



## La Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación (RESEL)

Febrero de 2008-Nº 4

### MEMORIA RESUMEN 2007

#### CONTENIDOS MEMORIA 2007

INTRODUCCIÓN	1
ANÁLISIS Y SEGUIMIENTO DE LOS PROCESOS DE EROSIÓN Y DESERTIFICACIÓN EN ESPAÑA	1
EVENTOS MÁS IMPORTANTES	4
CONCLUSIONES	7

#### INTRODUCCIÓN

Durante el año 2007 no ha habido incorporaciones a la Red RESEL.

Aunque no se han producido cambios de importancia en los sistemas experimentales de las estaciones pertenecientes a la Red, si se han ampliado algunos equipamientos.

En la Cuenca Experimental de **Izas** se ha añadido al sistema experimental un pluvi-nivógrafo Geonor (mide el peso de la precipitación acumulada -hasta el equivalente a 1000 mm- con el principio del hilo vibrante).

Los principales cambios producidos a lo largo del año hidrológico 2006-07 en la estación de **San Salvador** han sido la instalación de más equipamiento para completar las parcelas de interceptación instaladas en 2006 y la incorporación al sistema de medida de caudal una sonda de presión continua, pues el sensor de altura de agua se estropeó en el mes de marzo.

En el mes de abril de 2007, la cuenca de **Araguás** fue destrozada por un acto vandálico y ahora los esfuerzos se centran de nuevo en la puesta en marcha de esta cuenca. Se prevé que a principios de diciembre de 2007 toda la estación de aforo esté en funcionamiento, instalando de nuevo el sensor de ultrasonidos (para medir la altura de agua en el aforo especialmente en momentos de crecida), un pluviómetro, el turbidímetro, el tomamuestras automático de agua y un nuevo conductivímetro, que registre en continuo el transporte de solutos.

Durante el último año, se han producido variaciones en la instrumentación debido a la necesidad de estudiar la dinámica hidrológica de la parte alta de la cuenca, zona forestal (28%). Por ello, en el mes de junio se instaló en la parte alta de la cuenca un nuevo sistema de medición del caudal mediante una sonda de presión.

En el área experimental de **Vallcebre** no se ha realizado ningún cambio en el sistema experimental, sin embargo, se ha cambiado de lugar la estación meteorológica unos pocos metros, por problemas con el propietario del terreno. Además, se han instalado dos muestreadores de nivel de agua en Can Rodó. Asimismo, se han realizado algunas renovaciones de sensores que no afectan el sistema de medidas.

En la cuenca experimental de **Almanzora** no se han producido cambios en el sistema experimental. En las estaciones, ha habido desperfectos de cierta índole como en años anteriores. Así, en Albox, ha sido necesaria la sustitución del equipo de medida, porque el anterior fue destruido y sustraído. El nuevo se ha instalado a corta distancia del anterior, en un emplazamiento seguro.

En la Estación experimental de **El Cautivo**, a unos 200 m de la salida de la cuenca instrumentada, la cárcava que discurría paralela al camino de acceso a la estación experimental y que iba progresando aguas arriba, ha terminado por cortar el camino a consecuencia de un evento. Por ello se han tenido que construir dos diques con gaviones para permitir el paso de los vehículos y a la vez detener los sedimentos y disminuir el impacto erosivo del flujo.

No se ha producido variación en la instrumentación que aporta datos a la RESEL. En cambio se han quitado otros instrumentos al terminar el proyecto PECOS: dos estaciones microclimáticas y dos estaciones ecofisiológicas.

#### ANÁLISIS Y SEGUIMIENTO DE LOS PROCESOS DE EROSIÓN Y DESERTIFICACIÓN EN ESPAÑA

En la cuenca de **Izas** la precipitación total fue de 2360 mm, con un comienzo muy intenso: en los dos primeros meses se registraron casi 1000 mm, el 42% del total anual. Se registró precipitación durante más de la mitad de los días

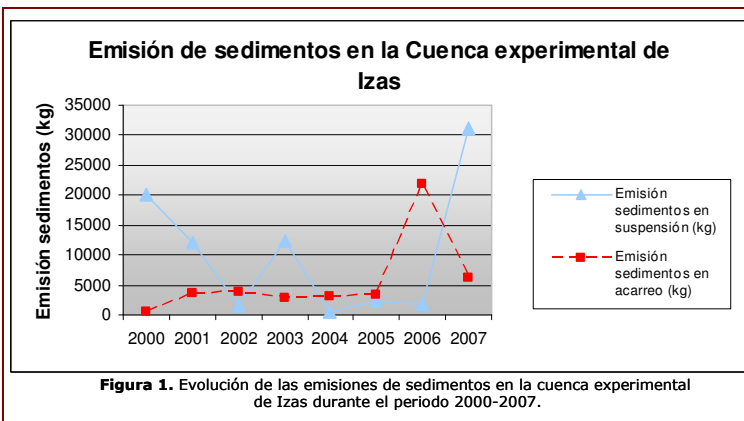


## La Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación (RESEL)

Febrero de 2008-Nº 4

(220, el 60%), con un máximo diario de 199 mm.

