

Revisión de Bases Técnicas

René van Veenhuizen,
Oficial Profesional Asociado en Suelos, FAO

INTRODUCCIÓN

En este texto se denomina captación de agua, sea de lluvia o de nieblas, a la recolección de la escorrentía superficial o de la niebla, para su utilización en la producción agropecuaria o forestal. La captación de agua puede ser considerada como una forma rudimentaria de riego. La diferencia está en que con la captación de agua de lluvia o de nieblas, el productor tiene poco o ningún control sobre la oportunidad de aplicación del agua ya que la escorrentía superficial generalmente se aprovecha cuando llueve y el aprovechamiento de las nieblas depende principalmente de las condiciones atmosféricas.

La ocurrencia y cantidad de la escorrentía superficial dependen de las características de la precipitación, clima, suelo, vegetación, pendiente y tamaño del área. La teoría general de captación de agua de lluvia/niebla es:

AGUA DE CONSUMO O DE RIEGO ADICIONAL = CAPTACIÓN DE AGUA

Captación de agua de lluvia = escorrentía inducida + precipitación recogida

$$AC = (PP * Ac * Ce) + (PP * As)$$

AC = Volumen de agua captado (litros)

PP = Precipitación (mm)

Ac = Área de captación de agua (m²)

As = Área de siembra/cosecha (m²)

Ce = Coeficiente de escorrentía

Captación de agua de niebla = niebla captada + precipitación recolectada

$$AC = R * (A * Vs * T) * V$$

AC = Volumen de agua captado (litros)

R = Eficiencia de la trampa/colector de nieblas

A = Superficie de intercepción (área de captación de nieblas)

Vs = Velocidad del viento

T = Tiempo (duración de las nieblas o de la captación)

V = Volumen de la masa del aire que pasa por el colector

Para determinar cuanto volumen de agua es necesario captar hay que evaluar el requerimiento de agua del cultivo seleccionado. A ese requerimiento se le llama también "uso consuntivo" de las plantas. El coeficiente de escorrentía depende de las características del suelo en el área de captación, el suelo más conveniente es el que facilita la escorrentía (compacto, impermeable, sin vegetación). En cambio en el área de cultivo los requerimientos de suelo (permeables, retentivos, fértiles), son diferentes. Las características del clima son importantes

para determinar tanto los requerimientos del cultivo como el volumen de agua que se puede captar.

Como se dijo anteriormente, todo sistema de captación de agua de lluvia consta de un área de captación (recolección) y de un área cultivada (de almacenamiento, de siembra, o de plantas). Para un diseño apropiado de un sistema, es recomendable determinar la relación entre el área de captación (A_c) y el área cultivada (A_s). Muchos sistemas de captación de agua de lluvia exitosos han sido establecidos sólo estimando la relación entre área de captación y área de cultivo. Este puede ser sin duda el único enfoque posible donde no se tenga información básica sobre lluvia, escorrentía superficial y requerimientos de agua por el cultivo. Sin embargo, el cálculo de la relación resultará ciertamente en un sistema más eficiente y efectivo, si se dispone de la información básica y ésta es confiable.

El cálculo de la relación A_c/A_s es principalmente útil para sistemas de captación de agua de lluvia donde se pretende el establecimiento de cultivos. Este tema se trata en las diferentes descripciones de las técnicas en este manual.

La cantidad de agua obtenida del área de captación es una función de la cantidad de escorrentía superficial producida por la lluvia en esa superficie. Esta escorrentía superficial, para un periodo de tiempo definido, se calcula multiplicando una lluvia de "diseño" por el coeficiente de escorrentía superficial. Como no toda la escorrentía superficial puede ser eficientemente utilizada (debido a filtración profunda, etc.), tiene que ser multiplicado adicionalmente por un factor de eficiencia.

La cantidad de agua requerida es obtenida multiplicando el tamaño del área cultivada por los requerimientos netos de agua por el cultivo, que representa el requerimiento total de agua (uso consuntivo), menos la supuesta lluvia de diseño.

En este capítulo se revisan las bases técnicas generales, es decir la información técnica que se necesita para determinar el potencial de la captación y para planificar las obras. Los temas que se tratan son precipitación, suelos, planta, balance hídrico, captación de las nieblas, cuenca hidrográfica y labores culturales.

PRECIPITACION (PLUVIAL)

La precipitación es uno de los factores que se debe analizar para definir si es, o no factible realizar obras de captación. Para un planificador en captación de agua de lluvia, la tarea más difícil es seleccionar el diseño apropiado de acuerdo a la lluvia. Los datos importantes se obtienen de las estaciones meteorológicas que cuenten con datos de precipitación mensual de por lo menos diez años (Anaya, 1994).

Las precipitaciones de las zonas áridas y semiáridas resultan en muchos de los casos de procesos convectivos que producen aguaceros de corta duración, intensidad relativamente alta y en una área limitada. Este, sin embargo, no es el caso de las áreas costeras del Pacífico, en Chile, Perú, Ecuador y Baja California (México), donde las precipitaciones son de tipo frontal. Pero, generalmente las precipitaciones tienen dos características que afectan adversamente la producción agrícola; la baja cantidad y el bajo nivel de confianza (incertidumbre). Además

estas características están vinculadas en las estadísticas, en el sentido que el bajo nivel de confianza aumenta cuando la cantidad de precipitación disminuye (Hudson, 1987).

Las características de la lluvia más importantes para determinar la **cantidad**, son la intensidad, la duración y la distribución de la precipitación. Para planificar obras de captación de agua de lluvia, puede utilizarse como base la precipitación anual ó mensual. Se podría mejorar la confianza de los datos calculando la probabilidad de la precipitación. Y, para comparar más exactamente con las necesidades de los cultivos, podría determinarse la porción del agua de lluvia que podría ser utilizada por las plantas calculando la precipitación efectiva.

Cantidad, intensidad y distribución

Reij et al (1988), indican que la precipitación en las zonas áridas es tan errática, que sería mejor utilizar como requisito mínimo para la captación de agua de lluvia una precipitación media anual de 100-200 mm para obras grandes y de 500-600 para obras pequeñas.

Sin embargo, más pertinentes que la suma total de la precipitación son sus características, como **frecuencia, duración e intensidad**.

La **frecuencia** de las lluvias es la periodicidad media estadística en años en que pueden presentarse eventos de características similares en intensidad y duración (Colegio de Postgraduados, 1991). Los requisitos mínimos relacionados a la frecuencia, en la planificación de la captación de agua de lluvia son muy difíciles de establecer y dependen también de otros factores.

La **duración** y la **intensidad** son importantes porque la escorrentía ocurre sólo después de exceder un cierto límite: o la intensidad de un chubasco excede la tasa de infiltración, o la intensidad y la duración de un chubasco exceden la capacidad de almacenaje de agua del suelo (véase precipitación efectiva). Este límite depende del suelo.

La **intensidad** de la lluvia se define como la relación entre la cantidad total de lluvia (lámina de agua) que cae durante un período dado y la duración del período, y se expresa en lámina de agua por unidad de tiempo, generalmente como mm por hora (mm/h). La intensidad de la precipitación generalmente se calcula para varios intervalos y diferentes períodos. Para registrar la intensidad y la duración de la lluvia se utiliza el pluviógrafo.

Los criterios más útiles para determinar la potencialidad de la captación de agua de lluvia son la frecuencia de los chubascos individuales y la probabilidad de una cierta cantidad e intensidad de lluvia (Reij et al, 1988).

Probabilidad

En la planificación y diseño de obras de captación de agua de lluvia es importante conocer la probabilidad de que ocurra una cierta cantidad de lluvia en una cierta fecha.

En climas templados, la desviación estándar de lluvia anual es del 10 al 20 por ciento; en 13 de cada 20 años las cantidades anuales están entre 75 y 125 por ciento de la media. En climas áridos y semiáridos la relación de máximas a mínimas cantidades anuales es mucho mayor y la distribución de la lluvia anual se hace creciente con un sesgo por la creciente

aridez. **Por ejemplo**, con una precipitación media anual de 200 a 300 mm, la lluvia en 19 años de cada 20 típicamente varía desde 40 a 200 por ciento de la media. Con una precipitación media anual de 100 mm/año, hay una variación de 30 a 350 por ciento de la media. En localidades más áridas no es difícil que se presenten varios años consecutivos sin lluvia.

La **lluvia de diseño** es la cantidad de lluvia estacional en la cual, o arriba de la cual, el sistema está diseñado para proveer escorrentía superficial suficiente para cubrir el requerimiento de agua de los cultivos. Si la lluvia es inferior a esta lluvia de diseño, hay un riesgo de fracaso del cultivo debido a estrés por humedad. Cuando la lluvia es superior, entonces la escorrentía superficial está en excedente y podría sobrepasar los bordos y pues resultar en un daño a las estructuras.

La lluvia de diseño se determina según una cierta probabilidad de ocurrencia. Si por ejemplo, se fuera a establecer con un 67% de probabilidad, la lluvia ocurrirá o estará excedida (como promedio), en dos de cada tres años y la lluvia captada será suficiente para satisfacer el uso consuntivo, también en dos de cada tres años. La lluvia de diseño se determina por cálculos o estimaciones.

Un diseño conservador estará basado en una probabilidad más alta (lo cual significa una lluvia de diseño baja), para hacer el sistema más "confiable". Sin embargo, el riesgo potencial sería una inundación más frecuente del sistema en años donde la lluvia ocurrida excede a la lluvia de diseño.

Un método gráfico sencillo para determinar la probabilidad o frecuencia de ocurrencia anual de lluvia estacional se describe en el Tomo I (FAO, 1996), capítulo "Análisis de la relación lluvia/escorrentía". Para el diseño de planes de captación de agua de lluvia, este método es tan válido como cualquier método analítico descrito en textos sobre estadística.

- El primer paso es determinar el total de lluvia anual que se necesita para el ciclo vegetativo en la localidad de interés. En localidades donde no existen registros de lluvia se podrán utilizar datos de estaciones cercanas. Es importante contar con registros de muchos años, porque la variabilidad de la lluvia en zonas áridas y semiáridas puede ser considerable. Un análisis de solamente 5 ó 6 años de observaciones es inadecuado ya que estos 5 ó 6 valores pueden pertenecer particularmente a un período seco o muy lluvioso y por lo tanto puede no ser representativo para el patrón de lluvias a largo plazo.
- El siguiente paso es asignar a los totales anuales $m = 1$ para el valor más alto y $m = N$ (N observaciones o años), para el valor más bajo y ordenar los datos en forma creciente. La probabilidad de ocurrencia P (%) para cada una de las observaciones ordenadas puede calcularse de acuerdo a la ecuación:

$$P(\%) = \frac{m - 0,37 \times 100}{N + 0,25}$$

Donde:

P = probabilidad en % de la observación del rango m
 m = rango de la observación

N = número total de observaciones utilizadas

- El siguiente paso es construir un gráfico con las observaciones ordenadas contra las probabilidades correspondientes. Para este propósito puede utilizarse el papel de probabilidad normal.
- Finalmente, se adapta una curva de modo tal que la distancia de observaciones por arriba o por debajo de la curva estén tan cerca de la curva como sea posible. Esta curva puede ser una línea recta. De esta curva es posible obtener la probabilidad de ocurrencia o excedencia de un valor de lluvia de una magnitud específica. Inversamente, es también posible obtener la magnitud de la lluvia que corresponde a una probabilidad dada.
- El período de retorno T (en años), puede calcularse fácilmente una vez que la probabilidad de excedencia P (%) sea conocida, utilizando siguiente relación:

$$T = \frac{100(\text{años})}{P}$$

Precipitación efectiva

No toda el agua de lluvia que cae sobre la superficie del suelo puede realmente ser utilizada por las plantas. Parte del agua de lluvia se infiltra a través de la superficie y parte fluye sobre el suelo en forma de escorrentía superficial. Cuando la lluvia cesa, parte del agua que se encuentra en la superficie del suelo se evapora directamente a la atmósfera, mientras que el resto se infiltra lentamente en el interior del suelo. Del total del agua que se infiltra, parte percola por debajo de la zona de raíces, mientras que el resto permanece almacenada en dicha zona y podría ser utilizada por las plantas.

El agua de lluvia evaporada, la de percolación profunda y la de escorrentía superficial no pueden ser utilizadas por el cultivo, o sea no son efectivas. A la porción restante, almacenada en la zona de raíces se le denomina precipitación efectiva.

En otras palabras, el término "precipitación efectiva" es utilizado para definir esa fracción de la lluvia que estará realmente disponible para satisfacer al menos parte de las necesidades de agua de las plantas. Este parámetro puede determinarse por experimentos o se estima por medio de ecuaciones empíricas (FAO, 1993), que para áreas con pendientes inferiores al 4-5% se tiene:

$$\begin{aligned} Pe &= 0.8 \times PP - 25 \quad \text{si } PP > 75 \text{ mm/mes} \\ Pe &= 0.6 \times PP - 10 \quad \text{si } PP < 75 \text{ mm/mes} \end{aligned}$$

SUELOS

La diversidad de suelos en las zonas áridas y semiáridas es muy grande. Las propiedades físicas del suelo afectan la escorrentía del agua. Idealmente el suelo en el área de captación debería tener un coeficiente de escorrentía superficial alto, mientras el suelo en el área cultivada debería ser profundo, fértil y suficientemente permeable. Donde las condiciones para las áreas de captación y de cultivo se contraponen, los requerimientos del área cultivada deberán tener prioridad.

A continuación se resume los aspectos importantes del suelo que afectan el desarrollo de la planta bajo sistemas de captación de agua de lluvia.

*La **textura** de un suelo se refiere a su composición en tamaños de las partículas minerales que lo componen, lo que tiene influencia sobre diversas características importantes, incluyendo la velocidad de infiltración y la capacidad de retención de agua disponible.*

*La **estructura** del suelo se refiere a la forma y consistencia del agrupamiento de las partículas de suelo en agregados y al arreglo de estos agregados.*

*Junto con la estructura, la **profundidad** del suelo es particularmente importante para el sistema de captación de agua de lluvia. Los suelos profundos tienen la capacidad de almacenar más escorrentía superficial captada, mientras que los suelos con menos de un metro de profundidad son poco apropiados para la captación de agua de lluvia.*

*En muchas de las áreas donde los sistemas de captación de agua de lluvia pueden ser introducidos, la baja **fertilidad** del suelo puede ser una restricción igual ó más importante como la carencia de humedad para el crecimiento de la planta. Por lo tanto es indispensable prestar también atención al mantenimiento del nivel de fertilidad.*

*Los suelos con problemas de **salinidad** o **sodicidad** pueden reducir la disponibilidad de humedad directamente, o indirectamente, así como ejercer una influencia dañina sobre el crecimiento de la planta.*

*Una tasa de **infiltración** muy baja puede ser perniciosa debido a la posibilidad de inundación en el área cultivada. Por otra parte, una tasa de infiltración baja conduce a mucha escorrentía superficial en el área de captación. La formación de costras es un problema especial en zonas áridas y semiáridas, ya que provocan altas escorrentías superficiales y bajas tasas de infiltración. Considerando que los suelos del área de cultivo deberían ser suficientemente permeables para permitir una humedad adecuada en la zona de las raíces, los requerimientos en el área cultivada deberán tener siempre prioridad.*

*La capacidad del suelo para formar bordos de tierra **resistentes** como un componente del sistema de captación de agua de lluvia, es muy importante.*

*La capacidad de los suelos para mantener y liberar niveles adecuados de humedad a las plantas, es vital para la captación de agua de lluvia. La **capacidad de agua disponible** es una medida de este parámetro, y está expresado como la lámina de agua en mm fácilmente disponible para las plantas después de que un suelo ha sido humedecido a "capacidad de campo". La capacidad de agua disponible también tiene consecuencias para el diseño técnico de cálculo.*

Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP)

El agua es retenida por el suelo de dos maneras: una por adsorción de la arcilla o de la materia orgánica (humedad adherida) y otra la que rellena los poros entre las partículas sólidas (humedad libre). Aquella humedad adherida no está disponible para las plantas porque se necesita una energía de succión muy alta para extraerla. La humedad libre se determina en el laboratorio y se expresa como el porcentaje por peso de suelo secado al horno, llamado porcentaje de saturación. Para determinar el **porcentaje de humedad por volumen** de suelo se necesita la **densidad aparente** del suelo:

porcentaje de humedad por volumen del suelo = porcentaje de humedad por peso * densidad aparente

Para propósitos agrícolas el porcentaje de humedad por volumen está expresado como profundidad de humedad en mm:

1 % (vol.) de humedad = 1 mm de agua dentro de una capa de suelo de 10 cm

Toda el agua dentro los poros del suelo está sometida/expuesta a fuerzas capilares que causan una succión negativa, o tensión de la humedad del suelo, expresada como la altura de una columna de agua h en cm, o como el logaritmo negativo de la tensión de humedad del suelo, **pF**. Cada tipo de suelo puede ser caracterizado por su **curva de pF**, mostrando la relación entre los valores de pF y el contenido de humedad. Los valores pF más importantes son:

- pF=0: **Punto de Saturación (PS)**, en que todo el espacio de los poros está lleno con agua
- pF=2: **Capacidad del Campo (CC)**, la tensión de la humedad del suelo después de 1 a 1,5 días de drenaje libre de un suelo saturado (generalmente utilizan valores de CC de 2,1; 2,2 ó 2,3 de pF)
- pF=4.2: **Punto de Marchitez Permanente (PMP)**, a partir del cual la fuerza de succión de las plantas no puede vencer la fuerza con que es retenida el agua en el suelo, y por lo tanto se marchitan.

Algunos valores útiles de los parámetros CC, PMP y Densidad aparente (D_a) en la planificación de los sistemas de captación *in situ* son (Anaya, 1994):

	Textura Gruesa	Textura Media	Textura Fina
D_a	1,6	1,3	1,1
CC	12%	25%	47%
PMP	5%	12%	25%

La humedad disponible para las plantas es igual a la diferencia entre el contenido de la humedad a Capacidad del Campo y el contenido de la humedad a Punto de Marchitez Permanente, y se expresa como el porcentaje en volumen (% V), o como profundidad de la humedad (mm por dm de suelo).

