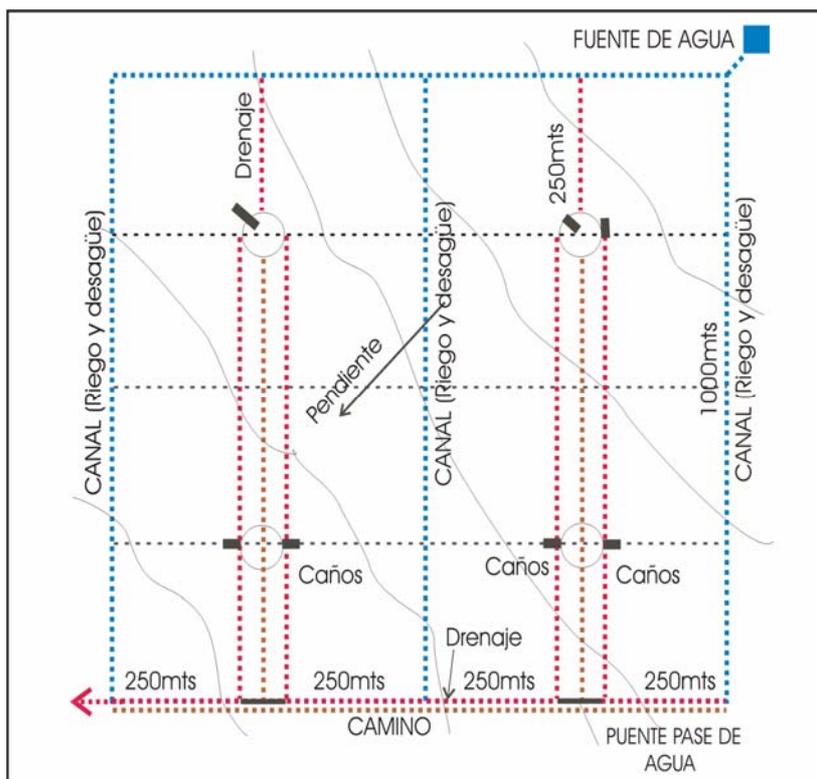
- El agua debe pasar por debajo del camino para llegar a la chacra.
- Hay que hacer un puente en el canal para cruzar el camino.

- Hay que llegar a pie al desagüe.

Si el canal fuera chico, el camino podría ir del otro lado de éste, y el cruce realizarlo por encima de él para tener acceso a la chacra.

Estos ejemplos indican que pueden haber muchas opciones y que los caminos, canales y drenajes deben ser planificados y coordinados de manera que cada uno pueda funcionar adecuadamente.

Estructura recomendada



Requiere de una inversión importante, pero ésta se justifica para el caso de productores dueños de la tierra en la que cultivan. Puede irse haciendo por etapas hasta lograr la estructura final.

Se plantea un área unidad que varía de 25 a 30 ha.

2. DISEÑO Y PROYECTO DE CANALES DE RIEGO

1. Canales: tipo y confección de canales de riego.

Tienen por finalidad conducir el agua a los puntos más altos de la chacra (Figura 1).

El sistema de riego comprende un conjunto interligado de canales que tienen su origen en la fuente de agua, que puede ser un río, laguna o represa.

Figura 1. Canal secundario de gran tamaño en el momento del riego.



El cálculo de las dimensiones de los canales está en función de las necesidades de agua del cultivo, más las pérdidas por evaporación e infiltración.

Como ya se mencionó, se considera que las necesidades de agua para el cultivo son las siguientes:

- para suelos arcillosos entre 1.5 y 2 litros/s/ha.
- para suelos más livianos o arenosos puede llegar a 2.5 litros/s/ha.

En general, los canales de riego son construidos sobre el suelo con taludes de tierra suelta. La construcción debe ser económica y eficiente.

Tipos de flujo

El escurrimiento en un canal, ya sea natural o uniforme, puede ocurrir en condiciones de régimen permanente o impermanente.

- *Régimen permanente.* La altura de escurrimiento o el caudal en un punto son constantes en el tiempo

$$\frac{\partial y}{\partial t} = 0; \frac{\partial Q}{\partial t} = 0$$

- *Régimen impermanente.* La altura de escurrimiento o el caudal en un punto varían en el tiempo.

$$\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0$$

Dado una condición de régimen permanente o impermanente, el flujo puede ser uniforme o variado:

Dado el régimen permanente, el flujo puede ser:

Flujo uniforme. Corresponde al escurrimiento que tiende a producirse si el canal no presenta variaciones en su trazado.

$$\frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

Flujo variado. Corresponde al escurrimiento que tiende a producirse cuando el canal presenta variaciones en su trazado.

$$\frac{\partial y}{\partial x} \neq 0$$

Definiciones

Radio Hidráulico

Dada una sección de escurrimiento donde:

A = Área (m²)

X = Perímetro mojado (m)

l Ancho superficial (m)

- Profundidad hidráulica: $D = \frac{A}{l} (m)$

- Radio hidráulico: $R = \frac{A}{X}$

Velocidad de desplazamiento de una onda en un canal

esta dada por la expresión:

$$V_0 = \sqrt{g \frac{A}{l}}$$

Para un canal rectangular : $v_0 = \sqrt{gH} [m / s]$

N° de Froude

Relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas de gravedad.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$

v
D

= velocidad media
= profundidad hidráulica

Notar $\sqrt{gD} = \sqrt{g \frac{A}{l}} = V_0 =$ velocidad de la onda en un canal

$$\therefore Fr = \frac{V}{V_0}$$

Tipos de régimen

- $Fr > 1 \Rightarrow$ flujo super crítico o régimen de torrente (el agua escurre más rápido que una onda)
- $Fr < 1 \Rightarrow$ flujo sub crítico o régimen de río (la onda es mas rápida que el agua)
- $Fr = 1 \Rightarrow$ régimen crítico

Canal con Régimen de río

Las ondas producidas por una perturbación son más rápidas que el agua. El régimen de río es influenciado por aguas abajo.

Canal con Régimen de torrente

Las ondas son más lentas que el agua. El régimen de torrente es influenciado por aguas arriba

Flujo Uniforme

Corresponde al escurrimiento que tiende a producirse si el canal no presenta variaciones en su trazado.

En este caso

$$\frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

Bajo condiciones de flujo uniforme la pérdida de energía es igual a la pendiente del fondo del canal y a la pendiente de la superficie del agua. Se supone que las distribuciones de velocidad son iguales. En la práctica esta suposición se puede extender a cauces naturales con buenos resultados.

Fórmula de Manning

La ecuación que gobierna el régimen uniforme es la ecuación de Manning.

$$Q = \frac{\sqrt{i}}{n} R^{2/3} A$$

Donde:

- i = pendiente del canal
- R = radio hidráulico
- A = área
- Q = caudal
- N = coeficiente rugosidad de Manning

En general, cuando el canal es regular, con una sección definida y sin obstrucciones. La ecuación de Manning permite representar en forma adecuada el eje hidráulico del canal. Eso sí, se requiere una adecuada estimación del valor de n.

Para determinar el valor de n para esto es posible seguir 4 caminos generales.

1. Consultar una tabla de valores de n
2. Tener conocimiento de los factores que afectan a n
3. Comparar con n de cauces controlados
4. Posibilidad de calcular analíticamente n

Factores que afectan al valor n

1. Rugosidad de la superficie → tamaño y forma de los granos que forman el lecho
2. Existencia de vegetación en el canal
3. Irregularidades del canal (en sección)
4. Existencia de curvas en el trazado
5. Erosión y depósito de finos
6. Obstrucciones
7. Tamaño y forma del canal
8. Altura de escurrimiento y caudal
9. Variaciones estacionales
10. Arrastre sedimentos

2. Capacidad de los canales. Formas. Otros conceptos

La capacidad del canal debe estar de acuerdo al caudal máximo que conducirá, que puede ser la cantidad de agua necesaria para regar una determinada superficie de terreno, o la cantidad que realmente tiene el agricultor para regar. Es antieconómico construirlos con una capacidad muy superior a la requerida.

Para diseñar un canal se debe tener en cuenta:

- La capacidad o cantidad de agua que va a conducir el canal, tema que veremos más adelante.
- El tipo de suelo donde se construirá el canal, el cual determina los taludes. El talud es la inclinación de las paredes del canal en relación a su base. En la Figura 1 se muestra un canal con talud 1:1 y 2:1. En los suelos arcillosos se puede usar un talud 1:1, en los francos y trumaos talud 2:1 y en los arenosos 3:1.

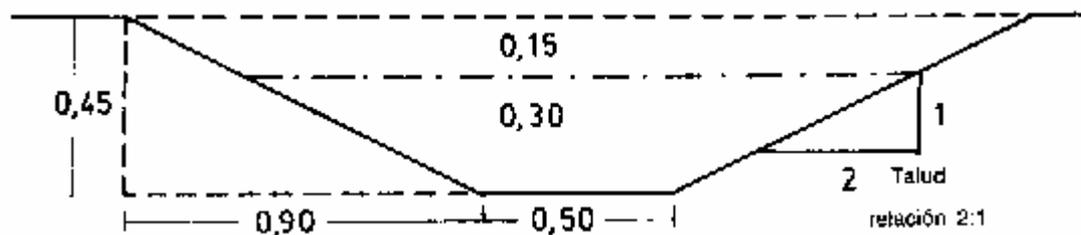
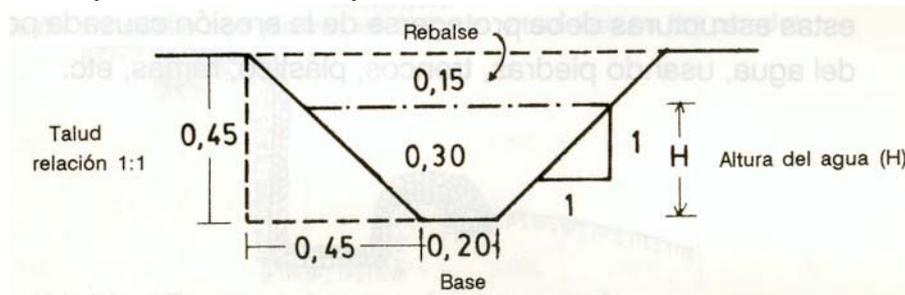


Figura 2. Sección transversal de un canal, mostrando talud y otros detalles.