La proporción de nieve este año (33% de la precipitación total) ha quedado bastante por debajo del 50% considerado como normal. (Véase Figura 1)



En la Estación Experimental de **Valle de Aísa** el periodo octubre 2006-septiembre 2007 puede considerarse, desde el punto de vista pluviométrico, como normal en cuanto a la precipitación anual registrada. A la altitud en que se localiza la Estación Experimental Valle de Aísa la precipitación media suele oscilar en torno a los 1200 mm/año, parecida, pues, a la registrada en el periodo estudiado (1.215,4 l/m<sup>2</sup>).

Los coeficientes de escorrentía son ligeramente más altos que los medios desde que la Estación está en funcionamiento, si bien están dentro de los valores normales para este tipo de parcelas.

Los resultados sobre la concentración media de sedimento ponen de relieve la baja concentración a lo largo de todos los meses estudiados y en los distintos usos del suelo.

Es interesante destacar que con lluvias poco intensas y bien distribuidas a lo largo del año, los usos que cuentan con una cubierta vegetal densa (Testigo, Quemada A y Prado) muestran elevadas tasas de infiltración, mientras que los más intervenidos tienen menos capacidad para retener el agua.

Los resultados obtenidos confirman, una vez más, el importante papel que desempeña la cubierta vegetal y la mayor o menor intensidad de las perturbaciones antropógenas. De hecho,

la parcela con matorral denso, no alterado, la Quemada A y el Prado registran valores muy bajos de escorrentía superficial, de concentración de sedimento y de pérdida de suelo, como corresponde a un ambiente nada pisoteado, con elevada protección frente al impacto de las gotas de lluvia, con predominio de la infiltración y afectado por una intercepción relativamente elevada. Esto hace que finalmente el agua que sale de estas parcelas sea escasa y con pocos sedimentos, con predominio de las exportaciones de elementos disueltos sobre los materiales en suspensión.

En la Cuenca Experimental de **Loma de Arnás** el año 2006-2007 no ha sido un año especialmente bueno desde el punto de vista de la captación de información, en particular la altura de la lámina de agua, puesto que ha habido problemas con el sensor de ultrasonidos no se dispuso del sensor de presión durante la mayor parte del año.

El año hidrológico ha sido ligeramente seco si atendemos a los valores medios de precipitación, con un total de 950 mm (la media en estaciones próximas está en torno a 1100 mm). Los meses más húmedos han sido octubre de 2006 (122,8 mm), febrero de 2007 (134,2 mm) y abril de 2007 (121,6 mm) y los más secos han sido los meses de enero (36,6 mm), mayo (35 mm) y los meses estivales, especialmente el mes de septiembre (7,6 mm).

El caudal medio este año ha sido de 17 l/s, similar al del año pasado. Sin embargo, la primavera ha sido más húmeda, explicando así que durante esta época del año los caudales hayan sido más altos. Hay que resaltar el mes de febrero, con una precipitación particularmente abundante (134,2 mm) y un caudal medio elevado (58,7 l/s). El pico máximo de caudal se registró el día 10 de octubre de 2006, con 4167 l/s. El 11 de febrero y el 2 de abril también ocurrieron crecidas importantes, con caudales máximos que alcanzaron 1284 l/s y 1501 l/s respectivamente.

En la Cuenca experimental de **San Salvador**, el año hidrológico 2006-2007 puede considerarse algo seco en comparación con la media, que está en torno a 1100 mm anuales. La distribución mensual ha sido bastante típica, lo que en principio no ha tenido importantes



# La Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación (RESEL)

Febrero de 2008-Nº 4

repercusiones hidrológicas. El registro de que disponemos para este año es de 864 mm.

El pico máximo de caudal se registró el día 12 de febrero de 2007, con 131 l/s. Durante todo el verano el caudal ha sido inferior a 1 l/s, siendo nulo la mayor parte por la ausencia de caudal, a pesar de las tormentas. Durante los meses de primavera, que fue cuando se registraron las precipitaciones más elevadas del año, el caudal más elevado alcanzó 88,08 l/s.

El funcionamiento hidrológico del barranco de San Salvador durante el año 2006-07 ha seguido los patrones del régimen de precipitaciones aunque no de la misma forma durante todo el año. Durante el otoño se han registrado algunas crecidas, no de gran magnitud, a pesar de las lluvias de octubre y noviembre, revelando que el nivel freático estaba muy bajo y era incapaz de producir escorrentía superficial de saturación. En primavera se registraron los caudales elevados, después de unos meses de febrero, marzo y abril de lluvias abundantes. A mitad de abril de estropea la sonda de altura de agua y se deja de tener información relativa a caudal hasta el mes de junio, en el que el caudal es de 0 l/s, pues está seco hasta el final del año hidrológico.

En la Cuenca experimental de **Araguás**, el año 2006-2007 puede considerarse bueno desde el punto de vista de la adaptación de información hidrológica y pluviométrica, pues no se han producido fallos en la captación de la información.

