

# LA RELACIÓN SUELO-VEGETACIÓN Y SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO DE DISTINTOS AMBIENTES VEGETALES

P. SERRANO-MUELA<sup>1</sup>, E. NADAL-ROMERO<sup>2</sup>, N. LANA-RENAULT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Pirenaico de Ecología. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IPE-CSIC). Zaragoza. España.

<sup>2</sup> Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics. ESS Research Group. University of Amsterdam. Amsterdam, Netherlands.

<sup>3</sup> Área de Geografía Física, DCH, Universidad de La Rioja, 26004, Logroño, España.

## RESUMEN

Este trabajo plantea cómo es la relación suelo-vegetación y su influencia en el comportamiento hidrológico en diferentes ambientes vegetales del Pirineo Central: bosque natural, bosque de repoblación y campos abandonados tras un intenso uso agrícola. El objetivo principal de este trabajo ha sido estudiar las diferencias hidrológicas de estos tres ambientes y ver cómo dependen de la relación suelo-vegetación.

Los suelos observados en el bosque natural de San Salvador muestran un buen desarrollo, con propiedades que indican su elevada calidad, como el gran contenido en materia orgánica y la alta capacidad de infiltración. En la cuenca de Arnás los suelos muestran signos de haber sido alterados tras décadas de intenso uso agrícola. En el ambiente de repoblación se han observado suelos modificados, seguramente por las técnicas con las que se llevaron a cabo la plantación de árboles, y las antiguas actividades de cultivo. Éstos presentan escaso contenido orgánico.

Estudios basados en cuencas experimentales han permitido conocer cómo es el comportamiento hidrológico en estos ambientes y han demostrado que la producción de escorrentía suele ser inversamente proporcional al grado de cobertura vegetal, aunque en ocasiones, como ha mostrado este trabajo, la cubierta de bosque natural es capaz de responder de una manera mucho más efectiva en determinados momentos del año.

**Palabras clave:** *Relación suelo-vegetación, bosque natural, campos abandonados, repoblación forestal, comportamiento hidrológico.*

## ABSTRACT

This paper addresses the vegetation-soil relationships and their influence on the hydrological response in different land uses/covers in the Central Spanish Pyrenees: natural forest, afforestation area and abandoned fields after intense agricultural activity. The main objective of this work is to study the hydrological differences of these three land covers and observe if these differences are dependent on the relationships soil-vegetation.

Soils in the natural forest area of San Salvador show a good development; soil properties indicate its high quality, as the high content of organic matter and high infiltration capacity. In the Arnás catchment

soils show signs of having been altered after decades of intense agricultural use. In the afforestation area modified soils were observed, probably due to the techniques that were carried out during tree plantation, and ancient farming activities; these show low organic content.

Studies based on experimental catchments allow knowing the hydrological behavior of these areas, and they have shown that the runoff production is often inversely proportional to the percentage of vegetation cover, although, as this study demonstrate, the natural forest cover is able to respond much more effectively at certain times of the year (as a consequence of soil development and characteristics).

**Key words:** *Soil-vegetation relationship, natural forest, land abandonment fields, afforestation, hydrological response.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde el pasado siglo, una amplia extensión de las áreas de montaña mediterránea con una larga tradición agropecuaria ha sufrido modificaciones importantes en su configuración debido, entre otros factores, al abandono del sistema de gestión tradicional, de manera que sólo se mantuvieron activas aquellas zonas más rentables para el desarrollo de las prácticas agrícolas y ganaderas, es decir, las más fértiles y accesibles. El resto de tierras fueron progresivamente abandonadas. La principal consecuencia fue el paulatino cambio de la cubierta vegetal, un proceso que es conocido con el nombre de revegetación (Molinillo *et al.*, 1997; Ubalde *et al.*, 1999; Vicente-Serrano *et al.*, 2004; Lasanta & Vicente-Serrano, 2007; García-Ruiz & Lana-Renault, 2011), y que ha ido modificando el paisaje, generando un característico mosaico de usos del suelo.

El sector del flysch pirenaico ha sido una de las zonas más afectadas por estos procesos, precisamente por las altitudes en las que se enmarca (entre 600-800 y los 2000-2200 m s.n.m.) y por haber sido un espacio de montaña intensamente cultivado. En esta zona pirenaica los procesos de sucesión vegetal empezaron ya en los años 40 del siglo XX, aunque, en algunos sectores, se llevaron a cabo repoblaciones

forestales que cambiaron drásticamente el proceso de revegetación natural (Chauvelier, 1990; Ortigosa *et al.*, 1990). Concretamente el área afectada por repoblaciones forestales ha sido realmente importante en el Pirineo oscense, sobre todo entre las décadas de los años 60 y 70.

