



**Congreso Nacional del Medio Ambiente**  
Cumbre del Desarrollo Sostenible

**COMUNICACIÓN TÉCNICA**

# Conservación de suelos y restauración de la vegetación mediante técnicas tradicionales de recolección de agua

Autor: Jorge Mongil Manso

Institución: Universidad Católica de Ávila  
E-mail: [jorge.mongil@ucavila.es](mailto:jorge.mongil@ucavila.es)



## **RESUMEN:**

La recolección de agua se practica especialmente en regiones áridas y semiáridas de todo el mundo, sobre todo para cultivos agrícolas. Dentro de este ámbito se incluyen técnicas de recolección de agua de lluvia y escorrentía, captación de aguas subterráneas, de vapor y de precipitaciones ocultas, y estructuras de almacenaje de agua. En este trabajo se analiza el concepto de recolección de agua y se hace una propuesta de clasificación de las técnicas recopiladas. Así mismo se analiza la posibilidad de empleo de estas técnicas en la lucha contra la erosión y en la restauración de la vegetación.



## INTRODUCCIÓN

Debido a la importancia que el agua siempre ha tenido para el hombre, éste se ha preocupado por su captación, especialmente en zonas secas. Las formas más primitivas de recoger agua fueron sencillos hoyos excavados en el suelo o en la roca, para captar y almacenar la escorrentía generada durante las lluvias. Algún tiempo después, estos hoyos se acompañaron de muros de desviación, para crear un área de impluvio o captación de mayor superficie. Algunos restos arqueológicos de este tipo de estructuras se han estudiado en las montañas de Edom (en el sur de Jordania) con una antigüedad de unos 9.000 años, en Irak hacia el año 4500 A.C. y en la zona situada entre el golfo de Arabia y La Meca, según menciona FRASIER (1994).

EVENARI *et al.* (1963, 1964) describieron un sistema de captación de agua para la agricultura, situado en pleno desierto del Neguev (Israel), que puede datarse hace unos 4.000 años. Estas instalaciones están constituidas por áreas productoras de escorrentía con laderas sin vegetación y suelo alisado, para fomentar el escurrimiento superficial; y zanjas cavadas siguiendo curvas de nivel que conducían el agua recogida a los campos de cultivo. Esto permitía el cultivo de cereales en una región con precipitación anual media de 100 mm.

En Palestina han sido descubiertas cisternas con áreas de captación, del año 2500 al 1800 A.C. (NASR, 1999). Otras técnicas de cosechas de agua han sido utilizados hace unos 500 años en el suroeste de Estados Unidos, México, India y en África, tanto en la zona norte como en la región subsahariana (FRASIER, 1994; BAZZA & TAYAA, 1994).

En la actualidad, la recolección de agua se practica en las regiones áridas y semiáridas de numerosos países (Australia, Túnez, Kenia, India, Pakistán, Israel, México, etc.), para la agricultura. La técnica más utilizada es, sin duda, la de las microcuencas, aunque para este trabajo se han catalogado más de un centenar de técnicas, que se emplean a lo largo de todo el mundo. La gran ventaja que aportan las técnicas tradicionales de recolección de agua es su sencillez de ejecución, característica que resulta tremendamente interesante para su aplicación en la restauración forestal.

## CONCEPTO Y CLASIFICACIÓN

En sentido amplio, la recolección de agua puede definirse como un conjunto de técnicas destinadas a captar agua de cualquier origen, y utilizarlo en la agricultura, en el abastecimiento humano o ganadero, o en la repoblación forestal. Generalmente se utiliza esta expresión (o sus equivalentes cosecha de agua o captación de agua) para referirse exclusivamente a la recogida de agua de escorrentía superficial (BOERS & BEN-ASHER, 1982; CRITCHLEY & SIEGERT, 1991; FRASIER, 1994). Por consiguiente, puede definirse recolección de agua como un método para inducir, recoger, almacenar y conservar escorrentía superficial local, en zonas áridas y semiáridas, para emplearlo en la agricultura, la ganadería, la repoblación forestal o el abastecimiento a poblaciones humanas.

En la lengua española, se considera más correcto hablar de “recolección de agua” que de “cosechas de agua”, aunque esta adaptación del término inglés *water harvesting* es de uso generalizado especialmente en los países hispanoamericanos.



Desde el campo de la agricultura las técnicas de recolección de agua han pasado a la repoblación forestal, tanto la que tiene un carácter principalmente productivo, en la que la producción se ve aumentada gracias al mayor aporte de agua, como la que persigue la restauración de la vegetación en zonas más o menos secas, donde lo que se consigue es mejorar la supervivencia de los brinzales para que cumplan con su función protectora del suelo frente a la erosión. Así, se puede hablar de recolección forestal de agua (*forest water harvesting, récolte forestière d'eau*), con fines productivos o restauradores.

Con este punto de vista se introdujo el concepto de *oasificación* (MARTÍNEZ DE AZAGRA, 1999; MARTÍNEZ DE AZAGRA & MONGIL, 2001). *Oasificación* es el antónimo de desertificación por aridez edáfica. Para revertir el negativo proceso de desertificación (que implica degradación hídrica, edáfica y botánica) se deben aplicar métodos que densifiquen y lignifiquen la cubierta vegetal, mediante una correcta preparación del suelo e introduciendo las especies vegetales adecuadas. Por lo tanto, no es la *oasificación* exclusivamente recolección de agua, sino que también con las técnicas de *oasificación* se recogen los sedimentos, nutrientes y materia orgánica que transporta la escorrentía, lo cual es beneficioso para las plantas y también para el objetivo de conservación del suelo. Esta doble recogida -de agua y de partículas sólidas- ya se conoce en determinadas técnicas tradicionales de cultivo (en el riego de boqueras, por ejemplo), pero es la primera vez que se utiliza esta idea para la restauración de la vegetación y, por lo tanto, con un enfoque ecológico.