- El desnivel o pendiente del canal, que puede ser o no igual a la pendiente del suelo. La pendiente del canal dependerá del tipo de suelo donde se construirá, puede ser mayor en suelos arcillosos que en suelos arenosos.
- La pendiente en canales se expresa como una diferencia de altura por 1.000 m; por ejemplo una pendiente de 10/1.000 (0,010) significa que el fondo del canal baja 10 metros en 1.000 m de trazo o lo que es lo mismo: 1 metro en 100 metros de canal.
- Los canales deben trazarse con la pendiente adecuada, ya que con pendientes muy altas, la velocidad del agua en el canal erosiona el fondo del canal; por otro lado, cuando la pendiente es muy baja se acumulan sedimentos en el canal provocando el embancamiento de éste. En general, canales con pendientes inferiores a 5/1.000 no producen problemas en los suelos. Cuando la pendiente del terreno por donde se debe trazar el canal es muy alta y no es posible variar el trazado o revestir el canal, se pueden construir saltos. El sector del canal donde se construyan estas estructuras debe protegerse de la erosión causada por la caída del agua, usando piedras, troncos, plástico, ramas, etc.

La capacidad o cantidad de agua que puede llevar un canal depende de:

- La forma del canal;
- La altura del agua en el canal; y
- La pendiente del canal.

La forma del canal depende del ancho de la base y del talud; para aumentar la capacidad Ud. puede mantener el talud pero aumentar el ancho de la base, o bien mantener la base aumentando el alud.

La altura del agua en el canal; para determinada pendiente y talud, el caudal del canal va a depender de la altura del agua. Sobre la altura de agua debe quedar un rebalse, que uede formarse con el material de la excavación del canal.

En los cuadros 1 y 2 se entregan los caudales máximos que pueden transportar dos canales de diferentes formas y altura de agua.

Cuadro 1. Caudal máximo (lt/s) que puede transportar un canal con talud 1:1, con diferentes base, pendiente y altura de agua

Altura de agua, cm	Base 20 cm			Base 50 cm		
	Desnivel, cm en 10 m			Desnivel, cm en 10 m		
	0,5	2	4	0,5	2	4
10	12,6	25,3	35,7	29,0	58,1	82,2
20	47,6	95,2	134,7	97,1	194,2	274,6
30	110,1	220,2	311,4	203,8	407,5	576,3

Nota: De rebalse se deja la mitad de la altura de agua del canal.

Cuadro 2. Caudal máximo (lt/s) que puede transportar un canal con talud 2:1, con diferentes base, pendiente y altura de agua

Altura de agua, cm	Base 20 cm			Base 50 cm		
	Desnivel, cm en 10 m			Desnivel, cm en 10 m		
	0,5	20	40	0,5	20	40
10	16,8	33,6	47,5	33,1	66,2	93,6
20	73,8	147,5	208,6	123,4	246,7	348,9
30	186,4	372,7	527,1	281,4	562,9	796,0

Nota: De rebalse se deja la mitad de la altura de agua del canal.

3. Velocidad del agua

Debe tener una pendiente que permita una velocidad del agua entre 0.40 y 1.20 m/s. Velocidades inferiores a 0.40 m/s dejan depositar materiales en suspensión y favorecen el surgimiento de malezas acuáticas en el fondo, lo que perjudica el caudal.

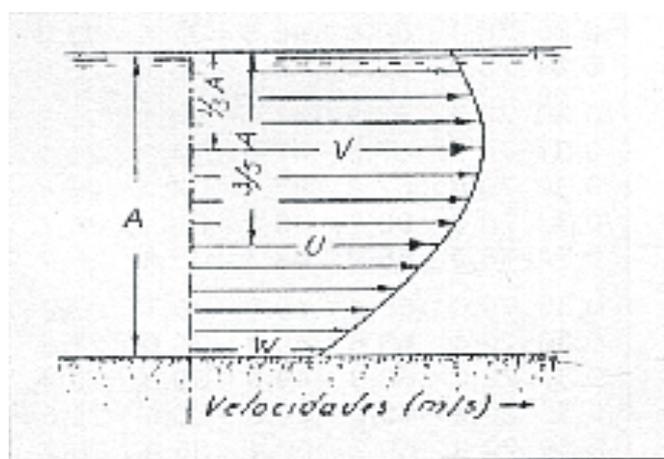
Velocidades superior a 1.20 m/s pueden causar erosión en los taludes y sólo se admiten en suelos muy resistentes.

La velocidad referida es la velocidad media, ya que existen además la velocidad máxima y mínima. En la figura 2 e puede ver dónde se verifica cada una de ellas dentro del agua de un canal.

La velocidad media es un 25 a 30 % menor que la velocidad máxima para canales de tierra.

Figura 3. Representación gráfica de las velocidades, en la sección de un canal (Dakar, 1970)

V= máx.; U= media; W= mín.



4. Pendiente

Para los canales principales se puede utilizar una pendiente de hasta 0.50 m por kilómetro.

CUADRO 3. Pendiente según el tamaño del canal (Dakar,1970).

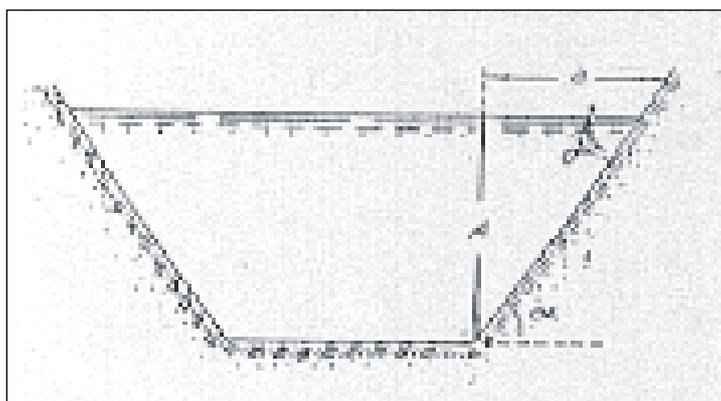
Canales grandes (más de 10.000 litros/s)	$l = 0.10$ a 0.30 m/km
Canales medianos (3.000 a 5.000 litros/s)	$l = 0.25$ a 0.50 m/km
Canales pequeños (100 a 3.000 litros/s)	$l = 0.50$ a 1 m/km
Canales muy pequeños (menos de 100 litros/s)	$l = 1$ a 4 m/ km

En el caso de canales secundarios las pendientes pueden ser superiores a 1 metro por kilómetro.

El cuadro 3 presenta la pendiente aproximada que debe tener un canal en función de su tamaño y su caudal.

La pendiente puede ser constante o no. En el caso de que el terreno tenga una pendiente muy grande que, no es compatible con los valores mencionados en el cuadro 3, y los de velocidad media, se puede recurrir a pequeños diques a lo largo del canal de tanto en tanto, para mantener los valores necesarios.

Figura 4. Talud de un canal (Dakar, 1970).



Los valores del talud recomendados son:

- Suelos livianos $m = 0.5 (\alpha = 63^\circ)$
- Suelos medios $m = 1.0 (\alpha = 63^\circ)$
- Suelos pesados $m = 1.5 \text{ a } 2.0 (\alpha = 34 \text{ a } 26^\circ)$

En general se trabaja con profundidades de agua bajas, de 50 a 60 cm.

En la construcción de canales es necesario dejar un margen libre de 30 a 35 cm, que se denomina “borde libre”, para prevenir el desborde si hay exceso de agua.

5. Cálculo de un canal

En el cuadro 4 se presentan diferentes dimensiones de canales según el caudal y la pendiente.

Existen varias formas de cálculo de canales trapezoidales:

* **Según la forma de cálculo de Bazin.** Se utilizan las mismas fórmulas (1) a (4), que se vieron para el cálculo de un drenaje “media caña”. Sólo varían las fórmulas (5) a (6) ya que la figura geométrica ahora es un trapecio (figura 5). Las fórmulas usadas son las vistas (1) a (3).

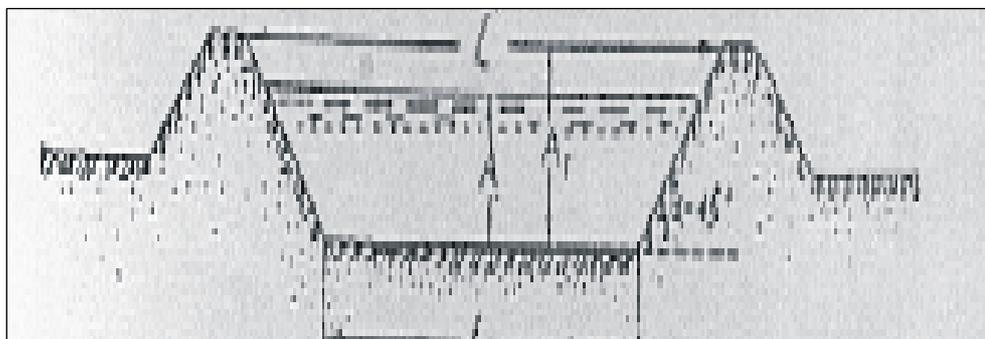


Figura 5. Modelo de canal apropiado para terrenos planos (Bernardes, 1945, citado por Dakar, 1970)

CUADRO 4. Dimensionamiento de un canal (tomado de IRGA, 1977, publicado por Mendes).

Descarga en litros por segundo	Pendiente: 50 cm por 1.000 m			Pendiente: 20 cm por 1.000 m	
	Altura de agua: 20 cm Borde libre: 10 cm Altura total de pared: 30 cm	Altura de agua: 40 cm Borde libre: 15 cm Altura total de pared: 55 cm	Altura de agua: 60 cm Borde libre: 15 cm Altura total de pared: 75 cm	Altura de agua: 40 cm Borde libre: 15 cm Altura total de pared: 55 cm	Altura de agua: 60 cm Borde libre: 15 cm Altura total de pared: 75 cm
100	a 3,40 b 2,80				
200	a 4,90 b 4,30				
300	a 7,20 b 6,60	a 2,40 b 1,30		a 4,10 b 3,00	a 2,80 b 1,30
400	a 9,40 b 8,80	a 3,80 b 2,70		a 5,20 b 4,10	a 3,40 b 1,90
500	a 10,70 b 10,10	a 4,60 b 3,50	a 2,90 b 1,40	a 5,70 b 4,60	a 3,80 b 2,30
700		a 5,70 b 4,60	a 3,50 b 2,00	a 8,30 b 7,20	a 4,80 b 3,30
900		a 7,10 b 6,00	a 3,90 b 2,40	a 10,10 b 9,00	a 5,80 b 4,10
1.200			a 4,90 b 3,40		a 5,60 b 5,00
1.500			a 5,90 b 4,40		a 7,00 b 5,50
2.000			a 7,50 b 6,00		a 9,90 b 8,40
2.500			a 8,60 b 7,10		a 12,00 b 10,50
3.000			a 10,00 b 8,50		a 14,10 b 12,50

NOTA: medidas de a y b en metros.

