MODELOS HIDROLÓGICOS PARA LA OASIFICACIÓN DE LADERAS DEGRADADAS

A. Martínez de Azagra Paredes [1], J. Mongil Manso [1] y L. Rojo Serrano [2]

[1] Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología. E.T.S. Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Av. de Madrid 44. 34004-PALENCIA (España). Correo electrónico: amap@iaf.uva.es
[2] Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Proyecto LUCDEME. Gran Vía de San Francisco 4. 28005-MADRID (España).

Resumen

La desertificación es un proceso muy frecuente en laderas deforestadas bajo clima árido, semiárido o seco subhúmedo. Frente a este problema se apuesta por el proceso contrario, es decir, la *oasificación*. Se trata de dotar a la ladera de unas pequeñas estructuras de tierra que recojan e infiltren la escorrentía, modificando levemente su fisiografía. De esta forma se consigue mejorar las condiciones de humedad del suelo y se posibilita el desarrollo de una vegetación forestal, invirtiendo el proceso de desertificación. Las estructuras que consiguen frenar, captar e infiltrar la escorrentía (por ejemplo: microcuencas, aterrazados, acaballonados o abancalados), muchas de las cuales han sido utilizadas tradicionalmente para el establecimiento de cultivos en zonas con precipitaciones escasas, deben diseñarse con unos criterios técnicos basados en la economía del agua, para evitar impactos ambientales excesivos y costes de ejecución innecesarios. Estos criterios sirven para orientar al técnico encargado de la restauración sobre el tamaño de los alcorques a realizar, con vistas a aumentar la supervivencia del repoblado reduciendo la alteración del microrrelieve a lo mínimo indispensable. Considerando estos criterios se establecen dos modelos hidrológicos que sirven para buscar la solución técnica más adecuada en cada caso.

Palabras clave: *Oasificación, Desertificación, Cosechas de agua, Cosechas de suelo, Zonas áridas y semiáridas*

INTRODUCCIÓN

Unas condiciones generalizadas de aridez favorecen la aparición de mecanismos de desertificación, que a su vez implican la degradación del territorio. La desertificación puede definirse como un proceso complejo que reduce la productividad y el valor de los recursos naturales, en el contexto específico de condiciones climáticas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, como resultado de variaciones climáticas y actuaciones humanas adversas (UNCCD, 1994).

MARTÍNEZ DE AZAGRA (2000) ha propuesto el neologismo *oasificación*, como antónimo de desertificación por aridez edáfica. Se trata de densificar y lignificar la cubierta vegetal, o lo que es lo mismo, revertir el proceso de degradación hídrica, edáfica y botánica que padece una ladera, mediante una correcta preparación del suelo e introduciendo las especies vegetales adecuadas. Pero para ello hay que acudir a sistemas de recolección de agua, es decir: hay que acumular el agua de escorrentía en los puntos de repoblación mediante microembalses convenientemente dimensionados. Así se mejoran las condiciones

ISSN: 1575-2410

© 2004 Sociedad Española de Ciencias Forestales

de humedad del suelo y se posibilita el desarrollo de una vegetación forestal, invirtiéndose el proceso de desertificación por aridez edáfica.

El término *oasificación* está muy relacionado con el concepto de recolección de agua pero tiene un marcado enfoque ecológico en vez de meramente agrícola. En la *oasificación*, además de cosechar agua, se recolectan también nutrientes y suelo, por lo que al mismo tiempo se potencia el proceso restaurador y se logra el control de la erosión hídrica, tan frecuente en las zonas áridas. De hecho, en muchos lugares del mundo, van emparejadas la conservación de suelos y la de aguas. En este sentido se expresan LUDWIG et *al.* (1997), que afirman que en las laderas de climas semiáridos en Australia existen sumideros (matas vegetales o depresiones del terreno, por ejemplo) que se ven enriquecidos al capturar agua y suelo.

Oasificación contra desertificación

El empeoramiento de las condiciones hídricas de una ladera (regresión hídrica) conlleva también a una regresión vegetal y edáfica. Se trata de un proceso muy peligroso, especialmente en climas áridos y torrenciales, que se retroalimenta, por lo que puede conducir en poco tiempo a laderas desiertas (sin agua, sin vegetación y sin suelo). Esta regresión hídrica, edáfica y vegetal es característica de la desertificación por aridez edáfica, que además de ser la más frecuente y extendida a nivel mundial, tiene unas consecuencias muy perniciosas.