El año hidrológico ha sido más seco de lo normal, con un total de precipitación de 670,2 mm. El caudal medio anual fue de 5,01 l·s<sup>-1</sup>. La escorrentía total registrada fue 354,76 mm.

La Estación Experimental de **Vallcebre II** presenta coeficientes de escorrentía algo inferiores a los obtenidos en años con precipitación cercana a la media, ya que la precipitación ha sido inferior.

Los resultados muestran unas tasas de denudación química algo inferiores a los usuales, como corresponde a un año relativamente seco.

Desde el punto de vista del transporte en suspensión, durante el período informado se ha registrado un transporte por debajo de la media de los 10 últimos años, sobretudo en la estación

de Ca l' Isard debido a las bajas intensidades de las precipitaciones que no han erosionado las cárcavas como en años anteriores, no produciendo así la misma cantidad de material susceptible a ser transportado.

En la Estación Experimental de **Venta el Olivo** el año 2006 se caracterizó por precipitaciones moderadas-bajas, con un valor medio de 16,24 mm y con un 25% de eventos con precipitación superior a 15 mm. En las parcelas de 1 m<sup>2</sup>, se observa una alta variabilidad en la respuesta hidrológica identificándose tres grupos: parcelas 9 y 12 con valores medios de escorrentía entre 1,71 y 1,46 mm; parcela 8 con valores medios de escorrentía 0,45 mm, y las parcelas 10 y 11 con valores de de escorrentía media de 0,14 y 0,17 mm, respectivamente.

En la figura 2 se pueden observar los valores de escorrentía y coeficiente de escorrentía obtenidos en las parcelas del CEBAS durante el año hidrológico octubre 2006-septiembre 2007.

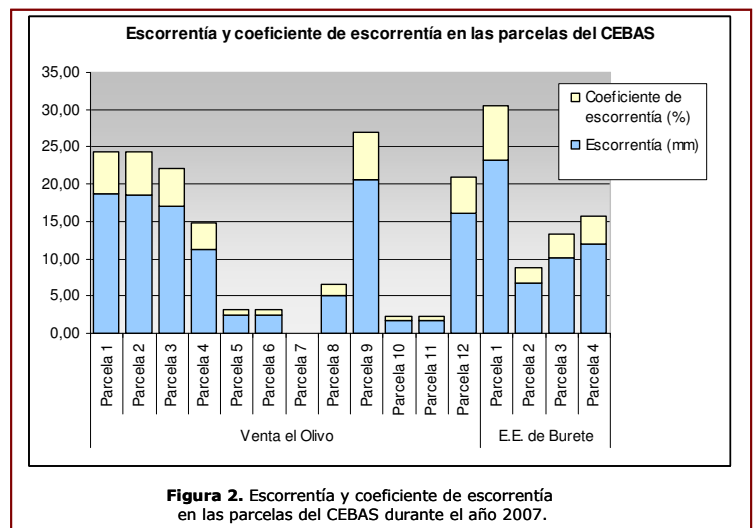


Figura 2. Escorrentía y coeficiente de escorrentía en las parcelas del CEBAS durante el año 2007.

La diferencia en la respuesta viene determinada fundamentalmente por los parámetros de pendiente y vegetación.

En la Estación experimental de **Burete**, el año 2007 se caracterizó por precipitaciones de bajas a moderadas, con un valor medio de 15,37 mm y con un 23% de eventos con precipitación superior a 15 mm.

La respuesta hidrológica fue diferente entre parcelas con valores de escorrentía anual total que variaron entre 23,2 mm y 10,50 mm en las

## La Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación (RESEL)

Febrero de 2008-Nº 4

parcelas de olivar y natural, respectivamente; y coeficientes de escorrentía máximos entre 30% y 9% en las parcelas de olivar y natural, respectivamente. De los 21 eventos registrados, 9 generaron escorrentía en las parcelas de olivar y 8 en las naturales. La producción total de escorrentía fue 2 veces superior en las parcelas cultivadas respecto a la natural/forestal.

La respuesta hidrológica y erosiva en las cuatro parcelas de la Estación de Burete se muestra en la Figura 3.

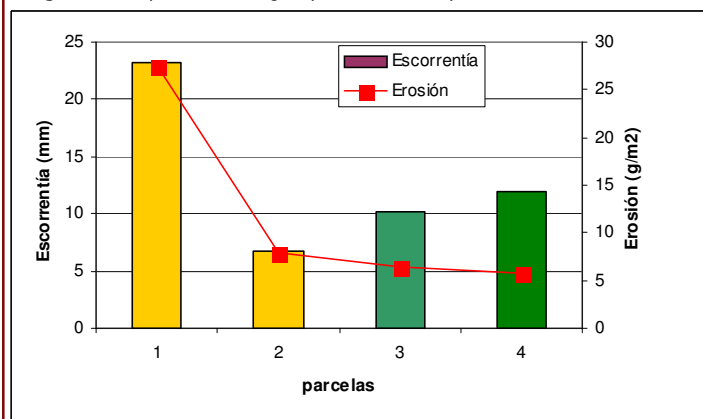
En **Rambla Honda**, el año hidrológico 2007 ha sido, respecto a las medias de los últimos 17 años, más seco y ligeramente más cálido. La precipitación total ha sido de 188,3 mm, repartida regularmente en las 4 estaciones.