El estudio del comportamiento hidrológico y sedimentológico de los diferentes usos del suelo y cubiertas vegetales en zonas de montaña ha sido una de las líneas de trabajo clásicas del Departamento de Procesos Geoambientales y Cambio Global del Instituto Pirenaico de Ecología (IPECSIC). La estrecha relación entre la cubierta vegetal y el uso del suelo y la respuesta hidrológica y sedimentológica, así como los efectos del aumento de la cubierta vegetal sobre la disponibilidad de los recursos hídricos, planteó la monitorización de 5 cuencas experimentales en el Pirineo Central, cada una de ellas con una historia diferente en la evolución del uso del suelo (García-Ruiz *et al.*, 2008, 2010).

El trabajo en estas cuencas experimentales ha permitido constatar el importante efecto de la cubierta vegetal sobre las respuestas hidrológicas y sedimentológicas (García-Ruiz *et al.*, 2008; Nadal-Romero *et al.*, 2013; Lana-Renault *et al.*, 2014) y, por lo tanto, resolver algunas de las cuestiones más importantes planteadas por el grupo

Tabla 1: Características principales de las cuencas experimentales de San Salvador, Arnás y Araguás-Repoblación.

	SAN SALVADOR	ARNÁS	ARAGUÁS-REPOBLACIÓN
Superficie (ha)	92	284	12,4
Coordenada X (UTM)	603.302	698.605	694.873
Coordenada Y (UTM)	4.722.609	4.723.702	4.719.488
Cota mínima (m)	830	910	920
Cota máxima (m)	1295	1340	1105
Altitud media (m)	1106	1104	1004
Pendiente media (°)	25	21,5	21
Sustrato litológico	flysch eoceno	flysch eoceno	flysch eoceno
Superficie arbolada (%)	97	20	95
Superficie de matorral (%)	2	73	2
Superficie de pasto (%)	0	5,5	0
Suelo desnudo (%)	1	1,5	3
Exposición	N / S	SW / NE	S
Precipitación anual (mm)	935	926	718

liderado por José María García-Ruiz desde los años 90. De entre todas ellas, la identificación de los factores que determinan las diferentes respuestas hidrogeomorfológicas es posiblemente la cuestión que actualmente requiere una mayor atención. Estudios previos han demostrado que las diferencias en la respuesta hidrológica son debidas tanto a diferencias en la cubierta vegetal como en los suelos (Lana-Renault *et al.*, 2011), por ello es interesante conocer y evaluar estas diferencias.

Este trabajo pretende analizar las diferencias hidrológicas de tres ambientes re-vegetados: el bosque natural de la cuenca de San Salvador, el mosaico de cubiertas vegetales en la cuenca de Arnás, en distinto grado de evolución tras el abandono de los campos de cultivo que cubrieron su superficie hasta mediados del siglo pasado, y el bosque de repoblación de la reciente cuenca experimental Araguás-Repoblación,

siendo la hipótesis principal de este trabajo que las características edáficas de las tres zonas de estudio reflejan la historia de los usos del suelo de cada ambiente y son una de las principales causas de su diferente comportamiento hidrológico. Además, este estudio permitirá responder a una de las cuestiones que no han sido tratadas con anterioridad: si el incremento de superficie forestal va asociado a una mayor calidad de los suelos.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

### 2.1. Las cuencas experimentales de San Salvador, Arnás y Araguás-Repoblación

Las tres cuencas experimentales se localizan en el Pirineo Central, en el sector del flysch eoceno, y todas ellas están muy próximas entre sí. Las principales características de cada una de estas cuencas se describen en Regüés *et al.* (este volumen) y en este trabajo se resumen en la Tabla 1.

El clima del área de estudio es de montaña media mediterránea, con influencia atlántica de transición a submediterráneo, con una temperatura media próxima a los 10°C. La precipitación media anual está alrededor de los 900 mm en las tres cuencas, con dos estaciones muy húmedas en primavera y otoño. Aunque se producen variaciones locales sobre todo en la estación estival, las condiciones climáticas son muy similares.

## 2.2. Metodología

Las tres cuencas disponen de una estación de aforo para el control de los caudales y pluviómetros automáticos a diferentes altitudes para registrar las precipitaciones (Regüés *et al.*, este volumen).

El estudio hidrológico comparativo se ha realizado con los datos correspondientes al periodo hidrológico entre octubre de 2007 y septiembre de 2010, en el que las tres estaciones funcionaron simultáneamente.

La información edáfica utilizada corresponde con el muestreo intensivo realizado en Arnás (Seeger *et al.*, 2006; Navas *et al.*, 2008), 7 perfiles de suelo realizados en la cuenca forestal de San Salvador (Serrano-Muela, 2012) y 5 perfiles edáficos realizados en la cuenca de Araguás-Repoblación.