Por el contrario, la mejora de las condiciones hidrológicas de la ladera (progresión hídrica) supone un incremento de la infiltración, e implica una progresión edáfica, vegetal y productiva. Es decir, al infiltrarse un mayor volumen de agua en el suelo, las disponibilidades de este elemento para las plantas aumentan, lo que posibilita una vegetación cada vez más avanzada. Estas formaciones vegetales protegen al suelo frente a la erosión y le aportan materia orgánica, facilitando su evolución hacia un perfil más fértil, profundo y maduro. Ambos procesos, el retroceso desde los tres puntos de vista mencionados (que pueden agruparse en el término desertificación) y el avance hacia situaciones más favorables (*oasificación*), se explican gráficamente en la figura 1.

Estrategia de la oasificación y su modelado

Para iniciar la *oasificación* de una ladera degradada hay que construir sistematizaciones primarias en ella, que consisten básicamente en microcuencas endorreicas (MARTÍNEZ DE AZAGRA, 2000). Se plantea en este caso un balance hídrico local, centrado en la economía del agua de la ladera. Los componentes de este balance son, como se muestra en la figura 2, la precipitación, la intercepción, la escorrentía (tanto la que llega al microembalse como la que escapa de el, E_{s1} y E_{s2}), la evaporación y la infiltración.

Lo importante para la restauración de una ladera no es el agua que se va (enfoque de la Hidrología Clásica) sino el agua que se queda e infiltra, y que -a ser posible- debe ser toda la que cae en el lugar. Como objetivo final para restaurar una ladera hay que establecer que la infiltración termine igualándose con la precipitación. Al estar la ladera degradada hay que intervenir en ella (mediante la sistematización primaria) creando áreas de impluvio y áreas de recepción

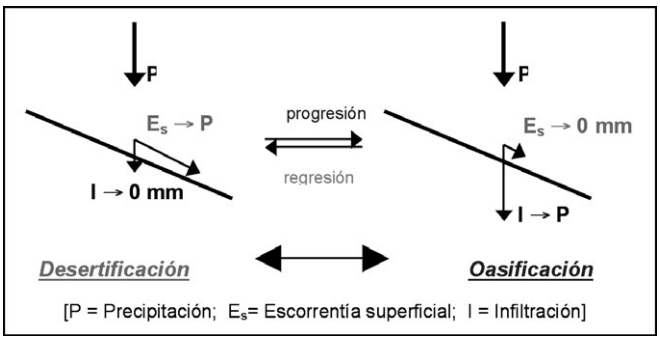

Figura 1. *Oasificación contra desertificación*

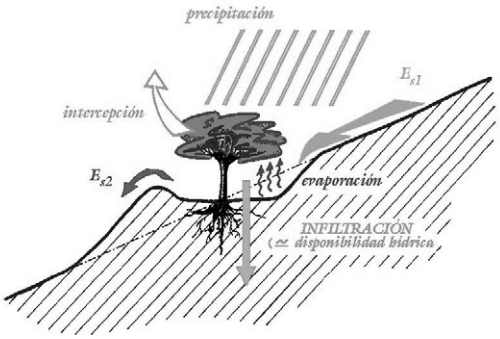

Figura 2. *Balance hídrico que se propone (*MARTÍNEZ DE AZAGRA*, 1996)*

(S_1 y S_2), las primeras para que su escorrentía alimente a las segundas, que tendrán sus correspondientes microembalses bien dimensionados (en cuanto a la altura de su murete), para que puedan recoger toda el agua que escurre.

En la actualidad el diseño de sistemas de *oasificación* (de recolección de agua, suelo y nutrientes) puede y debe abordarse acudiendo a fórmulas y modelos específicos. Los cálculos previos son tanto más necesarios cuanto más espaciada sea la repoblación, cuanto más grandes sean las unidades sistematizadas y cuanta más agua deban concentrar y acumular los microembalses. Para construir sistemas de *oasificación* (microcuencas, acaballonados, etc.) hay que acudir a modelos hidrológicos como los que se proponen a continuación.