En **El Cautivo**, el año hidrológico 2007 ha sido más seco y algo más cálido que la media de los últimos 15 años. La escasez de precipitaciones de elevada intensidad ha impedido que hubiera eventos de escorrentía significativos.

En las tres cuencas de la Universidad de Salamanca, **Rinconada, Morille y Villamor**, los valores anuales de las precipitaciones registradas en el año hidrológico 2006-07 el conjunto de las tres cuencas están por encima de los valores medios, correspondientes a las estaciones del Instituto Nacional de Meteorología más próximas, en el periodo 1967-2000 (906 mm en Rinconada, 494 mm en Morille y 432 mm en Villamor). De esta forma, parece que se cierra un ciclo de sequía, que abarcó los tres años hidrológicos anteriores, y que tuvo una incidencia muy notable en los procesos hidrológicos. Esto sigue haciendo que, a pesar de la recuperación de la precipitación los valores de escorrentía, especialmente en Rinconada, sigan siendo muy bajos. El acuífero que drena esta cuenca todavía no se ha recuperado, como evidencian los bajísimos valores de flujo base, similares a los de los últimos tres años.

El año hidrológico ha sido extremadamente pobre en términos de generación de escorrentía en la Cuenca Experimental de Rinconada, a pesar de la recuperación de la precipitación tras los tres años de sequía anteriores. Sin embargo, en las otras dos cuencas la mayor cantidad de lluvia si se ha traducido en un incremento notable de la escorrentía.

**Figura 3.** Respuesta hidrológica y erosiva en las parcelas de 16 m<sup>2</sup> de Burete.



1 y 2: parcela natural (matorral/forestal); 3 y 4\*: parcela cultivada (olivos). Se detectó una fisura en la parcela por lo que los valores son más bajos que su réplica (no en cuenta para las conclusiones).

Los datos anuales la cuenca de Rinconada muestran la singularidad del último año hidrológico. La precipitación registrada (14% más del promedio de los seis años anteriores) ha sido mayor, sin embargo la generación de escorrentía ha mostrado valores muy bajos y el coeficiente de escorrentía anual ha sido el más bajo desde que está en funcionamiento la cuenca experimental.

En el año hidrológico analizado se ha puesto de manifiesto una vez más el diferente comportamiento de las tres cuencas en relación, sobre todo, con su diferente uso del suelo y tipo de cubierta vegetal. Como ya se había observado con anterioridad, la cuenca con mayor cantidad de precipitación es la que registra un menor coeficiente de escorrentía en los episodios registrados.

Se pone de manifiesto la enorme influencia que tiene el factor uso del suelo en la capacidad de generar escorrentía.

### EVENTOS MÁS IMPORTANTES DEL AÑO

En la Cuenca Experimental de **Izas**, por cuenta de las elevadas precipitaciones y escorrentía iniciales, los principales eventos erosivos ocurrieron al comienzo (octubre y noviembre) del año hidrológico, pues entre ambos meses acumulan más del 60% de la descarga de sedimentos suspendidos y de arrastres.

En cuanto a la escorrentía, que es quien conduce la erosión, esos dos meses sólo representan el 38% de la total anual (Figura 4); pero lo que importa son las intensidades, que superan entonces los 200 l/s de





## La Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación (RESEL)

Febrero de 2008-Nº 4

media horaria. Son esos flujos los que pueden movilizar los sedimentos en suspensión y, sobre todo, la carga de fondo.

En la Estación Experimental de **Valle de Aísa** se han seleccionado dos eventos pluviométricos con sus correspondientes consecuencias desde un punto de vista hidrológico y de pérdida de suelo. Estos dos eventos son los que han dado como resultado elevados coeficientes de escorrentía y/o pérdidas de suelo.

