

# ALGUNOS CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE AGUA EN REPOBLACIONES FORESTALES\*

A. MARTÍNEZ DE AZAGRA y J. MONGIL

U. D. de Hidráulica e Hidrología (Univ. de Valladolid)

E.T.S. de Ingenierías Agrarias. Avda. de Madrid, 44 34004-Palencia // e-mail: amap@iaf.uva.es

## RESUMEN

En el momento de proyectar cualquier reforestación en una zona árida situada en ladera, la economía del agua debe jugar un papel preponderante. La consecución de cosechas de agua para los brinzales en sus primeras etapas de vida resulta crucial para el éxito de la empresa. En este trabajo se desarrollan algunos criterios –basados en el modelo hidrológico MODIPÉ– para fijar el tamaño de la unidad sistematizada y de las trampas de agua a crear con la preparación del suelo. Estos criterios sirven para orientar al técnico encargado de la restauración sobre la densidad de plantación a introducir y sobre el tamaño de los alcorques a realizar, todo ello con vistas a aumentar la supervivencia del repoblado reduciendo la alteración del microrrelieve a lo mínimo indispensable.

**P.C.:** Cosechas de agua, repoblación forestal, zonas áridas, oasisificación.

## SUMMARY

Water economy plays a most important role when reforesting slopes in arid zones. Convenient water harvesting techniques allow the seedlings to survive, establish and grow much better due to a beneficial microclimate. In this paper we develop some basic criteria to fix the size of the water traps and microcatchments to be created with an adequate soil preparation. These criteria should help forest technicians to choose planting density and micropond size combining both: best survival chances of the seedlings and minimal alterations of the original microtopography of the slope.

**K.W.:** Water harvesting, reforestation, arid zones, oasisification.

## INTRODUCCIÓN

Un sistema de recolección de agua consiste en dos partes, un área donde se induce y genera la escorrentía superficial (área de impluvio o productora) y un área en donde se recogen y almacenan dichos aportes hídricos (área de recepción o colectora). Es en esta área donde se sitúa una cisterna, se instala un cultivo agrícola o se realiza una siembra o plantación de especies forestales. Las plantas se desarrollan mejor gracias al microclima favorable inducido.

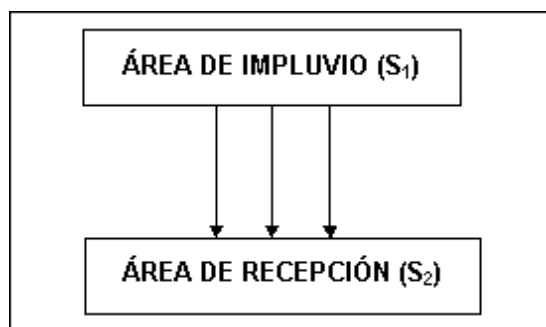


Figura 1. Principio de la recolección de agua.

La mayor parte de los métodos de preparación del suelo en el sector forestal persiguen obtener cosechas de agua con las que invertir procesos de desertificación por aridez edáfica (MARTÍNEZ DE AZAGRA *et al.*, 1996). Al aumentar la infiltración en la ladera se favorece la instalación de una vegetación más tupida, especialmente en climas áridos.

