

Los riegos de apoyo y de socorro en repoblaciones forestales



En este trabajo se describen y comparan los distintos sistemas de riego utilizados para evitar marras por estrés hídrico. Son métodos diferentes de las técnicas convencionales de riego, métodos que pueden resultar muy útiles en la oasisificación de laderas, cuando las condiciones meteorológicas y edáficas del lugar no aseguren la obtención de cosechas de agua. Algunos métodos son muy recientes y están en plena fase de ensayo y desarrollo; otros, en cambio, se conocen desde tiempo inmemorial.

Andrés Martínez de Azagra Paredes
Catedrático de Escuela
Universitaria. Unidad Docente
de Hidráulica e Hidrología
ETSIIAA (U. de Valladolid)



Jorge del Río San José
Ingeniero Técnico Forestal
e Ingeniero de Montes
Servicio Territorial de Medio
Ambiente de Valladolid



*Microaspersión en una joven plantación trufera
(Nafría La Llana, Soria, año 2009)*

1.- INTRODUCCIÓN

Los riegos de arbolado no son en absoluto ajenos al sector forestal. Tanto en jardinería como en viveros, así como en choperas, en plantaciones trufas o en plantaciones de nogales son frecuentes, por ser necesarios o por resultar rentables. Se usa desde el riego a manta hasta riegos por aspersión, microaspersión o goteo. Mucho menos habituales, en cambio, son los riegos de apoyo y de socorro en repoblaciones forestales, tema al que vamos a dedicar las siguientes páginas.

Los riegos de socorro (o supervivencia) y de apoyo (o mantenimiento inicial) resultan muy útiles para evitar marras por estrés hídrico, causa principal de los fracasos en la repoblación forestal de áreas críticas en zonas áridas [Véase la tabla 1 de motivos de marras]. Prever su necesidad, ideando algún sistema que permita aplicar minidosis individuales periódicas, puede ser una buena medida para atajar el problema de raíz. Estos riegos localizados de apoyo y supervivencia evitan muchas marras y aceleran el crecimiento de los brinzales (Bainbridge, 2002, 2007; Sánchez *et al.*, 2004), lo que los fortalece para poder seguir creciendo de forma autónoma en años sucesivos. Pueden llegar a ser imprescindibles en zonas recalcitrantes, en secarales, en áreas críticas de cuasi imposible restauración, en desiertos... En España, se suele acudir a ellos cuando el primer (segundo o tercer) intento de repoblación ha fracasado en el lugar siguiendo los sistemas tradicionales de actuación. Pero se trata de una técnica casi testimonial, utilizada en situaciones muy especiales y locales. Por el contrario, en lugares semidesérticos o desérticos las técnicas de microirrigación resultan casi siempre necesarias si se pretende tener éxito en un proyecto de restauración vegetal (Matorel, 1996, 1998; Bainbridge, 2002, 2006, 2007). Sin ir más lejos, en la histórica repoblación forestal de Sierra Espuña se aplicaron pequeños riegos de establecimiento y de socorro a los pinos carrascos con ayuda de cántaros, como nos relata Codorníu (1898).

Con el riego localizado se estimula el crecimiento superficial de algunas raíces (que se concentran en la zona humectada), pero -al mismo tiempo- las especies xerófitas suelen aprovechar el agua sobre todo para enraizar en profundidad. Tienen para ello un activo sistema radicular pivotante, que trata

de penetrar sin demora en el subsuelo en busca de reservas hídricas. El crecimiento aéreo del brinzal también se ve favorecido con el riego, aunque en menor medida que el crecimiento radicular. De hecho, en ciertas especies (p. ej.: en quejigos o encinas) puede ser imperceptible durante varios años.

La dosis de riego suele relacionarse con la capacidad de retención de agua del suelo (en el diseño agronómico clásico del riego por aspersión) o con la profundidad deseada del bulbo húmedo a lograr (en el diseño agronómico de un riego por goteo convencional). Todo ello con el objetivo de conseguir buenas cosechas. Se persigue que la vegetación transpire a sus anchas, todo lo que desee, para maximizar así crecimientos y producciones.

Pero este esquema mental de actuación no es aplicable a los riegos forestales de apoyo y supervivencia. Aquí basta con aplicar minidosis de agua (pues no se pretende satisfacer

la evapotranspiración real máxima de una especie derrochadora del líquido elemento sino que aquí nos las tenemos con especies frugales, xerófitas, especialistas en ahorrar agua). Un pequeño brinzal de dos savias tiene unas necesidades de 1 o 2 l de agua al mes (en julio y agosto)¹. Así, con solo 2 a 5 l por brinzal y temporada puede ser más que suficiente. La frecuencia del riego también difiere respecto del patrón seguido por los agricultores. Se trata de riegos de muy baja frecuencia (por ejemplo: un riego en julio y otro en agosto; o un único riego en mitad del verano). Puede por ello hablarse con toda propiedad de microirrigación o de microrriegos localizados.

Dado que el agua suele ser un recurso escasísimo para las repoblaciones forestales (especialmente en zona árida), la eficiencia de aplicación del agua deberá extremarse: para que no haya pérdidas en el transporte del líquido desde la fuente hasta las

Tabla 1. Nota: Discriminar las causas del fracaso de una repoblación puede ser bastante complejo, pues es frecuente que confluyan varios motivos a la vez

Posibles causas de las marras en una repoblación forestal
Errónea elección de especies o ecotipos: Procedencias equivocadas para la estación forestal
Mala calidad de planta: Poco cepellón, plantas sin endurecer, enfermas, mal nutridas, sin micorrizar, etc.
Mala preparación del suelo: Desbroce escaso, poco volumen de suelo removido, mal tempero al realizar la labor, alcorque pequeño, área de impluvio insuficiente, etc.
Estrés hídrico: Falta de agua, sequía extrema (muy mal año meteorológico; escasas lluvias y cosechas de agua)
Falta de oxígeno en el suelo por encharcamientos prolongados (situación harto improbable en zona árida)
Temperaturas extremas (altas o bajas) en el suelo o en el aire
Exceso de insolación (en especies de sombra, umbrófilas)
pH muy desajustado; algunos elementos pueden resultar tóxicos (caso del aluminio, del boro o del cobre)
Déficit [en muy contadas ocasiones, exceso] de nutrientes
Daños mecánicos: por golpes, por eliminación de parte de la planta, por aviveramiento descuidado, por plantación defectuosa, por ramoneo de herbívoros
Ausencia de cuidados culturales posteriores a la plantación: Abandono completo de los brinzales a su suerte (sin escardas, sin riegos de apoyo o de socorro, sin tratamientos culturales ni fitosanitarios, etc.)



Riego por goteo en una plantación de nogales híbridos (Almazán, Soria, año 2009)

plantas, para que las minidosis sean precisas y uniformes y para que los brinzales aprovechen el riego al máximo (que casi toda el agua sea transpirada, que ‘ninguna’ gota se pierda por evaporación directa o percolación). En este sentido, el riego hipotético ideal consistiría en inyectar directamente el agua a cada planta, según la fuese necesitando, mediante una especie de ‘aguja hipodérmica’ que no la dañase.