Lámina de agua aprovechable

La ecuación para obtener los valores de lámina de agua aprovechable es (Anaya, 1994):

$$L = (CC - PMP) * D_A * Prof / 100$$

Donde:

- L = Lámina de agua aprovechable almacenada (cm)
 CC = Contenido de humedad a capacidad de campo (%)
 PMP = Contenido de humedad a punto de marchitez permanente (%)
 Da = Densidad aparente del suelo (g/cm^3)
 Prof. = Profundidad del suelo (cm)

(1mm de lámina de agua = 1 litro/m² = 10 m³/ha)

Relieve

La pendiente media del área de captación se obtiene por medio de la siguiente relación:

$$S = H / L$$

Donde:

- S = Pendiente media de la cuenca/área de captación (%)
 H = Diferencia de nivel entre el lugar donde se construye la obra y el sitio más alejado del área de captación
 L = Distancia entre estos dos puntos

Coefficiente de escorrentía

Es la proporción de lluvia que fluye superficialmente sobre el terreno como escorrentía. Depende entre otros factores, de la pendiente, del tipo de suelo, de la cubierta vegetal, de la humedad del suelo previa a la lluvia, así como de la intensidad y duración de la lluvia.

Debería también considerarse que las condiciones físicas de un área de captación no son homogéneas. Hasta en el nivel micro hay gran variedad de diferentes pendientes, tipos de suelo, cubiertas de vegetación, etc. Cada área de captación tiene por lo tanto su propia respuesta de escorrentía superficial y responderá de distinto modo a diferentes eventos de precipitación.

El diseño de sistemas de captación de agua de lluvia requiere del conocimiento de la cantidad de escorrentía superficial que será producida por un aguacero en un área de captación dada. Se supone comúnmente que la cantidad (volumen) de la escorrentía superficial es una proporción (porcentaje) de la lámina de agua de lluvia.

$$\text{Escorrentía superficial (mm)} = K \times \text{lámina de agua de lluvia (mm)}$$

En captaciones rurales donde ninguna o solamente partes pequeñas del área son impermeables, el **coeficiente K**, que describe el porcentaje de la escorrentía superficial resultante de una lluvia, no es un factor constante. Su valor es altamente variable y depende de

los factores específicos del área de captación descritos anteriormente y de las características de la lluvia.

En el Tomo I se describe como determinar el Coeficiente de Escorrentía con datos meteorológicos, como intensidad de la lluvia, duración de los eventos y condiciones de humedad del suelo. En general, el **coeficiente de escorrentía superficial** está definido como la escorrentía superficial total observada en un año (o estación), dividida por la lluvia total caída en el mismo año (o estación).

$$K = \text{escorrentía superficial total (mm)} / \text{lluvia total (mm)}.$$

Cuando se analiza la información medida, es posible notar que una cierta cantidad de lluvia es requerida siempre antes de que ocurra cualquier escorrentía superficial. Esta cantidad, que generalmente se refiere a una lluvia umbral, representa la interceptación debido a pérdidas iniciales y almacenamiento en depresiones, así como para cubrir las pérdidas por la alta infiltración inicial.

La lluvia umbral depende de las características físicas del área y varía de una cuenca de captación a otra. En áreas con poca vegetación y donde el terreno es muy regular, la lluvia umbral puede encontrarse solamente en el rango de 3 mm, mientras en otras cuencas este valor puede exceder fácilmente los 12 mm, particularmente donde los suelos dominantes tienen una alta capacidad de infiltración. El hecho de que la lluvia umbral tenga primero que ser sobrepasada explica por qué no toda tormenta produce escorrentía superficial. Es importante conocer cuando evaluar el coeficiente de escorrentía anual de un área de captación.

Otra manera de determinar la escorrentía es por medio de lotes o parcelas de escorrentía superficial. Estos lotes son utilizados para medir la escorrentía superficial bajo condiciones controladas. Las parcelas deben ser establecidas directamente en el área o cuenca para la cual se requiere el coeficiente. Sus características físicas, como tipo de suelo, pendiente y vegetación tienen que ser representativas de los sitios donde los planes de captación de agua de lluvia serán llevados a cabo.

El coeficiente varía generalmente entre **0,1 y 0,5**. Cuando no se dispone de información, el coeficiente puede ser estimado en base a la experiencia. Sin embargo, este método debe ser evitado siempre que sea posible por los riesgos que implica.

Factor de Eficiencia

Este factor tiene en cuenta la ineficiencia de la distribución desigual del agua dentro del campo, así como las pérdidas por evaporación y percolación profunda. Donde el área de cultivo es nivelada y suavizada, la eficiencia es más alta. Los sistemas de microcaptación tienen eficiencias más altas cuando el agua es generalmente almacenada a menos profundidad. La selección del factor de eficiencia se deja a criterio del diseñador basándose en su experiencia y en la técnica seleccionada. Normalmente los rangos del factor están entre **0,5 y 0,75**.

PLANTA

Para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia, es necesario evaluar el requerimiento de agua por el cultivo seleccionado. El consumo de agua por un cultivo (ETc o Uso Consuntivo) se definen como la cantidad de agua necesaria para reponer las pérdidas de agua producidas en el proceso de evapotranspiración. Siempre se refieren a las necesidades de un cultivo que crece en condiciones óptimas.

Las necesidades de agua de los cultivos dependen principalmente del:

- **clima** (como principales factores: luz solar, temperatura, humedad y velocidad del viento);
- **tipo de cultivo; y,**
- **estado de desarrollo**

La influencia del clima sobre las necesidades hídricas de los cultivos se refleja en la evapotranspiración (ET), que se compone de dos sumandos, evaporación (desde la superficie del suelo) más transpiración (de las plantas). La evapotranspiración se expresa usualmente en mm, sea por día, mes, ciclo o estación.

Se han desarrollado diversos métodos para determinar el uso consuntivo de plantas específicas. Unas excelentes guía para estos cálculos por diferentes métodos es el Estudio de Riego y Drenaje No. 24 "Necesidades de Agua de los Cultivos" (FAO, 1977), y el manual "Necesidades de Agua de los Cultivos. Manual de Campo No. 3. (FAO, 1986). Sin embargo, debe observarse que las fórmulas para dar buenos resultados requieren de datos y que en muchos de los lugares donde se practica la captación de agua de lluvia no están disponibles.

Uso Consuntivo

El cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos (**Uso Consuntivo**), es relativamente simple. La ecuación básica para el cálculo es la siguiente:

$$ET \text{ cultivo} = Kc \times ET_o$$

Donde:

- ET cultivo = Es el (Uso Consuntivo), requerimiento de agua de un cultivo dado en mm por unidad de tiempo (mm/día, mm/mes o mm/estación).
- Kc = Factor del cultivo, depende de la especie o variedad cultivada y de la etapa de crecimiento de la planta
- ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia en mm por unidad de tiempo
(Ver Tomo I: FAO,1996)

La evapotranspiración del cultivo de referencia ET_o (llamada a veces evapotranspiración potencial, ETP) está definida como la tasa de evapotranspiración de una gran área cubierta de pasto que crece activamente, cubre completamente el suelo y no sufre de deficiencia de agua. La tasa de agua evapotranspirada depende del clima. El valor más alto de ET_o se encuentra en

áreas calurosas, secas, ventosas y soleadas; mientras que los valores más bajos son observados en áreas frías, húmedas y nubladas o sin viento.

En muchos casos es posible obtener estimaciones de ET_0 para el área de interés, desde áreas cercanas con condiciones climáticas similares; sin embargo, donde esto no es posible, los valores para ET_0 tienen que calcularse.

En el **cuadro 1** se encuentran valores aproximados para ET_0 , que pueden ser utilizados en ausencia de datos medidos o calculados.

El **cuadro 2** contiene factores de cultivo **Kc** para las especies comúnmente cultivadas bajo sistemas de captación de agua de lluvia.

Cuadro 1. Valores aproximados de necesidades de agua de cultivos estacionales

Cultivo	Necesidad de agua de los cultivos (mm/total período vegetativo)
Frijol	300 - 500
Cítricos	900 - 1200
Algodón	700 - 1300
Cacahuete (maní)	500 - 700
Maíz	500 - 800
Sorgo/mijo	450 - 650
Soya	450 - 700
Girasol	600 - 1000

Cuadro 2. Factores de cultivo (Kc)

Cultivo	Etapa Inicial		Etapa de crecimiento del cultivo		Pleno desarrollo del cultivo		Etapa de madurez		Promedio del cultivo
	Kc	días	Kc	Días	Kc	días	Kc	días	
Algodón	0,45	(30)	0,75	(50)	1,15	(55)	0,75	(45)	0,82
Maíz	0,40	(20)	0,80	(35)	1,15	(40)	0,70	(30)	0,82
Mijo	0,35	(15)	0,70	(25)	1,10	(40)	0,65	(25)	0,79
Sorgo	0,35	(20)	0,75	(30)	1,10	(40)	0,65	(30)	0,78
Granos pequeños	0,35	(20)	0,75	(30)	1,10	(60)	0,65	(40)	0,78
Leguminosas	0,45	(15)	0,75	(25)	1,10	(35)	0,50	(15)	0,79
Maní	0,45	(25)	0,75	(35)	1,05	(45)	0,70	(25)	0,79

BALANCE HIDRICO

Una vez obtenido los datos de precipitación y consumo de agua por los cultivos considerados, el siguiente paso es determinar si hay necesidades de agua de riego, o sea si son necesarias las obras de captación de agua de lluvia, para lo cual se debe analizar las deficiencias o excesos de agua, por medio del **balance hídrico**. La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca (o cualquier masa de agua) indica los valores relativos de entrada y salida, flujo y variación del volumen de agua.

En general, las entradas en la ecuación del balance hídrico comprenden la precipitación (lluvia o nieve) realmente recibida en la superficie del suelo (**P**), y las aguas superficiales y subsuperficiales recibidas dentro de la cuenca (**Q**). Las salidas en la ecuación incluyen la evaporación y transpiración (**ET**) y la salida de las aguas superficiales, o sea la escorrentía (**ES**), y las aguas subterráneas (**ST**).

$$P + Q = ET + ES + ST$$

Para su aplicación en ciertos cálculos, la ecuación del balance hídrico podrá simplificarse o hacerse más compleja, dependiendo de los datos disponibles, del objetivo del cálculo, y las dimensiones de la masa de agua (por ejemplo diferentes cálculos para microcaptación, captación externa ó inundaciones). La ecuación simplificada del balance hídrico es:

$$P = ET + ES$$

Los componentes de la ecuación del balance hídrico se pueden expresar como una altura media de agua sobre la cuenca (mm), como un volumen (m³), o en forma de caudal (m³/s):

$$V(m^3) = 1/1000 \times A(m^2) \times ES(mm)$$

Necesidad de Agua de Riego

Las necesidades de agua adicional, por ejemplo la que se necesita obtener por captación de lluvia, pueden resultar de la diferencia entre las demandas de agua del cultivo (uso consuntivo) por mes durante el ciclo de desarrollo y la parte o porción de agua de lluvia caída en esos meses.

Normalmente se utiliza la probabilidad de lluvia al 50%, o la precipitación efectiva (Pe), de forma que se pueda analizar las deficiencias o excesos de agua (Anaya et al, 1994).



$$NA = ETc + SAT + PERC + LA - Pe$$

Donde:

NA	=	Necesidades de agua de riego
ETc	=	Evapotranspiración del cultivo
SAT	=	Cantidad de agua necesaria para saturar el suelo
PERC	=	Pérdidas por percolación y filtraciones
LA	=	Agua para establecer la lámina de agua superficial
Pe	=	Precipitación efectiva

La ecuación simplificada, donde UC es Uso Consuntivo, es:

$$NA = UC - Pe$$

En que básicamente existen tres situaciones:

UC = Pe	NA = 0	Situación actual, el agua de lluvia es suficiente
UC > Pe	NA = ETc - Pe	Se necesita contribución del riego. Si no llueve en absoluto NA = ETc
UC < Pe	NA = 0	Hay exceso agua de lluvia, drenaje es necesario.

No obstante, debe tenerse en cuenta que los cálculos están siempre basados en parámetros con alta variabilidad. La lluvia y la escorrentía superficial son característicamente erráticas en regiones donde se practica la captación de agua de lluvia. Por lo tanto, a veces es necesario modificar un diseño original a la luz de la experiencia y frecuentemente será útil incorporar medidas de seguridad.

Los datos del balance hídrico se utilizan para determinar si es necesario captar agua de lluvia (o regar) y para calcular la suma total del agua que necesitan las plantas. También se puede calcular para cada mes (o para cualquier período durante el crecimiento de las plantas) las necesidades de agua de los cultivos, para determinar si se debería regar. Con la suma de estas necesidades se obtiene datos para calcular la cantidad total a captar.

LA CUENCA HIDROGRÁFICA

En los cálculos para las áreas más grandes de captación de agua de lluvia, además de los datos de la precipitación y del requerimiento de agua de las plantas, es necesario tener datos sobre las variaciones del volumen de agua almacenada en la cuenca.

Como se ha discutido en el párrafo anterior, el balance hídrico es muy útil para determinar el agua disponible. La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca indica los valores relativos de entrada y salida del agua, o sea:

$$\text{flujo de entrada} = \text{flujo de salida} \pm \text{cambio en el almacenaje del perfil.}$$

Este balance se puede aplicar a diferentes partes del ciclo hidrológico.

Agua Subterránea	<i>entrada</i>	Percolación profunda e infiltración
	<i>salida</i>	Flujo subterráneo, ascenso "capilar" y evapotranspiración
	<i>diferencia</i>	Cambio en el almacenamiento
Una Cuenca	<i>entrada</i>	Precipitación
	<i>salida</i>	Evapotranspiración y escorrentía total
	<i>diferencia</i>	Almacenamiento en micro-depresiones, agua subterránea, canales, etc.

El agua almacenada en las cuencas hidrográficas comprende:

- Agua superficial almacenada sobre la superficie de la cuenca.
- Agua subsuperficial almacenada en el suelo, en la zona no saturada.
- Agua subterránea.

En las zonas áridas la acumulación más importante de agua tiene lugar durante la estación de lluvias. La captación del agua superficial y subsuperficial ocurre principalmente durante esta estación; mientras la captación del agua subterránea puede ocurrir en la estación después de la lluvia (ver artículo de Néstor Cabas, en Captación Externa de éste Manual).

La precipitación efectiva (P_e), fluye por diferentes caminos hacia la red de drenaje y se evalúa en algún sitio de interés del cauce (donde se planifica poner la obra de captación) como **escorrentía, escurrimiento o caudal**. El caudal se define como el volumen de agua que atraviesa la sección del cauce en una cantidad de tiempo y se expresa en m^3/s o l/s .

Los componentes del caudal son de los siguientes tipos:

- **Escorrentía superficial** (flujo superficial)
- **Escorrentía subsuperficial** (interflujo)
- **Escorrentía subterránea** (flujo base)
- **Precipitación que cae sobre el cauce** (sin contactar ni entrar en el suelo)

El registro de la escorrentía se hace en términos del caudal medio diario, obtenido ordinariamente mediante la medición de niveles de agua dos o tres veces al día y transformados a caudales mediante una curva de descarga. Muchas estaciones están equipadas con instrumentos (limnógrafos) para proporcionar información sobre los eventos extremos y los caudales máximos y mínimos.

El hidrograma es la representación gráfica de alguna característica de la escorrentía o caudal a lo largo del tiempo en una estación específica.

Para determinar si es factible planificar captación de agua de lluvia, se requiere conocer el **caudal mínimo** dentro de una cierta posibilidad, mientras en el diseño de obras hidráulicas pequeñas, como de la captación de agua de lluvia, normalmente sólo se requiere del

conocimiento del **caudal máximo** para un determinado período de retorno. Además, es importante conocer el **caudal en estiaje** (en la época seca), que es cuando más se necesita el agua.

El método racional de estimado de la escorrentía es el que se utiliza para determinar el caudal de diseño de pequeñas obras en cuencas de hasta 500 hectáreas, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Q = 0,278 * C * I * A$$

Donde:

- Q = Caudal de diseño (m³/s)
- C = Coeficiente de escorrentía
- I = Intensidad de la precipitación (mm/h)
- A = Area de la cuenca de captación (Km²)

El análisis de **frecuencia** es un método analítico para determinar el caudal de diseño para períodos de retorno deseados. Las curvas de frecuencia son una expresión de los datos hidrológicos sobre una base probabilística, ya que sirven para estimar la frecuencia con que una variable de cierta magnitud es igualada o excedida. Estas curvas pueden ser desarrolladas para cualquier variable hidrológica.

El término **aguas subterráneas** se refiere en general a la ocurrencia del agua por debajo de la superficie del suelo. Sin embargo, comúnmente se relaciona sólo con la que se encuentra en la zona saturada de agua. El límite de separación entre la zona de aireación y la de saturación se conoce como **nivel freático**, donde el agua se mantiene a presión atmosférica (agua libre). Un **acuífero** se define como un estrato del subsuelo que contiene y conduce agua.

INFORMACION PARA LA CAPTACION DEL AGUA DE NIEBLA

En las zonas donde la lluvia es muy escasa, la captación y almacenamiento de la precipitación no es factible. Aparte de las fuentes de agua en las zonas áridas y semiáridas tales como ríos, lagos o la lluvia, existe un gran depósito natural de agua bajo la forma de vapor de agua, sea vapor de la atmósfera, de la evaporación desde el suelo o transpiración de las plantas, o más frecuentemente: rocío y niebla. La diferencia con aquellas fuentes de agua, es que esta forma de agua es difícil de captar, es decir relativamente sólo un pequeño porcentaje de rocío o niebla puede ser captado, pero puede significar un aporte suficiente como para considerarlo. En algunos lugares la combinación de condiciones meteorológicas y la topografía crean la existencia de nieblas persistentes. En estas zonas, se podría captar agua de nieblas.

Una definición de niebla o neblina es: "una nube baja que cubre o envuelve al observador y es lo suficientemente densa para reducir la visibilidad horizontal a menos de 1 km. Si la visibilidad es mayor que 1 km, pero menos de 10 km estamos ante una neblina, (Cardich, 1991)".

La diferencia entre la lluvia y la niebla es el diámetro de las gotas y la velocidad de caída subsiguiente. Generalmente la niebla es el resultado de un enfriamiento del aire húmedo al contacto con la superficie terrestre. El fenómeno de las nieblas como recurso hídrico se presenta especialmente en zonas áridas cercanas a océanos, tal como Baja California en México, en el Norte de Chile, y en el centro y sur del Perú. En el capítulo Captación Externa, se describe una técnica para captar agua de niebla en Chile.

En la práctica cualquier objeto o superficie que entre en contacto oponiéndose a la dirección del viento que arrastra la niebla es un captador. La forma de captación más eficaz es aquella que de manera natural proporciona un bosque y también los arbustos densos y la vegetación herbácea en orden decreciente. La captación artificial se está llevando a cabo mediante diferentes artefactos con resultados diversos.