## 3. LOS SUELOS EN SAN SALVADOR, ARNÁS Y ARAGUÁS-REPOBLACIÓN: CONSECUENCIA DE SU HISTORIA

Los suelos en el bosque natural de San Salvador muestran un buen desarrollo y presentan elevados contenidos en materia orgánica (Serrano-Muela, 2012). Aunque

están muy influidos por las condiciones topográficas, pueden alcanzar desarrollos verticales superiores a un metro, salvo en aquellos sectores con mayores pendientes y topografías convexas, con menor predisposición a la acumulación. Los suelos en umbría presentan generalmente una mayor evolución edáfica, con horizontes de diagnóstico más complejos, una estructura más consolidada en todos los horizontes, sobre todo en los superficiales, pero también en profundidad, y mayores contenidos de materia orgánica generalizados en todo el perfil. También se han observado en esta vertiente aumentos muy significativos del contenido de arcillas en profundidad. Los suelos en la vertiente de solana presentan menor desarrollo, menores acumulaciones de materia orgánica y suelen ser más ricos en material carbonatado. Las tasas de infiltración en estos suelos suelen ser elevadas y sobre todo, en comparación con las de otros ambientes como el de campos abandonados (Regüés *et al.*, 2012). En esta cuenca la infiltración del agua a través del sistema que forman las raíces, los poros y la estructura de los horizontes superficiales parece fundamental para los procesos edáficos y también para la recarga de las reservas hídricas subsuperficiales en la cuenca. Los tipos de suelos encontrados en esta cuenca son *phaeozem* en umbría y *kastanozem* en la solana, ambos caracterizados por el desarrollo de un horizonte A muy rico en materia orgánica. Ambos aparecen en las mejores condiciones topográficas para su desarrollo. Sin embargo, el tipo de suelo más frecuente en la solana es el cambisol, aunque también se pueden encontrar regosoles, éstos cuando los valores de pendiente son más elevados y no es posible un mayor desarrollo.

En la cuenca de Arnás, los suelos muestran signos de haber sido sustancialmente alterados. Un aumento de la pedregosidad y una disminución del contenido de materia orgánica fueron las principales consecuencias del intenso aprovechamiento agrícola (Navas *et al.*, 2008). Estos suelos pueden presentar un contenido en carbonato cálcico elevado por la naturaleza del substrato litológico y pequeñas cantidades de nutrientes. A diferencia de los suelos de la cuenca forestal, son suelos altamente susceptibles a la erosión hídrica (Seeger & Frevel, 1999) a pesar de estar recubiertos en superficie por acumulaciones de piedras, que reducen la erodibilidad del suelo. Estos suelos muestran un comportamiento hidráulico complejo, con valores bajos de conductividad hidráulica de la matriz de suelo, con presencia de grietas debido al importante contenido de arcillas que pueden permitir la infiltración de agua o, por el contrario, generar más escorrentía superficial si esas grietas son selladas por el pisoteo de los animales (Seeger & Frevel, 1999). En esta cuenca se da un claro contraste entre el tipo de suelos desarrollados en solana y en umbría (Seeger *et al.*, 2006). En la umbría se pueden encontrar, según Seeger *et al.* (2006), calcisoles, cambisoles y luvisoles, mientras que en la solana predomina un tipo de suelo más degradado, los regosoles.

Finalmente, en la cuenca de repoblación se han observado suelos modificados, seguramente por las técnicas con las que se llevaron a cabo la plantación de árboles, y las antiguas actividades de cultivo. Tanto en las mismas terrazas de repoblación como en los espacios intermedios, se han observado palpables diferencias con respecto a los suelos no afectados por el

aterrazamiento en la misma zona, actualmente con cubierta de matorral disperso tras el abandono del uso agrícola. Los suelos observados en las terrazas muestran signos generalizados de haber sufrido deprecitación en parte del horizonte superficial, presentan generalmente menores contenidos de materia orgánica y rasgos estructurales de haber sido removidos, además presentan agregados de mayor tamaño y menos cohesión, sobre todo en profundidad, donde se han comprobado que se dan altos contenidos de arcilla que, en definitiva, permiten una menor aireación y circulación del agua. En esta cuenca los tipos de suelo más frecuentes son cambisoles y regosoles.

### **3.1. Diferencias edáficas en función de los usos del suelo**

La Tabla 2 muestra las principales características de los horizontes superficiales de los suelos en cada una de las cuencas. Se han considerado sólo estos horizontes debido a que son estas capas las que sufren la mayor variabilidad en todos los parámetros edáficos estudiados. Además, se da mayor independencia con respecto a la matriz geológica y una mayor relación con los procesos superficiales y con la vegetación y el uso del suelo y, por tanto, puede haber mayor influencia en la calidad de los suelos y la hidrología superficial.

