

AVANCES EN LA RESTAURACIÓN DE SISTEMAS FORESTALES TÉCNICAS DE IMPLANTACIÓN

Palencia, 22-23 de noviembre de 2012

E D I T O R E S

Carolina Martínez Ruiz

Francisco José Lario Leza

Belén Fernández Santos



II Reunión conjunta del Grupo de Trabajo de Repoblaciones Forestales de la SECF y del Grupo de Trabajo de Restauración Ecológica de la AEET

VI Reunión del GT de Repoblaciones Forestales de la SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIAS FORESTALES - SECF

III Reunión del GT de Restauración Ecológica de la ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ECOLOGÍA TERRESTRE - AEET



Universidad de Valladolid



PROYECTO VAG42A10-2

REPONER MARRAS O REGAR BRINZALES: UNA DISYUNTIVA A ANALIZAR EN ZONA ÁRIDA

Jorge del Río San José¹, Ernesto Gómez Hernando², José Reque Kilchenmann³ y Andrés Martínez de Azagra Paredes⁴

¹Junta de Castilla y León. Delegación Territorial de Valladolid. Servicio Territorial de Medio Ambiente, Duque de la Victoria, 5, 47001, Valladolid (riosanjo@jcyl.es)

²Riegos Agrícolas Españoles, S.A. División Comercial de RAESA. Carretera de Santander, km. 14. 34419 Fuentes de Valdepero (Palencia). (e.gomez@raesa.com)

³Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible. E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia, Universidad de Valladolid, Avda. de Madrid 44, 34004, Palencia (requekch@pvs.uva.es)

⁴Unidad Docente de Hidráulica e Hidrología. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. E.T.S.II.AA., Universidad de Valladolid. Avda. de Madrid 44, 34004, Palencia (amap@iaf.uva.es)

RESUMEN

Los micro-riegos de arraigo, mantenimiento y supervivencia para evitar marras por estrés hídrico constituyen una alternativa interesante que conviene conocer y estudiar. Su uso y posibilidades se han visto incrementados en los últimos tiempos por los nuevos sistemas de micro-riego desarrollados. En este trabajo se propone un modelo general y otro simplificado de evaluación y comparación económica con el que determinar la conveniencia (o no) de realizar micro-riegos frente a la solución tradicional de reponer marras, a través del cálculo del umbral de marras mínimo a partir del cual resulta rentable regar.

Palabras clave: repoblación, cuidados culturales, marras, micro-riegos, balance económico

Lista de símbolos

Símbolo	Significado
a	Término independiente de la ecuación lineal que determina C_m {€/ha}
b	Pendiente de la recta que sirve para determinar C_m {€/pie}
c	Precio unitario de las plantas {€/pie}
Cd	Coste de compra, instalación y (en su caso) retirada del micro-riego {€/ha}
C_m, C_{m_j}	Coste de la operación de reposición de marras (preparación del suelo, ...) {€/ha}, (en el año j)
C_p, C_{p_j}	Coste de las plantas a reponer {€/ha}, (en el año j)
C_r, C_{r_j}	Coste de la operación anual de riego {€/ha}, (en el año j)
i	tipo de interés anual {t.p.u.}
j	Subíndice que indica el número de orden del año ($j = 1$ es el año de repoblación) {adim}
d	Factor para obtener Cd {€/pie}
M, M_j	Nivel de marras totales (para el que se igualan los costes de las dos alternativas contempladas: regar o no regar) {t.p.u.}, (en el año j , según venga la meteorología del año)
M_R	Nivel de marras esperado en la repoblación (sin aplicar micro-riegos de apoyo) {t.p.u.}
$M^{b1}, M^{b2}, \dots, M^{bn}$	Nivel de marras el primer, el segundo, ..., el n -avo año en campo {t.p.u.}
n_{fi}	Número de años en los que se practican micro-riegos {adim}
n_{sm}	Número de años en los que se realiza reposición (sustitución) de marras {adim}
N	Último año en que se realiza reposición de marras {adim}
NAM	Nivel admisible de marras {t.p.u.}
NR	Volumen anual de agua suplementado mediante micro-riego a cada brinzal {L/pie/año}
t.p.u.	Tanto por uno {adim}
w	Coste unitario del litro de agua aportado por micro-riego {€/L}
Δn	Número de años en que se prolongan los micro-riegos respecto del año inicial de repoblación {adim}
μ, μ_j	Marras por causas distintas del estrés hídrico {t.p.u.}, (en el año j , según sea la meteorología del año)
ρ	Densidad de repoblación {pies/ha}
ρ_j	Densidad de repoblación en el año j (tras las marras del año) {pies/ha}
ψ, ψ_j	Nivel de marras por estrés hídrico {t.p.u.}, (en el año j , según venga la meteorología del año)