El primer evento (el número 2 del año hidrológico) que se analiza (17-10-06 al 27-10-06) corresponde a una precipitación total de 124 l/m<sup>2</sup> en 230 horas. Durante el mes anterior se habían registrado 78,8 l/m<sup>2</sup>. La intensidad máxima en 30 minutos fue de 34,4 mm/h. Se trata, pues, de una lluvia de bastante intensidad y con un volumen total de agua acumulado ya considerable. Como consecuencia de ello, el coeficiente de escorrentía fue alto en algunas parcelas (valores del 33,08% en la Artica B, del 50,86% en el Cereal, del 35% en el Barbecho, y del 53,88% en la Artica A); posiblemente la explicación se encuentra en que aunque el evento en su conjunto no fue intenso, sí que ocurrieron episodios dentro del mismo bastante intensos. La concentración de sedimento, sin embargo, fue moderada incluso en las parcelas labradas, con valores en la Artica B de 35 mg/l y 94 mg/l en el sedimento en suspensión y solutos, respectivamente, de 151 y 122 mg/l en el Cereal, y de 31 y 95 mg/l en el Barbecho. Más como consecuencia de un coeficiente de escorrentía elevado que de las altas concentraciones las pérdidas de suelo fueron también altas en la parcela de Cereal (17,2 g/m<sup>2</sup>) y Artica A (21,4 g/m<sup>2</sup>), seguidas por la Artica B (5,3 g/m<sup>2</sup>) y Barbecho (4,5 g/m<sup>2</sup>) y Quemada B (4,7 g/m<sup>2</sup>). Por el contrario, fueron bastante moderadas en el resto de los usos: Quemada A (0,6 g/m<sup>2</sup>), Abandonada (2,5 g/m<sup>2</sup>), Prado (1,4 g/m<sup>2</sup>) y Testigo (0,99 g/m<sup>2</sup>).

El segundo evento (el 30 del año hidrológico) tuvo lugar entre el 14 y 18 de septiembre de 2007. Se trata de un evento que registró una precipitación total de 40,8 l/m<sup>2</sup> en 84 horas. El rasgo más importante del evento es su alta intensidad (51,2 mm/hora en 30 minutos). El suelo estaba seco, ya que en el mes anterior sólo se habían registrado 53,6 l/m<sup>2</sup>.

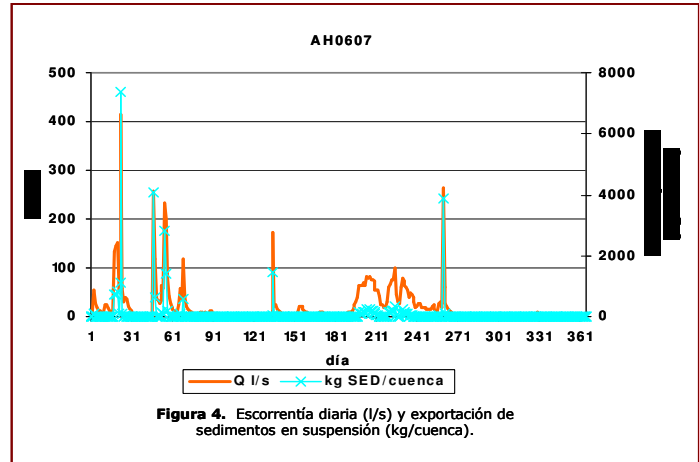


Figura 4. Escorrentía diaria (l/s) y exportación de sedimentos en suspensión (kg/cuenca).

El resultado de ello es que los coeficientes de escorrentía fueron bajos para lo que cabría esperar, aunque con interesantes contrastes entre los usos del suelo. Los de las parcelas labradas al menos duplicaron o triplicaron a los registrados en el resto: el Cereal alcanzó el valor de 2,38%, muy por debajo del Barbecho (6,30%) y Artica B (12,33%). En el extremo opuesto se sitúan la parcela Testigo (0,10), la Artica A (0,63%), la Abandonada (1,16%), la Quemada B (1,32%), el Prado (1,07%) y la Quemada A (0,37%). La concentración de sedimento, sin embargo, fue bastante alta en la mayoría de los usos del suelo, especialmente en los de menor cubrimiento vegetal, donde el sedimento en suspensión llega a alcanzar el valor de 2,4 g/l en la Artica B y de 2,6 g/l en la Artica A y de 1,7 en el Barbecho. Ello es normal, ya que se trata de material suelto de pequeñas partículas que surgen cuando el suelo se seca. Este material es fácilmente transportable por los flujos de escorrentía. En los suelos con mayor cubrimiento vegetal la presencia de este material es menor, ya que la humedad del suelo se mantiene mejor, y -además- en el caso de existir su transporte presenta más limitaciones ya que la vegetación lo retiene. Las pérdidas de suelo fueron muy bajas, como respuesta lógica a la escasa agua exportada. Tan sólo las parcelas labradas superaron 1 g/m<sup>2</sup>, con valores de 1,8 g/m<sup>2</sup> en el Cereal, 5,0 g/m<sup>2</sup> en el Barbecho y de 13,3 g/m<sup>2</sup> en la Artica B.

En la **Cuenca Experimental de Arnás** a pesar de los fallos del sensor de ultrasonidos, se han podido registrar un total de 7 nuevas crecidas (si bien se tiene constancia de que han ocurrido 4 crecidas de las que no se ha podido obtener información). En total se tienen 173 crecidas registradas para el



## La Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación (RESEL)

Febrero de 2008-Nº 4

conjunto de la serie de la cuenca de Arnás. La respuesta hidrológica es similar a la registrada en el año hidrológico 2005-2006, con la particularidad de que el verano de 2005-2006 fue más húmedo.

La mayor parte de las crecidas registradas este año han mostrado concentraciones de sedimento en suspensión relativamente elevadas, con valores superiores a 1200 g/l. El evento del 22 de octubre es el que se caracterizó por presentar una mayor respuesta sedimentológica ya que se alcanzó un pico de concentración de sedimento en suspensión de casi 4 g/l.