Intervienen en el proceso de la captación de agua de niebla factores topográficos, meteorológicos y estacionales.

Topografía del sector

En primer lugar, para elegir lugares apropiados para captar agua de nieblas, se necesita de montañas con altitud suficiente para interceptar las nubes. Es importante elegir la altura del lugar que conviene para captar las nubes con la cantidad más alta de agua. Schemenauer y Cereceda (1994), mencionan una altura deseada como dos tercios de la densidad de la nube desde su base.

Cuando se trata de montañas de la costa, es importante que el eje longitudinal de la sierra sea aproximadamente perpendicular a la dirección de los vientos dominantes que traen las nubes desde el mar. En este caso la distancia a la costa debería ser lo más próxima posible, idealmente menos de 5 km, pero hay ejemplos de captación de hasta 25 km al interior. En otros lugares, con ocurrencia de nieblas frecuentes no se toma en cuenta la distancia al mar.

Es importante considerar que no haya obstáculos grandes para el viento en el sitio elegido y que haya suficiente espacio para las obras de captación. Hay que considerar también la pendiente y microtopografía. En general son ideales pendientes suaves para el viento y la posición de las obras en las cimas de las lomas u ondulaciones del terreno.

Frecuencia, intensidad y dirección de los vientos

El viento es un factor importante en la determinación y planificación de obras para abastecimiento de agua de niebla. Schemenauer y Cereceda (1994), también recomiendan adaptaciones en las obras de captación de agua de lluvia considerando el efecto del viento.

El potencial de la captación de agua de niebla está influido por la dirección y fuerza de los vientos predominantes.

El viento resulta del movimiento causado por diferencias en la presión atmosférica de las masas de aire. Es influenciado por el contacto con la superficie de la tierra, produciendo un movimiento desordenado. Este movimiento de aire aumenta el transporte de la materia, calor y

agua. La información sobre el viento se utiliza para calcular la tasa de evaporación y evapotranspiración potencial.

La **dirección** del viento es importante para optimizar la orientación (en grados) y ubicación de las obras de captación. La dirección media mensual del viento se mide durante los meses importantes, o sea cuando llueve o cuando hay nieblas importantes. En general vientos persistentes en una dirección son ideales para captar agua de niebla. Por ejemplo la circulación cerca de áreas con alta presión en la parte oriental del pacífico produce vientos con dirección sur oeste y vientos con dirección sur hasta Perú (Schemenauer y Cereceda, 1994).

La frecuencia y velocidad de los vientos son importantes para evaluar la potencialidad de la captación de agua de niebla. La **velocidad** del viento influye sobre el volumen del aire (que contiene agua en forma de niebla) que pasa el colector o trampa. La **velocidad** del viento influye entonces en el volumen del agua de lluvia para captar, mientras más fuerte es el viento, el ángulo de caída de las gotas es más horizontal, y demanda entonces adaptaciones en la posición vertical del colector. La **dirección** del viento determina la ubicación de las obras.

La **velocidad** del viento está influenciada por las irregularidades de la superficie de la tierra. El movimiento desordenado resultante implica que la determinación de la velocidad y la dirección media del viento es difícil porque ocurren cambios rápidos. La velocidad del viento aumenta con la altitud. Para medir la velocidad del viento se utiliza el anemómetro que calcula la velocidad media del viento en metros por segundo.

Las gotas de lluvia y de llovizna tienen un diámetro de aproximadamente 5 mm a 40 micrones y velocidades de caída de 9 a 2 m/s, mientras las gotas de la niebla tienen un diámetro de menos de 40 micrones y velocidades de caída inferiores a 5 m/s (principalmente menores de 1 m/s). El viento entonces influye en el ángulo de caída, tanto para la lluvia como para la niebla, pero la velocidad de caída de las gotas de la niebla es tan pequeña que el movimiento de estas gotas es casi horizontal. Esto implica que el colector tiene que ser vertical.

Las mediciones meteorológicas relevantes son **temperatura, humedad relativa, radiación solar, presión;** y especialmente **velocidad y dirección del viento**. Para evaluar la potencialidad de la captación de agua de niebla, es recomendable medir la velocidad y dirección del viento cada 5 ó 15 segundos, para calcular promedios diarios y después visualizar la distribución de frecuencias, velocidad y dirección del viento.

Para determinar la **duración** del viento, se puede observar la velocidad del mismo cada hora durante varios días.

Determinación del potencial hídrico

Con las mediciones meteorológicas mencionadas anteriormente, podría evaluarse los volúmenes de agua de niebla que pueden ser colectados. Estos volúmenes dependen de la superficie del colector, la eficiencia de la captación del colector o trampa y la velocidad del viento.

No obstante, Gischler (1991) encontró que las variables más importantes son la duración de las nieblas y la temperatura durante la intercepción. La velocidad del viento, la visibilidad

(como indicador de la densidad de la nube) y la humedad relativa no fueron significativas. Este autor comentó que probablemente la velocidad del viento en su caso no fue importante porque en la investigación estadística la cantidad de agua en la nube y el tamaño de las gotas fueron más importantes.

Para evaluar la captación potencial de agua de niebla, Schemenauer y Cereceda (1994) recomiendan un colector estandar, de 1 x 1 m, midiendo así litros de agua por metro cuadrado por hora, por día, u otro período.

LABORES CULTURALES

Idealmente el área de captación debería tener una escorrentía superficial alta, mientras en el área cultivada las condiciones deberían ser favorables para la infiltración y el aprovechamiento del agua. Entonces, las labores para aumentar la escorrentía superficial incluyen despejar la vegetación o aplicar materiales impermeabilizantes (artificiales) para las áreas de escorrentía.

Las labores culturales a que se hace referencia son los aspectos agronómicos, o sea los tratamientos para mejorar el almacenamiento del agua en el suelo y el aumento de la producción de las plantas. Estas labores pueden ser comparadas, hasta cierto punto, con las prácticas conservacionistas del suelo, tales como labranza, mulching y barbecho.

Labranza

Los sistemas de labranza tienen como objetivos fundamentales: **preparar la cama** para las semillas y las raíces, **controlar las malezas**, establecer condiciones superficiales en el suelo que favorezcan la **infiltración** y **controlar la erosión**.

Es importante aplicar las labores culturales en el momento oportuno. Respecto a la aplicación del agua, los períodos en los que la humedad extra puede ocasionar una diferencia significativa son:

- ⊗ Sembrando cuando la germinación y el establecimiento puede mejorarse;
- ⊗ A mediados de la estación seca, cuando el cultivo puede sostenerse hasta las siguientes lluvias;
- ⊗ Mientras los cultivos están en las etapas vitales de floración y llenado del grano.

La forma más práctica de proteger el suelo de la erosión (y aumentar la infiltración), es manteniendo una cobertura vegetal densa en forma permanente. En una labranza de conservación se aplica **mulch residual** y/o se incrementa la **rugosidad de la superficie**. Un aumento en la rugosidad se logra mediante labranza en fajas, sistemas de labranza en surcos y métodos de labranza que ocasionan la inversión del perfil del suelo. En el capítulo sobre Microcaptación se trata más sobre este tema.

Mulching

El “mulching” se utiliza mucho conjuntamente con técnicas de labranza mínima y de cero labranza. Consiste en una cobertura de desechos orgánicos, que forma una cubierta protectora, facilitando la infiltración y reduciendo la velocidad de escorrentía. La dificultad que puede presentarse es la falta de disponibilidad de residuos de plantas.

Barbecho

El barbecho (tierra que no se siembra durante uno o más años), es empleado en algunas zonas para aumentar la cantidad del agua en el suelo antes de sembrar. El efecto positivo depende de las precipitaciones durante el período del barbecho y del crecimiento de las plantas (Hudson, 1987). También tiene un cierto riesgo de desarrollo de malezas y de erosión.

Incorporación de materia orgánica

Es importante mantener un nivel suficiente de materia orgánica en el suelo para una mayor infiltración y almacenamiento de agua en el mismo, así como para el aumento de la fertilidad.

La fertilidad de los suelos en áreas secas es generalmente el segundo factor más limitante de la producción después del estrés de humedad. La mejora en el suministro de agua disponible con captación de agua de lluvia puede conducir al agotamiento de nutrientes del suelo. Por lo tanto, es muy importante mantener el nivel de materia orgánica añadiendo estiércol o abono animal al suelo. Los fertilizantes inorgánicos son rara vez económicos para la producción de cultivos bajo captación de agua de lluvia.

Algunos sistemas de captación de agua de lluvia también extraen, con el agua, materia orgánica del área de captación y por lo tanto “incrementan” la fertilidad del área cultivada.

Control de malezas

La maleza es un problema donde se utiliza la captación de agua de lluvia, debido a las condiciones de crecimiento favorable donde se concentra el agua. Las malezas se presentan especialmente al comienzo de la estación y por lo tanto el deshierbe temprano es muy adecuado. Las malezas compiten con los cultivos por el agua.

Las malezas se presentan también cuando se utiliza “mulching”, cero labranza y labranza mínima.

AGRICULTURA DE LADERAS A TRAVÉS DE ANDENES, PERÚ

*Javier Blossiers Pinedo, Ing. Agr. Sistemas de Riego no Convencional;
Carmen Deza Pineda, Ing. Forestal, Ecología Botánica;
Bárbara León Huaco, Ing. Industrial, Tecnologías Apropriadas al Ambito Rural;
Ricardo Samané Mera, Ing. Agr., Conservación de Suelos y Aguas..
TECNIDES.*

Antecedentes históricos

La agricultura en los sistemas de terrazas o andenes, es una tecnología agrícola ancestral que se ha desarrollado en muchos lugares del mundo como respuesta económica, social y técnica a un medio adverso, encontrándose particularidades de acuerdo al lugar y al nivel de desarrollo de las culturas (**figura 60**).

En el Perú existe una superficie aproximada de un millón de hectáreas de andenes (Masson 1984), de los cuales aproximadamente el 10% está en uso permanente, 20% en uso temporal o estacionario y el 70% abandonado o destruido, representando el 4,0, 8,0 y 28,1% respectivamente del área agrícola total cultivada en el Perú (2 490 000 has). En la **figura 61** y **cuadro 23**, se presentan los resultados de la evaluación del estado de conservación de los andenes en 10 Departamentos.

En el Perú, el andén es una práctica conservacionista que los antiguos pobladores dominaron ampliamente llegando a construir verdaderos complejos agrícolas de alta técnica hidráulica, utilizando para los muros piedras y para el relleno de la plataforma material acarreado y seleccionado (grava, suelo y materia orgánica). Con los andenes se logra utilizar racionalmente las laderas, minimizar el riesgo de heladas, lograr una mayor exposición al sol, controlar la escorrentía del agua, incrementar la infiltración, mantener un buen drenaje y mejor aireación del suelo agrícola.

En la actualidad es una práctica en desuso, salvo en ciertos lugares (mayormente en las partes bajas de las laderas) donde aún se conservan andenes bajo cultivo permanente o temporales. Lamentablemente la mayor parte de andenes que todavía pueden usarse están descuidados, abandonados y/o derruidos.

Los andenes son conocidos como “pata pata” en quechua o “takwana” en Aymara. Se estima que su construcción fue iniciada hace aproximadamente 3 000 años a.C., desarrollándose junto a la expansión del cultivo de maíz.

Andenes y terrazas en el mundo.

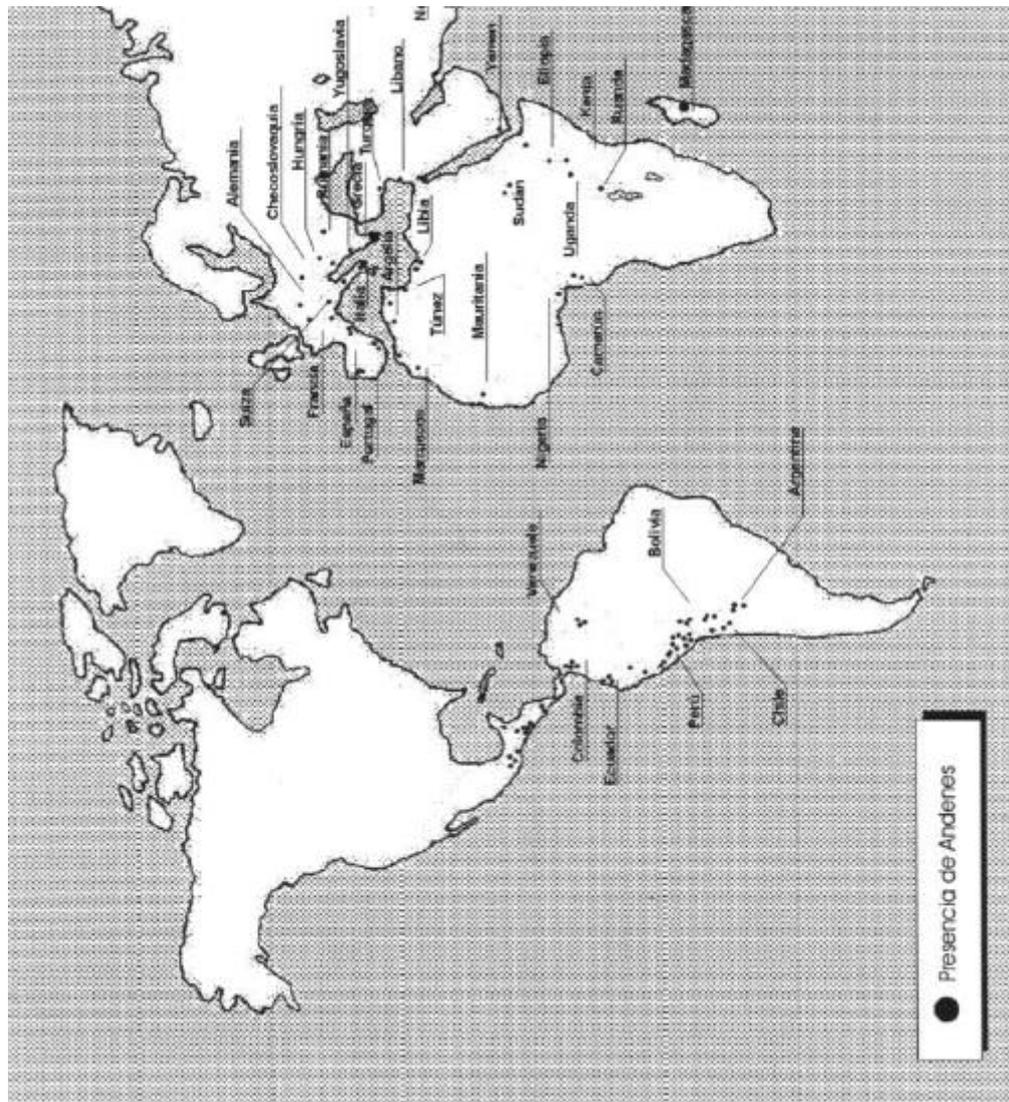
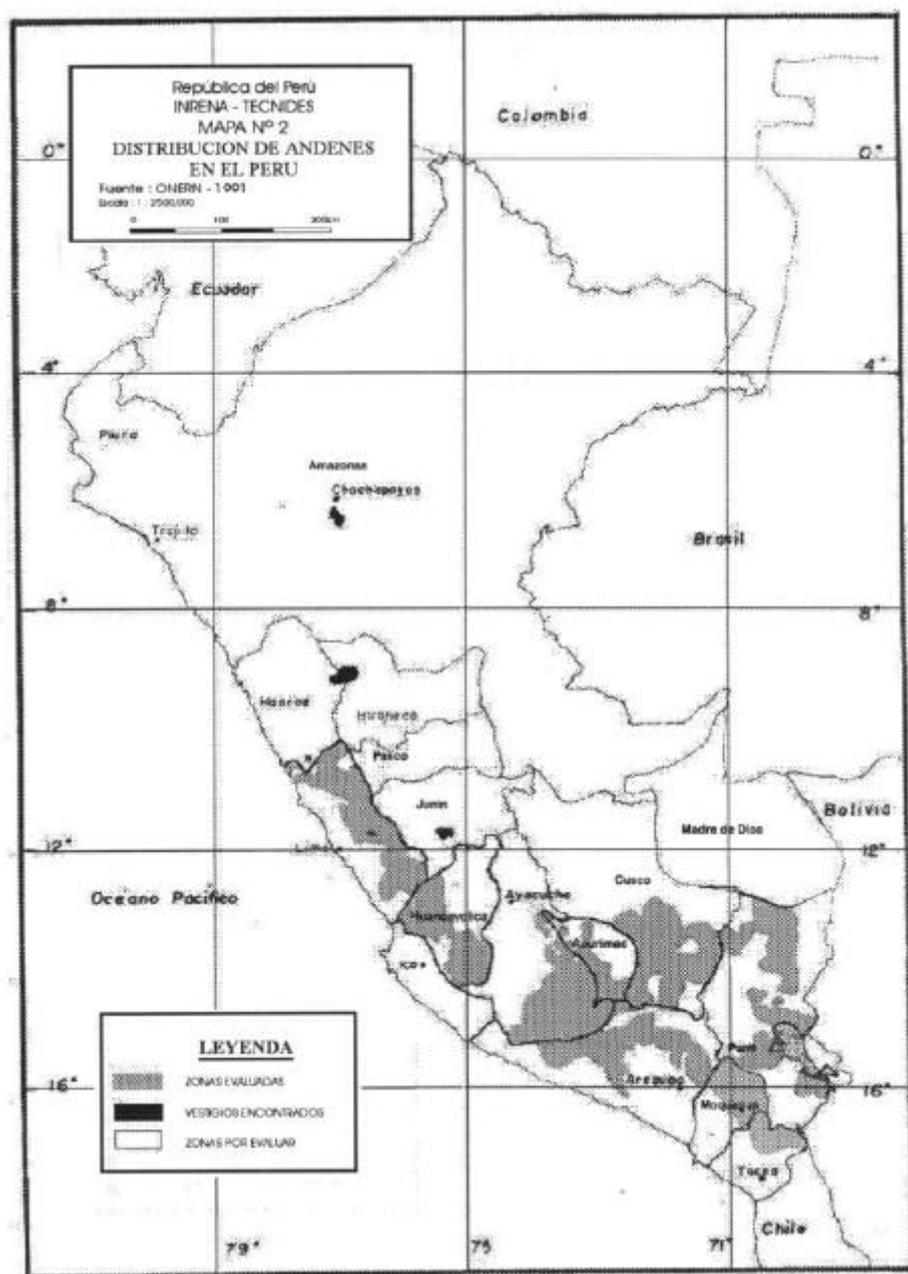


Figura 61. Distribución de andenes en el Perú.