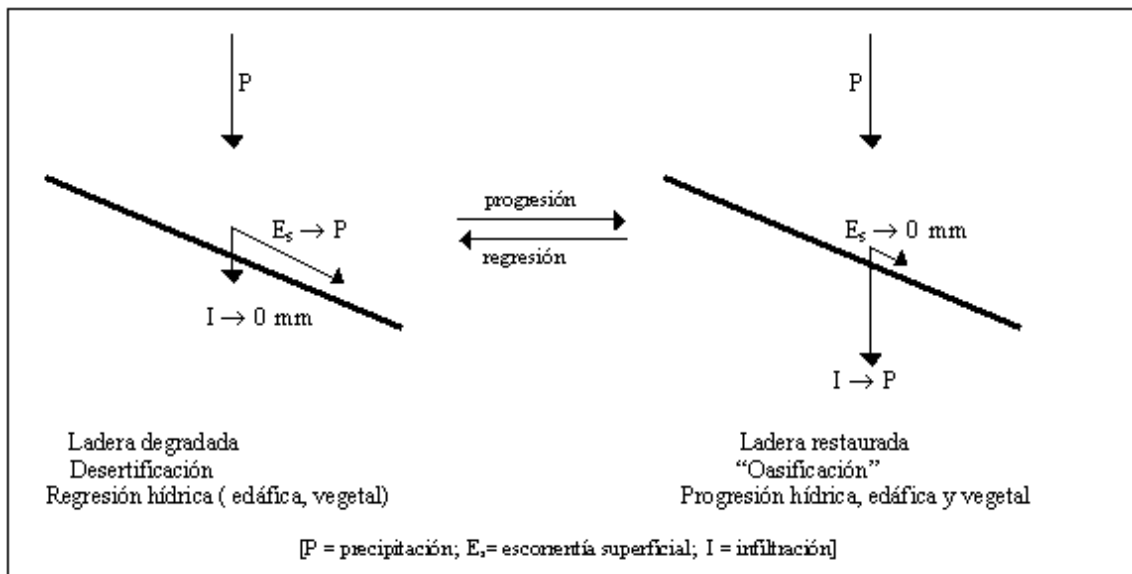


Figura 2. Progresión hídrica, edáfica y vegetal desde una ladera degradada hasta una restaurada.

El modelo hidrológico MODIPÉ (MARTÍNEZ DE AZAGRA, 1996) puede resultar muy útil para el correcto diagnóstico de muchos procesos de desertificación y para una acertada toma de decisiones a la hora de restaurar laderas degradadas. En este sentido, puede servir para:

- caracterizar microclimas de ladera.
- comprender los procesos de desertificación por aridez edáfica.
- simular el comportamiento hidrológico de cualquier unidad sistematizada.
- evaluar el efecto hídrico que tienen los distintos procedimientos de preparación del suelo en repoblaciones forestales.
- diseñar trampas de agua con las que incrementar la infiltración y así facilitar el arraigo y primer crecimiento del replantado en climas mediterráneos.
- calcular el volumen mínimo de tierras a remover en una ladera degradada para iniciar su "oasificación".

En el presente artículo, basándonos en el modelo anteriormente mencionado y teniendo muy presente la economía del agua, ofrecemos unos criterios de referencia con los que diseñar una repoblación forestal en laderas de zonas áridas y semiáridas. Estos criterios deben servir al técnico encargado de proyectar la repoblación para determinar la densidad de plantación y el tamaño del microembalse a contruir, alterando lo mínimo posible el microrrelieve de la ladera.

### DENSIDAD DE PLANTACIÓN

Una de las primeras decisiones que el técnico debe afrontar a la hora de proyectar una repoblación forestal protectora es la densidad de implantación. Normalmente se acude a la experiencia, es decir, a lo que han hecho otros (repoblaciones pretéritas) o a cifras de referencia, ya que no existe un criterio técnico operativo para fijar este dato fundamental de toda repoblación.

Como idea general básica, es común elegir una densidad tal que en un plazo breve - de 5, 10 ó 15 años- la vegetación introducida junto con la inducida proteja al suelo suficientemente frente a la erosión. El criterio selvícola clásico para fijar la densidad mínima consiste en elegir aquella densidad de plantación que permita, sin marras, llegar a un fustal maduro en espesura normal (SERRADA, 1993).

Una crítica frecuente a altas densidades se centra en que con un elevado número de plantas por hectárea se crean bosques monótonos y, en muchas ocasiones, monoespecíficos, con una escasa biodiversidad. Quienes así argumentan contemplan a los oquedales o a las dehesas como las formaciones óptimas a imitar en una restauración bajo clima mediterráneo.