En la naturaleza se pueden observar procesos espontáneos de *oasificación*, como ocurre precisamente en la formación de un oasis en el desierto o en los sistemas ladera-vaguada de las dehesas ibéricas.

El primer caso es lo que se puede denominar “efecto oasis”. En un desierto, la aridez es interrumpida en algunas ocasiones por situaciones singulares que generan el surgimiento de microclimas que contrastan con el conjunto árido. Los desencadenantes pueden ser una pequeña depresión en el terreno que recoge y alberga humedad, una roca que provee sombra o una semilla que germina (LAUREANO, 2005). De esta manera se inducen dinámicas ecológicas favorables: la planta se beneficia de la humedad del suelo, genera su propia protección a la insolación, concentra vapor de agua, produce materia orgánica y va construyendo el suelo del que se nutre. Tomando el “efecto oasis” como modelo, es posible imitar los procesos naturales y adelantarse a ellos, para emprender la restauración de terrenos degradados provocando y favoreciendo una retroalimentación positiva.

En el caso de las dehesas, los sistemas ladera-vaguada son conocidos por sus usuarios desde tiempos remotos (figura 1). Estos sistemas condicionan la variación local del pasto. Las zonas altas, de exportación de agua y materiales sólidos, representan un extremo del gradiente de variación de la dehesa, conocidas localmente como “cerrillos”, frente al extremo opuesto representado por las zonas bajas, fértiles y húmedas “badenes”. Las fluctuaciones de desarrollo interanual del pasto están condicionadas por estos sistemas, de manera que en las zonas altas de ladera hay marcadas diferencias de desarrollo entre años húmedos y secos, mientras que en las zonas bajas o de vaguada estas diferencias se encuentran amortiguadas. Además de las diferencias en la máxima producción, también existe una diferencia en cuanto al tiempo en que esta se produce, ya que el aprovechamiento del pasto por el ganado se prolonga en las zonas bajas hasta bien

entrado el verano. Se observa también que en las zonas altas de ladera el consumo de pasto por el ganado disminuye al avanzar el año, mientras que en las bajas aumenta. La explicación se encuentra en la disponibilidad de agua: las zonas de laderas se secan antes, de forma que el ganado dirige su consumo a zonas bajas a medida que avanza la primavera (DÍAZ PINEDA, 1987).

Se demuestra aquí la necesidad de apoyarse en los conocimientos tradicionales como manera de desarrollo de técnicas y actuaciones. La recolección de agua tiene gran interés para la comprensión del funcionamiento de los ecosistemas naturales en zonas áridas y semiáridas, resultando primordial para la restauración de laderas, así como para la agricultura, la ganadería y el abastecimiento humano (cisternas, aljibes, microcaptaciones para cultivos y abrevaderos, etc.).

Las técnicas de recolección de agua tienen en común varias características:

- Se utilizan en zonas secas (áridas o semiáridas), donde la escorrentía superficial no es continua en el tiempo
- Funcionan con agua local, generalmente escorrentía superficial o agua de un arroyo o manantial efímeros
- Son sistemas a pequeña escala, tanto por las inversiones necesarias como por sus dimensiones.

En general, cualquier sistema de recolección de agua consta de dos partes absolutamente imprescindibles (figura 2): un área de impluvio, donde se genera escorrentía, y un área de recepción, en la que se recibe la escorrentía y se almacena, ya sea en el suelo (mediante infiltración, como en el caso de los cultivos o de la repoblación forestal) o en depósitos (cisternas, aljibes, estanques, etc.).

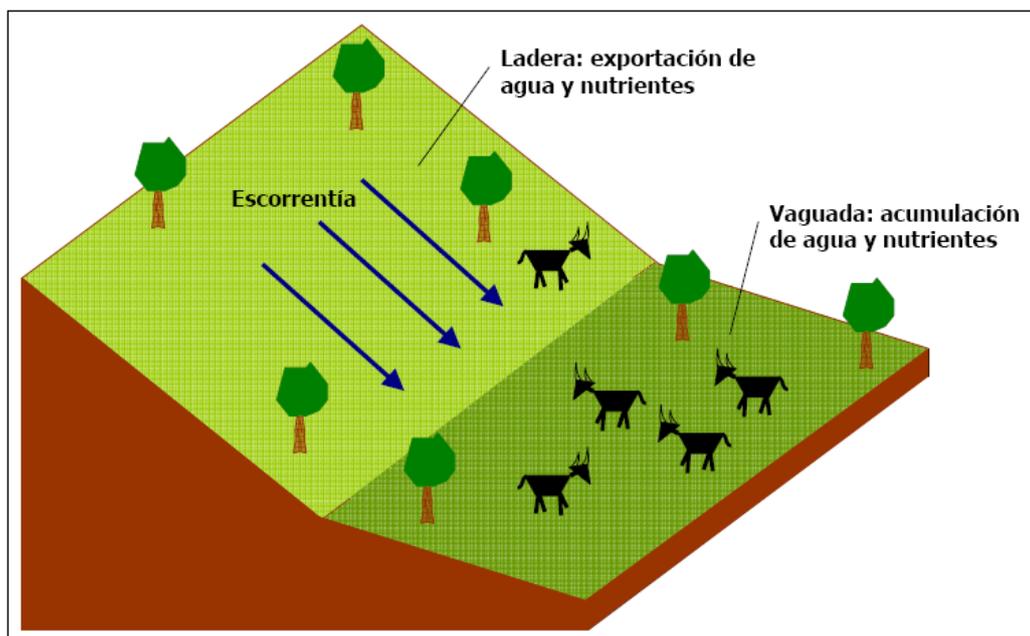


Figura 1. Sistema ladera-vaguada en una dehesa

En muchas ocasiones, se ha potenciado la generación de escorrentía en el área de impluvio mediante tratamientos físicos en el suelo (alisados), eliminando la vegetación o aplicando a la superficie sustancias impermeabilizantes (parafinas, sales de sodio, hormigón, etc.), aunque esta práctica no se considera adecuada dentro del ámbito de la restauración forestal.