Zonas de andenes evaluadas en el Perú (1991).

Estado de Conservación y Uso	Apurímac		Arequipa		Ayacucho		Cuzco		Huancavelica		Ica		Lima		Moq	
	ha	ha	ha	ha	ha*	ha**	ha**	ha**	ha***	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha
• Conservados con uso Permanente		3260		435		810		465						3055		4
• Conservados con uso Temporal		6775				410								945		
• Semi-Conservados con uso Permanente		10145		8675		4015		3305		160			4970		4	
• Semi-Conservados con uso Temporal	6335	11855		4740		2790		6055		915			26315		2	
• Derruidos con uso Permanente				7105		90		6520		310						
• Derruidos con uso Temporal	13740	6120		7310		13210		10490		960			26405			
• Derruidos sin Uso	1190	10110		8950		970		6315		1000			13710		5	
TOTAL DEPARTAMENTAL		21265		48265		37215		22295		33150			3345		15	
%		6,56%		14,89%		11,48%		6,88%		10,23%			1,03%		24,45%	

* Evaluadas solamente en las Provincias de Parinacochas, Paucar de Sarasara.

** Falta evaluar la Provincia de Urubamba.

*** Evaluadas solamente en las Provincias de Huaytará y Castrovirreyna.

FUENTE: PRONAMACHCS, INRENA (EX-ONERN), UNALM (1991)

Aspectos Técnicos

Descripción

La agronomía en andenería es un sistema ancestral de cultivo en terrazas, que se aplica en laderas con pendientes del 4 al 60%; se caracteriza por la construcción de plataformas continuas escalonadas en las laderas de los cerros y superficies inclinadas de las quebradas, logrando así el aprovechamiento óptimo del agua. La cultura Andina en el transcurso de casi 3 000 años, ha perfeccionado la construcción de este sistema, diversificándola según su uso: para la producción agrícola, manejo del recursos hídrico, viviendas, experimentación y domesticación de plantas entre otros. Los andenes continúan siendo la tecnología agrícola que mejor utiliza el recurso humano y el medio más adecuado para evitar la erosión de los suelos de laderas.

La agricultura en andenería es muy diversificada. Actualmente se conducen cultivos de alfalfa y papa en rotación con maíz, oca y olluco; del mismo modo se producen flores y frutales como manzanos, paltos y chirimoyos en andenes de dos metros de ancho que sólo admiten un surco. Esto se puede observar en el Valle del Rímac (Lima), donde el 90% de los andenes son irrigados. Es importante mencionar que cada andén tiene un boquerón de ingreso para el agua y un boquerón para el desagüe de los excedentes.

Los andenes generalmente tienen una longitud que oscila entre 4 y 100 m, por un ancho que va desde 1,5 a 20 m; la terraza se encuentra sostenida normalmente por tres muros de piedra, de los cuales el de mayor longitud tiene la sinuosidad de la curva de nivel de la ladera y los otros dos en los extremos del andén, van paralelos con la máxima pendiente adyacente a la acequia y el camino empedrado o sólo a la acequia. Los muros miden normalmente entre 0,5 y 2 m de altura llegando ocasionalmente a 3 m. La estructura interna del andén consta de tres estratos, donde la capa del fondo es de piedras grandes, seguido de una capa intermedia de ripio o gravas y una capa superficial de hasta 0,7 m de tierra agrícola, que a veces es transportado de otro lugar. La estratificación por capas de tamaños diferentes permiten un mejor drenaje y una mayor estabilidad a la plataforma, disminuyendo así las fuerzas sobre el muro.

Objetivos

- Disponer de áreas agrícolas en regiones de fisiografía muy accidentada, donde el espacio horizontal existente es escaso o extremadamente árido para su desarrollo socioeconómico (zonas muy deprimidas).
- Estabilizar los taludes de laderas y reducir la velocidad de escorrentías de aguas a un régimen no erosivo que permita mantener y conservar la biodiversidad existente.

Ubicación y selección del sitio

Los andenes se ubican en laderas de montañas desde los 300 msnm hasta los 4 200 msnm y pueden ser irrigados con agua canalizada de ríos, lagunas manantiales, nieblas y lluvias estacionales sobre los 200 mm/año.

Diseños

Criterios de diseño de un andén

Para el establecimiento de un sistema de andenes hay que tener en cuenta lo siguiente:

- La pendiente de la ladera debe estar comprendida entre 4 y 60% , preferentemente por razones de costo.
- La disponibilidad y caudal de las fuentes de agua para riego: manantiales, ríos, lagunas, lluvias, neblinas, etc.
- La precipitación estacional anual en zonas de secano no debe ser menor a los 200 mm.
- Obtener y analizar los registros hidrológicos de la máxima precipitación y máxima avenida para el cálculo de caudales máximos y problemas de erosiones.
- Estudio geológico y edafológico de la zona para la descripción del perfil de la ladera.

Parámetros de diseño

A continuación se detallan los principales parámetros a tomarse en cuenta en el diseño de un andén (**figura 62**).

Pendiente longitudinal de la terraza (S). Se define como la pendiente paralela a la curva de nivel de la ladera; dicho parámetro define la velocidad del flujo de agua (depende también del material de la rizósfera), para no ser erosivo y los valores fluctúan entre 0,1 y 0,3%.

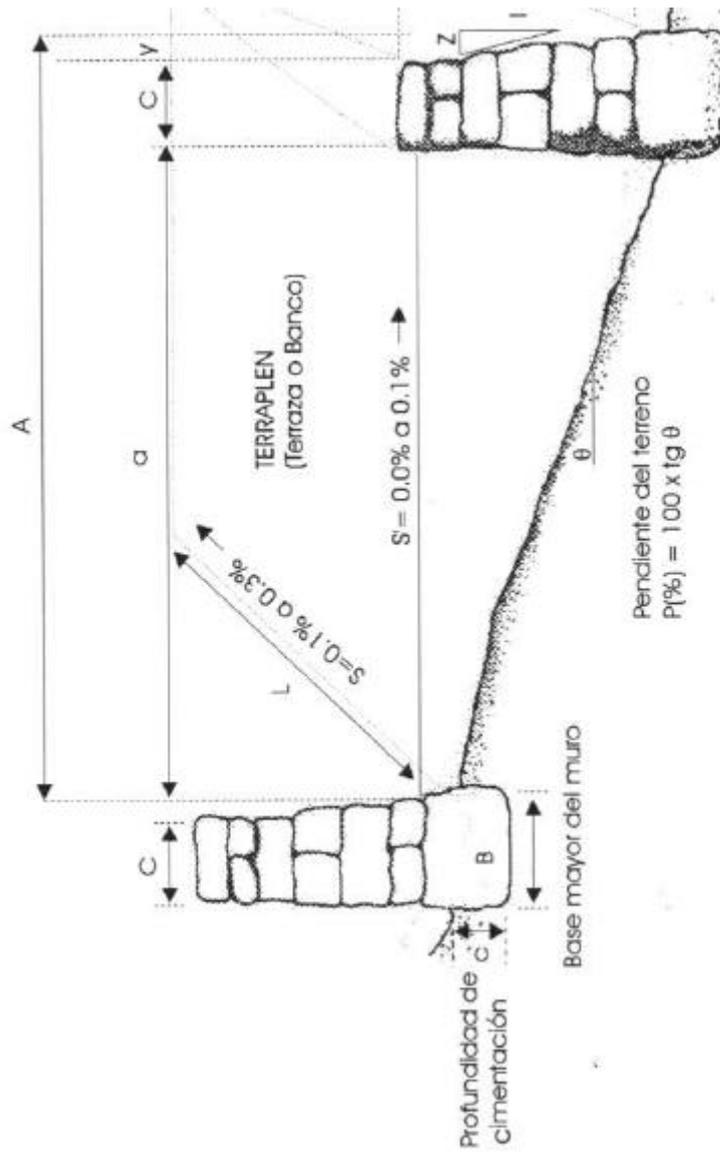
Pendiente transversal de la terraza (S'). La plataforma o terraplén constituye técnicamente el banco del andén y está formado artificialmente por diferentes estratos del suelo. Este relleno de la terraza, no siempre es completamente horizontal, por lo general mantiene una ligera inclinación exterior que viene a ser la pendiente transversal de la terraza que absorbe la precipitación normal de las lluvias y del agua de riego permitiendo una mayor infiltración. Los valores de la pendiente transversal fluctúan entre 0,0 y 0,1%.

Talud del muro de contención (Z). El muro nunca es vertical, se construye una pirca con ligera inclinación hacia adentro de la terraza; los valores del talud del muro fluctúan entre 0,05:1 y 0,15:1. El talud define la estabilidad del muro como soporte del perfil del suelo, tal estabilidad también depende de la forma, tamaño y peso de la roca empleada en la piedra.

Altura del muro (H)

El muro de contención puede tener entre 0,5 y 3 m de altura dependiendo mucho del tipo de material, pendiente de la ladera y límite de la fuerza humana para edificar los muros de piedra pircada; en promedio esta altura alcanza 1,5 m, ocasionalmente llega a los 3 m de altura.

Parámetros de diseño de un andén.



A = Ancho de andén.
 L = Longitud de terraplén.
 S = Pendiente de terraplén.
 θ = Grado de inclinación de terraplén.
 Z = Inclinación del muro de contención.
 C = Ancho de la corona del muro.

a = Ancho de la terraza.
 H = Altura del muro.
 B = Base mayor.
 y = Proyección horizontal de la inclinación.
 c = Profundidad de cimentación.

El tamaño y forma de la roca son importantes para asegurar una buena estabilidad del muro; por ejemplo los cantos rodados y las piedras pequeñas no aseguran una buena estabilidad, lo que obliga a disminuir la altura del muro; en cambio las piedras grandes de formas regulares garantizan mayor estabilidad, permitiendo construir muros mucho más altos. La altura del muro de contención depende de la textura y profundidad de los suelos de la ladera.

El ancho mínimo de la base mayor del muro (B), debe estar comprendido entre 0,34 a 0,45 H; el ancho del muro en la parte superior (C) debe estar entre los 0,2 y 0,4 m; la profundidad de cimentación mínima (c) debe estar los 0,30 a 0,35 H, generalmente en la base del muro debe emplearse piedras grandes (0,4 a 1 m de diámetro).

Ancho del andén (A)

Es la distancia horizontal entre los muros longitudinales de dos andenes consecutivos. Su dimensión está en razón directa a la altura del muro y en razón inversa a la pendiente original del terreno según la siguiente relación:

$$A = H / \operatorname{tg} \theta$$

Donde:

A= Ancho del andén (m)

H= Altura del muro (m)

θ = Angulo de inclinación del terreno (ladera)

Cuando el valor de (θ) crece, el distanciamiento entre muros es definido por el valor de H, que para los casos de suelos superficiales o poco profundos, obliga por seguridad a disminuir la altura del muro y consecuentemente el ancho del andén (A).

El ancho del andén está determinado por la siguiente relación:

$$A = a + C + Y$$

$$Y = Z \times H$$

Donde:

A= Ancho del andén (m)

a= Ancho del banco o terraplén (m)

C= Ancho de la corona del muro (m)

Y= Proyección horizontal del talud del muro

Z= Talud del muro de contención (0,05 a 0,15)

H= Altura del muro (m)

Largo de la terraza

La longitud de la terraza está limitada por la presencia de obstáculos como afloramiento de rocas, presencia de cárcavas, cambios bruscos en la orientación de la ladera, presencia de

cauces naturales o por excesiva pedregosidad; es por ello que en la determinación de L, interviene la configuración natural de la ladera que será tratada con andenería.

Dimensiones de la acequia de riego y partidores

Se trazan las acequias de riego a máxima pendiente aprovechando los cauces naturales del terreno o construyendo acequias protegidas con piedras y selladas con champa a lo largo de los caminos o en los extremos de los muros de contención; también estos canales son usados para el drenaje.

Las acequias de riego deben ser de sección rectangular con altura de 0,1 a 0,5 m, plantilla de 0,2 a 0,4 m.

Las acequias de riego siguen la pendiente de las terrazas y pasan de un andén a otro mediante caídas verticales, en cada cambio de pendiente existen pozas disipadoras de energía también construidas de piedra labrada o piedra tipo laja. La capacidad aproximada de los canales debe estar entre 30 a 40 l/seg.

El reparto del agua entre dos o más terrazas se hace por medio de partidores de agua contruidos generalmente de forma cuadrada con pozos de 0,6 x 0,6 m y 0,15 m de profundidad. En el funcionamiento de estos partidores se emplea a modo de compuertas, piedras grandes selladas con champas. Las bocas de captación y de desagüe son dependientes del agua disponible para el riego o la precipitación.

Ancho y pendiente de los caminos

Generalmente los senderos o caminos de acceso a los andenes tienen anchos que varían de 1,0 a 2,0 m; son contruidos de piedra a manera de escalinatas que van a máxima pendiente o paralelamente a las acequias de riego. Dichos caminos en época de lluvia sirven como sistemas de drenaje para evacuar el agua de los andenes y no causar erosión a las terrazas: en época de cosechas se utilizan para la extracción de productos y también para el pastoreo del ganado.

En algunos casos cuando los muros son mayores a 1 m de altura, se colocan piedras salientes empotradas a manera de peldaños o gradas y en otros casos se les dota de escalientes de piedra semitalladas, contruidas paralelamente al muro de contención.

Riego del andén

La terraza del andén por tener una gradiente reducida, permite aplicar el agua de riego con eficiencia, ya sea para regar sembríos de gran densidad de plantas como cereales (melgas), o maíz, papa y haba, que se cultivan en hileras distanciadas a 0,6 o 0,8 m (surcos), donde el agua se aplica haciendo llenar cada melga o surco con una lámina de 0,03 a 0,1 m, y se clausura antes que haya desbordamiento por escorrentía.

Construcción del andén

Consiste en realizar movimientos de tierra de corte y relleno para formarlos escalonadamente de arriba hacia abajo. Su construcción, debe realizarse antes de los períodos de lluvias, nunca durante lo mismos.

El proceso de construcción de un andén comprende los siguientes pasos:

Paso 1

Trazar dos curvas de nivel consecutivas a partir del costado del terreno que tenga la mayor pendiente. Se establece el distanciamiento entre las curvas de nivel, en función al ancho promedio que se quiere dar a la terraza, teniendo en cuenta de no exceder los límites para la altura del talud recomendados en los trabajos de campo y gabinete; luego se marcan bien las líneas de nivel procediéndose a remover el suelo superficial de la capa arable hacia un costado (figura 63).

Los trabajos antes indicados se pueden realizar usando un nivel de ingeniero o una manguera transparente, caballete de madera o el nivel en "A" (figura 64).

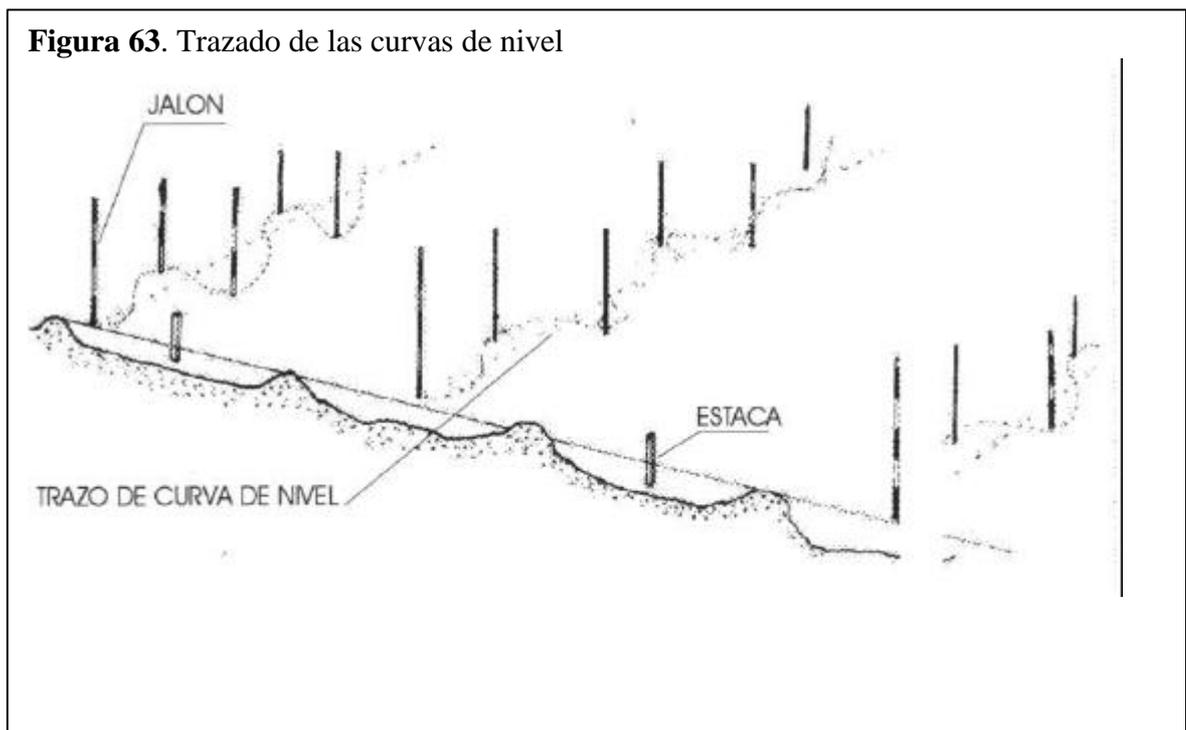
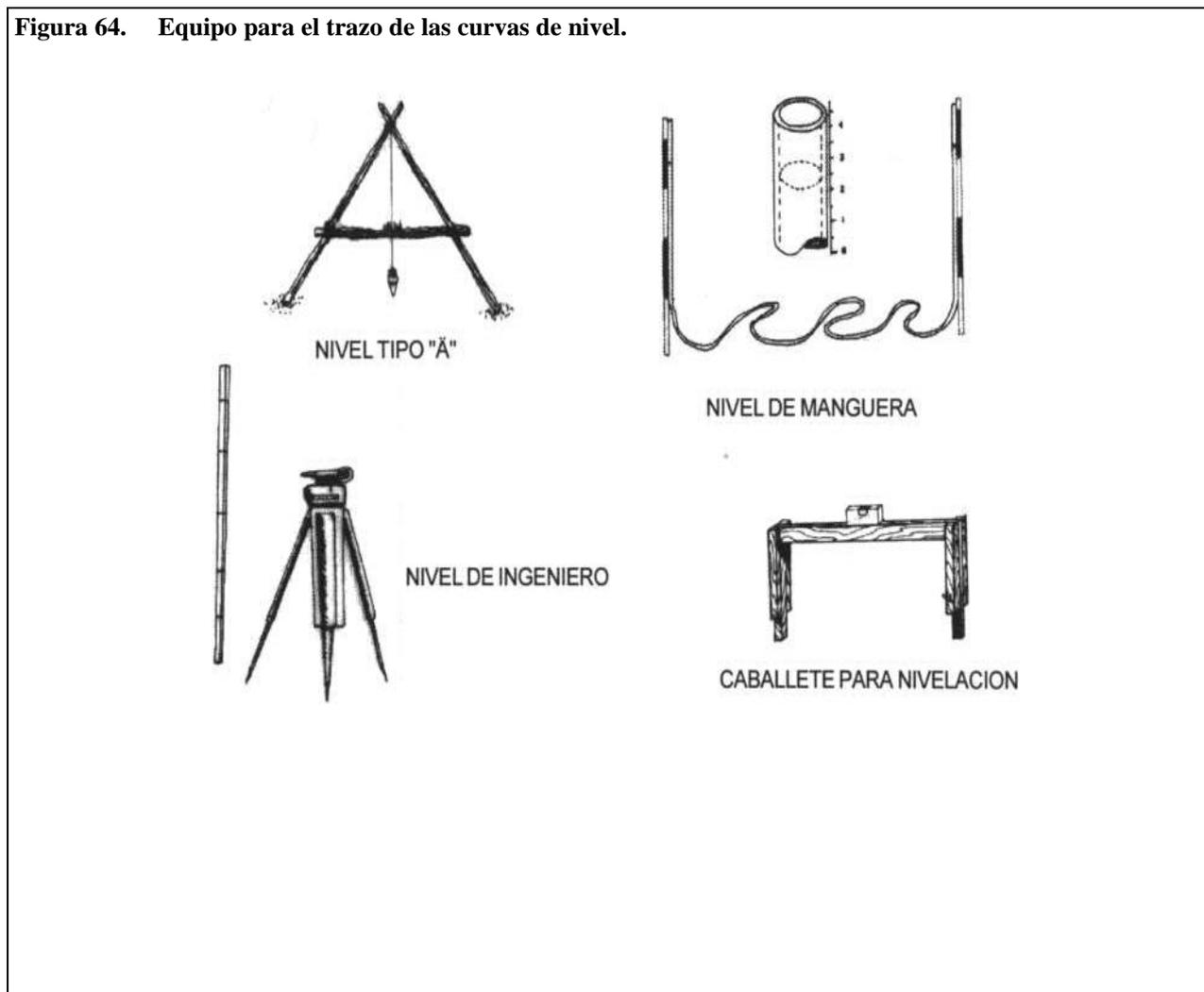


Figura 64. Equipo para el trazo de las curvas de nivel.