En la Cuenca experimental de **Araguás** durante el año hidrológico 2006-07 se han contabilizado 52 crecidas, una cifra muy superior a la registrada en las cuencas de San Salvador y Arnás, a pesar de que el total de precipitaciones ha sido ligeramente inferior.

La cuenca muestra una elevada capacidad para exportar sedimento. Esta capacidad está relacionada con la densidad de la red de drenaje, la friabilidad del regolito y la bajísima cobertura vegetal en las áreas ocupadas por cárcavas. Estas últimas no sólo están afectadas por un intenso arroyamiento superficial, sino también por pequeños movimientos en masa (deslizamientos y mudflows).

El pico más elevado de concentración de sedimento en suspensión se registró el 9 de febrero de 2007, con 633,51 g/l (flujos hiperconcentrados). Además durante 3 crecidas la máxima concentración de sedimento en suspensión superó los 100 g/l, y durante 19 eventos la concentración máxima superó los 50 g/l.

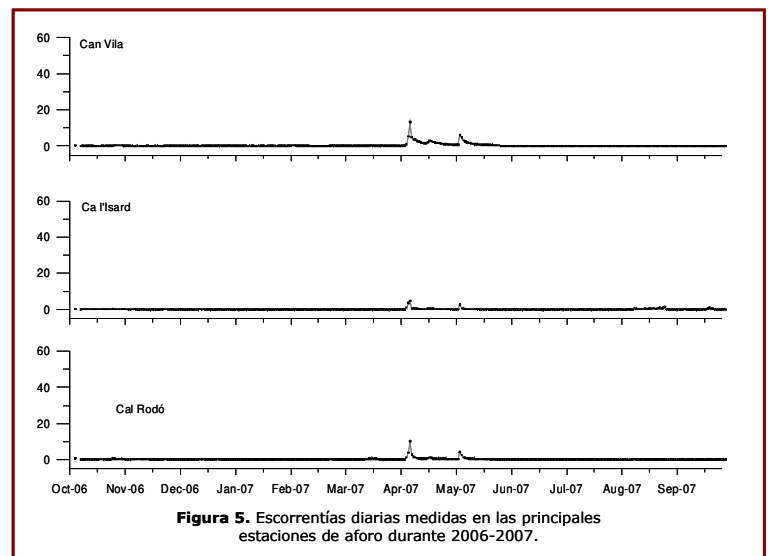
La coincidencia entre pico de crecida y pico de concentración suele ser habitual, pero en ocasiones el pico de concentración precede claramente al pico de crecida, lo que se explica unas veces porque el aumento de caudal barre los sedimentos acumulados en el fondo del cauce dejados por una avenida anterior, y otras veces por el acceso súbito de material directamente al cauce (movimiento en masa).

En otros muchos casos el pico de sedimento es posterior al pico de caudal debido principalmente a:

- (i) la distinta velocidad de flujos de agua y sedimento

- (ii) la alta erodibilidad de la zona acarcavada junto con una gran actividad de los procesos erosivos durante la crecida
- (iii) la variabilidad estacional entre la producción y distribución de sedimento en el área de estudio. En todo caso, los sedigramas suelen mostrar muchas irregularidades, más que el hidrograma de crecida, debido precisamente al papel de pequeños movimientos en masa.

En el área experimental de **Vallcebre**, las descargas de agua registradas durante el periodo de estudio se representan en la Figura 5. Destaca la serie de crecidas en otoño, una apreciable crecida en febrero y abril, y la poca actividad del resto del año. El aforador de Ca l'Isard registra una crecida en agosto que casi no se detecta en el resto de las estaciones debido a la naturaleza de su geología.



En las parcelas de la Sierra de **El Picarcho** se produjeron entre 4 y 6 eventos con escorrentía en las distintas parcelas y uno con erosión en las parcelas de esparto quemado. El total de días con precipitación superior o igual a 1 mm en esta zona fue de 20, así que entre un 20% y un 30% de las lluvias, dependiendo de las parcelas, generaron escorrentía.

En la estación de **Burete** se produjeron 8 eventos con escorrentía en las parcelas de vegetación natural (parcelas 1 y 2) y 9 eventos en las parcelas de cultivo de olivos (parcelas 3 y 4) sobre un total de 21 días de lluvia (precipitación mayor que 1



## La Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación (RESEL)

Febrero de 2008-Nº 4

mm), lo que supone que aproximadamente que un 38% de las lluvias fueron de suficiente intensidad para generar escorrentía en dichas parcelas. En cuanto a la erosión, 7 de 8 eventos generaron sedimento en las parcelas naturales y 6 de 9 en las del olivo.

### CONCLUSIONES

El proyecto de la Cuenca Experimental de **Izas** sólo puede ser rentable desde el punto de vista científico a largo plazo, pues a pesar del "experimental" no se realizan experimentos con intervenciones humanas que varíen los usos tradicionales. El único experimento es natural: la posibilidad de detectar, en esos ambientes relativamente extremos, las lentas variaciones (en el ciclo hidrológico, los procesos erosivos, las variables meteorológicas, tal vez en la composición de los ecosistemas) que podrían derivarse del cambio global climatológico.