La tipología de los sistemas hidráulicos tradicionales, es decir, de las técnicas o elementos tradicionales que estén relacionados con el agua, es compleja y diversa. Se pueden distinguir tres grupos: las técnicas de recolección, las de almacenamiento, las de transporte y distribución, y las de drenaje de agua (tabla 1). Cuando se trata de la recogida de agua, ésta puede proceder de escorrentía superficial, de acuíferos subterráneos o de precipitaciones horizontales.

Dentro de las técnicas de recolección de agua de escorrentía superficial, objeto de este trabajo, se distingue la captación de agua en laderas (microcuencas o sistemas de captación externa), en contraposición a la captación desde cursos de agua (o cosechas de agua de inundación) (véase la tabla 2).

Las microcuencas son sistemas que recogen escorrentía que fluye desde áreas de impluvio de corta longitud (de 1 a 30 m), el agua recogida suele almacenarse en el perfil del suelo y la relación entre el área de impluvio y el área de recepción es normalmente de 1 a 3.

Los sistemas de captación externa constituyen una técnica que recoge agua que fluye por la superficie del suelo y normalmente la almacena en el perfil edáfico. El área de impluvio tiene una longitud de 30 a 200 m, y la relación área de impluvio/área de recepción es normalmente de 2 a 10.

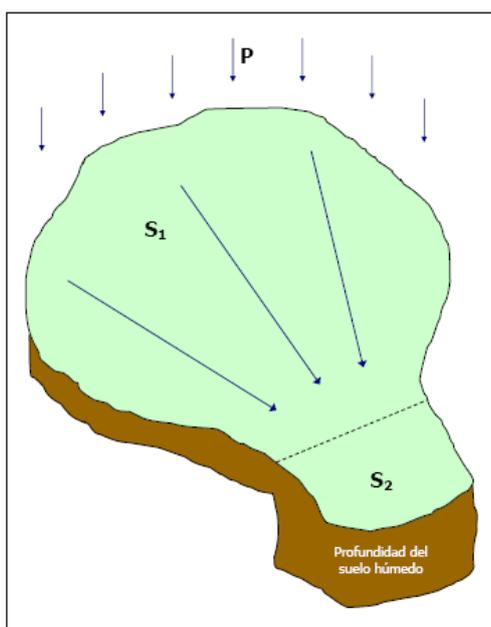


Figura 2. Concepto de recolección de agua,  $P$  = Precipitación;  $S_1$  = Área de impluvio;  $S_2$  = Área de recepción

Tabla 1. Clasificación de los sistemas hidráulicos tradicionales

Técnicas de recolección de agua	Recolección de agua de escorrentía superficial	Recolección de agua en laderas
		Recolección desde cursos de agua
	Captación de agua subterránea	
	Captación de precipitaciones horizontales	
Técnicas de almacenamiento de agua	Tipo aljibe	
	Tipo estanque	
	Tipo presa	
Técnicas de transporte y distribución de agua		
Técnicas de drenaje		

Por último, la cosecha de agua de inundación es una técnica de recolección desde corrientes de agua en las que se desvía el flujo de un arroyo efímero y se extiende el agua dentro del lecho o en el fondo del valle. Habitualmente la escorrentía se almacena en el perfil del suelo. El área de impluvio es amplia (pudiendo llegar a ser de varios kilómetros de longitud) y la relación área de impluvio/área de recepción está por encima de 10.

En la tabla 2 se hace una propuesta de clasificación de las técnicas tradicionales de recolección de agua, y se relacionan los nombres de varias decenas de éstas, las de mayor significación en todo el mundo, entre las más de cien recopiladas para este trabajo.

## RECOLECCIÓN DE AGUA Y RESTAURACIÓN FORESTAL

A pesar de que, como se ha visto, existen otros tipos de sistemas tradicionales de captación de agua, en la restauración forestal se utilizan fundamentalmente aquellos que recogen agua de escorrentía superficial. Este tipo de técnicas han sido empleadas desde antiguo en la plantación de frutales (olivos, vides, almendros, etc.), y sólo recientemente en repoblaciones forestales. Algunas preparaciones del suelo para repoblación utilizadas en España funcionan como sistemas de cosechas de agua, como los acaballonados siguiendo curvas de nivel o los aterrazados.

La utilización de técnicas de recolección de agua presenta algunas ventajas para la restauración forestal que conviene destacar:

- La sencillez, en cuando a su planificación y ejecución
- Los costes reducidos, ya que la mayoría de ellas pueden mecanizarse
- La conservación del agua y del suelo, porque un sistema de recolección de agua bien dimensionado no sólo recoge toda la escorrentía generada en el área de impluvio sino también los materiales sólidos movilizados.

Por todos estos motivos, las técnicas de recolección de agua constituyen una buena alternativa frente a otros métodos, en la restauración hidrológico-forestal y, en general, en cualquier proyecto de restauración de la vegetación. En la figura 3 se muestra un diagrama que clasifica las principales técnicas y sirve para tomar una decisión sobre la elección de la técnica más adecuada en cada situación.