Tal y como se aprecia en la Tabla 2, los contenidos en materia orgánica, una de las variables edáficas que mejor expresan la calidad de un suelo, son más elevados en la cuenca con uso forestal natural, seguidos de los suelos sobre campos abandonados y, en último lugar, los suelos bajo repoblación. Este resultado sugiere que la calidad de estos suelos no está determi-

Tabla 2: Principales características de los horizontes superficiales de los suelos de las cuencas de San Salvador, Arnás y Araguás-Repoblación. DA: densidad aparente; CC: capacidad de campo; MO: materia orgánica; N: nitrógeno; C: Carbono.

Uso del suelo		DA (cm <sup>-3</sup> )	Carbonatos (%)	pH	CC (% vol)	MO (%)	N (%)	C/N	Arenas (%)	Limos (%)	Arcillas (%)
Bosque natural	Mín.	0,90	0,79	6,99	26,80	3,04	0,19	8,75	4,17	39,77	13,61
	Máx.	1,61	39,60	8,10	41,74	7,44	0,40	18,48	43,91	75,48	23,80
	Med.	1,34	12,89	7,60	34,57	5,87	0,32	10,46	33,61	52,78	16,38
	Rang. Ic.	0,15	19,37	0,68	9,59	2,07	0,10	1,48	20,81	16,83	2,29
Campo abandonado	Mín.	0,63	0,11	6,36	22,09	1,53	0,12				12,01
	Máx.	1,57	51,03	8,55	46,81	14,99	0,66				27,23
	Med.	1,16	25,62	8,12	32,01	5,1	0,28				20,12
	Rang. Ic.	0,27	22,14	2,4	8,37	2,29	0,11				4,07
Repoblación	Mín.	1,41	27,66	7,52	16,50	2,04	0,10	9,18	24,39	10,4	1,39
	Máx.	1,86	42,42	7,98	40,75	4,63	0,23	14,83	88,21	50,00	32,96
	Med.	1,64	38,82	7,8	38,44	3,46	0,17	11,75	31,28	40,76	23,85
	Rang. Ic.	0,20	4,18	0,27	2,37	0,93	0,02	2,11	19,69	6,69	9,76

nada exclusivamente por el grado de revegetación, pues las cuencas de bosque natural y de repoblación tienen la misma superficie arbolada (Tabla 1) y sin embargo la cantidad de materia orgánica es mucho menor en esta última. También nos indica que los suelos de las cuencas que se han visto sometidas a un intenso uso agrícola y ganadero en el pasado, como es el caso de las cuencas de Arnás y de Repoblación, son de peor calidad.

Otra de las diferencias destacables entre los suelos de los tres ambientes es la presencia de horizonte orgánico que recubre el suelo. Su presencia es habitual en la cuenca de bosque natural en toda su superficie, aunque especialmente en la umbría, pero no lo es tanto en los otros dos ambientes, destacando la prác-

tica ausencia de horizonte orgánico en el ambiente repoblado. En el ambiente de campos abandonados este horizonte depende en gran medida de la densidad y tipo de vegetación que soporta el suelo, pues hay áreas que sí cuentan con acumulación orgánica, aunque no es lo habitual. El contenido de nitrógeno sigue el mismo patrón que la materia orgánica, reflejando que los suelos de la cuenca forestal son los más fértiles.

Con respecto al contenido en carbonatos, la cuenca de bosque natural presenta menores contenidos que las cuencas de campos abandonados y de repoblación. Seguramente, una mayor evolución edáfica en el ambiente natural, donde los procesos de infiltración son muy importantes y se dan procesos edáficos más evolucionados.

nados, puede haber inducido a que los procesos de lixiviación de carbonatos hayan sido más intensos que en los otros dos ambientes.

Con relación a las fracciones de la granulometría, puede destacarse el alto contenido de arcillas en superficie en la cuenca de campos abandonados, un aspecto que podría estar relacionado con la peor aireación en superficie de los suelos en los campos que fueron intensamente cultivados durante décadas y cuyas estructuras se deterioraron de manera importante, destruyéndose en buena parte los agregados hasta donde alcanzaba la maquinaria agrícola. Los contenidos de arcilla en la repoblación también son muy elevados, aunque no tanto como en el ambiente de campos abandonados. Son los suelos de la zona forestal natural los que presentan una textura más proporcionada en sus tres fracciones, siendo la clase franca la predominante hacia la que tienden los horizontes superficiales (Serrano-Muela, 2012).

Sobre las propiedades hidráulicas, los suelos forestales presentan mayores contenidos de humedad en condiciones de capacidad de campo, tanto los valores medios como los valores mínimos. Por el contrario, esta propiedad muestra los valores más bajos en los suelos de la repoblación.