ANTECEDENTES

En muy diversas partes del mundo las técnicas de micro-riego están adquiriendo un uso y aceptación crecientes en las labores de repoblación forestal (Bainbridge, 2007). Los micro-riegos de arraigo, mantenimiento y supervivencia resultan muy útiles para evitar marras por estrés hídrico, causa principal de los fracasos en la repoblación forestal de áreas críticas en zonas áridas (Martínez de Azagra y Del Río, 2012). Como finalidades principales del micro-riego forestal podemos citar: asegurar el éxito de la restauración de ecosistemas degradados, revertir procesos de desertificación y oasisificar (Martínez de Azagra, 2010). Los micro-riegos están además plenamente justificados en otros entornos climatológicamente menos severos, en los que el objetivo de la repoblación sea asegurar un porcentaje de marras mínimo, como ocurre en la protección de infraestructuras, o en el control de procesos erosivos severos (Serrada *et al.*, 2005) y también cabe concebir otras aplicaciones interesantes como, por ejemplo, la producción de setas forestales con alto valor económico (Oria de Rueda, 2007).

Sin embargo, la actuación técnica no debe generalizar la utilización del micro-riego en estas situaciones sin disponer de un modelo que evalúe su viabilidad y ventaja competitiva, en términos económicos, frente a otras técnicas sustitutivas, como la tradicional reposición de marras.

La cuestión que se plantea y que tratamos de responder en este trabajo es la siguiente: En una determinada estación que se desea repoblar, ¿cuándo resulta económicamente ventajosa la instalación de un micro-riego?. ¿A partir de qué nivel de marras compensa invertir en un sistema concreto de micro-riego frente al coste de la técnica habitual de reposición de marras?

DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL MODELO

Modelo general de valoración

El modelo persigue determinar el nivel de marras (M) a partir del cual la técnica de micro-riego es más adecuada en términos económicos que la clásica reposición de marras. Conocido este umbral (M), si el porcentaje habitual de marras de la repoblación (nivel de marras esperado, M_R) es superior al citado umbral M , la técnica del micro-riego será más adecuada en términos económicos. En el supuesto contrario se recomienda acudir a la sustitución de marras (expresiones 1 y 2).

$$\text{si } M_R > M \rightarrow \text{Técnica de micro - riego} \quad [1]$$

$$\text{si } M_R \leq M \rightarrow \text{Técnica clásica de sustitución} \quad [2]$$

Para calcular M se propone la ecuación económica [3] que plantea que el coste de la reposición de marras de las distintas especies (miembro derecho de la inecuación) debe ser superior, y por lo tanto compensar a la inversión económica que conlleva la implantación, puesta en funcionamiento y realización de los micro-riegos (miembro izquierdo de la inecuación).

$$Cd + \sum_{j=1}^{j=n_{ri}} \frac{Cr_j}{(1+i)^{j-1}} < \left[\sum_{j=2}^{j=N} \frac{Cp_j + Cm_j}{(1+i)^{j-1}} \right]_{\text{especie A}} + \left[\sum_{j=2}^{j=N} \frac{Cp_j + Cm_j}{(1+i)^{j-1}} \right]_{\text{especie B}} + \dots \quad [3]$$