2.- MÉTODOS DE RIEGO USADOS EN REPOBLACIÓN FORESTAL DE ZONAS ÁRIDAS

Ni el riego por pie ni el riego por aspersión son sistemas adecuados para regar las pequeñas plantas de una repoblación, ya que estas se encuentran dispersas en un amplio espacio de terreno. Hay que acudir a sistemas de riego localizado para no malgastar agua. Además, riegos superficiales continuados resultan perjudiciales para plantas xerofíticas, pues favorecen la proliferación de enfermedades radiculares (Bainbridge, 2007). Abundando más en el tema, al humedecer toda la superficie del suelo con el riego pueden crecer herbáceas muy competidoras con el repoblado. Es por ello que el riego por inundación y el riego por aspersión quedan proscritos en favor de los

riegos localizados. Y dentro de estos, los riegos subterráneos (sub-superficiales) son los más recomendables para reducir la evaporación directa y para evitar la nascencia y la proliferación de herbáceas invasivas.

En cuanto al riego por goteo estándar, según Bainbridge (2007) suele presentar serios inconvenientes en pleno monte: la frecuente obturación de sus emisores, el reiterado roído de los laterales de riego por parte de numerosos animales (a los que parece entusiasmar el polietileno), su coste elevado (bomba, sistemas de filtrado, válvulas, mantenimiento...), su alta frecuencia de aplicación (contraria a las necesida-

des de las plantas regadas). De optar por un sistema de goteo, el mencionado autor recomienda sistemas pulsantes y con aplicación enterrada del agua.

Así las cosas, se comprende que los riegos de apoyo y supervivencia en el ámbito forestal suelen utilizar sistemas distintos de los habituales. Son específicos para este fin. Citémoslos y pasemos a describirlos en el siguiente apartado:

2.1 - Microrriego a través de recipientes enterrados o superficiales

Tarros de barro, botos; cápsulas porosas; botellas de plástico; bolsas

2.2 - Microrriego por medio de tubos verticales

Tabla 2: Tipos de riego

Riego de ...	Sinónimos	Comentarios
establecimiento	arraigo	Es el primer riego (nada más plantar o sembrar; o al poco tiempo de realizada la implantación)
apoyo	mantenimiento	Son riegos previstos, proyectados y presupuestados (hasta que los brinzales alcancen su autonomía hídrica)
socorro	supervivencia	Son riegos imprevistos, excepcionales (actuación urgente de rescate hídrico ante sequías extremas)

El riego con tarros de barro enterrados pasa por ser el más antiguo de los sistemas de riego localizado que ha practicado el hombre. Bainbridge (2001) refiere que en unos escritos chinos del siglo primero antes de Cristo ya se describía esta técnica de irrigación (usada para cultivar melones), pero que bien pudiera llevar practicándose desde mucho tiempo atrás

PVC, PE, tallos huecos; tubos porosos; mechas

2.3 - Riego mediante drenes

2.4 - Cajas de agua (*Waterboxx*)

2.5 - Riego por goteo solar (*Konkom*)

2.1 - Riego a través de recipientes enterrados o superficiales

2.1.1 - Tarros de barro, botos

Este método pasa por ser el más antiguo de los sistemas de riego localizado que ha practicado el hombre. Bainbridge (2001) refiere que en unos escritos chinos del siglo primero antes de Cristo ya se describía esta técnica de irrigación (usada para cultivar melones), pero que bien pudiera llevar practicándose desde mucho tiempo atrás. También los romanos parecen haber conocido y difundido este sistema de irrigación muchos siglos ha (UNEP, 1997). De hecho, en España las gentes de campo conocen el método y lo vienen aplicando para instalar árboles frutales de secano (almendros, olivos, algarrobos, jerbos, moreras, nogales, etc.) desde siempre.

Cualquier recipiente de barro cocido tiene tendencia a rezumar agua, a resudar. Si se entierra el recipiente, irá cediendo lentamente el agua que contiene al suelo. De esta forma se consigue un riego localizado, lento, prolongado y seguro que es muy efectivo para evitar marras en zonas subdesérticas o en secarrales, es decir: en áreas críticas por aridez edáfica (suelos arenosos; solanas con suelos esqueléticos; carsoles yesosos; suelos salinos, etcétera). El flujo del agua a través de las paredes de estos tarros depende de la diferencia de potencial hídrico existente (ley de Darcy & Buckingham). Viene regulado por la demanda (sequedad/humedad) del suelo, por lo que el riego resulta muy eficiente.

Así pues, enterrando un pequeño recipiente de barro cocido (de entre 1 y 3 l de capacidad) junto a cada brinjal

y llenándolo de agua periódicamente, aseguramos su supervivencia y crecimiento aun en los años más adversos. Basta con llenar el tarro de vez en cuando, en cada visita (p. ej.: una vez al mes durante el estío), y dejarlo fácil de localizar y bien tapado para evitar que el agua se evapore, que los animales lo puedan utilizar como bebedero o que puedan ahogarse en él.

Se puede encargar a un alfarero de la zona los tarros a utilizar, pero también sirven los tiestos típicos de arcilla cocida (teniendo la precaución de sellar bien su agujero de drenaje con silicona o con un corcho). Vasos, potes, ollas, cántaros, vasijas, botijas o botos² pueden usarse igualmente. La denominación es muy variada según la forma del recipiente y según la comarca. Pero lo realmente importante es que la porosidad del material permita una lenta pero suficiente entrega de agua por diferencial hídrico al suelo. Por ello, recipientes de barro barnizado, esmaltado o vidriado no sirven. En cuanto a la forma, los mejores son altos, de

base panzuda (para regar en profundidad) y de boca pequeña (para que sea más fácil cerrarlos, pero que se dejen llenar fácilmente sin verter agua fuera). En cuanto a su capacidad, entre 1 y 3 l parece lo más recomendable, como ya se ha apuntado con anterioridad.

En muchas provincias de España nuestros forestales mayores nos hablan de zonas difíciles (o recalitrantes) repobladas antaño con éxito usando este método, pero no hemos sido capaces de localizar una publicación que se hiciese eco de ello por extenso: solo meras pinceladas aparecen dispersas por aquí y por allá en la literatura especializada. Serrada *et al.* (2005) utilizan el simpático término de 're poblaciones con biberón'.

Sabemos que tanto en Valladolid como en Palencia (las provincias en donde trabajamos) existen rodales repoblados de esta manera: en Saldaña, en Dueñas, en Valladolid. Un caso que hemos podido documentar es el del monte "Cerro de San Cristóbal", situado en unas pronunciadas laderas junto a la capital vallisoletana, con signos evidentes de erosión en forma de surcos y cárcavas. El clima es semiárido con una precipitación media de 370 mm. Los suelos son calizos y arcillosos (datos extraídos de la propuesta de repoblación del monte, realizada en 1956). Se actuó en unas 24 ha, practicando 48.000 hoyos y plantando pinos piñoneros, carrascos, laricios, cipreses (común, arizónica y macrocarpa), olmos siberianos, almendros y acacias (distribuidos en la ladera según su temperamento). En los sitios más escabrosos se realizó un ahoyado manual al tresbolillo con una distancia de 2,25 m en terrazas con anchura de 50 cm y contrapendiente. En el resto del monte se trazaron bancales con arado tirado por bueyes, fajas distanciadas 3 m entre sí, en las que se abrieron los hoyos de plantación a una distancia de



*Boto tradicional usado en Castilla
Foto: Rose Marie Stinus Sorondo*



Vista aérea del monte "Cerro de San Cristóbal". Número del elenco 3064, provincia de Valladolid.
Año 1956 Fuente: Fotografía aérea USAF 1956



Ortofoto del monte "Cerro de San Cristóbal". Número del elenco 3064, provincia de Valladolid.
Año 2010 Fuente: Ortofotografía PNOA 2010

1,33 m. La densidad de repoblación resultante fue de unos 2.000 pies/ha.