#### Cuenca Experimental de Izás

##### *Aspectos cualitativos y cuantitativos sobre los procesos erosivos e hidrológicos que hayan aflorado en el desarrollo del programa experimental*

En este entorno de la alta montaña mediterránea, con la importancia de los aportes en forma de nieve (aproximadamente la mitad de las entradas al ciclo) y la intensidad (elevada precipitación), destaca la importancia de la erosión química, la mayoría del material (80 a 90 %) abandona la cuenca disuelto en el agua de escorrentía.

##### *Comportamiento de las concentraciones de sedimentos durante los principales eventos; similitudes y diferencias entre eventos, patrones estacionales y temporales de la erosión y transporte de sedimentos*

Aunque las concentraciones de solutos varían inversamente con el caudal, las variaciones de este son mucho mayores e imponen su ritmo en la estacionalidad de la erosión química, con la principal parte de las salidas ocurriendo durante la temporada de fusión de la nieve acumulada entre noviembre y marzo-abril; desde mediados de abril hasta principios de junio, con mayo como el mes culminante, se realiza la mayoría del transporte. En verano y, sobre todo otoño, sucede la segunda temporada de exportaciones, muy variable por depender de las tormentas y los frentes borrascosos que pueden precipitar grandes cantidades de agua en cortos períodos.

##### *Representatividad de los eventos ocurridos durante el período de medición en relación a los eventos esperados*

Este año la proporción de nieve respecto a la precipitación total (40%) ha sido un poco más baja de lo habitual (50%).

##### *Relevancia de los resultados obtenidos en relación al conocimiento de los problemas de degradación de suelos, aguas y vegetación*

Al ser la intervención antrópica prácticamente nula, la cuenca puede ser una referencia en relación con otras áreas donde las intervenciones humanas pueden ser muy destructivas (por ejemplo, estaciones de esquí).

Dado que las nueve parcelas de la Estación Experimental de **Valle de Aísa** reproducen usos del suelo diferentes, todas ellas sirven para experimentar con los efectos hidromorfológicos de la gestión territorial en ambientes de montaña marginales.

Así, las parcelas quemadas aportan información sobre las consecuencias a corto y medio plazo de los incendios del matorral. Por otro lado, al estar sometidas a distinto ritmo de incendios, se puede valorar también los efectos hidromorfológicos que tienen los fuegos más o menos repetidos.

La instalación de nuevas parcelas permitirá incrementar la información sobre el factor fuego, y sobre todo discriminar su papel en función del clima, especialmente del régimen de precipitaciones en el periodo inmediatamente posterior al incendio.

Las parcelas de cereal, barbecho y artica representan el funcionamiento de laderas cultivadas en pendiente durante el llamado sistema tradicional; las dos parcelas abandonadas reflejan los efectos del abandono de tierras de cultivo en laderas de montaña y las interacciones existentes con la recolonización vegetal; la parcela testigo permite predecir las consecuencias de una restauración de la vegetación por parte de formaciones de matorral denso; y la parcela de pasto o prado de diente permite jugar con la posibilidad de desbroces de matorral con fines ganaderos.

La estación refleja, por otro lado, el comportamiento hidromorfológico del uso agrícola dominante en la actualidad en los valles pirenaicos.

El funcionamiento de la Estación Experimental Valle de Aísa contribuye a explicar la dinámica hidromorfológica de diferentes usos del suelo en áreas de montaña y ayuda a predecir los efectos de determinadas decisiones de gestión. Así, el matorral denso y el pasto natural representan excelentes opciones para la conservación del suelo y del agua. El cultivo cerealista, por el contrario, en alternancia con el barbecho o mediante el sistema de artigueo tiene un comportamiento muy negativo para la conservación del suelo, por lo que se aconseja su sustitución por pastos. A la vez el abandono de tierras de cultivo supone la disminución de la producción de sedimento hasta valores próximos



## La Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación (RESEL)

Febrero de 2008-Nº 4

a las parcelas de pasto; en cualquier caso, la reducción de las tasas de erosión es mucho más rápida cuando el abandono se produce a partir de rastrojo de cereal fertilizado con abono químico que a partir del cultivo de cereal mediante artigueo.

Por último, los incendios del matorral significan una pérdida brusca de sedimento particulado y de nutrientes durante los primeros meses después del fuego (como pudo comprobarse en informes previos), pero si no hay nuevas perturbaciones la recolonización vegetal es suficientemente rápida e intensa como para establecer tasas de erosión próximas a las anteriores al incendio. La existencia de fuegos frecuentes parece, sin embargo, retrasar la recuperación de la vegetación, incrementando los coeficientes de escorrentía y las pérdidas de suelo.

Los resultados obtenidos confirman, una vez más, el importante papel que desempeña la cubierta vegetal y la mayor o menor intensidad de las perturbaciones antropógenas.