Tabla 2. Técnicas tradicionales de recolección de agua: clasificación

Recolección de agua en ladera ( <i>rainwater harvesting</i> )	Microcuencas ( <i>microcatchments</i> )	Microcuencas <i>Negarim</i> Microcuencas en V Caballones semicirculares Caballones según curvas de nivel Bandas de escorrentía ( <i>shanim</i> ) <i>Kunds</i> o <i>kundis</i> <i>Jackwells</i> <i>Khatri</i> <i>Virdas</i> Terrazas y bancales <i>Meskat</i> y <i>mankaa</i> * Gavias o bebederos * Cajas de agua * Eres Maretas Alcogidas
	Sistemas de captación externa ( <i>external catchment systems</i> )	Caballones trapezoidales Caballones de piedra a nivel <i>Limanim</i> <i>Khadin</i> o <i>dhora</i> Aguadas <i>Tobas</i> <i>Zabo</i> o <i>ruza</i> <i>Katas</i> , <i>mundas</i> y <i>bandhas</i> <i>Apatani</i>
	Recolección desde cursos de agua (recolección de agua de inundación) ( <i>floodwater harvesting</i> )	TIPO <i>M'GOUDS</i> O RIEGO DE BOQUERAS : Diques permeables de roca Caballones de extensión de agua Riego de boqueras, de turbias, de <i>alfayt</i> , agüeras, <i>cap-rec</i> , <i>cap de rec</i> <i>M'gouds</i> <i>Chaaba</i> y <i>humila</i> Gavias de fondo de barrancos <i>Masraf</i> <i>Iglamah</i> <i>Gabarband</i> Calles-torrente <i>Khaur</i> <i>Ahar</i> y <i>pynes</i> <i>Bengal's inundation channel</i> <i>Bhanadaras</i> o <i>bhandaras</i> <i>Phad</i> <i>Pat</i> <i>Dungs</i> o <i>jampois</i> <i>Kere</i> <i>Korambus</i> o <i>chira</i> <i>Naula</i> <i>Kuhl</i> <i>Cheo-oziihi</i> <i>Bamboo drip irrigation</i> <i>Naada</i> Red de canales desde los glaciares, <i>kul</i> <i>Bisse</i> Regaderas desde arroyos o ríos TIPO <i>WADI</i> ATERRAZADOS O <i>JESSOURS</i> : <i>Wadi</i> aterrizados Barrancos aterrizados <i>Limanim</i> en <i>wadi</i> <i>Jessours</i> , <i>tabia</i> y <i>ketra</i> <i>Harrah</i> Nateros (jollas, muros de piedra, terrazas de barranca, paratas, traveseros)

\* Según las dimensiones puede tratarse de una técnica de captación externa.

La relación de las técnicas citadas en esta tabla se ha elaborado mediante trabajo de inventario y catalogación en campo (España, Portugal e Israel), mediante informantes locales en estos países y en México, y por revisión bibliográfica, especialmente: CSE (2008), para India, CRITCHLEY & SIEGERT (1991) y FAO (1994)

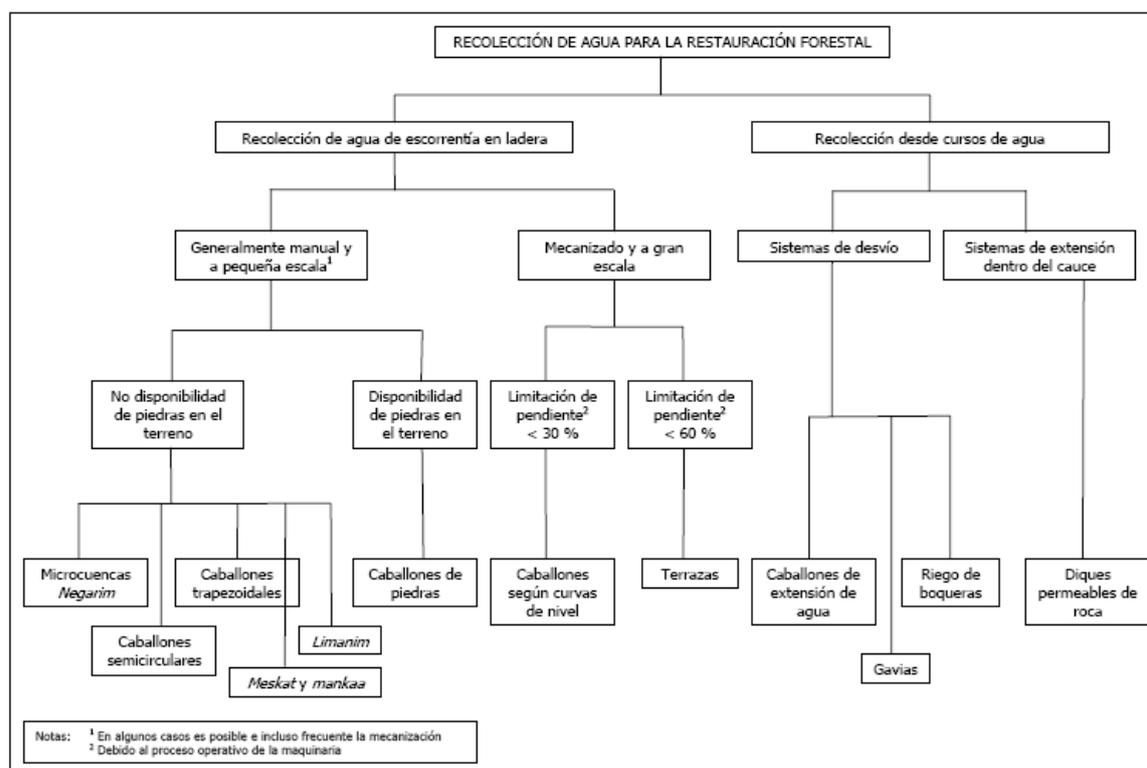


Figura 3. Clasificación y diagrama de decisión de las técnicas tradicionales de recolección de agua para la restauración forestal

Seguidamente se examinan algunas de las principales técnicas de captación de escorrentía con objetivo de restauración forestal. En la tabla 3 hace un resumen de la información aportada.