Conviene apuntar que durante el año de la repoblación (año 1) se realizan micro-riegos pero que, en cambio, no se reponen marras hasta el segundo año. Ésta es la razón de los distintos valores iniciales en los dos sumatorios de la fórmula ($j = 1$ ó $j = 2$). Por el otro extremo, los micro-riegos pueden prolongarse un lapso de tiempo $\Delta n = 0, 1, 2, 3, \dots$ años con

respecto al año de implantación. Un valor de Δn nulo puede ser el adecuado en climas mediterráneos, pero en condiciones más extremas los micro-riegos deben prolongarse más tiempo. Vale la siguiente relación: $n_{ri} = 1 + \Delta n$ [4]

El modelo presupone unas marras por sequía (ψ) nulas, en el caso de que se adopte la alternativa del riego. A su vez, en el modelo admitimos que el tanto por uno de marras ajenas al estrés hídrico (μ) no se ve alterado por el hecho de practicar micro-riegos, es decir: ψ y μ son variables independientes. La ecuación que relaciona estas variables es $M = \psi + \mu$.

Modelo simplificado

Planteamos unas simplificaciones al modelo general con el fin de obtener una expresión de la ecuación económica más operativa, con la que comparar las dos alternativas. 1) Consideramos una repoblación monoespecífica; 2) Prescindimos de los descuentos en los costes por tipos de interés (por ser el lapso de tiempo considerado pequeño (2 – 8 años) y al ser los intereses financieros bajos, como es el caso actual); 3) Regamos todas las plantas del repoblado sin distinción (sean originarias o de reposición:); 4) Los costes unitarios no dependen del tamaño del pedido; 5) Trabajamos con un único valor para el índice de marras totales M (con $M = \text{Media}(M_j)$), es decir: suponemos que únicamente se producen marras de primer año, o sea: $M^{b1} = M$ y $M^{b2} = M^{b3} = \dots = 0$.

A partir del modelo general [3] y de las consideraciones anteriores, la expresión [5] recoge la ecuación económica que utilizamos en este trabajo:

$$Cd + n_{ri} \cdot Cr < \sum_{j=2}^{j=N} (Cp_j + Cm_j) \quad [5]$$

La expresión [5] incluye dos incógnitas: La variable principal que buscamos (M , el tanto por uno de marras a partir del cual las técnicas de riego de apoyo y socorro son ventajosas desde el punto de vista económico frente a los costes de la reposición de marras) y una variable auxiliar (N , el último año en que se han de reponer marras, en el caso de que no se rieguen los brinzales).

Para calcular N se utiliza la ecuación de densidades [6] ó [7] en la que se determina el número de años en que se ha de realizar reposición de marras (n_{sm}) hasta conseguir la densidad objetivo, satisfaciendo el nivel admisible de marras (NAM).

$$\rho_k = \rho \cdot (1 - M) \cdot \sum_{j=0}^{j=k-1} M^j \geq \rho \cdot (1 - NAM) \quad [6]$$

El primer año en que se satisface esta inecuación (valor de k) se corresponde con n_{sm} :

$$k = n_{sm} \quad \text{y} \quad N = k + 1$$

$$M^{N-1} \leq NAM \quad \text{de donde se deduce que:} \quad N \geq \frac{\ln NAM}{\ln M} + 1 \quad [7]$$

teniendo que ser N un número entero.

Ecuaciones auxiliares

a) Coste de la instalación: $Cd = d \cdot \rho$ [8]

El coste de la instalación se calcula a partir del coeficiente d (tabla 1) que depende del sistema de micro-riego y de la complejidad en la instalación (alta, media o baja) según sea la accesibilidad y la transitabilidad en el rodal de repoblación.

Tabla 1. Valores orientativos del coeficiente d (en €/pie) del coste de la instalación.