#### **4. LA RESPUESTA HIDROLÓGICA EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN SUELO-VEGETACIÓN**

Para comparar la respuesta hidrológica en las tres cuencas se ha utilizado el coeficiente de escorrentía, dado que es un indicador de la capacidad de la respuesta en una cuenca. En la figura 1 se ha represen-

tado la relación entre el coeficiente de escorrentía anual y el porcentaje de cobertura en cada una de las cuencas. En primer lugar, se constata que el coeficiente de escorrentía (CE) es inferior en la cuenca de San Salvador (mediana del  $CE=0,11$ ), con una cubierta densa de bosque natural y unos suelos que favorecen los procesos de infiltración y edáficos. En la cuenca de Arnás, con campos abandonados en proceso de revegetación natural, importante cubierta de matorral y donde tienen importancia los procesos hídricos superficiales (Lana-Renault *et al.*, 2007), el coeficiente de escorrentía es el más elevado (mediana del  $CE=0,26$ ). Es interesante observar que en la cuenca de repoblación, con una superficie de bosque muy similar a la de San Salvador, el coeficiente de escorrentía es más elevado (mediana del  $CE=0,20$ ). La mayor respuesta hidrológica en la cuenca repoblada puede estar relacionada con diferencias en las características del bosque (en concreto, en la capacidad de interceptación del mismo) y con las características de los suelos. En este sentido, los datos edáficos obtenidos (Tabla 2) sugieren que los suelos en la cuenca de repoblación son de peor calidad y favorecerían una menor capacidad de infiltración y de almacenamiento de agua en el suelo.

Las diferencias en la respuesta hidrológica están condicionadas por la relación cubierta vegetal-suelo. En la cuenca forestal natural por ejemplo, el efecto más directo de la relación vegetación-suelo es que un importante volumen de la lluvia registrada no llega al suelo, pues es interceptada por la vegetación (Serrano-Muela *et al.*, 2013). Por otro lado, la mayor parte del agua que traspasa la vegetación se infiltra en los suelos alimentando las reser-

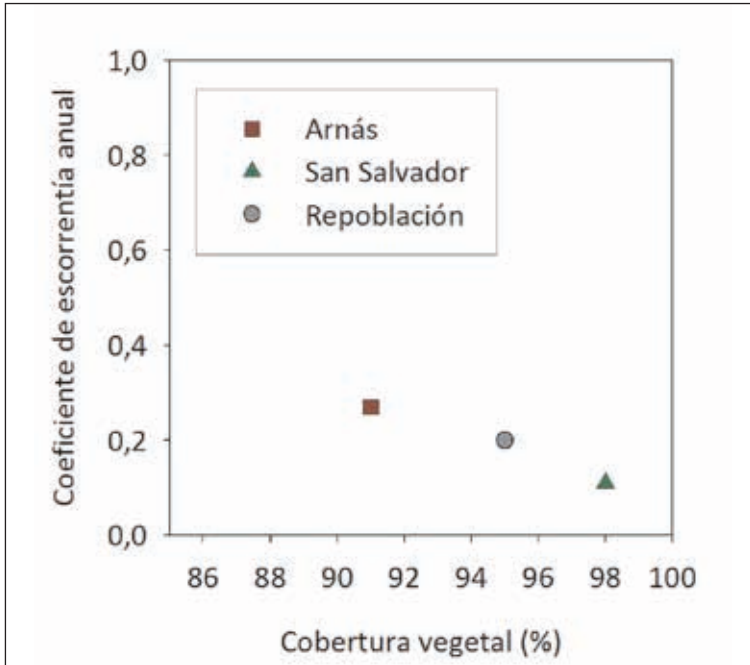


Figura 1: Coeficientes de escorrentía anuales en relación con el porcentaje de cobertura vegetal en San Salvador, Arnás y Araguás-Repoblación (modificado de García-Ruiz et al., 2008).

vas hídricas del subsuelo. El potente complejo radicular del bosque natural permite la captación profunda de dichas reservas, necesarias para atender a la demanda hídrica durante el periodo vegetativo. En el bosque de repoblación las mismas técnicas con las que se llevó a cabo la plantación han perjudicado la calidad de la parte más superficial del suelo, sobre todo mermando su espesor al introducir nuevas terrazas, con la consiguiente pérdida de contenido orgánico. Finalmente, la relación vegetación-suelos en ambiente de campos abandonados muestra una relación con la hidrología acorde con la evolución que están sufriendo tanto los suelos como la cubierta vegetal, tras tantos años de intenso uso agrícola.

El diferente comportamiento hidrológico entre las cuencas también se ha analizado a escala de crecida. La figura 2 muestra la evolución temporal de los coeficientes de escorrentía de aquellos eventos de precipitación superiores a 10 mm durante un periodo coincidente en las tres cuencas (2007-2008, 2008-2009 y 2009-2010).