### MICROCUENCAS NEGARIM

Son estructuras de forma cuadrada o romboidal, rodeadas por pequeños caballones de tierra y con un hoyo de infiltración en el vértice inferior de cada una de ellas, en el que se sitúa la planta. Las microcuencas se han utilizado siempre para la plantación de frutales, puesto que fueron diseñadas especialmente para la instalación de árboles. También han sido empleadas para el establecimiento de especies forestales, aunque con menores espaciamientos. En nuestro país, esta técnica fue introducida a nivel teórico y experimental pero no se han realizado con ella repoblaciones a gran escala. El inconveniente principal de aplicación en restauración forestal no es técnico, sino económico. A pesar de que la realización de los hoyos se puede mecanizar, la construcción del caballón perimetral de tierra que define las microcuencas sólo puede construirse de manera manual, lo que supone un encarecimiento sustancial de la obra. No obstante, este incremento en los costes queda plenamente justificado en zonas muy secas, debido a la cantidad de agua que se logra recoger. Por otro lado, sería deseable el diseño de un apero que pudiera realizar de forma mecanizada los caballones, si no para formar microcuencas completas, sí la variante consistente en microcuencas en forma de “V”.



## **CABALLONES SEGÚN CURVAS DE NIVEL**

Se trata de la construcción, generalmente mecanizada, de caballones de tierra siguiendo curvas de nivel. De esta manera se compartimenta la ladera en unidades más pequeñas. Tradicionalmente se realizan también unos caballones más pequeños, perpendiculares a los anteriores y separados varios metros, que delimitan las microcuencas. Esta técnica puede asimilarse a preparaciones del suelo tales como acaballonado con desfonde u otros acaballonados, utilizados con mucha frecuencia en España desde hace varias décadas. Se han llevado a cabo experiencias satisfactorias en la plantación de árboles con este método en Baringo (Kenia), donde se han instalado especies de los géneros *Acacia*, *Prosopis* y *Combretum* (CRITCHLEY & SIEGERT, 1991). También se emplean actualmente con mucha frecuencia en la restauración forestal en Israel.

## **CABALLONES SEMICIRCULARES**

Este tipo de caballones, también denominados medias-lunas, son unos bancales de tierra de forma semicircular, cuyos extremos se sitúan sobre curvas de nivel. La plantación de árboles en caballones semicirculares tiene un precedente con buenos resultados en la provincia de Tahoua (Níger). Allí y en otros lugares se han plantado, por ejemplo, almendros, albaricoqueros, melocotoneros, pistachos, olivos, granados y arbustos para ramoneo (estos últimos en el noroeste de Siria), según relata PRINZ (2001). En nuestro país, GARCÍA SALMERÓN (1995) cita esta técnica, pero no se ha encontrado constancia de haber sido empleada en repoblaciones forestales. Este método de preparación del suelo tiene una gran aplicación en repoblaciones en zonas semiáridas. Sin embargo, conviene adaptar las dimensiones utilizadas tradicionalmente, reduciendo su tamaño, para poder aumentar la densidad de plantación. Por otra parte, para reducir costes, es necesario idear un apero adaptable a un tractor que pueda perfilar mecanizadamente los caballones. En este sentido, algunos intentos ya se han llevado a cabo con éxito.

## **CABALLONES TRAPEZOIDALES, LIMANIM**

Estas estructuras son similares a los caballones semicirculares, aunque en este caso su forma es trapezoidal, con un caballón base que sigue curvas de nivel, conectado a otros caballones laterales con un ángulo de 135°. Al igual que los caballones semicirculares, los caballones trapezoidales son técnicas muy interesantes para adaptarlas a la repoblación forestal en zonas áridas y semiáridas. Como se ha indicado para otros casos, la mecanización de estas obras es indispensable para reducir su coste. Es necesario también reducir el tamaño de cada estructura considerablemente (respecto a las dimensiones tradicionalmente empleadas), para que las densidades de plantación puedan ser mayores (como requiere una repoblación). También cabe la posibilidad de repoblar por bosquetes espaciados. Así ocurre también en los *limanim*, que son presas de tierra utilizadas en Israel para la plantación de bosquetes de árboles, que tiene forma aproximadamente de media luna o trapezoidal y pueden llegar a tener varias decenas de metros de longitud. En la zona próxima a la presa de tierra en la que se concentra el agua, se plantan los árboles, que reciben así una cantidad de agua mayor que las propias precipitaciones de la zona. El sistema *liman* se utiliza en cuencas de superficie variable o en *wadi* (cauces de zonas áridas que drenan escorrentías abundantes y erráticas) de fondos planos o lechos anchos. Cuando los *limanim* se sitúan en *wadi*, pueden construirse en serie a lo largo del lecho, y en este caso sería algo similar a los *wadi*



aterrazados, tradicionalmente utilizados en el norte de África, Oriente Medio e incluso en España.