Un diagrama simple de un canal trapezoidal. Una línea horizontal superior indica el nivel del agua, etiquetada como 'a'. Una línea horizontal inferior indica el ancho del canal en su base, etiquetada como 'b'. El borde superior del canal está etiquetado como 'Borde libre'.

(4) $R = S/M$

(5) $S = A(L + m A)$

(6) $M = L \div 2A\sqrt{1 + m^2}$

L = largo de la base del canal en m.

A = altura de agua del canal en m.

m = talud del canal (ya se vieron sus valores según el ángulo α)

Estas fórmulas, junto a las anteriores, permiten calcular las dimensiones de un canal.

- en general es necesario conocer L o irlo estimando,
- el coeficiente Y = 1.30 para canales de tierra.
- el coeficiente C se saca del cuadro 4, en donde es necesario conocer el radio hidráulico R y el coeficiente Y = 1.30
- el borde libre del agua debe ser entre 30 y 35 cm.

Existen otras formas de calcular la velocidad del agua de un canal:

❖ **Según la forma de cálculo de Manning**

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

V = velocidad media en m/s

n = coeficiente. Para canales de tierra con vegetación, n = 0.035

R = radio hidráulico en m

S = pendiente en m/m

❖ **Según la forma de cálculo de Kutter**

$$V = K\sqrt{R \times I}$$

$$K = \frac{100\sqrt{R}}{b \div \sqrt{R}}$$

- b es un coeficiente que depende de la naturaleza de las paredes. Para paredes de tierra, con vegetación, con lodo en el fondo, b = 2.50

- l = pendiente en m/m

- el coeficiente k se extrae del cuadro 5 , en donde es necesario conocer R y b .

En ambos casos, el resto de las fórmulas que se utilizan para calcular las dimensiones de un canal son las ya vistas:

$$Q = \text{Sección} \times \text{Velocidad}$$

$$R = \frac{\text{Sección}}{\text{Perímetro}}$$

$$S = A(L + m A)$$

$$M = L \div 2A\sqrt{1 + m^2}$$

En la práctica, siempre es necesario aumentar las dimensiones de un canal en un 20 a 30 % del valor calculado, para contrarrestar la formación de depósitos, vegetación, así como para evitar desbordes por lluvias, obstrucción del canal, etcétera.

CUADRO 5. Valores del coeficiente k de velocidad de Kutter (Dakar, 1970)

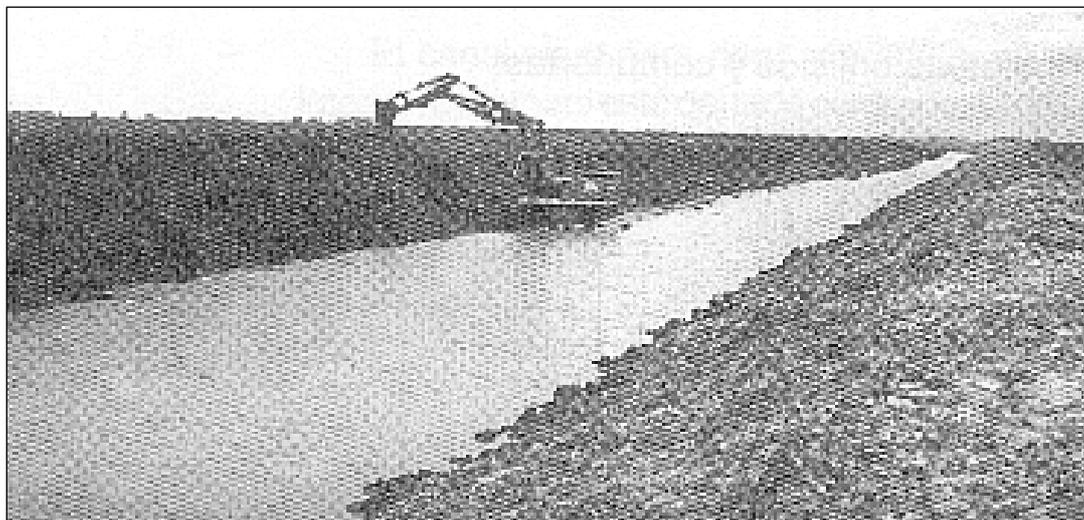
$$k = 100 \sqrt{R / b + \sqrt{R}}$$

R (m)	Valores de b											
	0,12	0,20	0,25	0,35	0,55	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50*
0,01	47,6	33,3	38,6	22,2	15,4	11,8	9,1	7,4	6,3	5,4	4,8	3,8
0,02	53,9	41,4	36,1	28,8	20,4	15,9	12,2	10,1	8,6	7,5	6,6	5,4
0,03	59,0	46,4	40,9	33,1	23,9	18,8	14,8	12,2	10,3	9,0	8,0	6,5
0,04	62,5	50,0	44,4	36,4	26,7	21,1	16,6	13,8	11,8	10,3	9,1	7,4
0,05	65,1	52,9	47,1	39,0	28,9	22,9	18,3	15,2	12,9	11,3	10,3	8,2
0,06	67,1	55,1	49,5	41,2	30,8	24,6	19,7	16,4	14,0	12,6	10,9	8,9
0,07	68,8	57,0	51,4	43,1	32,5	26,1	20,9	17,5	15,0	13,1	11,7	9,5
0,08	70,2	58,6	53,1	44,7	34,0	27,4	22,0	18,4	16,0	13,9	12,4	10,2
0,09	71,4	60,0	54,5	46,1	35,2	28,6	23,1	19,4	16,7	14,6	13,0	10,7
0,10	72,5	61,2	55,9	47,5	36,5	29,7	24,0	20,2	17,4	15,3	13,6	11,2
0,11	73,4	62,4	57,0	48,6	37,6	30,7	24,9	20,9	18,1	15,9	14,2	11,7
0,12	74,2	63,4	58,1	49,7	38,6	31,6	25,7	21,7	18,8	16,5	14,8	12,2
0,13	75,0	64,3	59,1	50,7	39,6	32,5	26,5	22,4	19,4	17,1	15,3	12,6
0,14	75,7	65,2	60,0	51,7	40,5	33,3	27,2	23,0	20,0	17,6	15,8	13,0
0,15	76,3	66,0	60,8	52,5	41,3	34,1	28,0	23,7	20,6	18,1	16,2	13,4
0,16	76,9	66,7	61,5	53,3	42,0	34,8	28,6	24,2	21,1	18,6	16,7	13,8
0,17	77,4	67,3	62,3	54,1	42,7	35,5	29,2	24,8	21,6	19,1	17,1	14,2
0,18	77,8	67,9	63,0	54,8	43,4	36,1	29,8	25,3	22,0	19,5	17,5	14,5
0,19	78,3	68,5	63,6	55,4	44,1	36,8	30,4	25,9	22,5	19,9	17,9	14,9
0,20	78,9	69,1	64,2	56,1	44,8	37,4	30,9	26,4	22,9	20,4	18,2	15,2
0,25	80,4	71,4	66,7	58,6	47,6	40,0	33,3	28,6	25,0	22,2	20,0	16,7
0,30	82,0	73,3	68,6	61,9	49,9	42,2	35,4	30,5	26,6	23,9	21,5	17,9
0,35	83,0	74,7	70,3	62,7	51,8	44,1	37,2	32,1	28,3	25,3	22,8	19,1
0,40	84,0	76,0	71,6	64,4	53,5	45,8	38,7	33,6	29,7	26,6	24,0	22,2
0,45	84,8	77,0	72,0	65,7	54,9	47,2	40,2	34,9	30,9	27,7	25,1	22,1
0,50	85,5	77,9	73,9	66,9	56,2	48,5	41,4	36,1	32,0	28,8	26,1	22,0
0,55	86,0	78,7	74,8	67,9	57,4	49,7	42,7	37,2	33,1	29,8	27,0	22,9
0,60	86,5	79,5	75,6	68,9	58,5	50,8	43,6	38,3	34,1	30,7	27,9	23,7
0,65	87,0	80,1	76,3	69,7	59,4	51,8	44,6	39,2	34,9	31,5	28,7	24,4
0,70	87,5	80,7	77,0	70,5	60,3	52,7	45,5	40,1	35,8	32,3	29,5	25,1
0,75	87,9	81,2	77,6	71,2	61,1	53,6	46,4	40,9	36,6	33,1	30,2	25,7
0,80	88,2	81,7	78,2	71,9	61,8	54,4	47,2	41,7	37,4	33,8	30,9	26,3
0,85	88,5	82,2	78,7	72,5	62,5	55,2	48,0	42,4	38,1	34,4	31,6	26,9
0,90	88,8	82,6	79,2	73,0	63,3	55,9	48,7	43,1	38,8	35,1	32,2	27,5
0,95	89,0	83,0	79,6	73,5	63,9	56,3	49,9	43,8	39,4	35,8	32,8	28,1
1,00	89,3	83,3	80,0	74,0	64,5	57,1	50,0	44,4	40,0	36,4	33,3	28,6
1,10	89,7	84,0	80,7	75,0	65,6	58,3	51,2	45,6	41,2	37,5	34,4	29,6
1,20	90,2	84,6	81,5	75,8	66,6	59,4	52,3	46,7	42,2	38,4	35,4	30,5
1,30	90,4	85,0	81,9	76,4	67,4	60,4	53,2	47,7	43,2	39,4	36,3	31,3
1,40	90,8	85,6	82,6	77,2	68,3	61,2	54,2	48,6	44,1	40,3	37,2	32,1
1,50	91,0	86,0	83,0	77,8	69,0	62,1	55,0	49,4	44,9	41,2	38,0	32,0
1,60	91,3	86,3	83,5	78,3	69,7	62,8	55,9	50,3	45,9	42,0	38,7	33,6
1,70	91,6	86,7	83,9	78,8	70,3	63,5	56,6	51,1	46,5	42,7	39,5	34,3
1,80	91,8	87,0	84,3	79,3	70,9	64,1	57,3	51,8	47,2	43,4	40,1	34,9

* Valor para paredes de tierra

6. Mantenimiento de Canales

Figura 6. Limpieza y mantenimiento de un canal de grandes dimensiones.



- capacidad suficiente para inundar rápido la chacra
- deben ser lo más rectos posible
- deben tener fácil acceso para la limpieza (figura 6)
- tienen que estar bien localizados de manera de llegar a los puntos más altos de la chacra y no interferir con el drenaje de ésta.

7. Pérdidas de agua de los canales

Al calcular la cantidad de agua necesaria para el riego del cultivo, se deben considerar las pérdidas por evaporación e infiltración de los canales.