Por lo adverso del lugar y por la sequía de los años 1958 y 1959 se produjeron numerosas marras, concentradas en las zonas con suelos más pobres y sedientos. En 1960 se

estimaron en un 15 % (8.000 hoyos) los brinzales perdidos (según consta en el proyecto de acondicionamiento y mejora de la *repoblación ornamental* del cerro, redactado en 1961). Ese mismo año se procedió a ejecutar la reposición de marras con una nueva

preparación del terreno, muy similar a la inicial: apertura de hoyos sobre bancales siguiendo curvas de nivel, en contrapendiente (para que fuera mayor la retención de pluviales). Las especies fueron, en esta segunda ocasión, *Pinus halepensis* y *Pinus pinea*, y en las partes más bajas y favorecidas *Cupressus arizonica* y *Cupressus sempervirens*. En esta intervención se enterró junto a cada planta un pequeño boto³ de menos de 1 l de capacidad, recipiente de barro que se llenaba de agua tres o cuatro veces al año durante los primeros veranos tras la repoblación. La eficacia de estos riegos estivales fue plena, y así las plantas también lograron instalarse y prosperar en las zonas más inhóspitas del cerro. De esta manera se consiguieron los objetivos de repoblación marcados en tan difíciles secarrales, todo ello gracias a un sistema que podemos resumir en una sencilla frase: "Una planta, un bota".

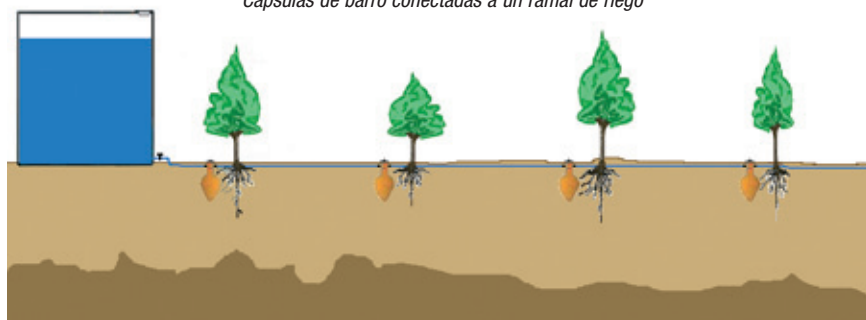
2.1.2 – Cápsulas porosas interconectadas

Investigadores brasileños (da Silva *et al.*, 1981, 1985; Silva *et al.*, 1982) han perfeccionado el sistema de los botos con el fin de poder conectar los recipientes de barro a una red de tuberías (al estilo del riego por goteo, pero sustituyendo los emisores típicos (que se atrampan mucho) por cápsulas porosas fabricadas al efecto (que no se atrampan tanto y que actúan de reserva durante varios días o semanas, sin tener que volver a regar). Su propuesta parece haberse difundido bastante por Brasil y otros países de América Latina (UNEP, 1997) pero siempre dentro del ámbito agrícola.

2.1.3 - Botellas (recicladas) de plástico

La posibilidad de regar arbolitos recién plantados en zonas muy áridas por medio de botellas de plástico enterradas y convenientemente modificadas ha sido ensayada con éxito en Perú por Matorel (1996, 1998, 2006). Su sistema, al que ha denominado RIES (Reservorios Individuales de Exudación Subterránea), consiste en conectar dos, tres o cuatro botellas de 1,5 l (o de 3 l) por su parte inferior mediante pequeñas mangueritas plásticas (para permitir su llenado y vaciado conjunto por vasos comunicantes) e instalar dos goteritos (dos filtros de fibra plástica)

Cápsulas de barro conectadas a un ramal de riego



en una de las botellas y a dos niveles. Véase la foto. El paquete de botellas (con una capacidad comprendida entre 3 y 12 l) debe ir enterrado junto a la zona radicular de la planta quedando solo los tapones visibles. El agua se va liberando lentamente a través de los goteritos. Antes de su completo vaciado (a las 3 o 4 semanas), las botellas deben recargarse.

Usando esta técnica se han realizado varias plantaciones forestales en el departamento de Piura (Perú) con algarrobos (*Prosopis pallida*), sapotes (*Capparis angulata*), charanes (*Caesalpinia paipai*) y hualtacos (*Loxopterygium huasango*). También, y con el mismo sistema artesanal de microirrigación, se están consiguiendo plantaciones frutales de tamarindos (*Tamarindus indica*), mangos (*Mangifera indica*) y mango-ciruelos (*Spondias cytherea*). El riego a estos tres últimos árboles debe ser más copioso, por lo que se emplean filtros de exudación más grandes.

Además de reutilizar las botellas de plástico para regar, también se aprovechan para otro importante cometido: el de confeccionar tubos protectores con los que defender a los brinzales de los depredadores, del viento y de la desecación, ayudando así a conservar la humedad.

2.1.4 - Otros recipientes plásticos

En los tiempos que corren, no nos debe extrañar que surjan y proliferen propuestas para regar árboles desde depósitos hechos con materiales plásticos.

Aunque se aleje mucho de la mentalidad de este trabajo, debemos citar unas bolsas ideadas para dar copiosos riegos a árboles grandecitos recién trasplantados: Es el Treegator® (véase la foto). Se trata de un sistema propio de jardinería con el que se riega de forma veloz y abundante, sin necesidad de alcorque y sin tener que esperar a que se infiltre el agua aportada. La bolsa de

polietileno es permeable en su fondo y va entregando 'lentamente' el líquido elemento al terreno. 'Lentamente' si se compara con la capacidad de infiltración del suelo, pero muy rápido para nuestros objetivos de austeridad y eficiencia en el uso del agua. La capacidad del saco Treegator® es de 75 l y se vacía en 5 a 9 horas a través de dos puntos permeables existentes en su base.

Más apropiado a los fines de regar brinzales en zona árida es el depósito de agua con forma de almohadilla cervical desarrollado por una empresa australiana en 2005: el Eco Bag® (véase la foto). Tiene una capacidad de 20 l, ocupa 0,6 x 0,6 m² alrededor de la planta y entrega el agua por medio de una mecha a una tasa aproximada de 1 l/día. Por lo tanto, se ha de rellenar cada tres (o cuatro) semanas. Esta eco-bolsa se instala en superficie pero puede ocultarse fácilmente con paja, con astillas de madera o con tierra. Está siendo ensayada en nuestros



Arriba, reservorio individual de exudación subterránea con los dos goteritos (flechas rojas)

Derecha, tubo protector artesanal y tapones de las cuatro botellas de un reservorio enterrado

Fotos: Mario Matorel García

antípodas (Australia y Nueva Zelanda) para la implantación de brinzales en xerojardinería. También puede resultar útil en forestación de áreas críticas que sean muy áridas, predesérticas. Pero el método tropieza, de momento, con un serio problema: cada almohadilla cuesta entre 10 y 15 dólares (australianos) dependiendo del tamaño del pedido.