### **CABALLONES DE PIEDRAS SEGÚN CURVAS DE NIVEL**

Estas estructuras consisten en la creación de unos cordones de piedras siguiendo curvas de nivel, que interceptan la escorrentía. Han sido utilizados con cierta frecuencia en algunos países africanos para la plantación de especies arbóreas (por ejemplo, en Burkina Faso). En principio puede parecer un sistema de muy escasa aplicación en la repoblación forestal de nuestro país, pero esta técnica puede resultar útil para reforestar laderas pedregosas, en las que con una retroexcavadora de cazo especial se creen caballones continuos o discontinuos de piedras y tierra, con el fin de retener e infiltrar un bien tan preciado como es el agua. De hecho, en algunas restauraciones hidrológico-forestales de hace algunas décadas se emplearon los llamados diques de reconstitución, que consistían en cordones de piedras que seguían curvas de nivel. Es también una técnica muy interesante de conservación de suelos.

### **DIQUES PERMEABLES DE ROCA, BARRANCOS ATERRAZADOS**

Los diques de roca son unos muros dispuestos perpendicularmente a los cauces (*wadi* o ramblas) con la finalidad de frenar y extender lateralmente el caudal circulante en determinados momentos. Los diques no se limitan sólo al propio cauce, sino que se extienden a ambos lados varias decenas de metros. Han sido utilizados para suministrar agua a plantaciones de frutales en regiones muy áridas. Su utilidad principal consiste en ampliar las zonas regadas por las aguas efímeras de cauces secos. Su limitación espacial resulta evidente, ya que tan sólo en lugares muy concretos podrá ser de aplicación para la repoblación forestal en España. Si en vez de extender lateralmente los diques, simplemente se realizan unos bancales de piedra atravesados al cauce (de orilla a orilla) cada cierto espacio, se trataría de la técnica denominada *wadi* aterrazados, barrancos aterrazados, nateros (en Canarias), paratas (en el levante peninsular) o *jessours* (en Túnez). Esta técnica es muy interesante tanto en restauración forestal como en la lucha contra la erosión en barrancos.

### **CABALLONES DE EXTENSIÓN DE AGUA**

Este sistema consiste en unos diques que interceptan el caudal de un cauce efímero, y lo dirigen a zonas de cultivo en las que el agua queda retenida mediante unos caballones. Aunque el interés de esta técnica para la repoblación forestal pueda parecer escaso en un principio, es posible utilizarla para la creación de bosquetes de árboles o para la instalación de especies arbustivas. Las zonas en las que se establecen los brinzales, delimitadas por los caballones, se ven beneficiadas por el agua desviada de un cauce, que de otra forma se desaprovecharía.

### **TERRAZAS**

Las terrazas, es decir, la creación de plataformas horizontales o con cierta contrapendiente mediante desmontes y terraplenes, son una preparación del suelo ampliamente utilizada en repoblaciones forestales de zonas áridas. En España se han utilizado muchísimo para restauración forestal y en algunos casos de forma algo desafortunada. A pesar de que su uso prácticamente ha desaparecido en nuestro país,



por ser una técnica controvertida debido al impacto ambiental que puede producir, en base a sus efectos hidrológicos positivos (retención de escorrentía) es una preparación del suelo interesante para laderas con suelos muy degradados, en zonas de precipitación escasa y torrencial. Para que la preparación minimice los impactos y cumpla con las funciones que se le encomiendan, es posible establecer dos condiciones de aplicación. Por un lado, se trata de reducir al máximo el movimiento de tierras y la remoción del suelo; y por otro, de ajustar el diseño a las necesidades del ecosistema, es decir, el dimensionado debe basarse en la economía del agua (MARTÍNEZ DE AZAGRA *et al.*, 2002). A nivel internacional, han sido utilizadas para cultivos arbóreos en Túnez, Camerún, Sudán, Etiopía, Nigeria y otros países subsaharianos (PRINZ, 2001). En Jordania son muy empleadas por el *Jordanian Forestry Department* en repoblaciones con pinos (AL-LABADI, 1994). Por último, en Israel son frecuentes en restauración forestal las terrazas de piedra, que frenan y retienen la escorrentía, y son muy valoradas en la estabilización de cárcavas y barrancos.

### **MESKAT Y MANKAA, GAVIAS**

En ambos casos se trata de estructuras que producen e interceptan la escorrentía superficial y la conducen a un área de recepción, donde se retiene el agua y se facilita su infiltración. En España su uso se limita a lugares muy concretos, pero puede resultar muy interesante especialmente en la creación de bosquetes de árboles.

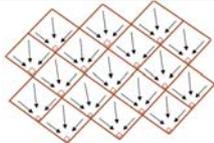
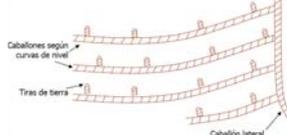
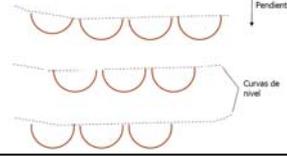
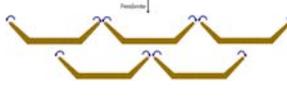
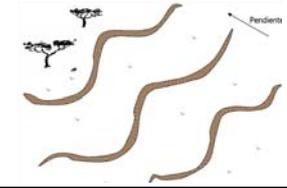
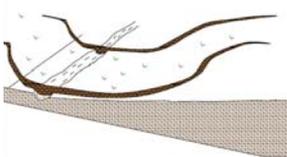
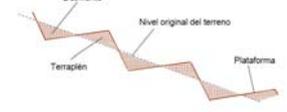
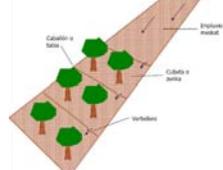
### **CRITERIOS DE DISEÑO**

Si se pretende utilizar alguna técnica tradicional de recolección de agua en la restauración forestal, es recomendable atender a las indicaciones de la metodología FOREST. Ésta es una metodología de diseño de restauraciones forestales en zonas secas, desarrollada inicialmente dentro del proyecto LUCDEME (Proyecto de Lucha contra la Desertificación en el Mediterráneo), y que ha sido ya descrita en trabajos anteriores (véanse: MARTÍNEZ DE AZAGRA & MONGIL, 2001; MONGIL, 2004; MARTÍNEZ DE AZAGRA *et al.*, 2004; MONGIL & MARTÍNEZ DE AZAGRA, 2006). La metodología consiste en unos criterios de referencia con los que diseñar una repoblación forestal en laderas de zonas áridas y semiáridas. Estos criterios son útiles al técnico encargado de proyectar la repoblación para determinar la densidad de plantación y el tamaño del microembalse a construir, modificando lo mínimo posible el microrrelieve de la ladera.