Unidad	Técnica de micro-riego	d (en €/pie) según la complejidad de la instalación		
		Baja	Media	Alta
<i>ud</i>	<i>Tarros de barro</i>	2,045	2,508	2,742
<i>ud</i>	<i>Botellas de plástico modificadas (RIES)[®]</i>	0,940	1,073	1,235
<i>ud</i>	<i>Bolsas Ecobag[®]</i>	3,825	4,602	4,940
<i>ud</i>	<i>Tubos verticales</i>	0,935	1,037	1,197
<i>m</i>	<i>Riego subterráneo mediante drenes</i>	2,338	2,760	2,905
<i>ud</i>	<i>Cajas Waterboxx[®]</i>	13,847	16,394	17,321
<i>ud</i>	<i>Destiladores Konkom</i>	0,940	1,073	1,235

Fuente: Elaboración propia

b) Coste anual del riego: $Cr = w \cdot NR \cdot \rho$ [9]

c) Coste total de la planta: $Cp = c \cdot \rho \cdot \sum_{j=2}^N M^{j-1}$ [10]

Coste de la planta a reponer en el año j : $Cp_j = c \cdot \rho \cdot M^{j-1}$

d) Coste total de las labores de reposición de marras: $Cm = (N-1) \cdot a + b \cdot \rho \cdot \sum_{j=2}^N M^{j-1}$ [11]

Coste de las labores de reposición de marras en el año j : $Cm_j = a + b \cdot \rho \cdot M^{j-1}$

Para obtener la expresión operativa del modelo simplificado [5] se sustituyen en ella las ecuaciones auxiliares (8, 9, 10 y 11) y queda:

$$d \cdot \rho + n_{ri} \cdot w \cdot NR \cdot \rho < (N-1) \cdot a + (b+c) \cdot \rho \cdot \sum_{j=2}^N M^{j-1} \quad [12]$$

El problema planteado no tiene una solución inmediata a través de la ecuación económica [12], ya que una densidad inicial de repoblación (ρ) en la que se permita un número admisible de marras (NAM), precisa un número de años de reposición de marras concreto ($n_{sm} = N-1$) para alcanzar el objetivo fijado, sin riegos. Dicho número N se obtiene de la expresión [6] ó [7]. Así pues tenemos un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas (M y N), que se resuelve por aproximaciones sucesivas.

CASO PRÁCTICO

Deseamos conocer a partir de qué nivel de marras (M) es mejor instalar un sistema de micro-riego por tubos verticales y aplicación manual del riego durante los dos primeros años mediante camión cisterna con dos operarios, en vez de tener que proceder a la reposición de marras, para cumplir el objetivo de la repoblación. Consideramos una repoblación mono-específica de pinos carrascos (*Pinus halepensis*) de 2 savias con envase, en una zona fácilmente accesible y transitable, con una densidad de 1000 pies por hectárea, con preparación manual del terreno (perfilando microcuencas). Las mini-dosis de apoyo suponen 6 L/planta y año. La tasa de marras por causas ajenas al estrés hídrico se estima en un 2% ($\mu=0,02$) y el nivel admisible de marras se ha fijado en un hipotético 3%.

Conforme a los datos del enunciado, los parámetros de entrada del modelo son los siguientes: $\rho = 1000$ pies/ha; $n_{ri} = 2$ [$\Delta n = 1$; para anular las marras por estrés hídrico con más certeza]; $\mu = 0,02$ [como $\mu \leq NAM \Rightarrow OK!$; no hay que reponer marras en la alternativa del micro-riego]; $a = 80,721$ €/ha y $b = 0,994$ €/pie (microcuencas); $c = 0,2994$ €/pie (*Pinus halepensis* en envase de 2 savias); $w = 0,0324$ €/L (riego individual); $NR = 6$ L/pie y año; $d = 0,935$ €/pie (tubos verticales sin dificultad a la ejecución; tabla 1).