2.2- Microrriego a través de un tubo vertical

Se trata de un sistema de riego localizado y subterráneo que se realiza a través de un pequeño tubo vertical, enterrado unos 25 a 50 cm y que asoma 2 o 3 cm. De esta manera, el agua se sitúa en profundidad, junto a las raíces del brinjal, para no dar de beber al sol inútilmente sino al arbolito plantado. Insistimos: Para que el riego sea eficiente no conviene que el bulbo húmedo alcance la superficie del terreno. Se suele usar un tubo de PVC o de PE de reducido diámetro (5 a 30 mm), aunque también pueden utilizarse tallos huecos de plantas (de caña, de bambú, etc.), con la ventaja de ser naturales y biodegradables.

Las dosis ensayadas han sido muy parcas: van desde 1 l hasta 3 l por planta y riego. En un experimento efectuado en Almería (con una precipitación media anual de unos 250 mm) con pino carrasco y acebuche, la tasa de supervivencia fue del 95 % a los 15 meses de la plantación (con únicamente dos





Saco regador Treegator®
(fuente: <http://www.treegator.com/>)



Depósito de riego Eco Bag®
(fuente: <http://www.ecobagindustries.com.au/>)

minidosis [entre 1,5 y 3,0 l cada riego] aplicadas en junio y agosto), mientras que la supervivencia fue inferior al 5 % en las parcelas testigo sin riego (Sánchez *et al.*, 2004).

El riego puede hacerse de manera individual (yendo tubo a tubo con una regadera) pero también se puede extender una red de pequeñas tuberías que alimente a los tubitos verticales desde un depósito elevado o desde una cuba con bomba (preferiblemente dosificadora, para poder controlar mejor los volúmenes de agua aportados).

Bainbridge (2007) aconseja tapar los tubos verticales con una malla de pequeña luz para impedir la entrada de animales pero que permita el riego sin tener que retirarla.

Una variante de este método consiste en usar tuberías verticales porosas (en sustitución del tubo estanco de plástico o del tallo hueco vegetal). La industria del riego ofrece cada vez más opciones al respecto (mangueras de riego, cintas de exudación, etc.). Tan

solo habrá que tener la precaución de elegir una tubería emisora que resista la pequeña presión que ejerce el terreno y que no se aplaste. Puede también convenir que los 5 o 10 primeros centímetros del tubo (los más superficiales) sean impermeables; al igual que también puede interesar practicar un pequeño orificio (de 1 mm de diámetro) cada 10 o 15 cm si la tubería es estanca para asegurar que la plantita (recién instalada) reciba parte del riego junto a su cepellón. Véase la figura 1.

Para administrar el agua a los brinzales también pueden utilizarse mechas enterradas de nylon. Bainbridge (2006, 2007) distingue al respecto entre sistemas de lento y rápido vaciado según influya en el flujo solo la capilaridad o también la gravedad (por situar los depósitos elevados). El mencionado autor señala que la irrigación a través de mechas puede llegar a ser un sistema interesante en desiertos y zonas áridas pero que debe ser perfeccionado para que la tasa de entrega de agua sea la correcta. En este sentido, un microgotero (o *rezumador*) capaz de emitir un caudal constante muy bajo (de solo 2 a 4 l/mes) a presiones de trabajo muy pequeñas (entre 0 y 0,5 m de columna de agua) puede resultar idóneo para los riegos forestales y sustituir con ventaja a mechas, tubos capilares o conos de cerámica. El problema es que el mercado español no ofrece goteros autocompensantes con estas características. Todos funcionan a una presión de trabajo superior (unos 10 m de columna de agua) y emiten caudales mucho más elevados (2 a 5 l/h). Tan solo una empresa peruana (AGROFORM EIRL) ofrece goteritos (*rezumadores*) con estas prestaciones.

2.3 - Riego subterráneo con drenes

Para este fin se utilizan las tuberías corrugadas de PVC usadas habitualmente para drenaje y que incluyen

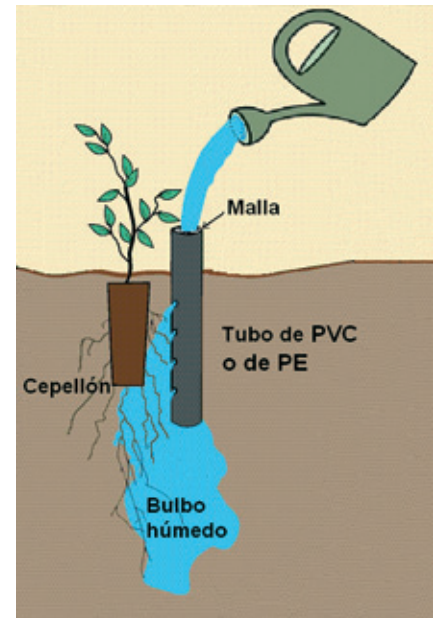
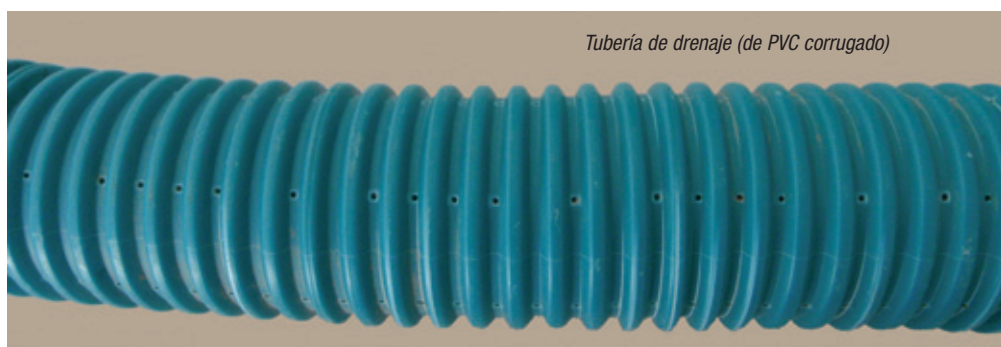


Figura 1: Riego subterráneo por medio de un tubo vertical

pequeños taladros o ranuras a lo largo y ancho de toda su extensión. Se entierran a la profundidad deseada (unos 30 a 50 cm, o incluso más). A intervalos apropiados (entre 15 y 30 m, dependiendo del tipo de suelo y de la pendiente de la tubería) hay que instalar un tubo vertical (una boca de llenado, que puede ser el mismo extremo de la tubería corrugada). El llenado de la tubería suele realizarse mediante camiones cisterna (aguadores), con cubas remolcadas por tractor o con carrocetas contra incendios (que son ideales en cualquier riego de apoyo). Para poder dosificar bien interesa incluir un contador en el circuito hidráulico. Se consigue así un riego localizado, subterráneo, sencillo, barato y eficiente para alineaciones de plantas (por ejemplo: para implantar una barrera cortavientos en lugares áridos). Pero como sistema de riego para la supervivencia y apoyo a repoblaciones forestales extensas no es un método indicado.