La figura destaca dos aspectos interesantes: i) la gran diferencia en la frecuencia de la respuesta hidrológica entre las tres cuencas y ii) la alta variabilidad estacional de la respuesta hidrológica en cada de ellas. El número total de eventos de precipitación que generan repuesta es muy dispar: en Araguás-Repoblación se producen 44 crecidas durante el periodo



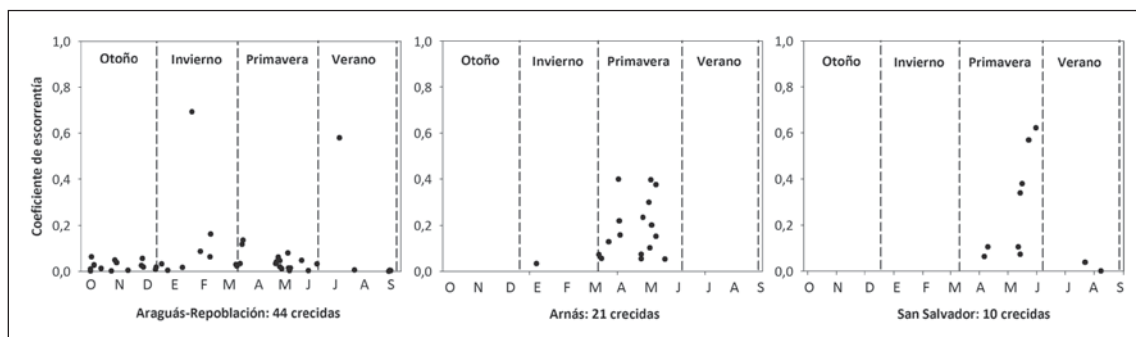


Figura 2: Evolución temporal de los coeficientes de escorrentía en las cuencas de Araguás-Repoblación, Arnás y San Salvador.

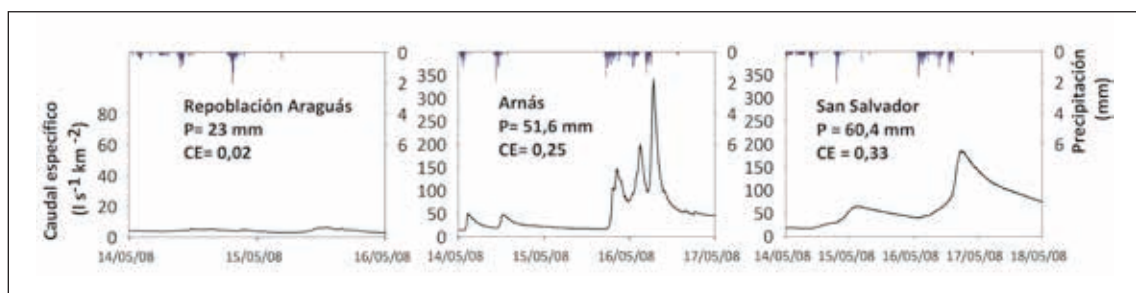


Figura 3: Ejemplo de crecida en estación húmeda en las cuencas de Araguás-Repoblación, Arnás y San Salvador.

considerado, en Arnás el número de eventos se reduce considerablemente (21), y en San Salvador el número es todavía menor (10).

En la cuenca de repoblación se producen crecidas durante todo el año, incluyendo los periodos secos en los que se producen respuestas que pueden alcanzar coeficientes de escorrentía superiores a 0,6, ligadas a tormentas muy intensas de precipitación. Esto sugiere que la capacidad de interceptación del bosque repoblado es limitada y los suelos generan fácilmente escorrentía superficial. En las otras dos cuencas la mayor parte de los eventos se producen fundamentalmente en primavera, cuando las reservas hidro-

lógicas de las cuencas se han restituido (Serrano-Muela *et al.*, 2008; Lana-Renault *et al.*, 2011).

Pese a estos resultados, la cubierta de bosque natural es capaz de responder de una manera muy efectiva en determinados momentos del año. Este hecho se observa en la figura 3, que compara la respuesta generada en los tres ambientes durante un evento concreto de precipitación coincidente, confirmando esta diferencia de comportamiento entre cuencas con vegetación y suelos diversos.

Aunque lo habitual es que la respuesta hidrológica sea en el ambiente forestal natural la más moderada de todas, es destacable que, en las mejores condiciones

para que se produzca la respuesta hidrológica (condiciones muy húmedas y con reservas hídricas importantes) es precisamente el bosque natural el ambiente que muestra una mayor generación de escorrentía ( $CE=0,33$ ), con una curva de caudal alto y prolongado durante mayor tiempo, tal y como ya observaron Lana-Renault *et al.* (2011). La respuesta en el ambiente de campos abandonados también es importante, con un coeficiente de escorrentía de 0,25. La respuesta de la repoblación es prácticamente inexistente ( $CE=0,02$ ) pese a registrarse 23 mm de precipitación. Las condiciones hidrológicas antecedentes en esta cuenca, reflejadas en un caudal de base bajo ( $3,84 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ), podrían explicar su escasa respuesta hidrológica. El hecho de que el caudal de base en la cuenca de repoblación sea más bajo que en el resto de las cuencas (teniendo en cuenta que reciben una precipitación similar) es un aspecto interesante y que podría reflejar una menor capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. La figura 3 confirma que en determinados momentos los ambientes forestales naturales pueden incluso generar más escorrentía que otros usos del suelo.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo han permitido demostrar las diferencias entre los suelos bajo uso forestal natural, forestal de repoblación y en campos intensamente explotados en el pasado.