Dos modelos sobre *oasificación*

MARTÍNEZ DE AZAGRA (1994a) ha enunciado unas ecuaciones generales que permiten calcular las disponibilidades hídricas en sistemas de *oasificación*:

$$DESP = P + E_{s1} - E_{s2} \qquad PIMP = P - E_{s1}$$

$$PROM = \frac{S_1 \cdot PIMP + S_2 \cdot DESP}{S_1 + S_2} \qquad \frac{dV}{dt} = I(t) - Q(t)$$

donde:

P es la precipitación del aguacero analizado;

DESP, la disponibilidad hídrica en el área de recepción;

PIMP, la disponibilidad hídrica del área de impluvio;

PROM, la disponibilidad hídrica media de la ladera;

E_{s1}, la lluvia neta o escorrentía superficial que se produce en el área de impluvio;

E_{s2}, la escorrentía superficial que escapa de la unidad sistematizada;

S_1, la superficie del área de impluvio;

S_2, la superficie del área de recepción;

S, el tamaño de la unidad sistematizada ($S = S_1 + S_2$ = 1/densidad de plantación);

$\frac{dV}{dt}$, la variación del volumen de agua acumulada en el microembalse durante *dt*;

I(t), caudal de entrada al área de recepción;

Q(t), caudal que sale del microembalse.

El mismo autor ha desarrollado e informatizado dos particularizaciones a estas ecuaciones, que son los modelos MODIPÉ e HYDNUM (MARTÍNEZ DE AZAGRA, 1994b; 1995). La primera está basada en el número de curva (SCS, 1991) y la segunda en la ecuación de infiltración de HORTON (1940):

– Modelo uniparamétrico del número de curva (admitiendo que $P_0 = 0{,}2 \cdot S$ queda un único parámetro: P_0; de lo contrario se trata de un modelo biparamétrico):

$$E_s = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4 \cdot P_0}$$

– Ecuación de infiltración de HORTON (modelo triparamétrico: f_0, f_c, y α son sus tres parámetros):

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-\alpha \cdot t}$$

Ambas particularizaciones, que se comparan en la tabla 1, tienen el mismo objetivo: calcular las disponibilidades hídricas de la vegetación que se establece artificialmente para restaurar la ladera. La ventaja sustantiva del modelo MODIPÉ frente a HYDNUM estriba en que está precalibrado gracias a las tablas existentes del número de curva.

DATOS DE ENTRADA	MODELO HYDNUM	MODELO MODIPÉ
Área de impluvio y área de recepción	S_1 y S_2	S_1 y S_2
Capacidad del microembalse	H	*CAPA*
Características de infiltración en el área de impluvio	f_0 , f_c y α	NI
Características de infiltración en el área de recepción	g_0 , g_c y β	NR
Ecuación de descarga del exceso de agua	$F(h) = c \cdot L \cdot h^{1,5}$	vertido instantáneo
Situación original (ladera degradada)	--------	*NAC*
Precipitación	$i(t)$ = constante	Aguacero, serie de precipitaciones o año

Tabla 1. *Resumen de las dos particularizaciones*

Como puede observarse en la Figura 3, los datos de entrada de MODIPÉ son sencillos de obtener: el número de curva de la ladera actual (*NAC*), el tamaño del área de impluvio (S_1), del área de recepción (S_2), los números de curva de ambas superficies (*NI* y *NR*, respectivamente) y la capacidad de la trampa de agua (*CAPA*). Las preparaciones del terreno que se vienen utilizando habitualmente en el sector forestal español (ahoyado, acaballonado, subsolado…) hacen variar el número de curva del área de impluvio y del área de recepción (MARTÍNEZ DE AZAGRA, 1996), por lo habrá que tener en cuenta esta circunstancia a la hora de introducir los datos en el modelo.

Series progresivas y regresivas

Si se observan las tablas del número de curva (por ejemplo en PONCE, 1989; o en MARTÍNEZ DE AZAGRA, 1996) se puede fijar el rango en que se mueve el número de curva para una ladera degradada o para un monte arbolado como vegetación climácica. Surge así el concepto de serie progresiva del número de curva (Figura 4). A ésta, cabe asociar una serie progresiva de las disponibilidades hídricas en una ladera (Figura 5), simplemente en base a la relación existente entre números de curva y umbrales de escorrentía.

El rango de variación del número de curva (*NAC*) puede ser bastante amplio si se parte de una ladera altamente degradada y se consigue su plena restauración con el paso de los años: de un número de curva de 94 a otro de 15, según las tablas del método. Un intervalo más realista, dentro de un lapso de tiempo habitual (unos 50 años), puede ser el de 94 a 54, correspondiente a un barbecho en suelo de tipo D, transformado en un bosque con condición hidrológica buena sobre suelo de tipo C.