**Paso 2**

Ablandar las curvas muy sinuosas promediando altos y bajos para obtener curvaturas amplias y uniformes.

Paso 3

Abrir zanjas para el cimiento en el terreno de contención, teniendo en cuenta el tipo de perfil de la ladera y los volúmenes de tierra que hay que mover; cuando el perfil del suelo es profundo, cavar hasta $1/2$ a 1 de H , luego remover el material separando la capa fértil hasta dejarlo a $1/3$ de H , como máximo y $0,5 H$ como mínimo (**figura 65**).

Paso 4

Iniciar la construcción de la pirca por una de las esquinas del andén, colocando las piedras de mayor tamaño en la cimentación debidamente acomodadas, acuñadas y alineadas; las piedras deben ir superpuestas y entrecruzadas pero sin amalgama. Dejar los espacios u orificios para los drenes (boquerones) y los peldaños de acceso en los muros altos (**figuras 66 y 67**).

Figura 65. Excavación y cimentación de piedra

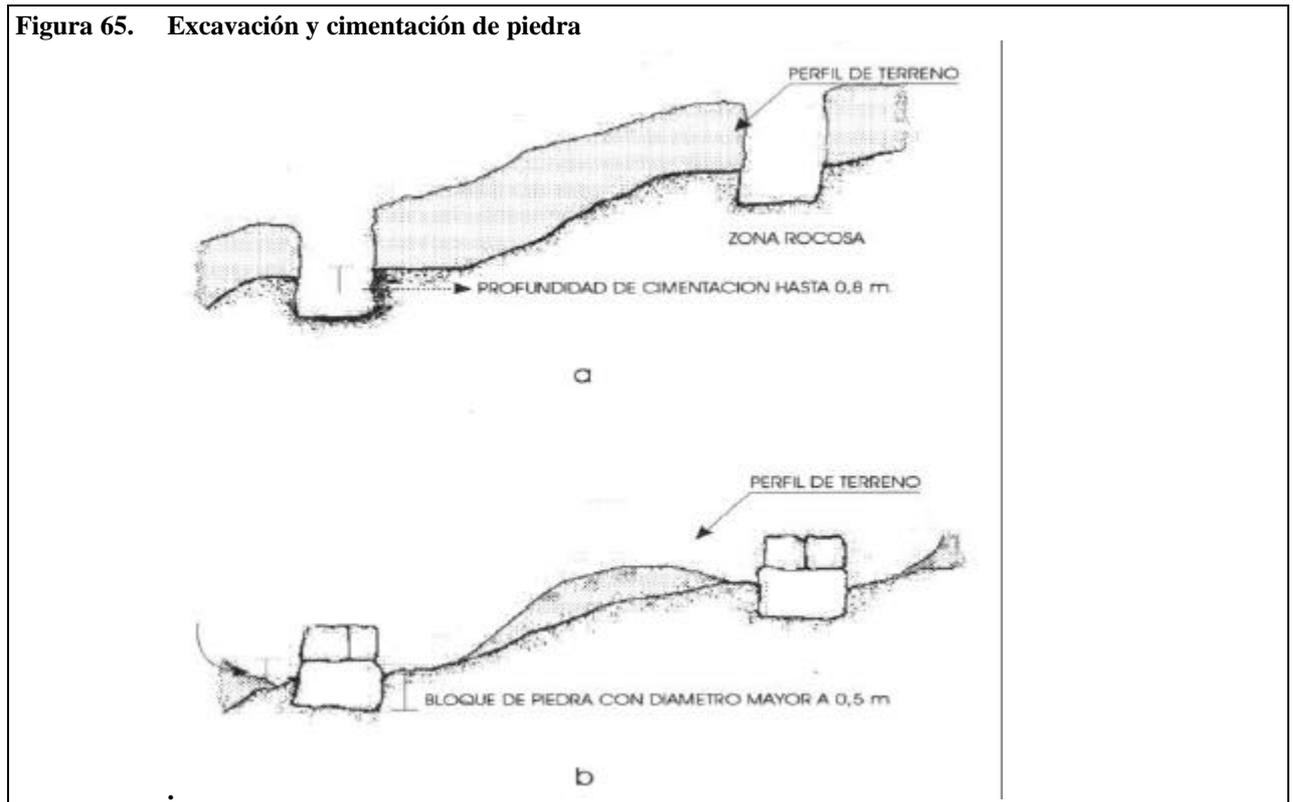


Figura 66. Construcción del andén.

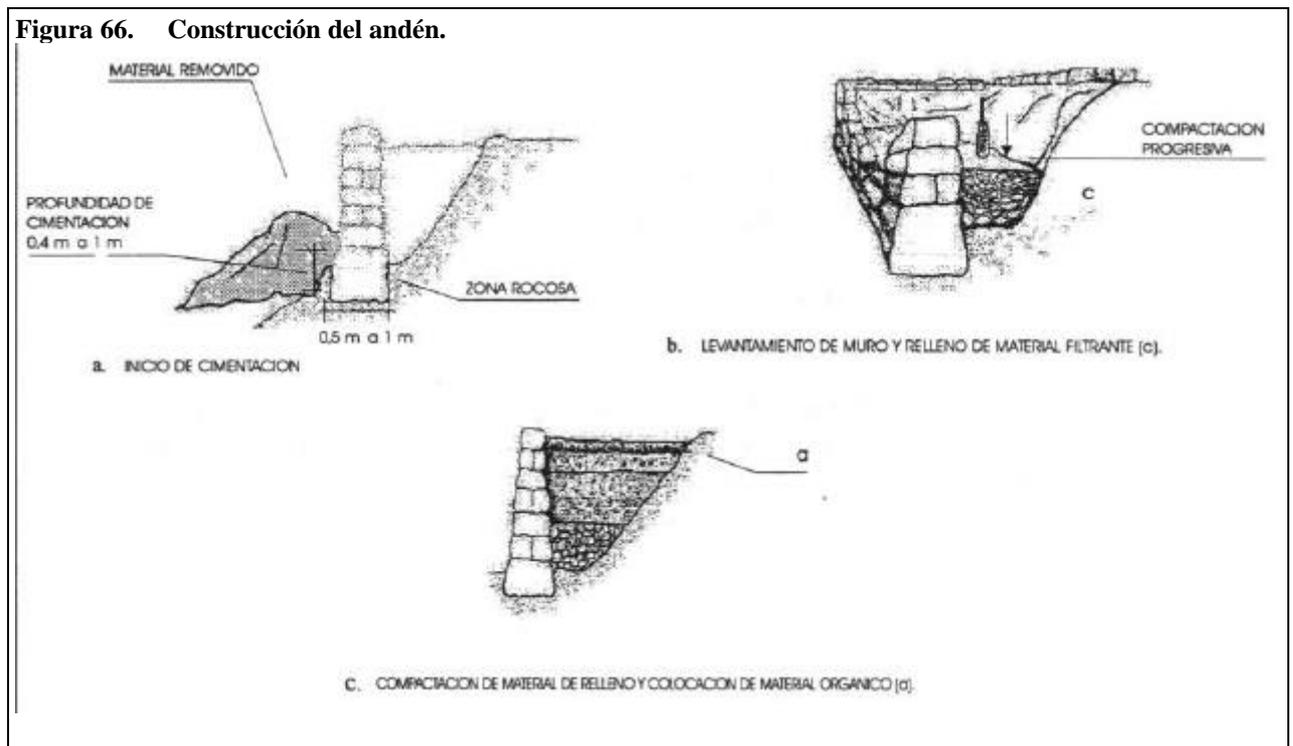
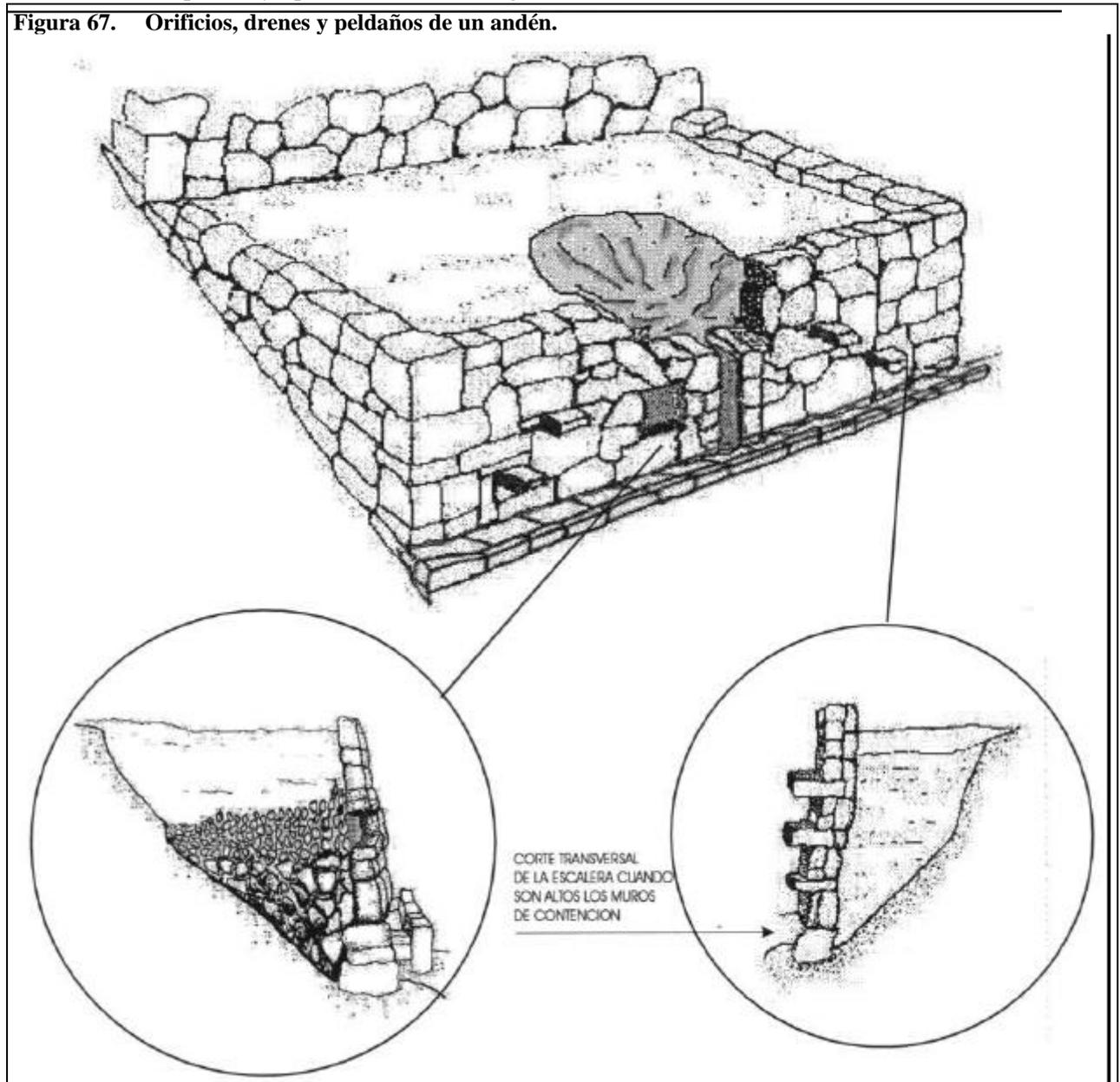


Figura 67. Orificios, drenes y peldaños de un andén.

**Paso 5**

Eliminar los afloramientos rocosos y los fragmentos. Estos se colocarán junto con las piedras no utilizadas en la pirca como relleno permeable compactándolo en capas de 0,15 m en el lado interno del muro y manteniendo una pendiente hacia dentro; sobre esta capa reposará la rizósfera.

Paso 6

Rellenar la rizósfera compactándola por capas de 0,15 m hasta un espesor de 0,7 m para evitar el sifonamiento del muro (**figura 68**).

Figura 68. Estructura final del andén.