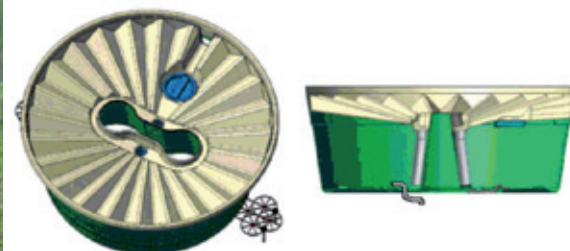
Tubería de drenaje (de PVC corrugado)



Waterboxx con dos pinos piñoneros. Base de la caja con la mecha instalada. Plantación demostrativa en Villalba de los Alcores (Valladolid, año 2010) Fotos: Catalina Osorio Peláez



Debajo: Perspectiva y sección radial de una caja Waterboxx (© AquaPro)



2.4 – Cajas de agua (Waterboxx)

Consiste en una caja de polipropileno con forma cilíndrica (ligeramente troncocónica) de 0,5 m de diámetro y 0,25 m de altura (aprox.), que rodea y protege a los brinzales o a las semillas que encierra en su seno. Incluye en su interior un depósito amplio y generoso de unos 17 l de capacidad. El centro de la caja está hueco para permitir el crecimiento de las plantas, que se riegan por capilaridad a través de una mecha instalada al efecto en su fondo. El hueco central tiene forma de ocho (véase el dibujo y las fotos) para permitir que puedan crecer dos (y hasta tres) brinzales. El depósito tiene dos tapas: Un plato o lámina aislante intermedia y una tapa superior en forma de embudo con costillas y tapón de llenado.

El agua de lluvia se recoge a través del embudo y se canaliza al fondo del depósito mediante dos pequeñas bajantes. Según se desprende del texto promocional del producto, el embudo acostillado también actúa como un eficaz condensador de rocío, de manera que la autonomía hídrica del sistema

estaría asegurada, aun en condiciones muy adversas de sequías prolongadas, siempre que la captación de rocíos fuera suficiente en la zona. Pero en cualquier caso y sin aportación de rocío alguna, el microrriego estará garantizado durante varios meses, siempre que la tasa de entrega de agua sea lo suficientemente lenta (lo que depende del buen funcionamiento de la mecha), puesto que el depósito es bastante grande.

La caja también sirve para eliminar la competencia de especies invasoras y hace de acolchado, reduciendo la evaporación directa de agua desde el suelo humectado. Debe instalarse en el fondo de un pequeño hoyo de base totalmente horizontal, practicado al realizar la plantación o siembra. Conviene que asome unos 10 o 12 cm por encima de la superficie del suelo y que quede bien sujeto, haciendo cuerpo con el suelo circundante. Incluso se facilita un sistema de anclaje (opcional) para asegurar su estabilidad frente al viento.

Nada más instalar la caja hay que llenarla con unos 15 l de agua. También se recomienda un pequeño riego de

establecimiento directo a las plantas de unos 3 l. Por tanto, debe contarse con mucha agua en el momento de la repoblación: más de 5.000 l para una hectárea (lo que resulta muy difícil en zonas áridas y remotas), a no ser que trabajemos con densidades muy bajas. Se trata de una caja ligera pero de construcción robusta por lo que puede tener varios usos (hasta diez, según el fabricante).

Waterboxx está patentado y ha obtenido varios premios de innovación tecnológica. Desde el año 2008 está siendo promocionado por su inventor (el empresario holandés Pieter Hoff) en numerosos países del mundo, entre ellos España.

Se trata de un desarrollo sofisticado (y sencillo a la vez), ingenioso e interesante. Pero su coste es muy elevado (de 12 a 20 euros) la unidad, según el tamaño del pedido), por lo que solo puede contemplarse su uso en situaciones de restauración vegetal muy especiales. En otras circunstancias, su utilización no parece justificada, máxime cuando todavía está en fase de experimentación.

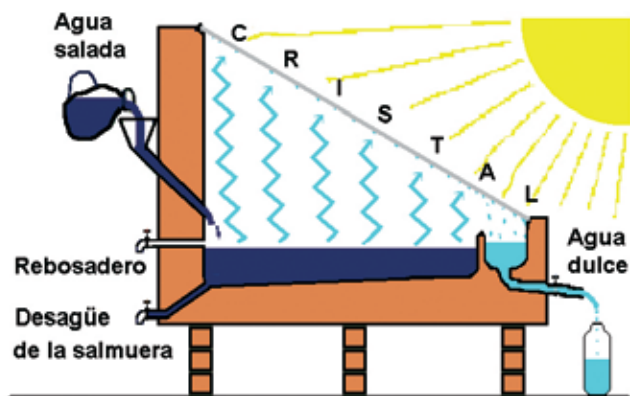


Figura 2. Izquierda, esquema de funcionamiento de un destilador solar

2.5 – Destiladores solares para riego (Kondenskompressor)

Los destiladores solares reproducen a pequeña escala y de manera acelerada y simplificada el ciclo del agua en la Tierra: En un recinto cerrado, el sol evapora agua de un recipiente, este vapor asciende y se condensa en el techo transparente e inclinado del destilador. Allí, las gotitas van aumentando de tamaño hasta que terminan por escurrir adheridas al techo, y alimentan así con agua destilada a un colector o receptáculo preparado al efecto para recibirla. Véase la figura 2.

El método de la destilación solar se conoce desde la Edad Media y tiene interesantes aplicaciones. La obtención de agua potable a partir de aguas contaminadas o salobres es la más inmediata. Célebre es el primer destilador solar industrial, diseñado y construido por el ingeniero sueco (de origen inglés) Charles Wilson en la comunidad minera de Las Salinas (II Región, Antofagasta, Chile) en el año 1872 (Harding, 1883; Hirschmann, 1975). Contaba con una superficie acristalada de 4.757 m² formada por 64 compartimentos de madera calafateada (de pino de Oregón) con el fondo teñido de negro y con una cubierta individual de vidrio en pendiente. Producía más de 21.000 l de agua dulce al día a partir de un agua salobre bombeada desde un pozo. Abastecía a una pequeña población minera y a las enormes recuas de mulas necesarias para la explotación del salitre y de una

mina alemana de plata. Estuvo en funcionamiento hasta 1914, cuando llegó el agua a la zona en tren y a través de tuberías.

Por el mismo procedimiento se puede conseguir agua en pleno desierto a partir de tejidos vegetales (como, por ejemplo, los cactus). Se trata de construir un destilador solar de supervivencia (Velasco-Molina, 1991). Para tal fin hay que llevar consigo un plástico extenso y transparente (de más de 1 m²), una cazuela y un tubito largo, desde el cual aspirar el líquido elemento sin tener que retirar la cubierta de plástico (para no interrumpir el proceso de destilación). El recinto cerrado en donde realizar el experimento hay que excavarlo en el terreno. Con un foso de 0,7 m de profundidad puede ser suficiente. Tras una larga espera (de más de una hora a pleno sol) la destilación empezará, si se ha conseguido un buen cierre del foso con el plástico. El ensayo, desde luego, es muy curioso e instructivo pero conviene realizarlo con una buena cantimplora de reserva en la mochila.

Arti Leimbacher (2008) ha ideado un sencillo sistema para regar plantas que se basa en la destilación solar: el *Kondenskompressor* (o *Konkom*). Este aparato incorpora en su ciclo hidrológico particular una componente adicional, que los destiladores solares habituales no poseen: la infiltración. Un *Konkom* está formado por dos botellas de plástico de diferente tamaño (por ejemplo, una de cinco litros y la otra de litro y medio) ensambladas. La botella



Figura 3. Derecha, Kondenskompressor (Konkom) (Dibujo original de Leimbacher, 2008)

grande ha de ser cortada para quitar su base, mientras que la pequeña se corta aproximadamente por su mitad, siéndonos útil solamente la parte inferior. El recipiente conseguido con la botella pequeña se sitúa lleno de agua junto a la planta que se desee regar. Sobre ella se coloca la botella grande, centrada e hincada unos centímetros en el suelo. Es importante que la posición relativa entre ambas botellas nos permita abrir el tapón de la grande para rellenar de agua la pequeña (en caso de que la planta lo precise). Véase la figura 3.