Con frecuencia, las repoblaciones forestales en zonas áridas planteadas según esquemas tradicionales no han demostrado ser eficaces en cuanto a la recuperación del ecosistema original. GONZÁLEZ & ENCINAS (1995) proponen la plantación dispersa de árboles o la repoblación en rodales para ampliar el efecto borde (creación de ecotonos) y -en consecuencia- aumentar la biodiversidad y la generación de suelo. Atendiendo pues al punto de vista ecológico, interesan densidades de repoblación bajas (ir hacia dehesas o montes huecos en vez de bosques cerrados). De hecho, en muchos lugares del sureste español, la aridez y la litología impiden una espesura arbórea completa.

En la actualidad existe una tendencia a reducir la densidad de plantación, por varios motivos:

- La planta producida en los viveros es de mejor calidad y, por lo tanto, posee una mayor garantía de supervivencia (planta más cuidada, endurecida, con cepellón, micorrizada).
- Las preparaciones del terreno pueden ser mejores debido a la potencia de la maquinaria existente.
- Los clareos no son económicamente rentables.
- Las altas densidades inducen un mayor peligro de incendios, debido a que las masas densas sin aclarar se convierten en grandes acumulaciones de combustible con continuidad horizontal.
- La consecución de espesura completa es imposible en climas áridos y semiáridos por las razones que se comentaron anteriormente.

A nuestro juicio debería promoverse una línea de investigación para desarrollar criterios sólidos sobre la densidad de introducción de plantas (bien sea por siembra a voleo, hidrosiembra o plantación) en repoblaciones protectoras. En este sentido, las disponibilidades hídricas del repoblado pueden servir de guía en muchas ocasiones. De lo contrario continuaremos por mucho tiempo en el puro empirismo, sin llegar a profundizar en las relaciones existentes entre la densidad de repoblación y la disponibilidad hídrica, la profundidad y fertilidad del suelo, las especies vegetales a introducir, la selvicultura a aplicar, los aprovechamientos a conseguir, la economía, etcétera.

En una repoblación, la superficie disponible para cada pie en  $m^2$ , vale:

$$S_p = 10.000 / n$$

(siendo  $n$  la densidad en pies/ha)

Pero dentro de un sistema de recolección de agua, esta superficie hay que dividirla entre el área de impluvio ( $S_1$ ) y el área de recepción ( $S_2$ ):

$$S_p = S_1 + S_2 \quad (\text{para el caso de sistematizaciones completas})$$

$$S_p > S_1 + S_2 \quad (\text{en sistematizaciones primarias incompletas})$$

Densidades de implantación bajas (hasta 1.000 pies/ha) conducen a áreas de impluvio grandes que suministran un aporte hídrico mayor a cada planta. A su vez, la tendencia a reducir la densidad amplía la importancia del modelo MODIPÉ.

### **RELACIÓN ÁREA DE IMPLUVIO/ÁREA DE RECEPCIÓN**

Normalmente, la relación entre el área de impluvio y el área de recepción viene determinada por la decisión sobre el método de preparación del suelo y la densidad de plantación. Sin embargo, para zonas áridas y semiáridas cabe definir criterios al respecto que, lógicamente, influyen en la densidad de la repoblación. Se trata, por tanto, de un proceso inverso de cálculo, donde la densidad no es un dato de partida y sí la disponibilidad hídrica en el área de recepción.

Existen interesantes modelos agrícolas para fijar la relación  $S_1/S_2$  (ANAYA *et al.*, 1976; SMITH, 1978; CADOT, 1989; HARI, 1989; CRITCHLEY *et al.*, 1991; VELASCO, 1991; BOERS,

1994; etc.) pero no son directamente aplicables para repoblaciones forestales (MARTÍNEZ DE AZAGRA, 1998).