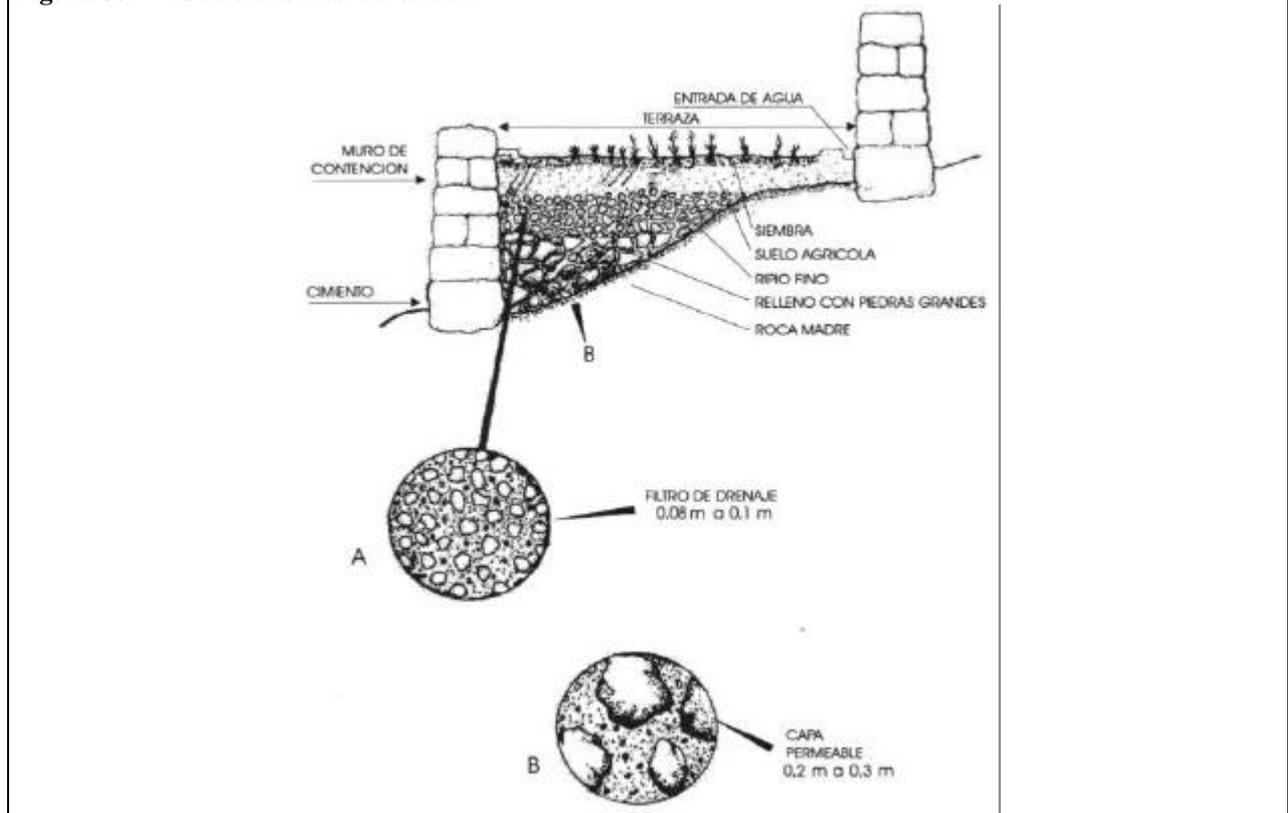
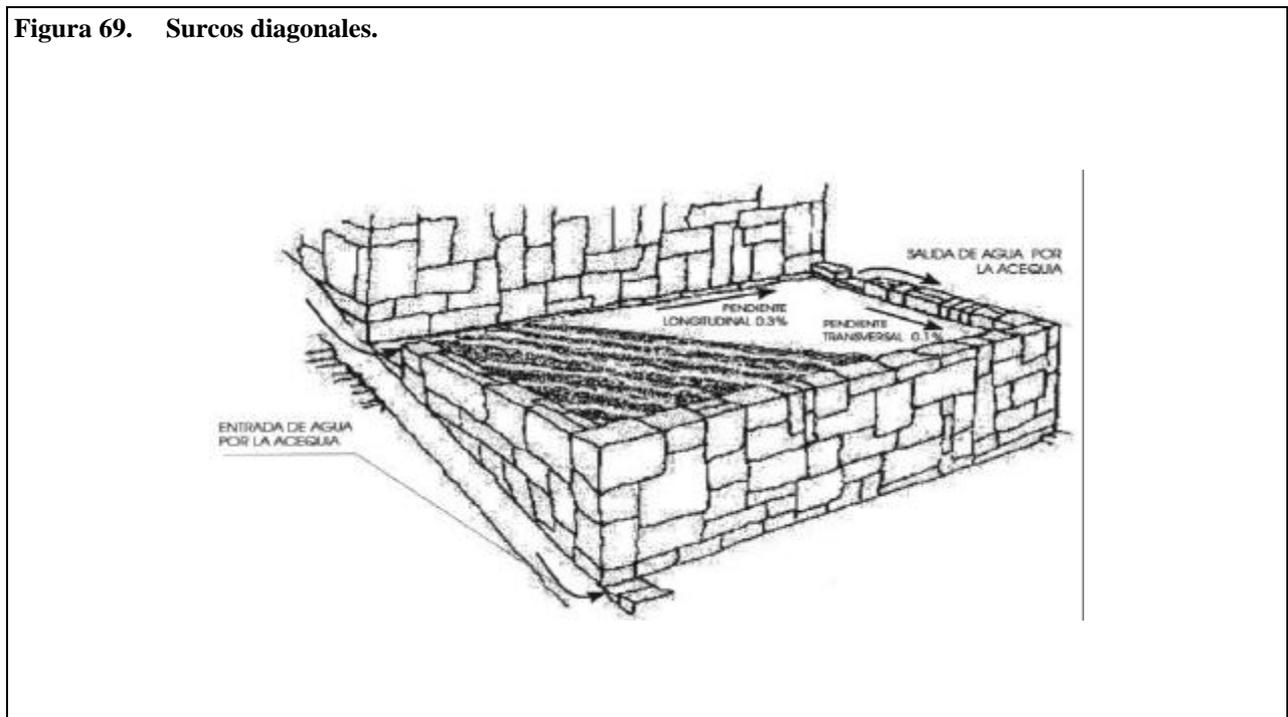
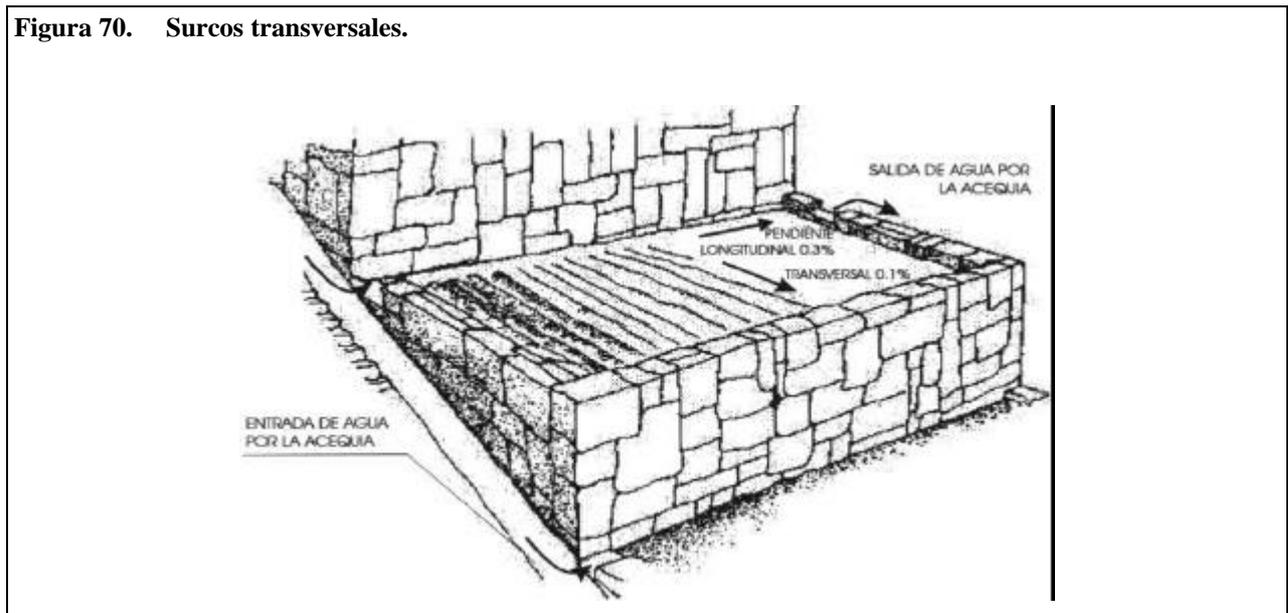
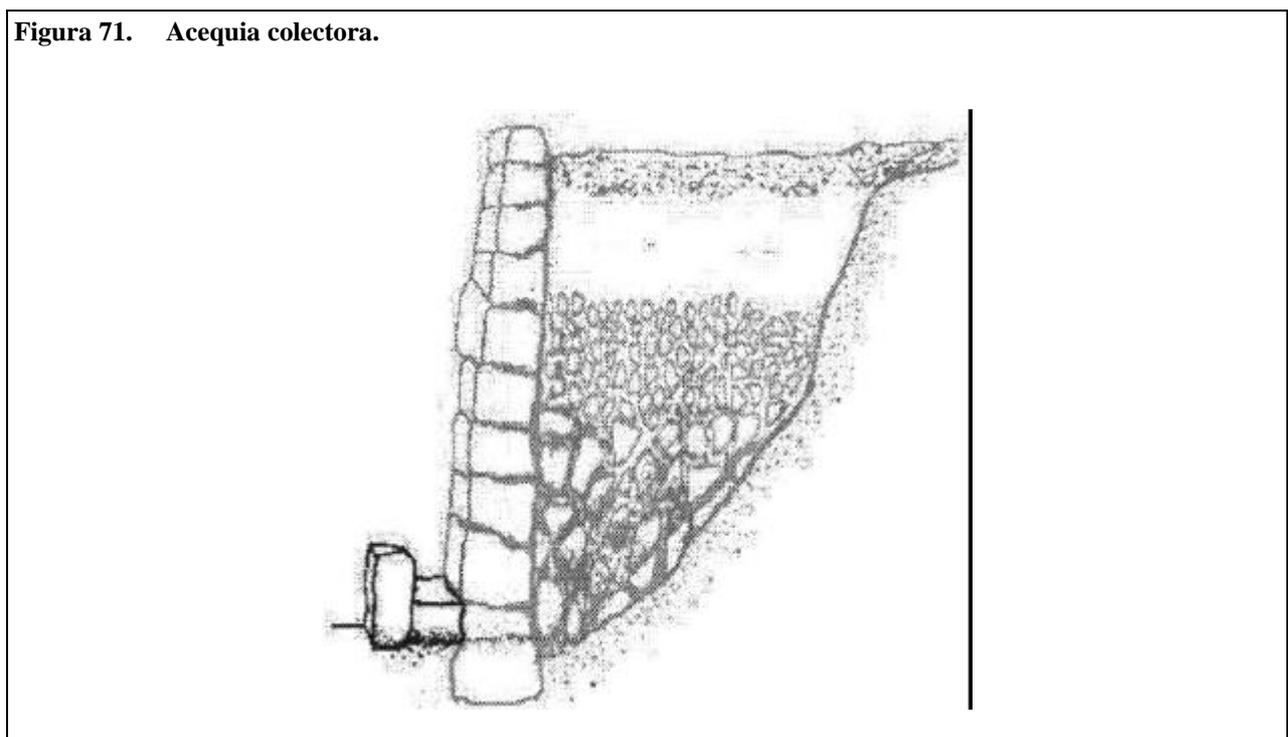


Figura 69. Surcos diagonales.



Paso 7

Nivelar la terraza o plataforma utilizando un tablón de madera accionado por dos personas; darle la pendiente longitudinal hasta 0,3% y pendiente transversal hasta 0,1% hacia afuera, necesaria para que discurra el agua de riego; finalmente se trazan los surcos transversales o diagonales (figuras 69 y 70).

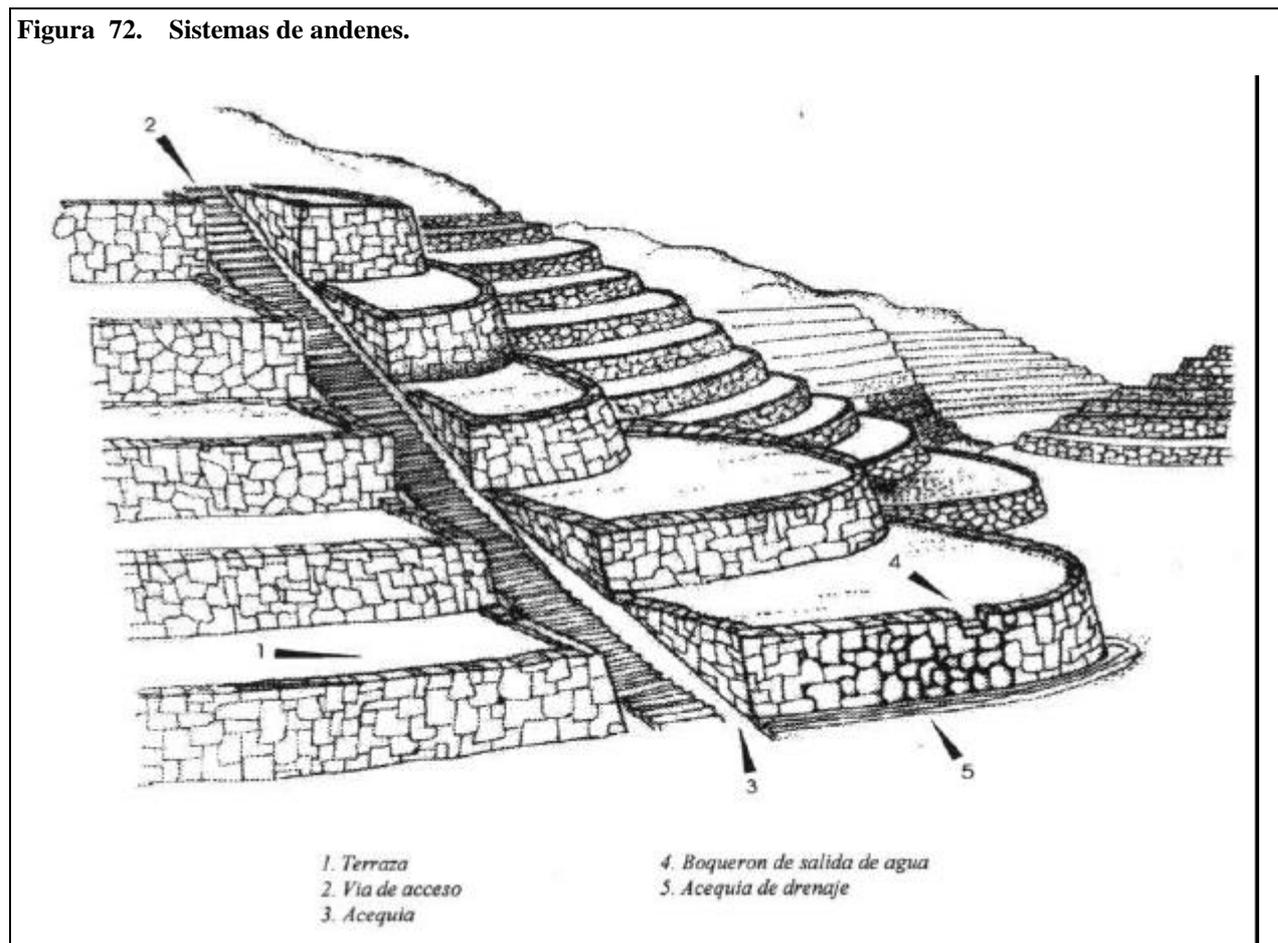
Figura 70. Surcos transversales.**Figura 71. Acequia colectora.****Paso 8**

Construir las acequias de riego empedradas con sus respectivos partidores y pozos de disipación de energía (**figura 71**).

Paso 9

Acondicionar los caminos de acceso (**figura 72**).

Figura 72. Sistemas de andenes.



Paso 10

Probar el buen funcionamiento del andén teniendo cuidado al aplicar los primeros riegos para evitar infiltraciones, asentamientos bruscos y encharcamientos; de presentarse el caso repararlo inmediatamente.

Mantenimiento

Los andenes son estructuras frágiles que requieren de un adecuado manejo y mantenimiento permanente, a fin de asegurar su funcionamiento como sistema de producción agrícola. A continuación se describen algunas medidas para el mantenimiento y conservación de los andenes:

a. Prevención de derrumbes:

Cuando hay fuertes y/o frecuentes lluvias, clausurar el boquerón de entrada de agua al andén y abrir el boquerón de evacuación.

b. Reconstrucción de muros:

Debe realizarse inmediatamente para evitar una destrucción mayor, recogiendo separadamente los materiales de cada perfil; luego se deshace la parte del muro que presenta signos de inestabilidad para su reconstrucción, siguiendo los pasos antes descritos.

La zona reconstruida debe estar bajo observación durante más de un mes, manteniendo el riego alejado del muro unos 0,6 m. Asimismo, deben retirarse las malezas que crecen entre las piedras del muro, pues resienten su estabilidad.

c. Conservación del nivel:

Para este fin se aplican 1 ó 2 riegos por inundación al año, (Kkollupo o aniego). Aquellas partes de tierra visibles serán niveladas con la ayuda de un rastrillo, palo, etc.

Potencial de Producción

Por medio del sistema de andenería se puede controlar la erosión del suelo, contribuir a la formación de suelo edafológico, manejar adecuadamente el recurso hídrico, aumentar la producción de cultivos alimenticios y medicinales; organizar y dar ocupación a poblaciones de las zonas deprimidas de Perú.

Estudios realizados por el Proyecto Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos de Perú, reportan que la papa, maíz, trigo, cebolla y rabanito cultivados en andenes frente a una parcela testigo, usando sólo abono orgánico, presentan un incremento de producción del 142,1% para la papa, 13% para el maíz, 53% para el trigo, 57% para la cebolla y 199% para el rabanito; el mismo experimento se repitió utilizando fertilizantes químicos observándose un incremento de la producción en andenes de 42, 65, 47, 7 y 89% respectivamente (**Cuadro 24**).

Grado de Complejidad

Esta tecnología agrícola al inicio de su instalación es ligeramente compleja, porque es rica en detalles de perfeccionamiento buscando la eficiencia del sistema, pero con la práctica y comprensión de su funcionamiento se vuelve sencilla, pues no utiliza equipos sofisticados.

Limitaciones

Desde el punto de vista de la tecnología moderna y del mercado no se adecua a la realidad de la agricultura a gran escala, pero esta limitación es superada por los tipos de cultivos que sólo se producen en los ecosistemas altoandinos, como son entre otros las variedades de papa, quinua, kiwicha, etc., que constituyen un aporte de la agricultura de andenería al mundo moderno.

En lo que se refiere a la estructura de un andén observamos las siguientes limitaciones:

- 1) Altura de muro

- La fuerza humana necesaria para levantar cada piedra.
- El tamaño de la piedra disponible.

2) Material de la capa arable

- Distancia y transporte hasta el lugar de construcción de los andenes de la tierra fértil.

Impactos socioeconómico y ambiental

La construcción y principalmente la recuperación de las terrazas o andenes están llamadas a cumplir un papel fundamental en la conservación del medio ambiente y en el incremento de la producción agrícola, al ampliarse con una mínima inversión las áreas de cultivo tan escasas en nuestro país, debido a la presión demográfica, uso irracional de los recursos suelo y agua que anualmente hacen que las tasas de desertificación se incrementen significativamente.

Así mismo permitirá dinamizar la participación de las comunidades campesinas y poblados rurales organizados, en recuperar y adecuar las tecnologías propias que han hecho posible una vida mejor en civilizaciones pasadas.

Costo y Retorno

Los costos se han calculado en base a los trabajos experimentales realizados en la Comunidad Campesina de Coporaque - Cailloma (Arequipa). En el **cuadro 25** se presentan los costos promedios de construcción de una hectárea de andén para una ladera con una pendiente del 22%, suelo franco arcilloso de 0,35 m de profundidad, lecho rocoso del tipo gravilla y/o cascajo arcilloso, terraplén de 4,15 m y altura de muro 2,1 m, que asciende a \$EE.UU. 6 500,00 y en el **cuadro 26**, los costos promedio de rehabilitación de una hectárea de andén en las mismas condiciones, considerando un deterioro del 50%, que asciende a \$EE.UU. 2 200,00.

Cuadro 24. Rendimientos comparativos de producción en andenes reconstruidos vs una parcela testigo

Cultivos	Rendimientos por hectárea según tipo de cultivo					
	Con abono orgánico			Con fertilizantes químicos		
	Parcela testigo kg/ha	Andén reconstruido kg/ha	Incremento prod. %	Andén reconstruido kg/ha	Parcela testigo kg/ha	Incremento prod. %
1. Cultivos andinos						
Papa	11 091	4 581	142	17 436	12 206	42
Maíz	490	432	13	2 982	1 807	65
2. Cultivos introducidos						
Trigo	1 113	723	53	3 603	2 442	47
Trigo	8 644	5 500	57	20 867	19 333	7
Cebolla	10 409	3 471	199	18 700	9 890	89
Rabanito						

Fuente: Proyecto Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos Encuesta 1984

Elaborado: TECNIDES

El monto de la inversión se recupera al tercer año de construido o primer año de rehabilitado el andén. La alta productividad de los cultivos en andenes con respecto al cultivo en grandes extensiones permite amortizar rápidamente los costos de inversión inicial durante los primeros años, aumentando la renta neta después.

Los costos de rehabilitación calculados se encuentran muy cercanos a las experiencias desarrolladas en San Pedro de Casta (Lima) por Luis Masson (1984), cuyo costo de una hectárea fue de \$EE.UU. 1 750,00.

Generación de Empleo

Según cálculos realizados por TECNIDES, los requerimientos de mano de obra para la construcción de una hectárea de andén bajo las condiciones indicadas en el **cuadro 25**, ascienden a 3 220 jornales y para la rehabilitación de una hectárea según lo indicado en el **cuadro 26** ascienden a 1 005 jornales.

Experiencias realizadas por Lorenzo Chang-Navarro L., indican que para construir las terrazas se requieren en promedio 742 jornales/ha, siendo el mínimo 336 jornales/ha y el máximo de 1 181 jornales/ha.