El uso agrícola tiene importantes repercusiones en los primeros centímetros de los suelos, pues merma de forma importante la calidad de los mismos, principalmente por la pérdida de materia orgánica y la destrucción de agregados. Igual-

mente se han constatado evidentes diferencias entre suelos de tipo forestal pero con la cubierta de diferente naturaleza, bosque natural y repoblación. En este sentido, uno de los aspectos más interesantes cuando se han llevado a cabo políticas de repoblación ha sido la creencia de que el recubrimiento de un área por especies forestales, tras un prolongado aprovechamiento del suelo o de intensos procesos de erosión, podría o debería ir encaminado a una mejora de la calidad del suelo. Son verdaderamente escasos los trabajos que cotejan características de suelos repoblados y el trabajo de campo nos ha permitido constatar que esta premisa no se cumple, y los suelos bajo la cubierta de repoblación no poseen la calidad de los suelos forestales naturales.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias al apoyo de numerosos proyectos de investigación: PROBACE (CGL2006-11619/HID), CETSUS (CGL2007-66644-C04-01/HID), INDICA (CGL2011-27753-C02-01) e HIDROCAES (CGL2011-27574-C02-01) financiados por el Plan Nacional I+D+i, y la beca Félix de Azara, en su convocatoria de 2013 (Diputación Provincial de Huesca). La monitorización de las cuencas fue en parte respaldada por fondos de la red RESEL (Ministerio de Medio Ambiente). E. Nadal-Romero es beneficiaria de una beca Marie Curie (Proyecto 624974, 7º Programa, EU).

Las autoras de este trabajo desean mostrar su más sincero agradecimiento a José María García-Ruiz, por haber sido el gran impulsor de esta línea de investigación del Departamento de Procesos Geoambientales y Cambio Global del IPE, un trabajo en el que ha participado energicamente de principio a fin y sin cuyo apoyo económico y moral no hubiese dado los frutos obtenidos.

También deseamos agradecer el inestimable trabajo y colaboración de las numerosas per-

sonas que, desde el inicio de estas cuencas experimentales y hasta la actualidad, han participado activamente en ellas: especialmente a D. Regüés, y también a C. Martí, T. Lasanta, J. Latron, M. Seeger, S. Beguería, S. White, P. Errea y P. Sánchez. Las autoras también agradecen a S. Valdivielso su valiosa colaboración en la realización de los muestreos edáficos en las cuencas de San Salvador y Araguás-Repoblación.