El procedimiento a seguir se muestra en la figura 4. Comprende tres fases: dimensionado de la capacidad del microembalse, fijación de la relación entre el área de impluvio y el área de recepción y cálculo de la densidad de plantación.

La determinación del tamaño óptimo del microembalse se basa en diez criterios. Se trata de una serie de condicionantes o factores que deben considerarse en el diseño del alcorque. Algunos de ellos están íntimamente relacionados entre sí, otros son complementarios y hasta antagónicos. Por ello, sólo una correcta conjugación de todos los criterios lleva a la solución más adecuada en cada caso concreto. Los criterios son los siguientes: hidrometeorológico, de resguardo hidráulico, ecológico, de proporcionalidad con el área de impluvio, edáficos, paisajístico, fisiológico, mecánicos, limitación fisiológica por encharcamiento y económico (para una explicación detallada, consúltese MONGIL & MARTÍNEZ DE AZAGRA, 2006).

Tabla 1. Resumen del uso de las técnicas tradicionales de recolección de agua para la restauración forestal

TÉCNICA	DIMENSIONES RECOMENDADAS <sup>1</sup>	OBSERVACIONES	CROQUIS
Microcuencas <i>Negarim</i>	9 a 36 m <sup>2</sup> , con caballón de 25 a 55 cm. Superficies mayores dan densidades de plantación muy bajas	Muy interesante en la restauración forestal, con árboles o arbustos	
Caballones a nivel	10 a 50 m <sup>2</sup> , con caballón de 20 a 40 cm. Superficies mayores dan densidades muy bajas	De gran interés para la restauración forestal. Mecanizable.	
Caballones semicirculares	Tradicionalmente 30 a 137 m <sup>2</sup> . Esto da densidades bajas, salvo que se plante por bosquetes. Para plantación individual mejor de 7 a 50 m <sup>2</sup> . Altura de caballón 25-50 cm	Interesante en la restauración forestal, especialmente si se hace de forma mecanizada. Plantación individual o en bosquetes	
Caballones trapezoidales, <i>Limanim</i>	El tamaño tradicional es excesivamente grande, salvo para plantación por bosquetes. Es más interesante tomar caballones de unos 30 m <sup>2</sup> . Altura de caballón hasta 60 cm	Muy interesante en la restauración forestal, para plantación individual o de bosquetes	
Caballones de piedra	Longitud según convenga. Altura mínima 25 cm. Separación entre caballones normalmente 15-30 m	Interesante especialmente en terrenos pedregosos. Similar a los diques de reconstitución ya utilizado en restauración hidrológico-forestal en España	
Diques permeables de roca	Longitud sin límite, según la anchura del cauce.	Uso limitado a lugares muy concretos	
Caballones de extensión de agua	Dimensiones indiferentes dado que sirven para instalación de bosquetes y no de árboles individuales	Uso en lugares concretos para la creación de bosquetes	
Terrazas	En España, las terrazas forestales tienen plataformas de unos 3 m de anchura	Muy interesante en la restauración forestal, en las condiciones adecuadas	
<i>Meskat</i> y <i>mankaa</i> , gavias	Las dimensiones para <i>meskat</i> y <i>mankaa</i> son variables. Gavias: 3.000 m <sup>2</sup> de superficie y 0,6-1 m de altura de trastón	Uso en lugares concretos para la creación de bosquetes	

<sup>1</sup> Las dimensiones indicadas son las que, dentro de las que se han venido utilizando tradicionalmente, se consideran más adecuadas para la restauración forestal, fundamentalmente en base a un análisis realizado con el modelo hidrológico MODIPÉ (Martínez de Azagra, 1996).