Las pérdidas varían según la sección, el ancho y la naturaleza del suelo de los canales. En general se puede hablar de variaciones de la evaporación de 3 a 5 mm por día, según el clima.

La infiltración puede ir de 1 a 8 mm según el tipo de suelo. Las pérdidas por estos conceptos en canales anchos pueden ser del orden del 10 al 15%. Este tema debe considerarse al construir los canales (figura 7).

Figura 7. Limpieza y reparación de un canal mediano, para mejorar el caudal y evitar pérdidas.



Sifones

Se usan las mismas fórmulas de orificios y compuertas:

$$Q = C \times S \times \sqrt{2gh}$$

Q = caudal en m³/s

S = sección en m²

C = coeficiente de descarga para sifones de hormigón

g = fuerza de gravedad = 9,78 m/s

h = diferencia de nivel del agua antes y después del sifón, en metros.

Los coeficientes de descarga C son los que se muestran en el cuadro 4.

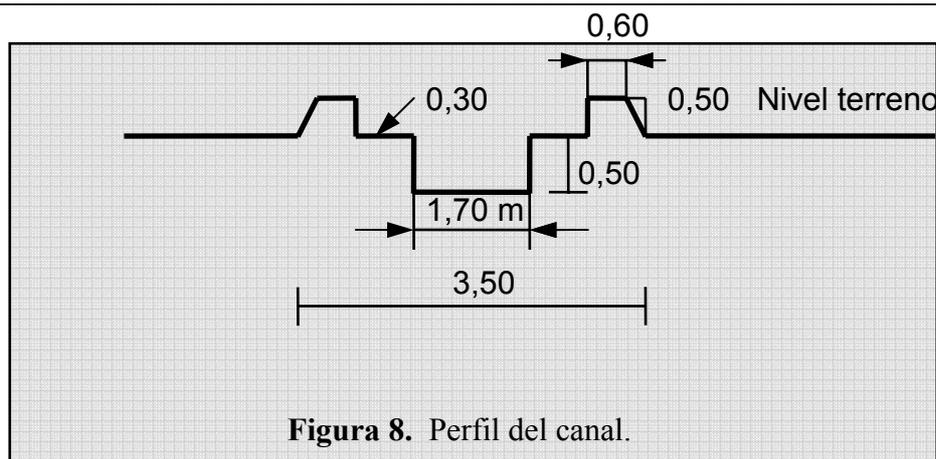
Cuadro 6. Valores de C (Daker, 1970)

<i>Largo del sifón (m)</i>	<i>Diámetro de Caños (m)</i>	
	<i>0.60</i>	<i>1.00</i>
3.0	0.80	0.78
6.0	0.78	0.77
9.0	0.75	0.76
12.0	0.73	0.74
15.0	0.71	0.73

8. Localización de Canales de riego y Drenaje

La mayoría de las chacras de arroz tienen un sistema de riego y drenaje de baja eficiencia, con un canal en la parte alta y un desagüe en la parte baja. En este sistema se propone la marcación de canales que serán de doble propósito, para riego y drenaje, cada 500 m.

El canal deberá ser hecho con retroexcavadora y sus medidas aproximadas en un perfil, se muestran en la figura 8.



En las figuras 9 y 10 se puede apreciar el funcionamiento de estos canales en el momento del riego. Dependiendo del terreno, se deberán hacer drenajes superficiales con zanjadora o valetadeira en forma perpendicular a los caminos y canales, con una distancia que dependerá de la necesidad de drenaje, pero que puede ser de 40 a 50 m.

Estos cortes sacarán el agua hacia las cunetas de los caminos, pero también pueden sacarla hacia los canales cuya pared debe ser abierta para este fin y luego cerrada para el riego.

Figura 9. Pasaje de agua con compuertas de un canal secundario a un canal doble propósito.

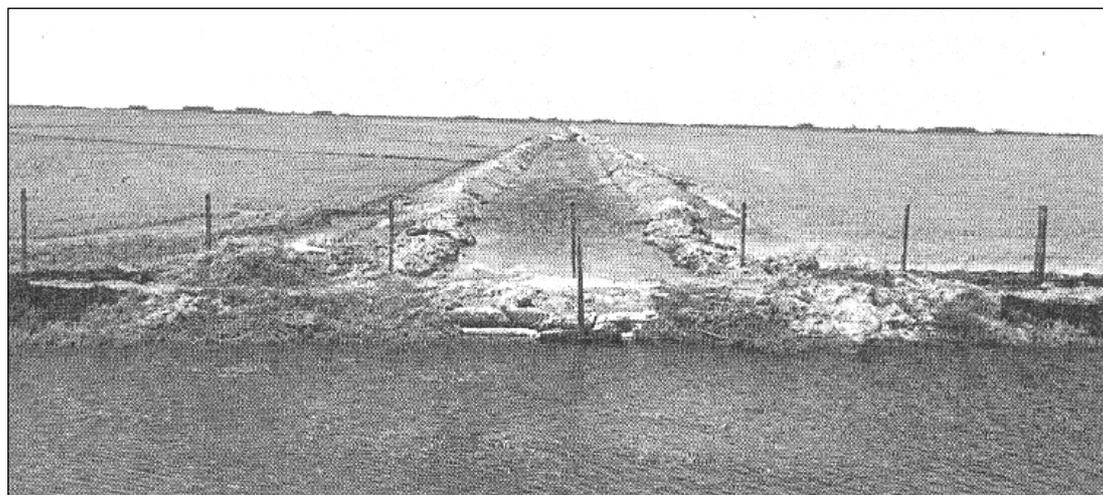
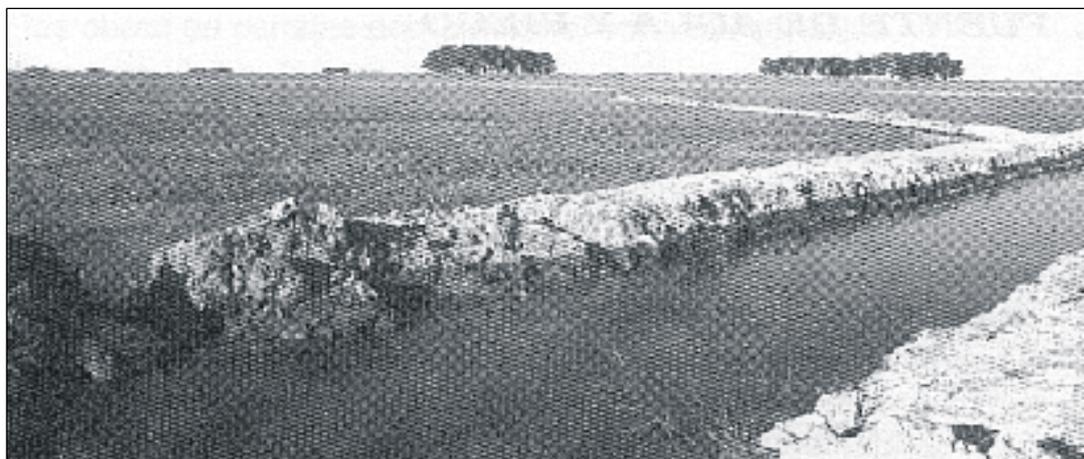


Figura 10. Entrada de agua en la parcela desde un canal doble propósito.



Ventajas de la estructura:

- Drenaje más eficiente y rápido.
- Entrada a los campos más temprano para preparar tierras.
- Mayor rapidez de riego.
- Posibilidad de dar baños rápidos.
- Mejor manejo del nivel de agua.
- Mejor germinación y emergencia del arroz.
- Control de malezas más eficiente.
- Mayor seguridad de aprovechamiento de los fertilizantes en cobertura.
- Posibilidad de retirar el agua en forma rápida y volver a inundar si esto es necesario como medida de manejo.
- Más facilidad de acceso a la chacra tanto de máquinas como de supervisión.
- Más facilidad de cosecha.

Desventajas:

- Es una estructura que requiere una alta inversión inicial.
- Se necesitan máquinas que no están fácilmente al alcance del productor medio, como retroexcavadora o motoniveladora. En el caso en que sea necesario eliminar algún canal viejo, esta tarea es costosa y debe realizarse con topador.
- Es muy difícil para el arrendatario, a no ser que tenga un contrato a largo plazo.
- Tiene un área importante ocupada por las estructuras, aproximadamente un 2 %.

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE APLICACIÓN DE AGUA:

1. Momento de inundación, lámina de riego.

Baños iniciales.

Si la chacra está bien nivelada y sistematizada y si existe agua disponible temprano, se puede dar un baño rápido para favorecer la emergencia cuando la humedad del suelo no resulta suficiente. (Figura 1).

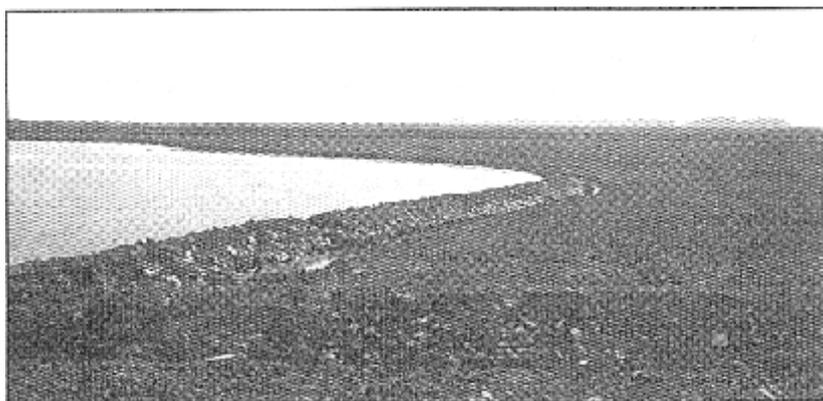


Figura 1. Baño inicial para uniformar la emergencia.

Este baño puede ser importante en suelos que quedan muy encostrados luego de una lluvia intensa, y debe hacerse antes que las plantas pierdan su poder de penetración. Tan importante como bañar es escurrir rápidamente la chacra, en no más de 48 hs., y para ello es imprescindible tener abiertos los cortes con valetadeira.

La experiencia indica que cuando hay que dar un baño para que el arroz germine, el manejo deber ser mucho más cuidadoso y el agua retirada lo antes posible. Esto no es tan importante y hay un margen mayor para sacar el agua, cuando se trata de un baño para emergencia con el arroz ya germinado, o cuando lo que se quiere es uniformizar la población de plantas.

El agua debe ser llevada rápidamente con los boquetes abiertos y los cortes de drenaje también abiertos.