Puesto que a cada número de curva se le puede asignar un umbral de escorrentía (P_0) mediante la ecuación:

$$P_0 = 0{,}2 \cdot \frac{25.400 - 254 \cdot N}{N}$$

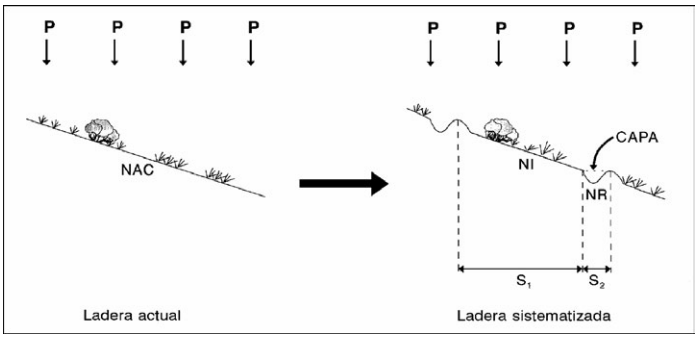

Figura 3. *Datos de entrada al modelo MODIPÉ*

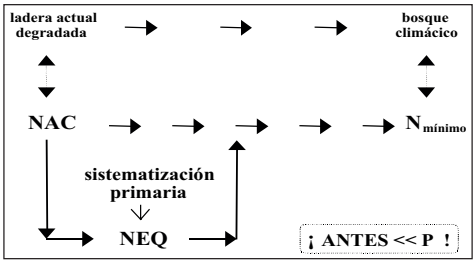

Figura 4. *Serie progresiva del número de curva (MARTÍNEZ DE AZAGRA, 1996). NAC = Número de curva de la ladera actual; $N_{mín}$ = Número de curva de la ladera restaurada; NEQ = Número de curva equivalente de la unidad sistematizada*

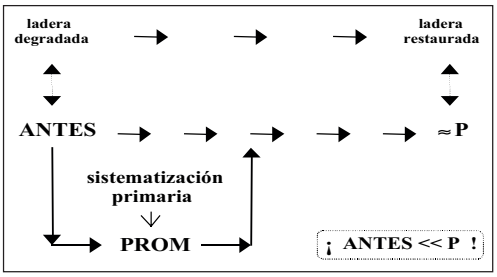

Figura 5. *Serie progresiva de las disponibilidades hídricas (MARTÍNEZ DE AZAGRA, 1996). ANTES = Disponibilidad hídrica en la ladera actual degradada, PROM = Disponibilidad hídrica promedio de la ladera sistematizada, P = Precipitación del aguacero*

se pueden obtener los umbrales de escorrentía para la ladera actual degradada (*PAC*) y para la ladera restaurada ($P_{máx}$). Estos valores pueden relacionarse con los datos de precipitaciones de la zona y sus correspondientes periodos de recurrencia. Si la ladera está muy degradada, el umbral resultará tan bajo que *t* (periodo de retorno para la ladera degradada) representa el número de veces al año en que se produce escorrentía. Por el contrario, *T* (periodo de retorno para la ladera restaurada) puede suponer mucho tiempo. En tal caso se concluirá que la ladera restaurada actúa como un perfecto sumidero de agua; es decir, todo lo que llueve se infiltra (o es interceptado), lo que favorece la recarga de acuíferos además de mejorar la dotación de agua del suelo para beneficio directo del ecosistema.

BIBLIOGRAFÍA

HORTON, R.E.; 1940. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 5: 399-417.

LUDWIG, J.; TONGWAY, D.; FREUDENBERGER, D.; NOBLE, J. & HODGKINSON, K. (Eds.); 1997. *Landscape ecology. Function and management.* CSIRO. Collingwood.

MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; 1994a. *Modelo para la estimación de las disponibilidades hídricas en ladera.- I. Fundamentos del modelo.* ICONA. Palencia (inédito).

MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; 1994b. *Modelo para la estimación de las disponibilidades hídricas en ladera.- II. Particularización al modelo de infiltración de Horton. Modelo HYDNUM.* ICONA. Palencia (inédito).

MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; 1995. *Modelo para la estimación de las disponibilidades hídricas en ladera.- III. Particularización al modelo de escorrentía de los complejos hidrológicos. Modelo MODIPÉ.* ICONA. Palencia (inédito).

MARTÍNEZ DE AZAGRA, A.; 1996. *Diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal.* Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

MARTÍNEZ DE AZAGRA, A; 2000. Principles for designing endorheic microcatchments. *In*: *Third International Congress Man and Soil at the Third Millennium* I: 507-520.

PONCE, V.M; 1989. *Engineering hydrology. Principes and practices.* Ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs.

SOIL CONSERVATION SERVICE; 1991. *Engineering field handbook.* Washington D.C.

UNCCD; 1994. *United Nations Convention to Combat Desertification.* Ed. Secretariat of the CCD. Bonn.