En la rehabilitación de andenes realizada en la Comunidad de San Pedro de Casta (Lima) fueron necesarios entre 525 jornales/ha a 790 jornales/ha.

Sin embargo, en la Comunidad de Pusalaya (Puno), se ha estimado para la rehabilitación de una hectárea de andén 2 499 jornales; lo que demuestra una gran variabilidad debido a las diferencias de pendientes de laderas, tipo de suelo, disponibilidad de piedras grandes, escasez de suelo agrícola, disponibilidad de mano de obra, etc., que imposibilita generalizar los requerimientos de jornales para la construcción y/o rehabilitación de una hectárea de andén.

Sostenibilidad

El sistema de andenería una vez establecido es sostenible, porque permite la reposición del recurso suelo con los sedimentos que trae el agua de la acequia y los va depositando en cada andén; además brinda una mayor retención del recurso hídrico contribuyendo con el ciclo hidrológico del lugar y permite cultivar especies diferentes en cada terraplén. Los excedentes de agua de los andenes tienen utilidad en las partes bajas, por lo que debe evitarse el uso de agroquímicos y difundirse las prácticas conservacionistas tradicionales.

Descripción de casos

Lugar y Fecha

Evidencias de la utilización de andenes las encontramos en México, El Salvador, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, destacando aquellas sociedades altamente organizadas pertenecientes a civilizaciones superiores: Los Mayas y Aztecas en México; Chimú, Chavín, Tiahuanaco e Incas en el Perú.

Cuadro 25. Análisis de costos unitarios para la construcción de una hectárea de andén

Especificaciones Técnicas: Suelo con $S = 22\%$

Textura suelo: Franco arcilloso
Roca: Arenisca, distancia de acarreo 100 m
Profundidad de suelo: 0,35 m.

Actividades	Unidad	Cantidad	P.U. \$ EE.U.U.	TOT.\$EE.UU.
Trabajos preliminares				57,50
Limpieza, trazo y replanteo	ml	2 875	0,02	57,50
Movimiento de tierras				4461,50
Excavación de terraplén	m ³	5 000	0,56	2800,00
Excavación de zanjas de cimentación	m ³	500	0,57	285,00
Voladura de roca	m ³	250	1,95	487,50
Preparación y acarreo de piedra	m ³	700	0,37	259,00
Selección y acarreo de material filtrante	m ³	1 800	0,35	630,00
Obras de arte				1981,00
Construcción de muro de piedra	m ³	750	0,54	405,00
Relleno y compactación de terraplén	m ³	2500	0,56	1400,00
Construcción de acequias de riego	ml	1500	0,05	75,00
Construcción de caminos peatonales	ml	500	0,04	20,00
Construcción de escaleras	ml	150	0,54	81,00
TOTAL				6500,00

Fuente: TECNIDES, 1994

Cuadro 26. Análisis de costos unitarios para la rehabilitación de una hectárea de andén

Especificaciones Técnicas: Rehabilitación del 50% de la estructura
Suelo tipo Franco arcilloso, altura de muro 2,1 m.
Recursos propios de la zona

Actividades	Unidad	Cantidad	P.U. \$EE.UU.	TOT. \$EE.UU.
Trabajos preliminares				20,10
Limpieza, trazo y replanteo	ml			20,10
Movimiento de tierras				153,90
Excavación de terraplén	m ³			
Excavación de zanjas de cimentación	m ³			153,90
Voladura de roca	m ³			
Materiales de construcción				654,50
Preparación y acarreo de piedra	m ³			129,50
Selección y acarreo de material filtrante	m ³			525,00
Obras de arte				1371,50
Construcción de muro de piedra	m ³			405,00
Relleno y compactación de terraplén	m ³			840,00
Construcción de acequias de riego	ml			62,00
Construcción de caminos peatonales	ml			10,00
Construcción de escaleras	ml			54,00
TOTAL				2200,00

Fuente: TECNIDES, 1994

El perfeccionamiento de los detalles particulares observados en los andenes del Perú fue alcanzado por la sociedad incaica. Así tenemos andenes en uso, entre otros, en las

comunidades de Cabana, Collagua y Coporaque en el Valle del Colca en Arequipa; Pusalaya en Puno; San Pedro de Casta en Lima; etc., donde se observa la perfección de sus trazos lineales. Existe en abandono una gran extensión de andenes en casi toda la zona árida y semiárida de la Costa, Sierra y Ceja de Selva (Chachapoyas, Quillabamba, etc.) de Perú.

Resultados en la Producción

Las ventajas comparativas de producción observadas en el **cuadro 24** son consecuencia de un manejo racional de la trilogía agua-suelo-planta, que proporciona el sistema de andenes y son:

- La tierra agrícola no es arrastrada.
- Retiene el agua y de ser mucha permite la eliminación de los excedentes.
- Crea un microclima más abrigado que las áreas abiertas.
- Hace de la agricultura un sistema ingenieril de jardineras de alta diversidad y producción agrícola.

Dirección para Consultas

TECNIDES
Calle 1, N° 735
Lima, 27
Perú
Telefax: 423391

Bibliografía Citada

- Anaya M. y Tovar S.** 1976. Métodos de captación "in situ" de agua de lluvia para frutales. pp. 126-127. En: Avances de la Enseñanza y la Investigación 1975-1976. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx., p 15. En: Resúmenes. Avances Metodológicos de la Enseñanza e Investigación de campo 1970, del Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Anaya M.** 1977. Optimización del aprovechamiento del agua de lluvia para la producción agrícola bajo condiciones de temporal deficiente. E. Hernández, E. ed. Agroecosistemas de México, contribución a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Anaya M., Martínez M., Trueba A., Figueroa B., y Fernández O.** 1977. Manual de conservación del suelo y del agua. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Anaya M. y Tovar S.** 1977. Métodos de captación "in situ" y aprovechamiento del agua de lluvia para la producción de maíz forrajero. p. 180. En: Avances en la Enseñanza y la Investigación, Chapingo, México.
- Anaya M.** 1981. Research Methodologies for "in situ" rainfed agriculture. Proceedings of a Workshop "Rainfall Collection for Agriculture in arid and semiarid regions. Edited by G.R. Dutt, C.F. Hutchinson and M. Anaya Garduño. Commonwealth Agricultural Bureaux.. London, U.K. Pag. 43-48.
- Anaya, G.M.** 1988. Research on rainfall collection for agricultural purposes in Mexico. Proceedings of the International Conference on Dryland Farming. Amarillo-Bushland. Texas, U.S.A. Pag. 245-248.
- Anaya M.** 1994. Bibliografía sobre captación y aprovechamiento de la lluvia. Montecillo, México: IRN-CP.
- Anaya M.** 1994. Captación *in situ* del agua de lluvia para la agricultura de temporal, México.
- Alva Ixtlilxochitl, F. de.** 1891-1892. Obras históricas (c.1640), ed. A. Chavero, 2 Volúmenes, México.
- ASOCIACION TECNOLOGICA Y DESARROLLO, TECNIDES.** 1994. Proyecto de rehabilitación de andenes. Comunidad Campesina de Coporaque, Perú.
- Brouwer C. y Heibloem Y.** 1987. Necesidades de agua de los cultivos; Manejo del Agua de Riego, Manual de Campo no 3. FAO, Roma. 62 p.

- Ballivian G.** 1979. Modificación del microambiente para la producción de maíz forrajero bajo condiciones de temporal en Chapingo. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- BANCO MUNDIAL.** 1988. Water harvesting for plant production. World Bank Technical Paper, 91
- Campos S.** 1982. Efecto de la captación de lluvia, estiércol y rastrojo sobre la humedad del suelo y producción de la asociación maíz frijol. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Carranza, A.** 1973. Aplicación de tres materiales de cobertura para captación y conservación "in situ" del agua de lluvia en cultivo forrajero de maíz y girasol. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- COLEGIO DE POSTGRADUADOS.** 1991. Manual de Conservación del Suelo y del Agua. Chapingo, México
- Cardich E.** 1991. Captación y Aprovechamiento de la Niebla en las Zonas Áridas de América Latina, Sociedad Pachamama, Perú.
- Campos L.** 1986. Implementos de tracción animal y otros equipos para la economía campesina. Proyecto ONUDI-SPP. Productividad y Cambio Tecnológico en la Cadena Alimentaria. 140 p.
- Códice M.** 1964. En José Corona Núñez, ed. Antigüedades de México, México, D.F. Secretaría de Hacienda y Crédito Público, T.1:1-149.
- Charcas H.** 1984. Estudio de los principales sistemas de producción de cosechas de secano en el Altiplano Potosino. Tesis de Licenciatura. UASLP. Escuela de Agronomía. San Luis Potosí, SLP. 113 p.
- De Souza A. y Anaya M.** 1979. Algunas consideraciones sobre el manejo del suelo y agua para el desarrollo de la agricultura tradicional en el Noreste de Brasil, Petrolina, Pe., EMBRAPA-CPATSA, 128 p.
- Donkin A.** 1979. Agricultural Terracing in the Aboriginal New World. The University of Arizona Press. Tucson, Az. 196 p.
- Evenari M., Shanan L., Tadmor N. y Abaroni Y.** 1961. Ancient Agriculture in the Negev. Science 133: pp: 979-996.
- FAO.** 1986. Irrigation water needs. Training manual N°3. Rome
- FAO.** 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio Riego y Drenaje N° 24. Roma
- FAO.** 1990. Manejo de Suelos en Regiones Semiáridas. Casas R. y Glave E. (eds). Santiago, Chile. 74 p.

- FAO.** 1991. Water harvesting: a manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. Critchley W., Siegert K. AGL/MISC/17/91. Rome. 133 p.
- FAO.** 1993. CROPWAT. Programa de ordenador para planificar y manejar el riego. Estudio Riego y Drenaje N° 46. Roma.
- FAO.** 1995. Water Harvesting for Improved Agricultural Production. Water Reports 3. Rome. 424 p.
- FAO.** 1996. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, Tomo I: bases técnicas y experiencias en Africa y Asia. Serie: zonas áridas y semiáridas N° 11. Santiago, Chile.
- FUNDACAO IBGE.** 1979. Produção agrícola municipal 1977. Culturas temporarias e permanentes. Rio de Janeiro, Brasil . v 4, t 8, 61 p.
- Figueroa B.** 1990. Los sistemas de manejo de escorrentías de la zona árida de México. En: Primer Simposium Nacional sobre Captación "*in situ*" del Agua de Lluvia y Manejo de Escorrentía Superficial a Nivel Parcela. Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo. Pág. 277-328.
- Fortanelli J.** 1981. Sistemas de producción de cosechas de riego en cañadas y planicies de inundación aledañas a San Luis Potosí. Tesis de Licenciatura. UASLP. Escuela de Agronomía. San Luis Potosí, SLP. 289 p.
- Finkel y Finkel Ltda.** 1978. Consulting Engineers. Barragens submersas em leito de rio de zonas áridas. Tradução de Antonio Joaquim Monteiro Sampaio. Sao Paulo, IPT, 8p.
- Gallegos C.** 1985. Contribución al conocimiento de los sistemas de producción de cosechas de secano del área de estudio del CREZAS-CP. Tesis de Licenciatura UACH. Departamento de Zonas Aridas. Chapingo, México. 207 p.
- Gischler C.** 1991. The Missing Link in a Production Chain, UNESCO.
- Herold C.** 1965. Trincheras and physical environment along the Río Gavilán. Chihuahua, México. Department of Geography, University of Denver, Publication in Geography, Technical Paper Num. 65-1.
- Hopkins W.** 1968. Prehispanic Agricultural Terraces in Mexico, unpublished M.A. thesis. University of Chicago.
- Hernández J.** 1981. Captación del agua de lluvia para fines agrícolas en áreas de temporal. PATUACH Dpto. de Zonas Aridas U.A.CH. Boletín Técnico No.2 Chapingo, México.
- Hudson W.** 1987. Soil and water conservation in semi-arid areas. Soils Bulletin, 57. FAO-SWC. Rome. pp 49-125.

- INFAOL.** 1973. Instituto Nordestino para Fomento de Algodão e Oleaginosas. Recife, PE. A lavoura seca e sua importancia para o desenvolvimento de regioes semi-áridas. Recife, PE. 12p.
- IPT.** 1981. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. "Levantamento das potencialidades para implantação de barragens subterraneas no Nordeste brasileiro": Bacias dos rios Piranhas - Acú (RN) e Jaguaribe (CE). Sao Paulo, SP. 56p. il. (IPT. Relatório, 14887).
- INRENA.** 1984. Instituto Nacional de Recursos Naturales (ex ONERN). Proyecto Nacional Manejo de Cuencas Hidrográficas y Conservación de Suelos. Manual Técnico de Conservación de Suelos. Convenio Perú-AID. N° 527-0220.
- Johnson J.** 1977. Do as the land bids. A study of otomi resource-use on the eve of irrigation. Tesis Doctoral, Department of Anthropology. Clark University, Massachusetts.
- Loredo C., Villanueva J. y Beltrán S.** 1992. Relación área-siembra-escurrimiento y producción de zacate buffel. Informe de Investigación. Documento Interno. SARH-INIFAP-CIRNE, SLP
- Lal H., Silva de S., Porto R. y Costa M.** 1984. Lâmina enleiradora a tração animal e seu uso em novo sistema de captação de água de chuva "in situ". Pesq. agropec. bras., Brasília, 19 (11): 1385-93. Nov.
- Lorenzo L.** 1968. Clima y agricultura en Teotihuacan, en J.L. Lorenzo, ed., Materiales para la Arqueología de Teotihuacan, México, D.F. INAH. Serie Investigaciones N° 17: 51 - 72.
- Martínez M., Anaya M. y Tovar J. L.** 1985. Captación de agua en maíz de temporal en Aguascalientes. Memorias del XVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo La Paz, B.C.S., México.
- Muñoz S. y Castro M.** 1979. Mejoramiento de agostaderos mediante microcuencas y siembra parcial de pastos. Centro Nacional de Investigación para el desarrollo de Zonas Aridas. CNIZA. Boletín Técnico No. 1. Saltillo, Coah., México.
- Monteiro R., Silva de S., Brito de L. y Porto R.** 1989. Captação de água de chuva "in situ" III: densidade de milho. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido, Petrolina, PE, Captação de água de chuva "in situ": comparação de métodos e densidade de plantio. Petrolina, PE., p.39-53. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa,35).
- Morgado B. & Rao R.** 1985. População e plantas e níveis de água no consórcio milho x caupi. Pesq. agropec. bras., Brasília, DF, 20 (1): 45-55, jan.
- Myers E.** 1967. Recent advances in water harvesting. Journal of Soil and Water conservation. 22(3): 95-97.

- MacNeish S.** 1958. Preliminary archaeological investigations in the Sierra de Tamaulipas, México. Transactions of the American Philosophical Society. 48(6), Philadelphia.
- Mickelson H.** 1966. Level Pan System for Spreading and Storing Watershed Runoff. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30. pp: 388-392.
- Masson L.** 1984. Proyecto experimental de recuperación de terrazas agrícolas (andenes), para una Región Meso-andina de Perú. NCTL.
- Núñez R.** 1982. Captación de lluvia y conservación de la humedad del suelo en la producción de cebada bajo condiciones de temporal. Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES.** 1974. More water for arid lands. Promising Technologies and Research Opportunities. Washington, DC. USA. 154p.
- Ortíz J.** 1975. Efecto de las microcuencas para la captación "in situ" de lluvia sobre el régimen de humedad del suelo y la producción de maíz (*Zea mays* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.). Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Orev Y.** 1980. Prolonging water-flow in Negev wades; preliminary report on a modest experiment. Kidma, 5 (4): 8-11.
- PUBLIC WORKS DEPARTMENT OF WESTERN AUSTRALIA,** 1956. Roaded catchments for farm water supplies. Western Australia Department Agricultural Journal 5(6): 667 - 679. (Ver Water Harvesting Symposium (Pag. 25)).
- Porto R. y Silva de S.** 1988. Small-scale water management in farming systems in the Brazilian arid zones. In: International Research and Development Conference on Arid Lands: Today and Tomorrow, 1985, Tucson, Arizona. Proceedings. Boulder: Westview Press, 1988. Cap. 16, p.943-957.
- Porto R., Silva de S., Brito, de L. e Monteiro R.** 1989. Captação de água de chuva "in situ" II: densidade de caupi. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido, Petrolina, PE, Captação de água de chuva "in situ": comparação de métodos e densidade de plantio. Petrolina. p.25-37. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 35).
- Palerm A. and Wolf R.** 1957. Ecological potential and cultural development in Mesoamerica. In: Studies in Human Ecology. Pan American Union. Washington, 1-37.
- Paso y Troncoso F. y L. Vargas Rea (eds).** 1947. Papeles de Nueva España: suplemento. 2 Vol. México.
- Pimentel J.** 1989. Modelo matemático para simular la escorrentía en una red de cauces. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Centro de Hidrociencias. Montecillo, México. 71 p.

- Rojas R., T.** 1985. La tecnología agrícola mesoamericana en el Siglo XVI. En: Rojas R.T. y W.T Sanders. Historia de la Agricultura. Epoca Prehispánica-Siglo XVI. 129-231 pp.
- Reij C., Mulder P. y Begemann L.** 1988. Water harvesting for plant production. World Bank Technical Paper, N° 91.
- Robles C.** 1988. Captación "in situ" del agua de lluvia por medio de microcuencas en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L) P-V 1983. Tesis profesional. UASLP Escuela de Agronomía, México .
- Schemenauer S. and Cereceda P.** 1993. Meteorological Conditions at a Coastal Fog Collection Site in Peru, In: *Atmósfera*, pp. 175-188.
- Schemenauer S. and Cereceda P.** 1994. The Role of Wind in Rainwater Catchment and Fog Collection, In: *Water International*, 19, pp. 70-76.
- Schemenauer S. and Cereceda P.** 1994. Fog Collection's Role in Water Planning for Developing Countries, In: *Natural Resources Forum*, 18, pp. 91-100
- Silva de S. e Porto R.** 1982. Utilização e conservação dos recursos hídricos em áreas rurais do Trópico Semi-árido do Brasil: tecnologías de baixo custo. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 128p.II. (EMBRAPA-CPATSA, Documentos, 14).
- Salazar E.** 1986. Evaluación de sistema de producción agrícola en área beneficiadas con escorrentías superficiales. Proyecto de investigación, FAZ-UJED. Venecia, Dgo. Gómez Palacio, Dgo.
- Sanders T. and Marino J.** 1970. *New World Prehistory*. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Sims B.** 1985. El yunicultor (equipo y uso). Campo Agrícola Experimental Cotaxtla. INIA-SARH.
- Spores R.** 1969. Settlement, farming technology, and environment in the Nochixtlán Valley. XXXVII. Estocolmo, Suecia.
- Sauermann B.** 1966. Water storage in sand-filled dams. Stellenbosch, National Mechanical Engineering Research Institute, 3p. II. (R. MEG, 226).
- Stocker M., et al.** 1954. Range Improvement Through Water Spreading. Superintendent of Documents. U. S. Government Printing Office. Washington 25, D. C.
- Tovar L. y Anaya M.** 1979. Captación y aprovechamiento de la lluvia como una alternativa para la producción de grano y forraje de maíz en zonas de temporal deficiente. Agrociencia, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pag. 113-128.
- Tovar L. and Anaya M.** 1981. Designing farm machinery for rainfed agriculture Proceedings of a workshop "Rainfall Collection for agriculture in arid and semiarid regions" Edited

by G. R. Dutt, C. F. Hutchinson and Anaya, G. M. Commonwealth Agricultural Bureaux. London, U.K. Pág. 49-52.