La idea fundamental para fijar el mencionado cociente estriba en que el tamaño del área de impluvio sea el adecuado para proporcionar una determinada cantidad de agua que permita (o asegure) la subsistencia del repoblado durante su fase más crítica de arraigo y primer crecimiento; es decir: que el área de recepción tenga una dotación de agua suficiente gracias al área de impluvio. Además del objetivo obvio de la supervivencia de los brinzales, pueden perseguirse otros fines, como conseguir un determinado crecimiento de las plantas u obtener una determinada producción de frutos.

Existen dos planteamientos bien diferentes, ya queramos un microclima temporal durante los primeros años (el planteamiento clásico de las repoblaciones forestales) ya un microclima permanente con mayor disponibilidad hídrica (típico de los cultivos leñosos en zonas abancaladas: olivos, algarrobos, almendros, vides, etc.).

### **CAPACIDAD DEL MICROEMBALSE**

El tamaño del microembalse puede fijarse atendiendo a diferentes criterios. Muchos de ellos están íntimamente relacionados entre sí, otros son complementarios y hasta opuestos. Una adecuada conjugación de los mismos conduce a la solución más oportuna en cada caso.

a) Criterio hidráulico.- Se trata de construir un microembalse en el que quede un resguardo ante el aguacero de cálculo, o una cierta reserva de seguridad frente al desbordamiento (equivalentes a la disminución del número de curva en varios puntos). La finalidad de este resguardo puede ser la de estar del lado de la seguridad en la consecución de endorreísmo, pero también corregir el efecto de la distorsión debido a la escala que manejamos (el modelo del número de curva está calibrado para cuencas de varios km<sup>2</sup>) o considerar el aterramiento parcial y el achatamiento de los muretes con las primeras lluvias.

b) Criterio hidrometeorológico.- Puede consistir en lograr endorreísmo para una determinada precipitación, serie de precipitaciones o año (aguaceros, meses o año de cálculo). Siendo menos exigentes, sin necesidad de llegar al endorreísmo pleno, podemos perseguir una determinada dotación de agua en el área de recepción (donde se encuentra el repoblado) merced a la capacidad del microembalse (o lo que es lo mismo, lograr un número suficiente de riegos copiosos antes del estío).

c) Criterio edafológico.- Primeramente, hay que decir que la altura del microembalse (H) y la profundidad del suelo (del alveolo, del subsolado o de las raíces) deben estar relacionadas:

$$H = p \cdot p_e$$

(siendo  $p$  la profundidad del suelo y  $p_e$  la porosidad aparente)

También debe existir una ligazón entre el volumen de agua que puede contener el alcorque lleno y la capacidad de retención de agua (CRA) que tiene el suelo abarcado por la rizosfera de las plantas introducidas:

$$\text{alcorque lleno} \Leftrightarrow \text{dosis de riego} = \text{CRA} \cdot p$$

d) Criterio ecológico.- Mediante la creación de un alcorque, se intenta conseguir un salto en el número de curva equivalente de la unidad sistematizada. Este criterio se basa en la serie progresiva del número de curva (MARTÍNEZ DE AZAGRA, 1996).

e) Criterios fisiológicos.- Hay que elegir un tamaño de microembalse (CAPA) tal que sea capaz de almacenar y suministrar un “caudal regulado” equivalente a la evapotranspiración potencial (ETP) de los meses de verano o de un solo mes (como por ejemplo el más caluroso):

$$CAPA = ETP \cdot S_2$$

Un objetivo más modesto es el que persigue satisfacer las necesidades mínimas del brinjal durante el verano:

$$CAPA = ET_{min} \cdot S_2$$

f) Criterio paisajístico o topográfico.- Interesa alterar el relieve lo mínimo indispensable para invertir el proceso de desertificación. Debemos reducir el movimiento de tierras al máximo, cumpliendo el doble objetivo de asegurar la instalación del repoblado y minimizar el impacto negativo que se provoca con la preparación del terreno sobre el suelo y el paisaje. Una postura sensata consiste en comprobar si el microrrelieve artificial queda atenuado a los pocos años de realizada la intervención. Para tal fin cabe usar algún modelo de erosión hídrica (como la ecuación USLE) admitiendo que el alcorque es una “perfecta trampa de sedimentos” (de hecho, lo será mientras haya endorreísmo).