Al *Konkom* también se le puede llamar riego por goteo solar o riego por destilación solar. En los primeros ensayos, realizados por el propio Leimbacher en Mallorca, los resultados han sido muy prometedores. Se trata, en efecto, de un sistema de sorprendente simplicidad mediante el cual se puede reducir la dotación de riego hasta diez veces (según Leimbacher) con respecto a los sistemas tradicionales de irrigación de huertos. Además permite emplear aguas salobres o de mar, ya que las transforma en agua dulce.

En un principio, el *Konkom* ha sido ensayado con hortalizas (tomates, judías y calabacines) pero también puede llegar a ser útil en reforestación. Este aparato brinda a la planta un riego por goteo de coste nulo y sincronizado con sus necesidades, pues se intensifica cuando el sol incide de plano sobre el destilador, es decir: cuando más transpiran las plantas. Se puede lograr por ello un aprovechamiento óptimo del agua, empleando la energía del sol como elemento motor gratuito del pro-

El método de la destilación solar se conoce desde la Edad Media y tiene interesantes aplicaciones. La obtención de agua potable a partir de aguas contaminadas o salobres es la más inmediata



Fotos de los primeros ensayos con el Konkom (Leimbacher, 2008)

ceso de riego. En este caso, y aunque se esté regando a pleno día, se pierde muy poca agua por evaporación directa, pues la que no se infiltra y transpira la planta sigue dentro de un circuito cerrado de evaporación y condensación sin salir del propio destilador solar. Para aumentar la eficiencia en el aprovechamiento del agua, interesa acolchar (con paja, piedras, etc.) alrededor del *Konkom* y de la planta, de manera que no asome el bulbo húmedo directamente a la atmósfera.

Al *Konkom* le queda todavía mucho camino por andar, ya que ofrece, de momento, más preguntas que respuestas: ¿Qué tipos de plantas, qué tipos de clima, qué tipos de suelos, etcétera, son adecuados al riego por goteo solar? ¿Cómo se puede regular la dosis de riego a las necesidades del brinjal, cómo asegurar tan delicado equilibrio? ¿Cada cuánto tiempo hay que rellenar el destilador, de qué parámetros depende este lapso de tiempo ...? Los ensayos parecen fáciles, sencillos y económicos de abordar. Por otro lado, este inventillo (que así lo llama su autor) permite numerosos ajustes para poder adaptarlo a diferentes lugares de trabajo: Se puede variar el tamaño absoluto y relativo de las dos botellas, la forma de la cúpula goteadora, el tamaño y la profundidad del área de suelo regada (=

del área de infiltración), los materiales, su transparencia y color, la posición relativa y orientación del destilador con respecto a la planta; se pueden incluir canalículos en la bóveda superior (para conducir el goteo), y un largo etcétera de variantes a desarrollar.

3.- COMPARATIVA ENTRE LOS SISTEMAS DE RIEGO

En la tabla 3 se enumeran los diferentes sistemas de riego que hemos mencionado en los apartados anteriores. Las primeras cinco técnicas son las usadas tradicionalmente en regadíos, a saber: riego por gravedad, aspersión, microaspersión y goteo (superficial y enterrado). Las otras nueve técnicas se refieren a sistemas de riego no convencionales.

Para establecer la comparativa nos hemos fijado en cinco parámetros importantes: la eficiencia en la aplicación del agua; el coste de adquisición, instalación y funcionamiento del sistema; su adaptabilidad a zonas agrestes y alejadas; la posibilidad (o imposibilidad) de aplicar el riego conjuntamente a varias plantas a la vez; y el mantenimiento del sistema.

La elección de la mejor alternativa depende de cada situación particular: tipo de microclima, tipo de suelo, relieve, cantidad de agua disponible,

calidad y coste de esa agua, especies a regar, número de años en que habrá que aportar agua, superficie (número de plantas) a regar, riesgo de proliferación de malas yerbas, coste de la mano de obra, sencillez en el manejo del sistema, medios mecánicos disponibles para el riego, consideraciones estéticas, paisajismo, riesgo de vandalismo, etc. Así pues, no existe una solución perfecta ni universal para todas las situaciones. El problema hay que plantearlo y resolverlo en cada caso particular concreto, analizando los pros y los contras de cada sistema.

Los sistemas de riego convencionales suelen ser los menos interesantes y competitivos a la hora de abordar riegos de supervivencia o de apoyo en zonas áridas, puesto que son menos eficientes en el aprovechamiento del agua que los métodos específicos que hemos visto. Pero pese a ello, no hay que descartarlos. Sin ir más lejos, el primer método a considerar debe ser el riego por alcorques, muy sencillo e inmediato, pero con el serio inconveniente de que se malgasta mucha agua. Se acude a él en situaciones de urgencia, ante sequías pertinaces e imprevistas, para dar riegos de socorro. Puede resultar muy útil para salvar a las plantas recién instaladas, si viene un verano sequísimo y si no se dispone de una infraestructura previa con la que regar de manera más eficiente. Con paciencia y mediante una manguera alimentada por una cuba y un tractor, o utilizando un camión cisterna o una carroceta contra incendios, se va regando brinjal a brinjal, echando un mínimo de 15 o 20 l (de los que la planta aprovechará menos de la mitad). Adecuar la forma del alcorque (para concentrar la preciada agua junto al brinjal) y cubrir el suelo humedecido con una pequeña capa de tierra seca o de piedras (para reducir la evaporación directa) son dos medidas que mejoran esta técnica de riego, a expensas de reducir el rendimiento de la labor.

De todos los riegos convencionales, el riego por goteo subterráneo es la mejor alternativa, pero puede ser mejorada de forma sustancial sustituyendo los goteros por cápsulas porosas o utilizando goteros aéreos en combinación con tubos verticales hincados en el suelo.

El sistema clásico de los tarros de barro cocido es muy eficaz en zonas

Sistema	Eficiencia de aplicación	Coste	Adaptabilidad a lugares remotos	Aplicación	Mantenimiento	Observaciones
Gravedad	Muy baja/Baja	Muy bajo	Buena	Conjunta o individual	Bajo	El riego por alcorques puede plantearse
Aspersión	Muy baja	Muy alto	Mala	Conjunta	Medio	Sistema inadecuado
Microaspersión	Baja	Muy alto	Mala	Conjunta	Alto	Solución posible (preferible goteo enterrado)
Goteo superficial	Baja	Muy alto	Mala	Conjunta	Alto	Solución posible pero mejorable enterrando los emisores
Goteo enterrado	Buena/Muy buena	Muy alto	Mala	Conjunta	Alto	Solución mejorable usando cápsulas porosas
Tarros de barro	Muy buena	Medio	Buena	Individual	Bajo	Las tradicionales repoblaciones con biberón
Cápsulas porosas	Muy buena	Muy alto	Mala	Conjunta	Medio/Alto	Emisores ideales para riegos de apoyo y socorro
Botellas de plástico con goteritos	Muy buena	Bajo	Buena	Individual	Bajo	Método parecido al de los tarros
Eco Bag *	Muy buena	Alto	Buena	Individual	Bajo	Puede reutilizarse varias veces
Tubos verticales	Muy buena	Bajo	Buena	Individual o conjunta	Bajo	Sistema muy sencillo y eficiente
Mechas	Muy buena	Bajo	Buena	Individual	Bajo	Método clásico para tiestos; debe ser perfeccionado para poder ser usado en el monte
Drenes	Buena	Medio	Mala	Conjunta	Bajo	Excelente solución para plantaciones lineales
Waterboxx *	Muy buena	Alto	Buena	Individual	Bajo	La caja puede reutilizarse hasta diez veces
Konkom *	Muy buena	Muy bajo	Buena	Individual	Medio	Posibilidad de usar aguas salobres o salinas

* Sistemas en fase de experimentación. Se requiere más investigación para conocer su utilidad real en repoblaciones forestales de zona árida.