Taltasse P. y Stretta E. 1959. Os problemas hidrogeológicos do polígono das secas. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, Sao Paulo, 8(1): 43-50. Maio.

Tigre B. 1949. Barragens subterraneas e submersas como meio rápido e económico de armazenamento d'agua. An. Inst. Nordeste, Fortaleza, CE, 13-29.

UNEP. 1979. Rain and Stormwater Harvesting in Rural Areas, A Report by the United Nations Environment Programme. Water Resources Series, Volume 5. UNEP, Nairobi. 238 p.

UNEP. 1983. Rain and Stormwater Harvesting in Rural Areas. Water Resources Series, Volume 5, p.195; design and evaluation of rainwater harvesting schemes.

Velasco A. y Carmona G. 1980. Cosecha de Agua de Lluvia para Consumo Humano, Consumo Pecuario y Agricultura de Secano. Primer reporte de evaluación. ITESM, UANL y CONAZA. México.

Velasco A. 1991. Las Zonas Aridas y Semiáridas, sus Características y Manejo. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México. pp: 519- 523.

WORD BANK. 1988. Water harvesting for plant production. World Bank Technical Paper N° 91

West C. 1970. Population densities and agricultural practices in Pre-Columbian México, Nith special emphasis on semi-terracing. XXXVIII International Congress of Americanists (Stuttgar-Munchen, 1968). Proceedings. Munich, 2, 361-69.

Wipplinger O. 1974. Sand storage dams in South West Africa. Die Siviele Ingenieur in Suid Africa, Stellenbosch, p.135-136.

Bibliografía Consultada, por Capítulos

Capítulo 1: introducción

Barrow J. 1987. Water resources and agricultural development in the Tropics. Longman Development Series, Longman Group UK.

Bouwer H. 1988. Water conservation. Agricultural Water Management, Amsterdam, Netherlands, v.14, p.233-241.

Capítulo 2: revisión de bases técnicas

Barrow J. 1987. Water resources and agricultural development in the Tropics. Longman Development Series, Longman Group UK.

Bateman H. 1979. A Bibliography of Low-cost Water Technologies (3ra.ed). Intermediate Technology Publications, 9 King Street, London WC2E 8HW.

Critchley W. and Siegert K. 1991. Water Harvesting; A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. FAO, AGL/MISC/17/91, Rome.

Elsevier. 1981. Agricultural Compendium for Rural Development in the Tropics and Subtropics. Compendium

Velasco A. 1991. Las zonas áridas y semiáridas, sus características y manejo. Ed. Limusa, S.A. México.

Capítulo 3: microcaptación

Evenari M., Shanan L. y Tadmor N. 1982. The Negev, the challenge of a desert. Editorial: Harvard University Press. 2ª edición. Cambridge Massachusetts. U.S.A. pp. 1-28.

Silva de S., Porto R., Brito de L. e Monteiro R. 1989. Captação de água de chuva "in situ" I: Comparação de métodos da região semi-árida brasileira. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido, Petrolina-PE, Captação de água de chuva "in situ": comparação de métodos e densidade de plantio. Petrolina,. p.5-24. (EMBRAPA-CPATSA. Boletim de Pesquisa, 35).

Velasco A. 1983. Uso y Manejo del Suelo. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México. pp. 143-146.

Velasco A. 1991. Las Zonas Aridas y Semiáridas, sus características y manejo. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México. pp. 570-571.

Capítulo 4: captación externa

Artículo de Cabas N., Chile

Hinds J. 1956. Canales, acueductos, conducciones cubiertas, túneles y tuberías. In Davis, C.V. Tratado de hidráulica aplicada. Trad. de la 2ed. norteamericana por I. Lana Sárrate. Barcelona. pp 435-507.

King W. 1962. Manual de hidráulica para la resolución de problemas de hidráulica. Trad. de la 4ed. En inglés por Rafael García Díaz. México D.F. UTHA. Pp 536.

Torres F. 1983. Obras hidráulicas. Ed. Limusa. México. Pp 278

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR. BUREAU OF RECLAMATION. 1980. Diseño de presas pequeñas. Compañía Editorial Continental, S.A. México. Pp 639.

Artículo de Morales R., Argentina

Amigo A. 1965. El Sobrepastoreo de la Región Patagónica, causas que lo originan y soluciones que se proponen . CONADE. Proyectos Especiales Nro.14.

Auer V. 1951. Consideraciones científicas sobre la conservación de los recursos naturales de la Patagonia. IDIA (40-41):1-36. Dirección General de Investigaciones Agrícolas, Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Black A. 1965. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin .

Boelcke O. 1957. Comunidades herbáceas del norte de la Patagonia y sus relaciones con la ganadería . Revista de Investigaciones Agrícolas, Tomo XI, Nro.4 .

Braun B. 1932. Plant Sociology. Mc. Graw-Hill. Boock Company. Inc. First Edition.

Bray J. and Curtis J. 1957. An ordination of the explant forest communities of southern Wisconsin. Ecology. Monograph, 27:325-349.

Castro M. 1983. Manual para la recuperación de áreas erosionadas en la Patagonia. E.E.A. Trelew. Chubut. INTA.

Chapman y Pratt. 1979. Métodos de análisis de suelo, plantas y agua. Ed. Trillas .México.

- Duranona G.** 1980. Evaluación de la producción forrajera de mallines a través de la producción animal. Informe Final. Plan de Trabajo Nro. 1655. E.E.A. San Carlos de Bariloche. INTA.
- Fiorio D.** 1979. Aprovechamiento de recursos hídricos. Informe Técnico Nro.3 A.E.R. San Martín de los Andes .INTA.
- Gorgas A., et al.** 1973. Reconocimiento de suelos en la Terraza Intermedia del Valle Inferior del Río Chubut. Corfo Chubut-INTA-Agua y Energía. Trelew. Chubut.
- Horne F. y Morales R.** 1977. Recuperación de los suelos en el Valle Inferior del Río Chubut. Congreso Nacional del Agua. Viedma . Río Negro. Argentina.
- Horne F., Morales R. y Horne H.** 1981. Impacto ecológico de la transformación de zonas áridas en zonas bajo riego. IX Reunión Argentina de Ecología. San Carlos de Bariloche. Río Negro. Argentina.
- Horne F., Morales R., et al.** 1982. Plan piloto de recuperación de suelos salinos-alcalinos en el Valle Inferior del Río Chubut. Congreso Nacional del Agua. Corrientes. Argentina.
- Morales R.** 1980-3. Proyectos y diseño de obras de riego a nivel parcelario en las Provincias de Chubut, Santa Cruz y Territorio nacional de la Isla de Tierra del Fuego. Informes Técnicos. E.E.A. Trelew. Chubut.
- Morales R.** 1986. Areas bajo riego. Subsecretaría de Recursos Hídricos. Rev. Nro. 1, Unidad Experimental Cañadón León. Santa Cruz.
- Papadaksi J.** 1969. En suelo y flora, Cap. 2, Sec. 1, pág. 22 . Evaluación de los recursos naturales de la Argentina. Primera parte. Tomo 3. Consejo Federal de Inversiones.
- LOS RECURSOS HIDRÁULICOS DE ARGENTINA.** 1969. Comisión Económica para América Latina. Consejo Federal de Inversiones.
- ESTADÍSTICAS E HIDROLOGÍA HASTA 1980.** 1981. Agua y Energía . Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Buenos Aires.
- Paz C.** 1976. Ecosistema templado-frío y frío: Patagonia Argentina..A E. R. Río Gallegos.INTA.
- Soriano A.** 1956. Los distritos florísticos de la Provincia Patagónica. Revista de Investigaciones Agrícolas. Tomo 10 , Nro.4.
- Vallerini J.** 1980. Fertilización de mallines con superfosfato en distintas dosis. Informe Final Plan de Trabajo Nro.0775. E.E.A. San C. de Bariloche.
- Wijnhoud S. y Sourrouille A.** 1972. Suelos del área de Río Gallegos- Río Turbio. Proyecto FAO-INTA. Informe inédito.

Artículo de Silva de S., Brasil

- Aragão P.** 1980. Alternativa para estabilização da agricultura de sequeiro. Petrolina, EMBRAPA/CPATSA, 6p. (EMBRAPA/CPATSA. Documento, 5).
- Evenari M., Shanan L. & Tadmor H.** 1971. The Negev; the challenge of a desert. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 345p.
- Guerra de B.** 1975. Agricultura de Vazantes - um modelo agrônômico nordestino. In: SEMINARIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., Fortaleza, CE., Anais. Fortaleza, MINTER-DNOCS/ABID, 1976. v.4. p.325-30.
- Santos D.** 1975. Topografia aplicada na pequena irrigação; curso de irrigação para extensionistas. Belém do São Francisco, PE., ANCARPE, 16p.
- Silva de S., Porto R. & Gomes F.** 1981. Seleção de áreas e construção de barreiros para uso de irrigações de salvação no Trópico Semi-Árido. Petrolina, PE., EMBRAPA/CPATSA, 43p. (EMBRAPA/CPATSA. Circular Técnica, 3).
- Silva de S. y Porto R.** 1982. Utilização e conservação dos recursos hídricos em áreas rurais do Trópico Semi-Árido do Brasil; tecnologia de baixo custo. Petrolina, PE., EMBRAPA-CPATSA, 128p. II. (EMBRAPA-CPATSA, Documentos, 14).
- Artículo de Soto G., Chile
- Burgos, Corina y otros.** 1972. Destilación. Solar en el Desierto de Atacama (Seminario de Título). Universidad del Norte - Antofagasta.
- Cereceda, T. Pilar, y otros.** 1987. Estudio del Potencial de Captación de Agua de Neblina en el Litoral de la III Región de Atacama y su Relación con la Población Rural. Instituto de Geografía. Universidad Católica de Chile. 18p.
- Canto, W. y Soto, G.** 1990. Abastecimiento de Agua Potable a la Localidad de Chungungo Mediante la Captación de Neblinas. XXII Congreso AIDIS CONAF IV Región. 31p.
- CONAF IV Región.** 1983. Estudio Evaluación de las Neblinas Costeras (Camanchaca) en el Sector El Tofo. Propuesta Técnica, 28p.
- CONAF IV Región.** 1987. Análisis del Proyecto abastecimiento de Agua Potable a la Localidad de Chungungo. 4p.
- CONAF-SERPLAC IV Región.** 1985. Evaluación de las Neblinas Costeras (Camanchaca) en el Sector El Tofo. 129p.
- Correa C., Héctor.** 1990. Caracterización y Evaluación del Fenómeno de la Camanchaca en la III Región de Atacama. Tesis Univ. de Chile. 259p.
- Cruzat, A. y Osandon, J.** 1995. Manual de Construcción de Captadores de Neblina. CIID. Documento en elaboración.

Fuenzalida, P. H.; Rutllant C. José y Rossenblüch. 1995. Estudio de la Capa Límite Atmosférica del Litoral Arido de Chile. Informe Final. Proyecto N°1156. Dpto. de Geología y Geofísica. Universidad de Chile. 20p.

Gischler Christiaan. 1991. The Missing Link in a Production Chain. Vertical obstacles to catch Camanchaca. Unesco. 197p.

Larraín B., Horacio y otros. 1983. Aprovechamiento de la Camanchaca - Informe Final a SERPLAC IV Región. Instituto de Estudios y Publicaciones Juan Ignacio Molina.

López M., Juan; Canto V., Waldo y Meneses R., Raúl. 1989. Construcción de Atrapanieblas. Revista la Platina N°56. 41-47p.

Masson C.; Cerda J. y Canto V. 1982. Cosechando Las Nubes. XXIII Congreso AIDIS. CONAF IV Región 18p.

Masson C. 1992. Jefe proyecto Camanchaca CONAF IV Región. Entrevista personal.

Schemenauer, R.; Cereceda, O. y Carvajal, N. 1987. Measurements of Fog Water Deposition and their Relationships to Terrain Features. Separata del Journal of Climate and Applied Meteorology. Vol.26, N°1285-1291 pp.

Schemenauer, R.; Fuenzalida, H. y Cereceda, P. 1988. A Neglected Water Resource: The Camanchaca of South América. Separata del American Metereological Society Vol.69, N°2 138-146pp.

Schemenauer, R. y Cereceda, P. 1991. Fog as a Permanent Water Resources in Arid Lands. VII World Congress on Water Resources. Rabat, Marocco. 8p.

Soto, G.; Elicer, Luis. 1984. Proyecto Camanchaca Pre-Estudio Económico Comparativo. CONAF IV Región. 14p.

Soto, G.; Elicer, R. 1984. Estudio de Prefactibilidad Técnico Económico. Conducción del Agua de Camanchaca hacia la Caleta de Chungungo CONAF-SERPLAC IV Región. 30p.

Soto, G. 1992. Camanchaca. Alternativas de Utilización y Selección de lugares en el Norte de Chile. Corporación Nacional Forestal. 22p.

Tapia, O. y Zuleta, R. 1980. Veinte Años de Camanchaca y dos del Proyecto Mejillones. Antofagasta. Chile. 109p.

Capítulo 5: sistemas de inundación

Artículo de Anaya M., México 1

Arias M. 1987. Manejo de escorrentías para producción agrícola en zonas áridas. III Congreso Nacional de Irrigación. Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación. Noviembre 22-25, Los Mochis, Sin. pp 124-130.

Martínez L. y Cepeda S. 1970. Aprovechamiento de aguas de escorrentía y producción de cosechas en suelos de laderas aluviales en la zona árida del municipio de Saltillo, Boletín Técnico de la Esc. Superior de Agricultura Antonio Narro, Universidad de Coahuila.

Artículo de Velasco H., México 2

Figueroa B., Pimentel L. y Rodríguez O. 1991. Instructivo para la operación y mantenimiento de módulos campesinos para manejo de escurrimientos superficiales. Serie Documentos Técnicos del CREZAS 5. Colegio de Postgraduados. Salinas, S.L.P. México.

Artículo de Silva de S., et al, Brasil

Brito de L., Silva de S., Maciel L., Monteiro R. 1989. Barragem subterrânea I: construção e manejo. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 8p. il. (EMBRAPA-CPATSA, Boletim de Pesquisa, 36).

Duque G. 1973. Algumas sugestoes da exploração de acudes Públicos. In: Solo e água no polígono das secas. 4.ed. Fortaleza, CE, DNOCS. p.129-56. (DNOCS. Publicacao 154. Série I-A).

Monteiro C. 1984. Barragem subterranea: uma alternativa para suprimento de água na região semi-árida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGUAS SUBTERRANEAS, 3, Fortaleza, CE, 1984. Anais... Fortaleza, ABAS, v.1, p.421-30.

PLASTICOS POLYFILM. 1985. Carta GVLC/046/85, 29 de novembro, Sao Paulo, S.P., para Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2p. Assinada por Juan Berenguer.

Porto R., Vivallo G., Williams O., Silva de S. y Lopes de O. 1990. Pequenos Agricultores V: Métodos de execução de sistemas integrados de pequena produção agropecuária (SIP). Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA. 70p. 11.(EMBRAPA-CPATSA, Documentos, 66).

Santos P. dos & Frangipani A. 1978. Barragens submersas - uma alternativa para o Nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2, Sao Paulo, SP, 1978. Anais. Sao Paulo, ABGE., v.1, p.119-26.

Silva de S., Brito de L., Rocha M. 1988. Captação e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro; Cisternas Rurais II: água para consumo humano. Petrolina, PE, EMBRAPA-CPATSA, 79p. il. (EMBRAPA-CPATSA, Circular Técnica, 16).

Silva L. da, Lopes C., Anjos B. dos, Silva de S., Brito de L., Porto R. 1994. Barragem subterranea - uma alternativa para pomares. In: X Reunião Brasileira de Manejo e

Conservação do solo e da Agua, Florianópolis, SC. Resumos. Florianópolis, SBCS, 1994. v1, p.286-287.

Artículo de Silva de S., et al, Brasil

Barbosa R., Lyra A. de, Freitas L. de & Holanda M. de. 1980. As vazantes e a tecnologia de produção. Natal, RN., EMATER. 17p.

BRASIL. 1973. Ministério do Interior. Comportamento dos principais sistemas de produção da zona Semi-Árida. In: Plano integrado para o combate preventivo aos efeitos das secas do Nordeste. Brasília, DF., MINTER. Cap. 3., p.111-12. (Desenvolvimento Regional -Monografias, 1).

Duque G. 1973. Algumas questões da exploração de açudes públicos. In: Solo e Água no polígono das secas. 4. Ed. Fortaleza, CE., DNOCS. p.129-56. (Publicação, 154, Série I-A).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1979. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, Petrolina, PE. Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, 1977-1978. Brasília EMBRAPA-DID, 133p.

Guerra de B. 1975. Agricultura de Vazantes - um modelo agronômico nordestino. In: SEMINARIO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., Fortaleza, CE., Anais. Fortaleza, MINTER-DNOCS, ABID, 1976. v.4 p.325-30.

Artículo de Pinedo J., et al, Perú

Cotleravalos H. 1986. Inventario, evaluación y uso de los andenes en la sub-cuenca del Río Rimac (Tesis Profesional).

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA, CONCYTEC. 1986. Andenes y camellones en el Perú Andino.

Chang-Navarro L., Vásquez A. y Arledge J. 1988. Manual técnico de conservación de agua y suelos.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA-EX ONERN). 1982. Clasificación de las tierras del Perú.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, REGION AGRARIA 21 – PUNO. 1985. Proyecto 500020-a. Construcción de andenes.

Salas D. y Vásquez A. 1987. Andenes. Univ. Nac. Agraria La Molina, UNA, Perú.