g) Limitación fisiológica.- Deben reducirse tanto el tiempo máximo de embalse de agua como el tiempo máximo mensual de encharcamiento, para evitar problemas de anoxia en las raíces.

h) Criterios mecánicos.- Siempre debe asegurarse la estabilidad y estanqueidad de los muretes de tierra, por lo que su altura no debe ser superior a 50 cm. Unos microrrelieves artificiales inestables, además de resultar inútiles como trampas de agua, pueden enterrar a los brinzales provocando su muerte. A ello hay que agregar el riesgo de estar propiciando fuertes procesos erosivos en un futuro inmediato.

i) Criterio económico.- Los trabajos de refinado y conformación del alcorque no deben reducir excesivamente el rendimiento de la plantación, a no ser que se justifique tal necesidad por consideraciones microclimáticas de extrema aridez.

### REFLEXIÓN FINAL

Quizás puedan parecer todas estas disquisiciones superfluas, pero no lo son en absoluto, pues persiguen algo bien complejo: la reconstrucción de ecosistemas degradados en climas áridos y semiáridos. Una importante labor no exenta de dificultades y riesgos que conviene mitigar. Son muchos los años de espera hasta poder apreciar los resultados del esfuerzo, por lo que la decisión inicial debe estar bien sopesada. - ¿O es que acaso las restauraciones de áreas críticas merecen menos cálculos que los azudes para riego?

### BIBLIOGRAFÍA

- ANAYA, M.; TOVAR, S.; MACÍAS, A.; (1976). *Métodos de captación de agua de lluvia para zonas agrícolas con temporal deficiente*. Colegio de Postgraduados de Chapingo (México).
- BOERS, T.M.; (1994). *Rainwater harvesting in arid and semi-arid zones*. ILRI Publications. Wageningen. 127 p.
- CADOT, P.D.; (1989). *Development of a model for design of water harvesting systems in small scale rainfed agriculture*. University Microfilms International. Michigan.
- CRITCHLEY, W.; SIEGERT, K.; CHAPMAN, C.; FINKEL, M.; (1991). *Water harvesting. A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production*. FAO. Roma. 133 p.
- GONZÁLEZ, J.; ENCINAS, A.; (1995). *Ecotonos forestales: la importancia de las fronteras*. Quercus, 117. p.18-21.
- HARI, J.; (1989). *Modelling the effects of tied-ridging on water conservation and crop yields*. Agricultural Water Management, 16. p.87-95.
- MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; (1996). *Diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal*. Mundiprensa. Madrid. 78 p.
- MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; CALVO, M.; (1996). *Desertización por aridez edáfica*. In: Actas del I Congreso Regional del Agua (Valladolid); p. 111 - 117.
- MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; (1998). *Desarrollo de un modelo sobre recolección de agua*

*aplicable a la restauración forestal*. Ecología, 12. p.93-104

SERRADA, R.; (1993). *Apuntes de repoblaciones forestales*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid. p.253-256.

SMITH, G.L.; (1978). *Water harvesting technology applicable to semiarid, subtropical climates*. Agency for International Development. Bibliographic input sheet: 1-6, Colorado State University. Forth Collins.

VELASCO, H.A.:(1991). *Las zonas áridas y semiáridas. Sus características y manejo*. Limusa. México. p.563-606.

---

\* Este trabajo ha sido respaldado por el proyecto LUCDEME (Lucha contra la Desertificación en el Mediterráneo).