El sistema de ecuaciones [6] y [12] particularizado a estos datos conduce a los siguientes resultados:

- 1) Umbral de marras $M = 0,4188$ (valor a partir del cual el sistema de riego es más rentable que la reposición anual de marras)
- 2) Costes del micro-riego = Costes de reposición de marras = 1324 € (para el umbral M)
- 3) Número de años en los que reponer marras (para alcanzar una densidad igual o superior a 970 pies/ha, sin riego): $n_{sm} = 5$; por lo que $N = 6$ (último año en que se realiza reposición de marras).
- 4) Densidad final lograda (sin riegos, al sexto año): $\rho_k = 987$ pies/ha
- 5) Densidad lograda con riegos: 980 pies/ha (pues $\mu = 0,02$)

En definitiva y para decantarse a favor de la utilización de micro-riegos, el nivel de marras esperado M_R debe ser mayor o igual que 41,88% para un nivel admisible de marras del 3%. A partir de este valor el sistema de micro-riego con pequeños tubos verticales de PVC hincados en el suelo junto a cada pino resulta más rentable que la reposición anual de marras en la repoblación considerada.

Dado que las marras ajenas al estrés hídrico de la estación son muy bajas ($\mu=2\%$), la importancia de las marras por estrés hídrico es muy elevada, $\psi=M-\mu=41,88-2,00=39,88\%$; por lo que $\psi/M=39,88/41,88=95,22\%$, situación propia de zonas áridas.

CONCLUSIONES

El modelo general admite una amplísima casuística en la planificación y gestión de las marras en repoblaciones forestales, que prácticamente abarca la totalidad de situaciones posibles.

El modelo simplificado resulta operativo y se ajusta bien a muchas situaciones prácticas. A su vez, puede ser ampliado incorporando pequeños cambios en sus ecuaciones (otras expresiones para los costes, tipos de interés, marras de segundo año, etc.) lo que le confiere versatilidad.

Esta metodología puede ser igualmente aplicada a otras medidas de apoyo en repoblaciones forestales (uso de protectores, herbicidas, escardas, acolchados, enmiendas, etc.).

Analizando los datos de la tabla nº 1, las técnicas más económicas de micro-riego son: los tubos verticales, las botellas de plástico modificadas *RIES* y el destilador solar *Konkom*. Le siguen los tarros de barro enterrados y el riego subterráneo mediante drenes horizontales. Los micro-riegos más costosos son la bolsa *Ecobag* y las cajas *Waterboxx*.

Aún nos encontramos en un estado de aplicación práctica incipiente de estas tecnologías de micro-riego. Por ello, se requieren más datos experimentales sobre los precios de mercado de los materiales, los rendimientos de su instalación y posterior retirada del monte (en caso necesario) así como el cálculo de las eficiencias en el aprovechamiento del agua de cada sistema de micro-riego.

No se puede fijar un umbral mínimo M para una comarca a partir del cual un micro-riego compita con ventaja frente a la reposición de marras. Este análisis hay que abordarlo de manera individual para cada proyecto concreto por los múltiples factores que entran en juego.

El criterio de decisión sobre la planificación y gestión de las marras en repoblaciones forestales exige conocer los valores de NAM y M_R sobre los cuales existe aún poca información.

Se vislumbran, por todo ello, unas interesantes y necesarias vías de trabajo y estudio en la planificación y gestión de marras.

BIBLIOGRAFÍA

BAINBRIDGE, D.A. 2007. *A guide for desert and dryland restoration. New hope for arid lands*. Island Press. Washington.

MARTÍNEZ DE AZAGRA, A. 2010. La desertificación: el otro cambio climático. *Foresta*, 49: 46 – 51.

MARTÍNEZ DE AZAGRA, A. & DEL RÍO, J. 2012. Los riegos de apoyo y de socorro en repoblaciones forestales. *Foresta*, 53:32-44.

ORIA DE RUEDA, J. A., 2007. *Hongos y setas. Tesoro de nuestros montes*. Cálamo. Palencia.

SERRADA, R.; NAVARRO, R.M. & PEMÁN, J. 2005. La calidad de las repoblaciones forestales: una aproximación desde la silvicultura y la ecofisiología. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 14: 462-481.