El depósito *Eco Bag* está siendo ensayado en Australia y Nueva Zelanda.

Con el *Waterboxx* se están haciendo numerosos ensayos en diversas partes del mundo (Ecuador, España, Francia, Holanda, India, Irak, Kenia, EE.UU., Chile, Omán, Tanzania...).

Los estudios con el *Konkom* todavía no se han emprendido de manera sistemática.

Tabla 3. Comparación entre los distintos sistemas de riego considerados.

recalcitrantes, siendo especialmente competitivo en secarrales arenosos o yesosos. Presenta además la ventaja de no incorporar elementos extraños y artificiales al monte (que luego siempre conviene retirar).

La técnica de las botellas de plástico con goteritos (*rezumadores*), desarrollada en Perú, presenta unas características muy similares a los cántaros

o botos de arcilla. Tan solo observar que se trata de un sistema aún más localizado de riego y que se deben retirar las botellas cuando dejen de cumplir su función (al segundo o tercer año).

La bolsa de riego australiana (*Eco Bag*) suministra el agua en superficie pero, al actuar como acolchado, evita la evaporación directa e impide la proliferación de hierbas competidoras junto

al brinjal. Por ello, cabe suponer que su eficiencia de riego sea similar a la de los dos sistemas anteriores.

Los tubos verticales suponen un método muy sencillo, barato y eficaz de riego localizado. Compiten con ventaja (frente a los botos) en suelos zonales de granulometría limosa, franca o arcillosa. Si los tubitos verticales se conectan directamente a una red de tuberías ten-

En cualquier caso, los sistemas de riego aquí descritos suponen un avance importante para no tener que depender tanto del clima, para que los brinzales no pendan solo del capricho de las nubes y sus lluvias

dremos el sistema de riego localizado más sencillo de todos los posibles. Pero en tal caso, la uniformidad del riego solo estará asegurada en lugares muy llanos y con suelos muy uniformes. En terrenos heterogéneos o abruptos, para dosificar bien el riego se tienen que usar goteros (autocompensantes) insertos en los tubitos. Se trata de una buena solución pero muy cara (pues supone la combinación de dos sistemas: riego por goteo superficial + tubos verticales). Lógicamente, una vez conseguida la instalación y autonomía hídrica de las plantas, los tubos (y la red de riego) deberán retirarse del lugar, pudiendo ser utilizados en otra zona en fase de restauración que lo precise.

El riego a través de tuberías de drenaje constituye una excelente solución para implantar alineaciones de arbolado en zonas áridas o hiperáridas (p. ej.: rompevientos), como ya hemos comentado.

Los dos últimos sistemas descritos (*Waterboxx* y *Konkom*) son los más modernos y novedosos. Ambos persiguen el mismo objetivo: irrigar eficazmente una planta economizando el agua al máximo. Tienen, sin embargo, un principio de funcionamiento muy diferente: la recolección y el almacenamiento del agua de lluvia y de rocío en un depósito y su entrega lenta a través de una mecha (en el caso del *Waterboxx*); y la infiltración dosificada a través de un riego por goteo generado por destilación solar (en el caso del *Konkom*). Ambos desarrollos son muy ingeniosos y pueden llegar a tener su aplicación dentro del ámbito forestal: en la restauración de áreas críticas y en la oasisificación de laderas. Pero todavía es prematuro para poder acotar su verdadero interés dentro de nuestro sector. Conviene esperar a que se publiquen resultados amplios y confiables sobre sus verdaderas posibilidades y limitaciones antes de aventurarse a llenar las laderas con semejantes artefactos plásticos. Pueden hacerse pequeñas pruebas, pero desaconsejamos realizar plantaciones extensas apoyadas en cajas de agua, en eco-bolsas o en destiladores

solares por prudencia y sentido común. Pues no es cuestión de encarecer una obra innecesariamente y, menos aún, de llenar el monte de plásticos.

Antes de concluir este apartado, merece la pena apuntar que en situaciones muy especiales (bajo climas muy secos pero neblinosos, con frecuentes nieblas dinámicas) se pueden lograr aportes hídricos suplementarios vitales para el repoblado mediante la instalación de atrapanieblas individuales o con captanueblinas mayores (para un conjunto de árboles) y un depósito que alimente a una red de riego localizado. Estos *riegos de nieblas* constituyen una variante de la recolección de agua en la cual el área de impluvio tiene que ser vertical [es la superficie del atrapanieblas] por ser las precipitaciones horizontales (nieblas, camanchacas). Este curioso e interesante sistema de obtención de agua puede consultarse en Navarro *et al.* (2009), donde se describe por extenso en varios de sus capítulos.

4.- CONCLUSIONES

Los riegos de apoyo y socorro realizados a través de cualquiera de los métodos descritos (desde los botos de barro cocido hasta las propuestas más modernas, siempre que estén contrastadas) pueden resultar muy útiles (por no decir imprescindibles) en áreas críticas, en secarrales extremos, en semidesiertos, en situaciones recalcitrantes de marras por estrés hídrico; pero son del todo innecesarios si la repoblación clásica funciona (lo que suele ser habitual). La amplia experiencia forestal española así lo atestigua: En la mayoría de las zonas áridas suele bastar con eliminar la vegetación competidora preexistente, preparar el suelo acertadamente (perfilando áreas de impluvio y áreas de recepción) y realizar la plantación (o siembra) de plantas (o simientes) de calidad (con las especies y procedencias adecuadas a la estación forestal, y en el momento apropiado) para tener éxito en la empresa. Insistimos: si se han elegido las plantas apropiadas y si se hacen bien las tres fases habituales de una repoblación, basta con que los años no

vengan demasiado torcidos para tener pocas marras. De hecho, la vegetación natural prospera sin más cuitas que las que recibe de la meteorología y el suelo del lugar. No hacen falta más cuidados ni precauciones. Por lo tanto, sobran los riegos de socorro y apoyo las más de las veces. Pero ello no significa que la repoblación deba dejarse abandonada a su riesgo y ventura. Muy al contrario: los cuidados selvícolas posteriores a la plantación resultan cruciales, y el primero de ellos en zonas secas traicioneras son los riegos (de arraigo, supervivencia y mantenimiento).

Si las lluvias brindan casi todos los años la oportunidad de germinar y establecerse a las plantas leñosas del lugar, los brinzales de una repoblación proyectada en esa estación forestal no precisarán riegos. Por el contrario, si el riesgo de marras por estrés hídrico es elevado (p. ej.: en zonas semidesérticas), la conveniencia de prever un sistema de riego (sea este simple o sofisticado) parece incuestionable para evitar costosas y reincidentes reposiciones de marras.

En cualquier caso, los sistemas de riego aquí descritos suponen un avance importante para no tener que depender tanto del clima, para que los brinzales no pendan solo del capricho de las nubes y sus lluvias. Profesionalmente, estos métodos nos abren un amplio abanico de nuevas (y viejas) posibilidades; entre otras, la de poder extender el periodo de plantación hasta bien entrada la primavera.