Riego y control de malezas

Una de las funciones principales del agua de inundación es se ayuda en el control de malezas. Según lo comentado anteriormente, al arroz le bastaría con el mantenimiento del suelo saturado en forma permanente para cubrir sus necesidades. Pero la presencia de una lámina de agua sobre el suelo actúa como una herramienta eficaz en el control de malezas y en la termorregulación de las bajas temperaturas que pueden darse en períodos críticos del cultivo.

Niveles bajos de agua o sólo saturación favorecen el crecimiento de gramíneas, ciperáceas y malezas de hoja ancha, las que se ven perjudicadas con láminas mayores. Por otro lado en áreas mal drenadas y mal niveladas, láminas elevadas facilitan el desarrollo de malezas acuáticas.

La inundación previa y la siembra en agua son técnicas muy importantes en el control de arroz rojo.

El manejo del agua y la aplicación de herbicidas se complementan para lograr buena eficiencia en el control de capín.

Riego y prevención de enfermedades y plagas

Existe una predisposición al aumento de la incidencia de enfermedades en chacras con problemas de riego, en donde no se puede mantener una lámina uniforme. Se han observado ataques importantes de brusone en la variedad Bluebelle en chacras que no han sido bien regadas.

Niveles de agua altos pueden contribuir a un aumento de la incidencia de enfermedades de los tallos.

Por otra parte, la incidencia de “straighthead” o pico de loro, así como los problemas que puede plantear un ataque de bichera de la raíz, se resuelven con un manejo adecuado del agua, drenado la chacra lo antes posible y volviendo a inundar al cabo de algunos días. Para “straighthead” el retiro del agua debe ser preventivo.

Riego y disponibilidad de nutrientes

El agua regula la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes importantes para el arroz. Tal es el caso del fósforo, que aumenta su disponibilidad para el cultivo en forma rápido al inundar la chacra. Es también especialmente importante en el caso del nitrógeno, ya que la eficiencia de utilización de este nutriente está muy ligada al manejo del agua.

El N es un elemento que puede perderse fácilmente hacia la atmósfera. Cada vez que la chacra se seca y se vuelve a inundar, se pierde algo de este elemento por desnitrificación. Por esta razón es conveniente que el cultivo permanezca siempre con agua hasta el momento de drenaje para la cosecha.

Calidad del agua

Salinidad

El agua de riego no debe tener sales disueltas que puedan ser tóxicas para la planta de arroz. Según Johnston (1973), la calidad del agua para riego está determinada por:

- La concentración total de sales solubles
- La relación de sodio comparado con otros cationes

- La concentración de boro y otros elementos tóxicos
- La concentración de bicarbonato relacionada a la concentración de calcio y magnesio

Otros factores importantes son la salinidad inicial del suelo y el contenido total de sales del suelo.

En años de pocas lluvias, pueden ocurrir serios problemas al invertirse el flujo de agua. Esto puede traer la salinización de suelos en donde no había ese problema. El uso de agua con alto contenido de sales puede también contribuir a la salinización del suelo.

Ensayos realizados en Brasil concluyen que ninguna de las variedades actualmente usadas tolera un riego con agua salinizada en un nivel superior a 0.25% de cloruro de sodio. Las aguas con estos tenores de sal, utilizadas a partir de la fase reproductiva, pueden determinar pérdidas de hasta un 50 % en el rendimiento.

Un análisis de la conductividad eléctrica del agua puede ser una ayuda importante. Conviene que tenga valores menores a 0.75 mmho/cm y cuando supera valores a 2 mmho/cm no se debe utilizar para riego.

Temperatura del agua

Desde la fase inicial de riego hasta el primordio el desarrollo de la planta de arroz está muy influenciado por la temperatura del agua, ya que las yemas responsables de la formación de hojas, macollos y panojas permanecen bajo el agua. A medida que la panoja se desarrolla y emerge se hace más importante la temperatura del aire con relación a la del agua.

La temperatura ideal del agua está entre 20 y 25°C.

Cuando la siembra se realiza en agua el factor temperatura del agua es más importante todavía, ya que influye en forma directa en la implantación del cultivo

2.Unidades de Riego: (lt seg⁻¹ha⁻¹); (m³ ha⁻¹ ciclo⁻¹), (mm o cm).

UNIDADES DE RIEGO	SIMBOLO	DEFINICION
Dosis	(lt seg ⁻¹ ha ⁻¹)	Es el consumo instantáneo que se produce en la arrocera, depende de variables tales: textura, ETR diaria, percolación y estructura de riego.
Dotación	(m ³ ha ⁻¹ ciclo ⁻¹)	Es el consumo en el ciclo del cultivo
Lámina de riego	(mm o cm)	Es la altura de agua que ha consumido el cultivo a lo largo de su ciclo

3. Los principales parámetros del riego: Agua de saturación, percolación, evapotranspiración, pérdidas por ruptura y por filtración.

Agua de saturación: Desde el punto de vista conceptual se le llama % de Saturación de Agua al peso de agua en gramos que hay en 100 gr. de suelo secado en estufa a 105°

C en una pasta de suelo saturado. En el caso del riego de arroz es la fracción, lámina o volumen de agua necesarios para saturar el perfil hasta la capa compactada, en términos generales se considera unos 0,60 metros de profundidad, aunque depende de la textura, estructura, e historia mecánica de la chacra.

Agua de percolación: La percolación es el movimiento gravitatorio del agua a través del perfil del suelo. El índice de percolación está afectado por la textura del suelo, la estratificación, las distintas zonas texturales y la profundidad del perfil del suelo. Su relación con la permeabilidad es la siguiente:

Permeabilidad es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se dice que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende del tipo de material, de la naturaleza del fluido, de la presión del fluido y de la temperatura. La penetrabilidad suele considerarse sinónimo de permeabilidad

Para ser permeable, un material debe ser poroso, esto es, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber fluido. No obstante, la porosidad en sí misma no es suficiente: los poros deben estar interconectados de algún modo para que el fluido disponga de caminos a través del material. Por ejemplo, la permeabilidad de los suelos se ve favorecida por la existencia de fallas, grietas, juntas u otros defectos estructurales. La permeabilidad de los suelos tiene una influencia fundamental en el estudio del drenaje y de las aplicaciones de agua de riego.

La fórmula conocida como *fórmula de Darcy* relaciona el volumen de agua que atraviesa una muestra de suelo, con la característica de permeabilidad del suelo y el diferencial de presión, antes y después de la muestra.

$$Q=K*I*A$$

Donde:

- Q = Cantidad de agua drenada a través de la muestra por unidad de tiempo, (cm^3/h);
- K = Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad. Se expresa generalmente en (cm/h).
- I = gradiente piezométrico disponible; (m/m)
- A = Sección transversal por donde se filtra el agua en la muestra (cm^2).

Según recomendación del "Soil Conservation Service" de los EE.UU. la permeabilidad se clasifica de la siguiente forma:

	K (cm/h)
Muy lenta	< 0,1
Lenta	0,1 – 0,5
Moderadamente lenta	0,5 – 2,0
Moderada	2,0 – 6,5
Moderadamente elevada	6,5 – 12,5
Elevada	12,5 – 25,0
Muy elevada	> 25,0

En forma práctica la determinación de la precolación en el cultivo de arroz se efectúa por medio del cilindro de Whitman (Modificado por Venialgo y Currie) y utilizándose la fórmula de Kirkham para establecer los valores de percolación a través de la conductividad Hidráulica. .

$$K = \frac{864\pi r^2}{A(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:

K = conductividad hidráulica (m/día)

r = radio interno del piezometro

A = Factor geométrico en función del diámetro y longitud de la cavidad

*t*₂-*t*₁ = intervalo entre dos mediciones

*h*₂-*h*₁ = profundidad de la capa de agua

La CH (Conductividad hidráulica) representa la capacidad de transmisión del agua en el suelo y está íntimamente ligada al espacio poroso del suelo. A los fines prácticos la CH solo se refiere en condiciones de saturación. Sin embargo resulta conveniente efectuar algunas especificaciones:

La conductividad hidráulica se puede definir como la velocidad de movimiento de agua en el suelo cuando el agua es sometida a una fuerza neta igual a la gravedad. Es una propiedad del suelo que puede medirse con relativa facilidad en el campo o en el laboratorio.

En base a esta definición de conductividad hidráulica, podemos decir que la velocidad de movimiento vertical de agua en un suelo, bajo condiciones donde la fuerza principal que mueve el agua es la gravedad, será básicamente igual a la conductividad hidráulica del suelo. La gravedad es la causa dominante de movimiento de agua en dos situaciones muy importantes: 1) Infiltración a largo tiempo cuando el perfil ha sido humedecido a bastante profundidad; y 2) Percolación profunda (redistribución) de agua desde horizontes superficiales humedecidos a horizontes inferiores luego de haber cesado la infiltración a través de la superficie del suelo, que es el caso del riego en arroz.

La conductividad hidráulica es el parámetro básico utilizado para predecir el comportamiento del suelo bajo estas condiciones.

La conductividad hidráulica del suelo no es un valor constante sino que depende de la distribución de tamaño de poros del suelo y del contenido de agua del mismo. Cuando

todos los poros del suelo están saturados de agua, hablamos de la conductividad hidráulica saturada (K_s) o permeabilidad del suelo. Si los poros del suelo están solos parcialmente saturados con agua, hablamos de la conductividad hidráulica no saturada o conductividad capilar del suelo. De aquí en adelante usaremos el termino “conductividad hidráulica” para ambos casos, y entendiéndose que nos referimos a conductividad saturada en el caso de suelo saturado y a conductividad capilar en el caso de suelo parcialmente saturado

Evapotranspiración: Este tema se ha estudiado en el curso obligatorio, no obstante se repasará el concepto:

La cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la retienen (la que usan para crecimiento y fotosíntesis). La transpiración puede considerarse, por tanto, como el consumo de agua de la planta. Además debemos de considerar que hay pérdidas de agua por evaporación del agua desde la superficie del suelo.