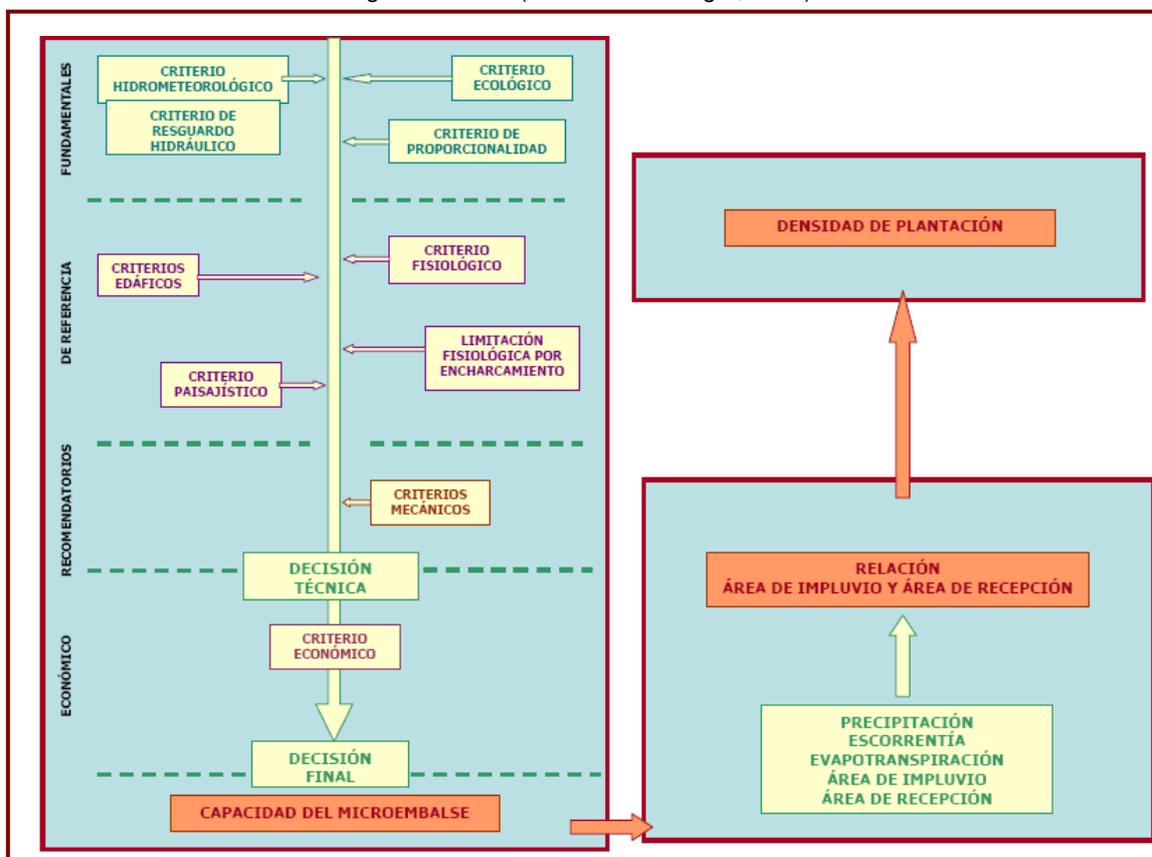


Figura 4. Procedimiento integrado de diseño de la restauración forestal (metodología FO-REST)

La determinación de la relación entre el área de impluvio y el área de recepción (y, en consecuencia, de la densidad de plantación), se fundamenta en la economía del agua. La idea principal del método es que el tamaño del área de impluvio debe ser el adecuado para proporcionar una determinada cantidad de agua para permitir o asegurar la subsistencia del repoblado durante su fase más crítica, es decir, el arraigo y primer crecimiento. Es decir, se pretende que exista una dotación de agua suficiente en el área de recepción gracias al área de impluvio; bajo la premisa de que se produce un mayor aporte de agua a mayor área de impluvio. Con estas premisas, se llega a la siguiente ecuación (MONGIL, 2004; MARTÍNEZ DE AZAGRA & MONGIL, 2005; MONGIL & MARTÍNEZ DE AZAGRA, 2006):

$$R = \frac{S_1}{S_2} = \frac{ET_{rep} - P}{E_{S1}}$$

Siendo:

$S_1$  = Área de impluvio ( $m^2$ )

$S_2$  = Área de recepción ( $m^2$ )

$ET_{rep}$  = Evapotranspiración real de la repoblación ( $l \cdot m^{-2}$ )

$P$  = Precipitación de diseño ( $l \cdot m^{-2}$ )

$E_{S1}$  = Escorrentía formada en el área de impluvio que llega al área de recepción ( $l \cdot m^{-2}$ )



## BIBLIOGRAFÍA

- AL-LABADI, A.M.; 1994. Water harvesting in Jordan: existing and potential systems. *Water harvesting for improved agricultural production*. Water Reports 3. FAO.
- BAZZA, M.; TAYAA, M.; 1994. Operation and management of water harvesting techniques. *Water harvesting for improved agricultural production*. Water Reports 3. FAO.
- BOERS, TH. M.; BEN-ASHER, J.; 1982. A review of rainwater harvesting. *Agric. Water Manage.*, 5: 145-158.
- CRITCHLEY, W.; SIEGERT, K.; 1991. *Water harvesting*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- CSE; 2008. *A look at India's water harvesting practices*. <http://www.rainwaterharvesting.org/Rural/Rural3.htm>. Centre for Science and Environment. New Delhi.
- EVENARI, M; SHANAN, L.; TADMOR, N.H.; 1963. *Runoff-farming in the Negev desert of Israel. Progress Report on the Avdat and Shivta Farm Projects for the years 1958-1962*. Ed. The National and University Institute of Agriculture. Rehovot.
- EVENARI, M; SHANAN, L.; TADMOR, N.H.; 1964. *Runoff-farming in the Negev desert of Israel. Progress Report on the Avdat and Shivta Farm Projects 1962-1963*. Ed. The National and University Institute of Agriculture. Rehovot.
- FAO; 1994. *Water harvesting for improved agricultural production*. Water Reports 3. Food and Agriculture Organization of United Nations. Roma.
- FRASIER, G.W.; 1994. Water harvesting/runoff farming systems for agricultural production. *Water harvesting for improved agricultural production*. Water Reports 3. FAO.
- GARCÍA SALMERÓN, J.; 1995. *Manual de repoblaciones forestales II*. E.T.S. de Ingenieros de Montes (Fundación Conde del Valle de Salazar). Madrid.
- MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; 1996. *Diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; MONGIL, J.; FERNÁNDEZ DE VILLARÁN, R.; 2002. Estudio hidrológico del aterrazado con subsolado mediante el modelo MODIPÉ. *Ecología*, 16: 37-44.
- NASR, M.; 1999. *Assessing desertification and water harvesting in the Middle East and North Africa: Policy implications*. ZEF. Bonn.
- PRINZ, D.; 2001. Water harvesting for afforestation in dry areas. *Proceedings, 10<sup>th</sup> International Conference on Rainwater Catchment Systems, Mannheim*.