PÁGINAS WEB [Consulta: 26 Septiembre 2012].

Botella modificada con goteritos *RIES* [en línea].Dirección URL: <<http://www.darwinnet.org/>>

Bolsa *Eco Bag* [en línea].Dirección URL: <<http://www.ecobagindustries.com.au/>>

Caja *Waterboxx* [en línea].Dirección URL: <<http://www.groasis.com/>>

Destilador solar *Konkom* [en línea].Dirección URL: <<http://www.flutgut.com/>>

AVANCES EN LA RESTAURACIÓN DE SISTEMAS FORESTALES. TÉCNICAS DE IMPLANTACIÓN

II Reunión conjunta del Grupo de Trabajo de
Replantaciones Forestales de la SECF y del Grupo de
Trabajo de Restauración Ecológica de la AEET

EDITORES:

Carolina Martínez Ruiz
Francisco José Lario Leza
Belén Fernández Santos

VI Reunión del GT de Replantaciones Forestales de la SOCIEDAD ESPAÑOLA DE
CIENCIAS FORESTALES -SECF

II Reunión del GT de Restauración Ecológica de la ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE
ECOLOGÍA TERRESTRE – AEET



Palencia, 22-23 noviembre 2012

E.T.S. de Ingeniería Agrarias de Palencia
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



COMITÉ ORGANIZADOR:

Presidentes:

Carolina Martínez Ruiz (Universidad de Valladolid, IUGFS, AEET)

Francisco José Lario Leza (TRAGSA, SECF)

Secretaria:

Belén Fernández Santos (Universidad de Salamanca, AEET)

Vocales:

José María del Arco Montero (Universidad de Valladolid, AEET)

Leonor Calvo Galván (Universidad de León, AEET, SECF)

Luis Ocaña (TRAGSA, SECF)

Jesús Pemán (Universidad de Lleida, SECF)

José Arturo Reque Kilchenmann (Universidad de Valladolid, IUGFS, SECF)

María Pilar Zaldívar García (Universidad de Valladolid)

Alumnas colaboradoras: Paloma Torroba Balmori, Daphne López Marcos.

COMITÉ CIENTÍFICO

Ricardo Alía Miranda (INIA, SECF)

Felipe Bravo Oviedo (Universidad de Valladolid, IUGFS, AEET, SECF)

Mercedes Casal Jiménez (Universidad de Santiago de Compostela, AEET, SECF)

Jorge Castro González (Universidad de Granada, AEET, SECF)

Jordi Cortina Segarra (Universidad de Alicante, AEET)

Belén Fernández Santos (Universidad de Salamanca, AEET)

Josu González Alday (Universidad de Valladolid, IUGFS, Universidad de Liverpool)

Carolina Martínez Ruiz (Universidad de Valladolid, IUGFS, AEET)

Juan A. Oliet Palá (ETSIAM-Universidad de Córdoba, SECF)

José María Rey Benayas (Universidad de Alcalá, AEET)

Roque Rodríguez Soalleiro (Universidad de Santiago de Compostela, SCEF)

Reyes Tárrega García Mares (Universidad de León, AEET, SECF)

María Luz Valbuena Relea (Universidad de León, AEET)

Fernando J. Valladares Ros (CSIC, AEET, SECF)

Pedro Villar Salvador (Universidad de Alcalá, AEET, SECF)

Avances en la restauración de sistemas forestales. Técnicas de implantación

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF) y Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET).

Editores Científicos: Carolina Martínez Ruiz, Francisco José Lario Leza y Belén Fernández Santos

Diseño de la portada: Miguel Ángel Negro Domínguez, 4gestudiografico@gmail.com

I.S.B.N.: 978-84-937964-6-4

Depósito Legal: PO 142-2013

Cita recomendada:

Martínez-Ruiz, C.; Lario Leza, F.J. y Fernández-Santos, B. eds. 2013. Avances en la restauración de sistemas forestales. Técnicas de implantación. SECF-AEET, Madrid, España.