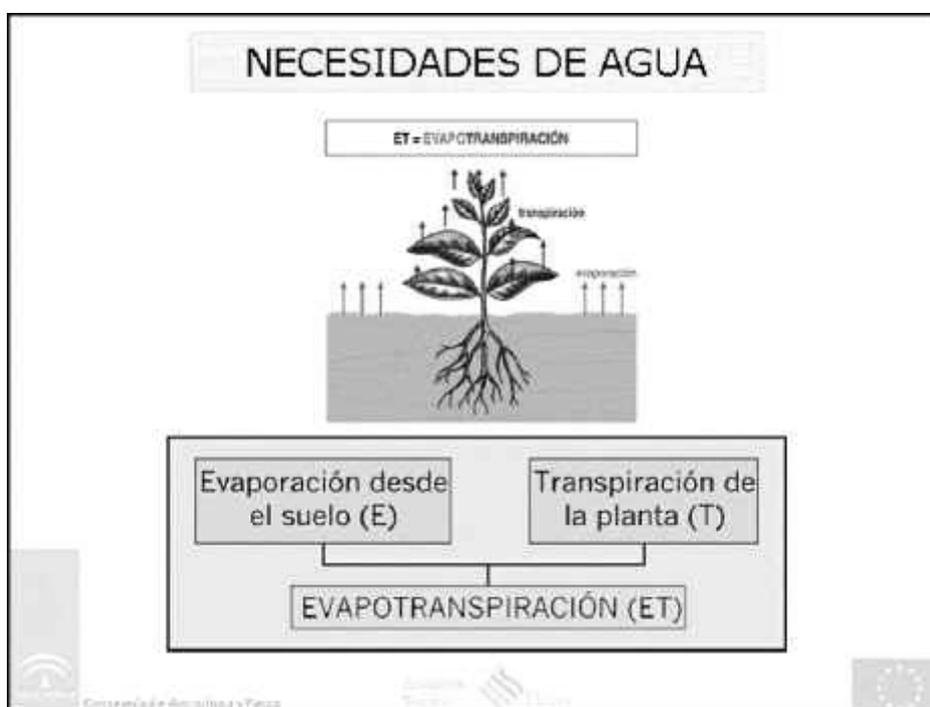


Figura 4

La cantidad de agua que suponen ambos procesos, transpiración y evaporación, suele considerarse de forma conjunta simplemente por que es muy difícil calcularla por separado. Por lo tanto se considera que las necesidades de agua de los cultivos están representados por la suma de la evaporación directa desde el suelo mas la transpiración de las plantas que es lo que comúnmente se conoce como evapotranspiración (ETP).

La evapotranspiración suele expresarse en mm de altura de agua evapotranspirada en cada día (mm/día) y es una cantidad que variará según el clima y el cultivo. Aunque en realidad existe una interacción entre ambos, puede admitirse la simplificación de considerarlos por separado y por lo tanto la evapotranspiración se calcula como:

Coefficiente del cultivo

El coeficiente de cultivo (K_c) describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

En los cultivos anuales normalmente se diferencian 4 etapas o fases de cultivo:

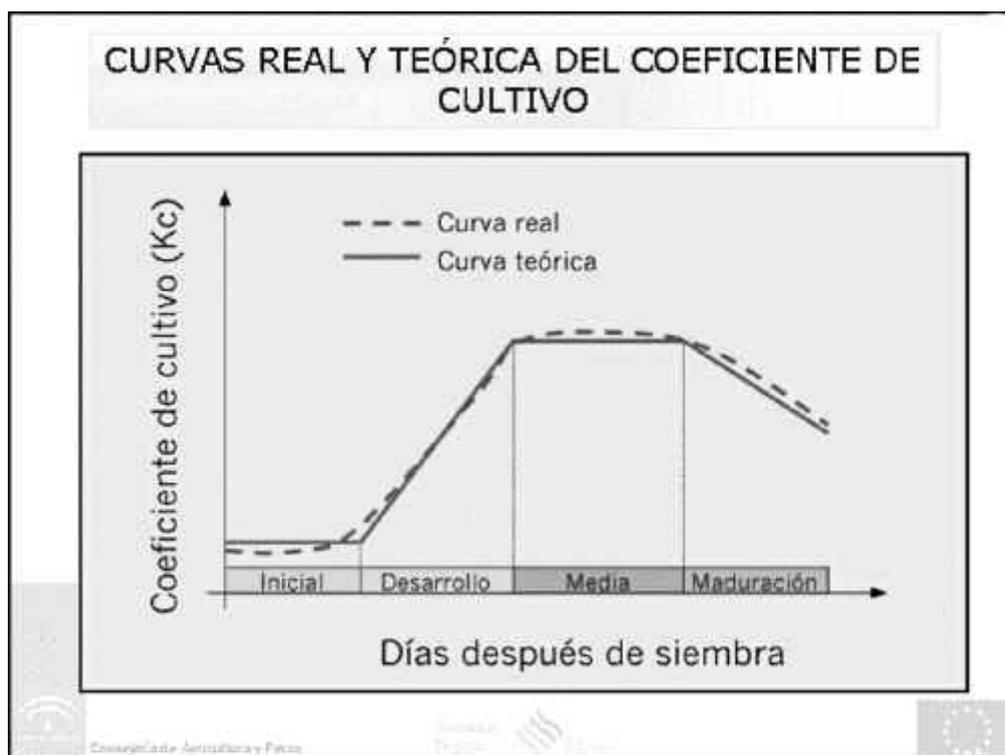


Figura 7

- **INICIAL:** Desde la siembra hasta un 10% de la cobertura del suelo aproximadamente.
- **DESARROLLO:** Desde el 10% de cobertura y durante el crecimiento activo de la planta.
- **MEDIA:** Entre floración y fructificación, correspondiente en la mayoría de los casos al 70-80% de cobertura máxima de cada cultivo.
- **MADURACIÓN:** Desde madurez hasta recolección.

Como se observa en la figura superior, K_c comienza siendo pequeño y aumenta a medida que la planta cubre más el suelo. Los valores máximos de K_c se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media y finalmente decrece durante la fase de maduración.

Lo mejor es disponer de valores de K_c para cada cultivo obtenidos en la zona y para distintas fechas de siembras, pero en ausencia de esta información se pueden usar

valores orientativos de K_c para varios *cultivos herbáceos* y hortícolas como los siguientes, en los que se observa que aún siendo diferentes para cada cultivo, presentan valores bastante próximos a ellos.

Perdidas por ruptura: Las pérdidas por ruptura son el conjunto de pérdidas de agua que se producen por el colapso de canales, taipas o taipas rondas; su evaluación se efectúa con pequeños vertederos portátiles, como el de Francis.

Pérdidas por filtración: Son el conjunto de pérdidas que se detectan en la estructura de riego, sobre todo en canales y ronda perimetral o taipa ronda, sin que haya ruptura, simplemente son pérdidas laterales. Su determinación es muy compleja y se realiza a través de la Fórmula de Davies y Wilson

4. OBRAS DE ARTE:

1. Las obras de arte o estructuras hidráulicas de uso más habitual en el riego de arroz.

iv. Compuertas : Características constructivas, hidráulicas y materiales. Comportamiento hidráulico. Utilización más corriente.

Son estructuras de control hidráulico. Su función es la de presentar un obstáculo al libre flujo del agua, con el consiguiente represamiento aguas arriba de la estructura, y el aumento de la velocidad aguas abajo.

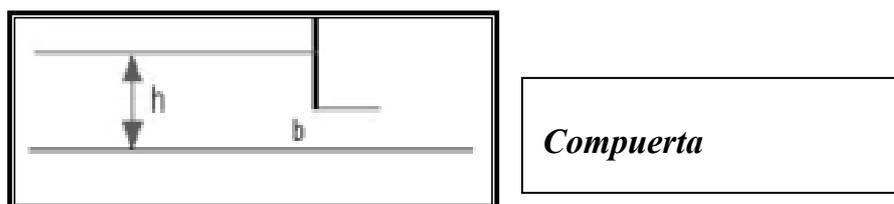


Figura 1

Las compuertas son estructuras que sirven para controlar el nivel del agua en los canales y para distribuirla en el interior del predio.

Los materiales que se emplean normalmente en la construcción de las compuertas son: madera, hierro, ladrillo, hormigón o una combinación de estos elementos constructivos.

El tamaño del canal es un factor que se debe tener presente para elegir el tipo de compuerta y el material que se debe utilizar; en todo caso se debe elegir el tipo y los materiales de más bajo costo siempre que cumplan con el objetivo que se ha propuesto el arrocero.

En general una compuerta está formada por:

* Una canoa de entrada con alerones frontales que impiden las filtraciones de agua por los bordes y fondo de la canoa. El alerón debe quedar enterrado por lo menos 10 cm. en el fondo y bordes del canal donde se instala.

- * La compuerta propiamente tal, ubicada en la parte central, formada por:
- La lámina que es la que corta el flujo de agua; puede ser de madera o metal.
 - El vástago, que permite subir o bajar la lámina.
 - Las guías, que permiten el desplazamiento de la lámina.

Una canoa de salida, que también debe tener alerones similares a la canoa de entrada, para impedir que el agua erosione el fondo o redes del canal.

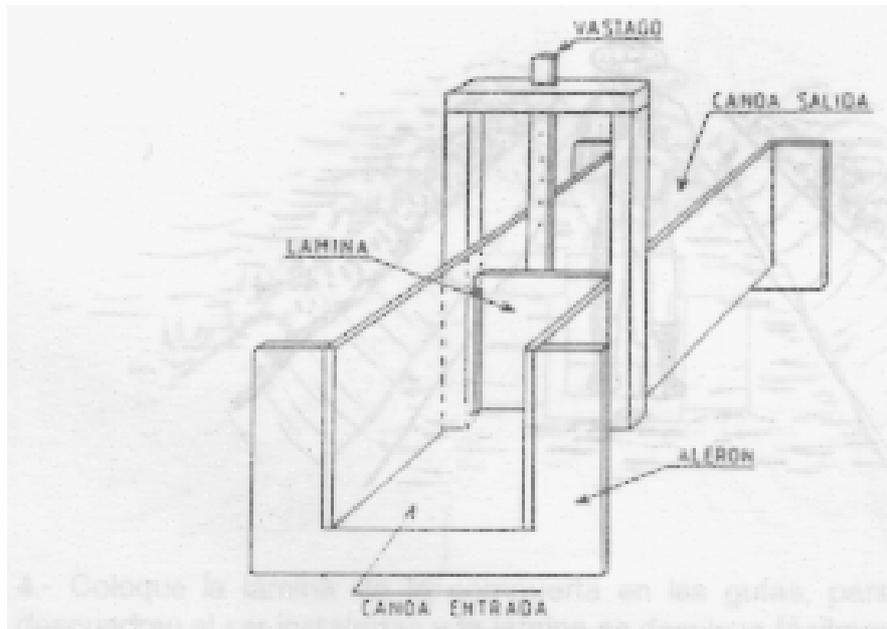
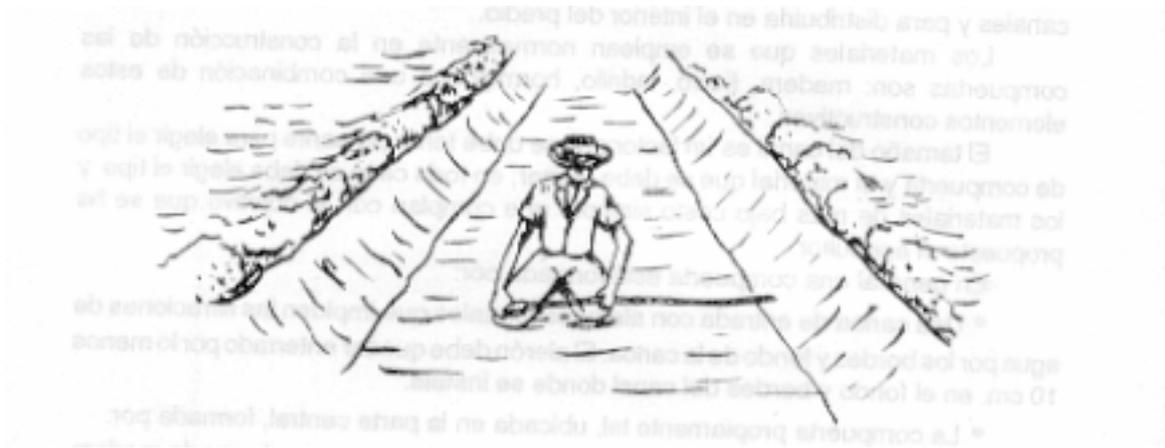


Figura 2. Vista General de la Compuerta.