Para finalizar, pongamos un ejemplo muy extremo e ilustrativo en el cual no hay que hacer cábalas sobre si regar o no: *Cupressus dupreziana* es una especie de ciprés que habita en mitad del Sahara (en Tasili-n-Ayyer, Argelia). Se trata de una especie relicta en estado crítico de conservación. Su único bosque natural actual (de apenas 200 ejemplares milenarios) prácticamente no tiene regenerado alguno. Todos sus árboles son viejísimos: ¿Alguien (en su sano juicio) se aventuraría a emprender una repoblación con esos cipreses en su lugar desértico de origen sin proyectar un sistema de riego?

1 Un sencillo cálculo para refrendar este dato puede ser el siguiente: Un brinjal de dos savias ocupa una superficie de unos $0,04 \text{ m}^2$. Si la evapotranspiración potencial del mes más desfavorable vale $150 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$, la ETP correspondiente a la superficie que ocupa el brinjal valdrá: $150 \cdot 0,04 = 6 \text{ l}$. Pero como se trata de una especie xerofítica, no funciona a ETP sino que consume mucha menos agua (la cuarta parte, por fijar un valor). Luego las necesidades del brinjal serán: $0,25 \cdot 6 \text{ l} / \text{brinjal} = 1,5 \text{ l}$ para superar el mes más desfavorable.

2 Nota: Un boto es un botijo campero tradicional usado en las provincias de Valladolid, Palencia, Soria, Burgos y Navarra. Tiene forma ovalada, asa única y boca superior,

estrecha y alargada. Su función más común era la de transportar el vino a las arduas faenas del campo (en sustitución de la bota de vino de cuero, que es mucho más delicada y cara, propia de festejos). El uso del boto ha estado muy extendido en toda la comarca de Tierra de Campos en Castilla y León hasta tiempos recientes, cuando llegó la mecanización agraria y el subsiguiente éxodo del campo a la ciudad. Aún en la actualidad se fabrican botos de varios tamaños en algunas alfarerías tradicionales. 3 Nota: Los botos enterrados para la reposición de marras no llevaban asa ni estaban vidriados.

BIBLIOGRAFÍA

BAINBRIDGE, D.A. (2001). Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation. *Agricultural Water Management* 48: 79-88.

BAINBRIDGE, D.A. (2002). Alternative irrigation systems for arid land restoration. *Ecological Restoration* 20 (1): 23-30.

BAINBRIDGE, D.A. (2006). Deep pipe irrigation. <<http://www.agroforestry.net/pubs/Deep%20pipe%20irrigation.pdf>>

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

CODORNIU, R. (1898). La Sierra de Espuña y su repoblación forestal. *Montes* 506: 77-79 y *Montes* 511: 213-218

HARDING, J. (1883). Apparatus for solar distillation. *Minutes of the Proceedings* 73: 284-288.

HIRSCHMANN, J.R. (1975). Solar distillation in Chile. *Desalination* 17 (1): 31-67.

HOFF, P. (2009). *CO₂. A gift from heaven*. Eburon Academic Publishers

MATOREL GARCÍA, M. (1996). *Programa piloto de reforestación extensiva. Bosques para el futuro*. Documento inédito. Universidad de Piura. Perú.

MATOREL GARCÍA, M. (1998). Riego en el desierto. Reservorios de exudación subterránea. *Revista Agronómicas* 223: 34. Lima.

MATOREL GARCÍA, M. (2006). Método para reforestar en ausencia de lluvias. Microrreservorios de exudación subterránea. <<http://www.darwinnet.org/docs/microrreservorios.pdf>>

NAVARRO HEVIA, J., A. MARTÍNEZ DE AZAGRA & J. MONGIL MANSO (2009, coords.). *Hidrología de Conservación de Aguas. Captación de precipitaciones horizontales y escorrentías en zonas secas*. Universidad de Valladolid

PATRIMONIO FORESTAL DEL ESTADO (1956). *Propuesta de repoblación del monte "Cerro de San Cristóbal"* (Valladolid). Archivos del Servicio Territorial de Medio Ambiente de Valladolid

PATRIMONIO FORESTAL DEL ESTADO (1961). *Proyecto de acondicionamiento y mejora de repoblaciones del monte "Cerro de San Cristóbal"*. Servicio Territorial de Medio Ambiente de Valladolid.

SÁNCHEZ SÁNCHEZ, J., R. ORTEGA OLLER, M., HERVÁS MUÑOZ, F.M. PADILLA RUIZ & F.I. PUGNAIRE DE IDAOLA (2004). El microrriego, una técnica de restauración de la cubierta vegetal para ambientes semiáridos. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 17: 109-112.

SERRADA HIERRO, R., R.M. NAVARRO CERRILLO & J. PEMÁN GARCÍA (2005). La calidad de las repoblaciones forestales: una aproximación desde la silvicultura y la ecofisiología.

Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 14 (3): 462-481.

SILVA, D.A. DA, A. DE S. SILVA & H.R. GHEYI (1981). Irrigação por cápsulas porosas III: Avaliação Técnica do método por pressão hidrostática. En "Pequena irrigação para o trópico semi-árido: Vazantes e cápsulas porosas". EMBRAPA-CPATSA (Petronila, Brasil). Boletim de Pesquisa 3: 20-42.

SILVA, D.A. DA, A. DE S. SILVA & H.R. GHEYI (1985). Viability of irrigation by porous capsule method in arid and semi-arid regions. *Transactions of the 12th Congress on Irrigation and Drainage*. International Commission on Irrigation and Drainage. Nueva Delhi

SILVA, A. DE S. & AL. (1982). Irrigación por Potes de Barro: Descripción del Método y Pruebas Preliminares. *Boletín de Investigación* 10. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA) y Centro de Pesquisa Agropecuaria do Trópico Semi-Arido (CPATSA). Petronila (Brasil).

UNEP (1997). *Sourcebook of alternative technologies for freshwater augmentation in Latin America and the Caribbean*. Capítulos 4.2 y 5.7. UNEP / OAS. Washington. < <http://www.greenstone.org/>>

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

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

<http://www.vl-irrigation.org/> (Riegos a través de tarros de barro)
<https://sites.google.com/site/alfareriastinus/> (Alfarería tradicional española)
<http://www.oas.org/> (Riegos con cápsulas porosas)
<http://www.darwinnet.org/> (Reservorios individuales de exudación subterránea)
<http://www.treegator.com/> (Bolsa de riego *Treegator*)
<http://www.ecobagindustries.com.au/> (Collarín de riego *Eco Bag*)
<http://www.groasis.com/> (*Waterboxx*)
<http://www.losdesiertosverdes.com/> (*Waterboxx*)
<http://www.sitiosolar.com/> (Destilación solar)
<http://www.giorgetta.ch/> (Destilador solar de Antofagasta)
<http://www.flutgut.com/> (*Kondenskompressor*)
<http://www.oasificacion.com/> (Hidrología de conservación de aguas)

AGRADECIMIENTOS

A Arti Leimbacher, Mario Matorel y Pieter Hoff por la información y el material facilitado para esta publicación

A Jesús Ángel Hernández Duque y a Mariano Monsalve Delgado por la información aportada sobre la repoblación con botos en el monte "Cerro de San Cristóbal"

A Joaquín Navarro Hevia por aportar ideas y corregir el borrador de este artículo 