## 7. REFERENCIAS

- Chauvelier, F. (1990): La repoblación forestal en la provincia de Huesca y sus impactos geográficos. *Instituto de Estudios Altoaragoneses*. 164 pp. Huesca.
- García-Ruiz, J.M. & Lana-Renault, N. (2011): Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region - A review. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 140(3-4): 317-338.
- García-Ruiz, J.M., Regüés, D., Alvera, B., Lana-Renault, N., Serrano-Muela, P., Nadal-Romero, E., Navas, A., Latron, J., Martí-Bono, C. & Arnáez, J. (2008): Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central Pyrenees. *Journal of Hydrology*, 356(1-2): 245-260.
- García-Ruiz, J.M., Lana-Renault, N., Beguería, S., Lasanta, T., Regüés, D., Nadal-Romero, E., Serrano-Muela, P., López-Moreno, J.I., Alvera, B., Martí-Bono, C. & Alatorre, L.C. (2010): From plot to regional scales: Interactions of slope and catchment hydrological and geomorphic processes in the Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 120: 248-257.
- Lana-Renault, N., Latron, J. & Regüés, D. (2007): Streamflow response and water-table dynamics in a sub-Mediterranean research catchment (Central Pyrenees). *Journal of Hydrology*, 347(3-4): 497-507.
- Lana-Renault, N., Latron, J., Karssenber, D., Serrano, P., Regüés, D. & Bierkens, M.F.P. (2011): Differences in stream flow in relation to changes in land cover: a comparative study in two sub-Mediterranean mountain catchments. *Journal of Hydrology*, 411: 366-378.
- Lana-Renault, N. (2011). El efecto de los cambios de cubierta vegetal en la respuesta hidrológica y sedimentológica de áreas de montaña: la cuenca experimental de Arnás, Pirineo Central. En: *Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón*, Zaragoza, 189 pp.
- Lana-Renault, N., Nadal-Romero, E., Serrano-Muela, M.P., Alvera, B., Sánchez-Navarrete, P., Sanjuan, Y. & García-Ruiz, J.M. (2014): Response of various land covers to an exceptional rainfall event in the Central Spanish Pyrenees, October 2012. *Earth Surface Processes and Landforms*. Doi: 10.1002/esp-3456.
- Lasanta, T. & Vicente-Serrano, S. (2007): Cambios en la cubierta vegetal en el Pirineo aragonés en los últimos 50 años. *Pirineos*, 162: 125-154.
- Molinillo, M., Lasanta, T. & García-Ruiz, J.M. (1997): Managing mountainous degraded landscapes after farmland abandonment in the Central Spanish Pyrenees. *Environmental Management*, 21: 587-598.
- Nadal-Romero, E., Serrano-Muela, M.P. & Regüés, D. (2013): Diferencias hidrológicas entre un bosque natural y un bosque de repoblación en el Pirineo Central: las cuencas de San Salvador y Araguás Repoblación. En: G. Montero González, M. Guijarro Guzmán et al. (eds.), *Actas 6º Congreso Forestal Español* CD-Rom. 6CFE01. Pontevedra. ISBN 978-84-937964-9-5.
- Navas, A., Machín, J., Beguería, S., López-Vicente, M. & Gaspar L. (2008): Soil properties, physiographic factors controlling the natural vegetation re-growth in a disturbed catchment of the Central Spanish Pyrenees. *Agroforestry Systems*, 72: 173-185. <http://hdl.handle.net/10261/4192>.
- Ortigosa, L., García-Ruiz, J.M. & Gil, E. (1990): Land reclamation by reforestation in the Central Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 10: 281-288.
- Regüés, D., Lana-Renault, N., Nadal-Romero, E. & Serrano-Muela, P. (2014): La investigación hidromorfológica en cuencas experimentales de montaña media en el Pirineo Central

- (1996-2014). En: *Geoecología, Cambio Global y Paisaje: Homenaje al Profesor José María García-Ruiz* (J. Arnáez, P. González-Sampériz, T. Lasanta y Blas L. Valero-Garcés; Edts.). Instituto Pirenaico de Ecología –Universidad de La Rioja, Logroño.
- Regüés, D., Serrano-Muela, P., Nadal-Romero, E. & Lana-Renault, N. (2012): Análisis de la variabilidad temporal de la infiltración en un gradiente de degradación de usos del suelo en el Pirineo central. *Cuaternario y Geomorfología*, 26(1-2): 9-28.
- Seeger, M. & Frevel, C. (1999): Factores hídricos y erosionabilidad en el gradiente edafoclimático Depresión del Ebro-Pirineo Central. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 25: 85-110.
- Seeger, M., Errea, M.P. & Lana-Renault, N. (2006): Spatial distribution of soils and their properties as indicators of degradation/regradation processes in a highly disturbed Mediterranean mountain catchment. *Journal of Mediterranean Ecology*, 6(1): 53-59.
- Serrano-Muela, M.P., Lana-Renault, N., Nadal-Romero, E., Regüés, D., Latron, J., Martí-Bonno, C. & García-Ruiz, J.M. (2008): Forests and their hydrological effects in Mediterranean mountains: The case of the Spanish Pyrenees. *Mountain Research and Development*, 28(3): 279-285.
- Serrano-Muela, M.P. (2012): Influencia de la cubierta vegetal y las propiedades del suelo en la respuesta hidrológica: generación de escorrentía en una cuenca forestal de la montaña media pirenaica. *Tesis Doctoral Inédita*. Universidad de Zaragoza. 317 pp. Zaragoza. <http://hdl.handle.net/10261/78651>.
- Serrano-Muela, M.P., Regüés Muñoz, D. & Nadal-Romero, E. (2013): Trascollación y escorrentía cortical en un bosque mixto de montaña media mediterránea en el Pirineo Central Español. Interceptación de la lluvia por la vegetación en España (Belmonte-Serrato, F., Romero-Díaz, Coordinadores). Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua. ISBN 978-84-92988-20-4. 359-382 p.
- Ubalde, J.M., Rius, J. & Poch, R.M. (1999): Monitorización de los cambios de uso del suelo en la cabecera de cuenca de la Ribera Salada mediante fotografía aérea y S.I.G. (El Solsonés, Lleida, España). *Pirineos*, 153-154: 101-122.
- Vicente-Serrano, S.M., Lasanta, T. & Romo, A. (2004): Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in the Spanish Central Pyrenees: Role of Human Management. *Environmental Management*, 34: 802-818.