Instalación de Compuertas

Para instalar una compuerta sencilla en un canal de riego, siga las siguientes instrucciones:



1. Mida el ancho del canal (**Figura3**)



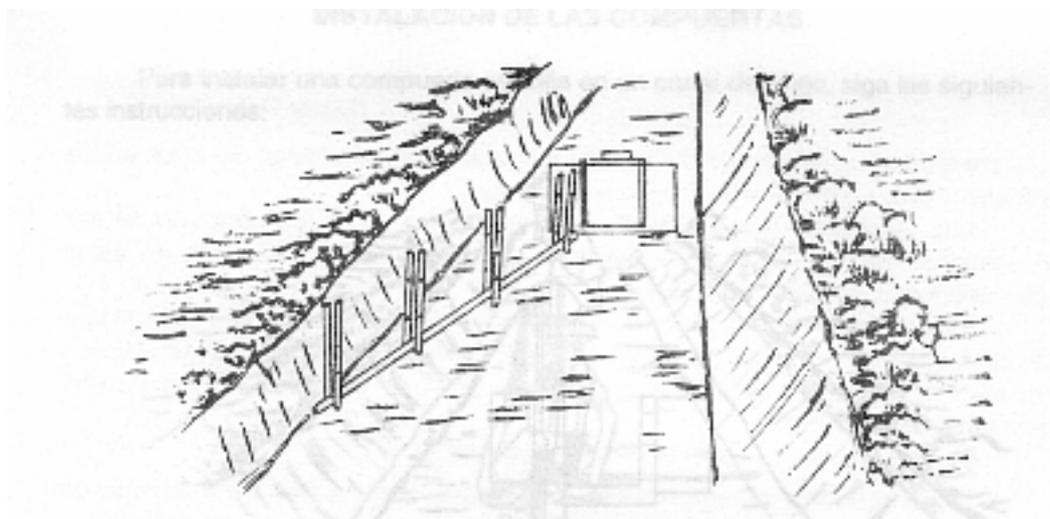
2. Perfore el fondo del canal para ubicar los postes que soportarán la estructura (**Figura 3**)



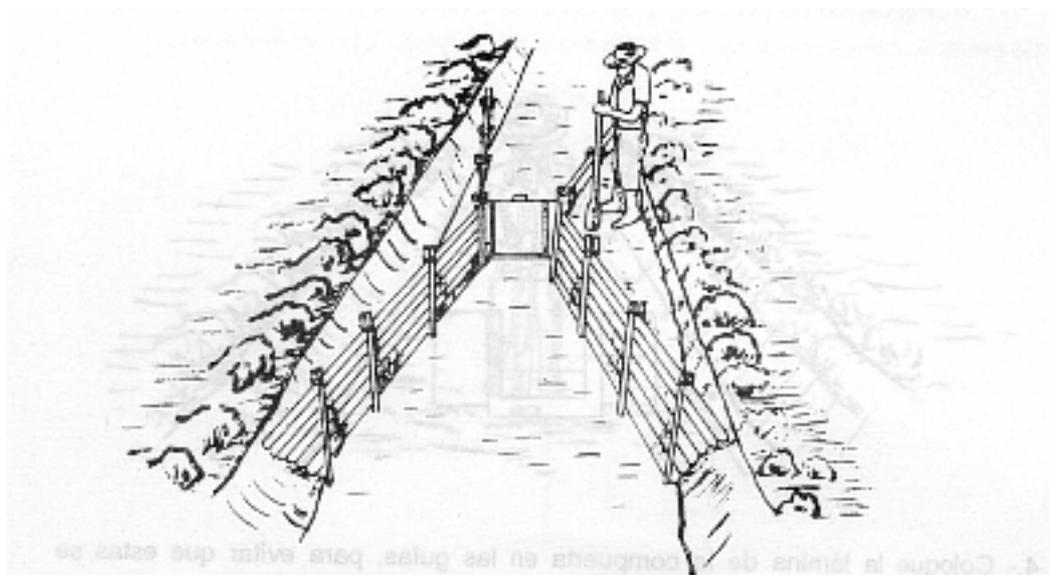
3. Instale la compuerta en el canal de acuerdo a las perforaciones hechas (**Figura 4**)



4. Coloque la lámina de la compuerta en las guías, para evitar que estas se descuadren al ser instaladas y la lámina se desplace fácilmente. **(Figura 5)**



5. Coloque desde los alerones de la compuerta hasta el talud del canal una protección de madera, que pueden ser varas o listones, de tal forma de asegurar que el agua no erosione el sector donde se instaló la compuerta. **(Figura 6)**



6. Compacte el suelo por capas, para evitar las pérdidas por filtración.

v. Vertederos: Tipos y características. Aplicación en el cultivo del arroz. Materiales constructivos. Funcionamiento hidráulicas. Régimen de funcionamiento. Clasificación.

El vertedero es un elemento fundamental de la estructura, ya que es la parte que está en contacto directo con la corriente de agua. Un vertedero bien diseñado debería permitir controlar la descarga del exceso de agua de una represa y proteger el terraplén del hundimiento y la erosión.

Vertedero lineal

La altura de la lámina de agua, aguas arriba del vertedero viene dada por la expresión :

$$Q = \mu L \sqrt{2 g h^3}$$

En donde:

Q: caudal que atraviesa el vertedero (m³/s)

m : coeficiente de caudal del vertedero

L: longitud del vertedero (m)

g : aceleración de la gravedad (m/s²)

h: altura de la lámina de agua, aguas arriba del vertedero (m.c.a.)

La determinación del valor de *m* es el aspecto más complicado en el dimensionado del vertedero. Diversos autores han propuesto algunas expresiones analíticas que se destacan a continuación:

Fórmula de Bazin: (0,10<*h*<0,60) :

$$\mu = 0,405 + \frac{0,003}{h} \left(1 + 0,55 \frac{h^2}{(h+p)^2} \right)$$

Fórmula de Rehbock: (0,025<*h*<0,80)

$$\mu = 2/3 \left(0,605 + \frac{1}{1050 h - 3} + 0,08 \frac{h}{P} \right)$$

Todas estas expresiones arrojan valores muy similares normalmente se adopta un valor medio de *m* = 0,415 que es el valor propuesto por Francis en 1.823. Para *g* = 9,81 m/s², la expresión anterior se puede reescribir de la siguiente manera:

Vertedero triangular Thompson (dientes a 90°)

Según Thompson, la altura aguas arriba del vertedero viene dada por:

$$Q = 1,84 \cdot L \cdot h^{3/2}$$

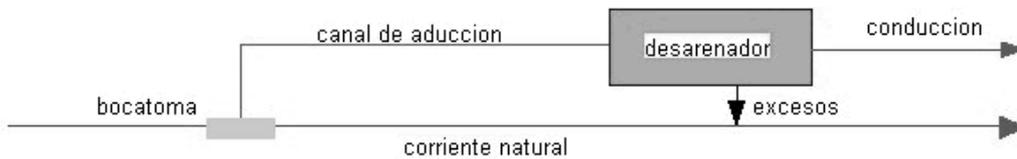
En donde:

q: caudal unitario en cada diente (m³/s/diente)

h: altura de la lámina de agua, aguas arriba del vertedero (m.c.a.)

vi. Captaciones y Aliviaderos.

Las captaciones son las obras que permiten derivar el agua desde la fuente que alimenta el sistema. Esta fuente puede ser una corriente natural, un embalse o un depósito de agua subterránea; en este artículo se tratará de captaciones en corrientes naturales.



(Figura 7)

La captación consta de la bocatoma, el canal de aducción y el tanque sedimentador o desarenador.

En la figura siguiente se muestran esquemáticamente los tipos de bocatoma más utilizadas.

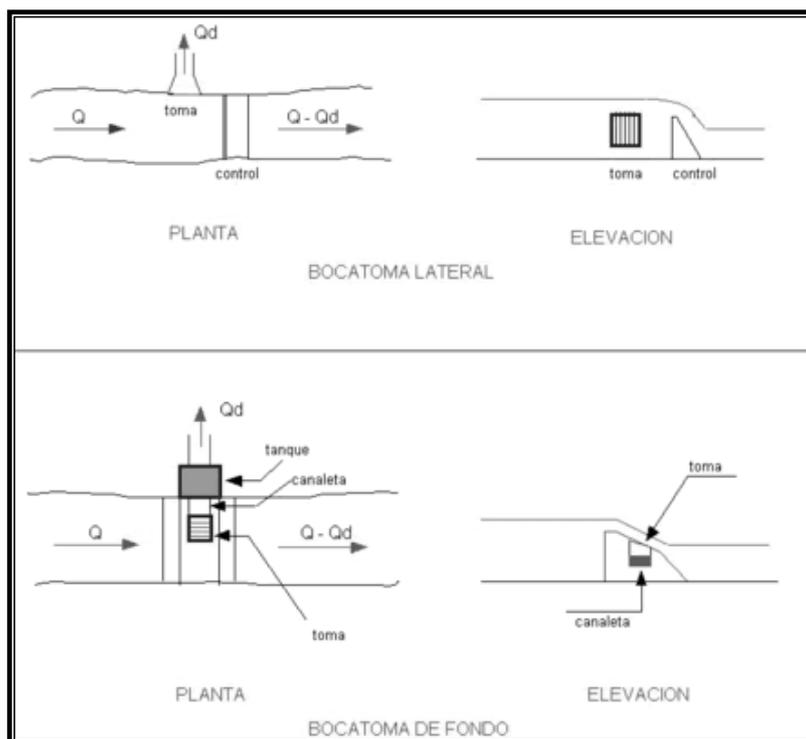


Figura 8

Las magnitudes de los caudales que se captan en las bocatomas son función de los niveles de agua que se presentan inmediatamente arriba de la estructura de control.

Como estos niveles dependen del caudal Q de la corriente natural, y este caudal es variable, entonces las bocatomas no captan un caudal constante. Durante los estiajes captan caudales pequeños y durante las crecientes captan excesos que deben ser devueltos a la corriente lo más pronto posible, ya sea desde el canal de aducción o desde el desarenador.

La sedimentación que se genera en la corriente natural por causa de la obstrucción que se induce por la presencia de la estructura de control es un gran inconveniente en la operación de las bocatomas laterales.

El canal de aducción conecta la bocatoma con el desarenador; tiene una transición de entrada, una curva horizontal y un tramo recto, paralelo a la corriente natural, hasta el desarenador. Es un canal de baja pendiente y régimen tranquilo que se diseña para recibir los caudales de aguas altas que pueden entrar por la toma. En la práctica es preferible que sea de corta longitud y en algunos casos, cuando las condiciones topográficas de la zona de captación lo permiten, se elimina el canal de aducción y el desarenador se incluye dentro de la estructura de la bocatoma.

El desarenador es un tanque sedimentador cuyas dimensiones dependen del caudal de diseño de la toma, de la distribución granulométrica de los sedimentos en suspensión que transporta la corriente natural y de la eficiencia de remoción, la cual oscila entre el 60 y el 80% del sedimento que entra al tanque. En el fondo tiene un espacio disponible para recibir los sedimentos en suspensión que retiene; estos sedimentos son removidos periódicamente mediante lavado hidráulico o procedimientos manuales.

Además de su función de sedimentador el desarenador cuenta con un vertedero de rebose que permite devolver a la corriente natural los excesos de agua que entran por la toma.

vii. Resalto Hidráulico.

El resalto hidráulico es el ascenso brusco del nivel del agua que se presenta en un canal abierto a consecuencia del retardo que sufre una corriente de agua que fluye a elevada velocidad.

Este fenómeno presenta un estado de fuerzas en equilibrio, en el que tiene lugar un cambio violento del régimen de flujo, de supercrítico a subcrítico. Consideremos el siguiente esquema:

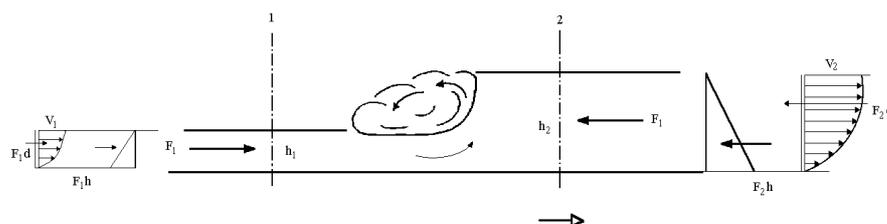


Figura 9

Las características del resalto hidráulico han sido aprovechadas para reducir las velocidades de flujo en canales a valores que permitan el escurrimiento sin ocasionar tensiones de corte superiores a los límites permitidos por los materiales que componen el perímetro mojado. El lugar geométrico en el que se presenta el resalto se denomina colchón hidráulico.

Diferentes investigadores han profundizado en el tema de la disipación de la energía a través de un resalto hidráulico; algunos han puesto atención a la relación entre los tirantes y condiciones de flujo antes y después del resalto, los menos han abordado los mecanismos internos que gobiernan un resalto hidráulico.

Se han investigado diferentes formas de colchones hidráulicos con el objeto de lograr una mejor disipación de energía en una menor longitud.

Un colchón hidráulico se hace necesario cuando no es posible lograr la disipación de energía deseada de manera natural, es decir cuando el tirante conjugado necesario es mayor al tirante existente aguas abajo.

En esos casos se considera la alternativa de forzar a la disipación a través de un cuenco artificial, obligando el desarrollo del resalto hidráulico en un tramo definido que sea lo más corto posible, para este propósito serán necesarias obras complementarias que permitan proteger el perímetro mojado de la zona de mayores velocidades.

Colchón hidráulico con un cuenco amortiguador

Tiene su aplicación en vertederos de excedencias, rápidas y estructuras de caída libre. Al pie de la caída se presenta el tirante mínimo h_{\min} y por lo tanto la energía específica máxima.

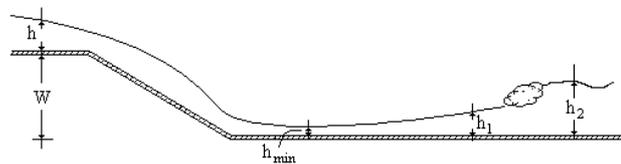


Figura 10

Resalto hidráulico para $h_{\min} < h_1$

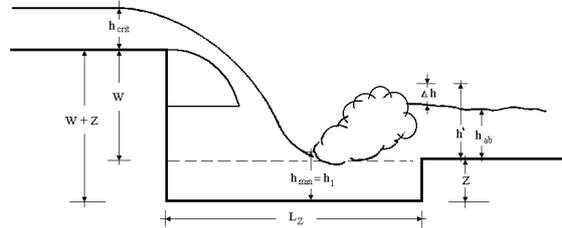
Si $h_{\min} = h_1$, para la formación del resalto hidráulico será necesario contar con un tirante conjugado h_2 , que deberá desarrollarse por efecto de las condiciones de escurrimiento existentes aguas abajo; es decir que $h_2 < h_{ab}$.

Si $h_{ab} < h_2$, el resalto hidráulico no se formará en la sección 1, sino que por efecto de su energía cinética, la zona de régimen supercrítico se desplazará hacia aguas abajo, hasta encontrar un tirante que sea próximo al tirante conjugado. Sin embargo es posible que la zona de régimen supercrítico tenga una longitud mayor a la máxima establecida por los criterios adoptados para el proyecto.

Para incrementar el tirante de aguas abajo existen varias posibilidades, a saber: profundizar la solera o construir un travesaño de fondo, incrementar la rugosidad de la solera, reducir el ancho de la sección, reducir la pendiente de la solera, etc.

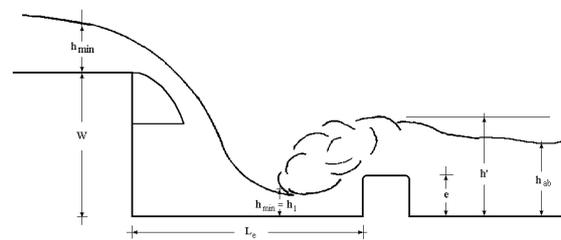
Las tres últimas posibilidades son normalmente difíciles de lograr por lo que se considerarán únicamente la primera y la segunda de las posibilidades.

La profundización de la solera en la zona del colchón hidráulico, determina el incremento de la altura de caída en la estructura y en consecuencia un menor tirante h_{min} (h_1) y un mayor tirante conjugado h_2 . **(Figura 11)**



Afortunadamente en el colchón hidráulico no solo se presenta una compensación geométrica del déficit de altura en el tirante aguas abajo, sino que la confinación del resalto hidráulico genera mayor intensidad de choques entre las partículas de agua, contra las paredes laterales del cuenco y principalmente contra la pared frontal que genera la profundización del lecho.

Dependiendo de las condiciones que presente la obra, también es posible la formación de un colchón hidráulico con la aplicación de un travesaño de fondo, cuya misión será elevar el tirante aguas abajo hasta niveles que compensen el déficit del tirante conjugado. **(Figura 12)**

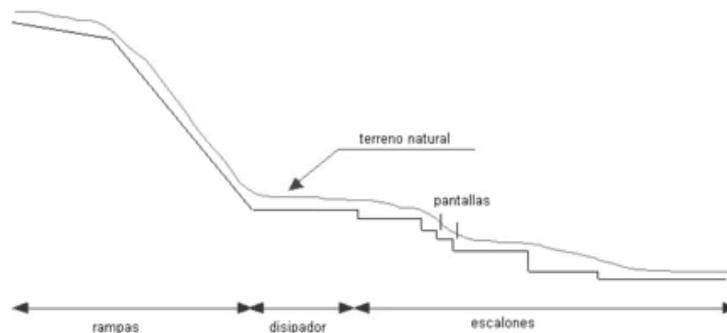


viii. Pequeñas estructuras hidráulicas

Rampas, Escalones y Disipadores de Energía

Los canales que se diseñan en tramos de pendiente fuerte resultan con velocidades de flujo muy altas que superan muchas veces las máximas admisibles para los materiales que se utilizan frecuentemente en su construcción.

Para controlar las velocidades en tramos de alta pendiente se pueden utilizar combinaciones de rampas y escalones, siguiendo las variaciones del terreno. Las rampas son canales cortos de pendiente fuerte, con velocidades altas y régimen supercrítico; los escalones se forman cuando se colocan caídas al final de tramos de baja pendiente, en régimen subcrítico.



Las rampas son apropiadas cuando la pendiente del terreno es superior al 30 %. La estructura del canal debe ser fuerte, para soportar velocidades mayores de 6 m/s. Al final de la rampa se coloca un tanque disipador de energía.

Los escalones funcionan bien cuando la relación entre el tramo horizontal y el vertical es mayor de 5 a 1. Cuando las condiciones del terreno no permiten diseñar el escalón con esta relación entonces se puede bajar la relación hasta 3 a 1, pero deberán incluirse pantallas que reciban el chorro de agua y no permitan que se dispare, como se muestra en la Figura.

(Figura 13)

Los disipadores de energía son estructuras que se diseñan para generar pérdidas hidráulicas importantes en los flujos de alta velocidad. El objetivo es reducir la velocidad y pasar el flujo de régimen supercrítico a subcrítico.

Las pérdidas de energía son ocasionadas por choque contra una pantalla vertical en Disipadores de Impacto, por caídas consecutivas en Canales Escalonados, o por la formación de un resalto hidráulico en Disipadores de Tanque.

Uno de los aspectos que generalmente merece especial atención en el diseño de obras hidráulicas de montaña es la disipación de la energía cinética que adquiere un chorro líquido por el incremento de la velocidad de flujo. Esta situación se presenta en vertederos de excedencias, estructuras de caída, desfuegos de fondo, bocatomas, salidas de alcantarillas, etc.

La disipación de la energía cinética puede lograrse aplicando diferentes medidas, a saber: generación de resalto hidráulico, impacto o incremento de la rugosidad.