En la cuenca experimental de **Loma de Arnás**, el año hidrológico 2006-2007 puede considerarse un año bueno, a pesar de los problemas que se han detectado en el sensor de ultrasonidos.

Se han registrado 7 nuevas crecidas y sigue controlando de manera continua el nivel freático en siete puntos de la cuenca. Este tipo de información es muy valiosa desde un punto de vista hidrológico. Se dispone de datos detallados de un total de 173 avenidas.

Esta información ha permitido conocer el funcionamiento hidrológico y sedimentológico de la cuenca en diferentes condiciones de humedad y elaborar los primeros balances fiables de agua y sedimento, así como realizar análisis estadísticos de cierta complejidad para jerarquizar los factores que explican la respuesta hidrológica y de sedimentos durante eventos concretos.

El comportamiento hidrológico de la cuenca de Arnás refleja la coexistencia de áreas heredadas de un uso humano muy intenso, con escasa cubierta vegetal y predominio de la erosión difusa, y áreas donde la recolonización vegetal cubre la mayor parte de las laderas, reduciendo la generación de escorrentía.

### Cuenca Experimental de Arnás

En función del *estado hidrológico de la cuenca*, se han identificado tres procesos dominantes de generación de escorrentía:

- Cuando la cuenca está seca, las crecidas se caracterizan por una respuesta rápida y ofrecen coeficientes de escorrentía bajos. Estas crecidas están generadas fundamentalmente por procesos de superación de la capacidad de infiltración en zonas concretas de la cuenca de reducida extensión.
- Cuando la cuenca está en un periodo de transición de condiciones secas a húmedas, los coeficientes de escorrentía son moderados y la aparición de áreas saturadas, asociadas a la topografía, implica un incremento de las áreas contributivas e indica que los procesos de escorrentía dominantes son por saturación. No obstante, el evento del 23 de septiembre de 2006, con un coeficiente de escorrentía relativamente elevado sugiere que, en estas condiciones, la respuesta puede llegar a ser muy importante si se activan, además, otros procesos como, por ejemplo, una conexión generalizada de todas las áreas fuente de escorrentía de la cuenca.
- Por último, cuando la cuenca está húmeda, los coeficientes de escorrentía suelen ser elevados (aunque muy variables) debido a una expansión de las áreas saturadas. En este caso, las crecidas están generadas mayormente por procesos de saturación y, posiblemente, en aquellas que presentan tiempos de respuesta más largos, que coinciden además con las que tienen coeficientes de escorrentía más importantes, haya una contribución de escorrentía subsuperficial.

El *comportamiento sedimentológico* de la cuenca se encuentra muy influenciado por el estado de humedad de la misma y, por lo tanto, por el tipo de respuesta hidrológica.

Se han diferenciado dos tipos de respuesta sedimentológica:

- En condiciones secas, la escorrentía se genera exclusivamente por superación de la capacidad de infiltración sobre las principales áreas fuente de sedimento, por lo que las CSS suelen ser elevadas y la relación CSS-Q relativamente constante a lo largo de toda la crecida.
- En condiciones húmedas, dominan los procesos de escorrentía por saturación sobre zonas vegetadas y, probablemente, en determinados casos, también ocurren procesos de generación de escorrentía subsuperficial. Ambas aportan agua limpia al cauce, favoreciendo la dilución del sedimento en suspensión, especialmente durante la rama descendente del hidrograma.

El *transporte de la carga de fondo* se activa con relativa frecuencia en la cuenca ya que se estima que en el 40% de las crecidas aproximadamente se produce este tipo de transporte.

La información disponible de la cuenca de **San Salvador** empieza a dar una idea acerca de su comportamiento hidrológico y geomorfológico.

La información disponible de la **Cuenca experimental de Araguás** permite elaborar los primeros balances provisionales de agua y sedimento, así como realizar análisis estadísticos de cierta complejidad para jerarquizar los factores que explican la respuesta hidrológica y de sedimentos durante eventos concretos.





## La Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación (RESEL)

Febrero de 2008-Nº 4

### Cuenca Experimental de San Salvador

- La cuenca de San Salvador reacciona de forma muy moderada frente a cualquier precipitación. El número de eventos pluviométricos que tienen reflejo hidrológico es muy inferior al de la vecina cuenca de Arnás, como lo prueba, por ejemplo el hecho de que en este último año hidrológico se hayan registrado 2 crecidas en la cuenca de San Salvador frente a 12 en la cuenca de Arnás. Esto indica, por un lado, el efecto regulador de la cubierta forestal y, por otro, la mayor capacidad de infiltración del suelo, no alterado por la erosión, a diferencia de lo que ocurre en gran parte de Arnás.
- Como consecuencia de lo anterior la forma de los hidrogramas de crecida en San Salvador suele mostrar ascensos lentos y descensos muy prolongados, reflejando la importante pérdida por interceptación pero también la elevada regulación del sistema, en el que predominan los procesos de infiltración frente a los de escorrentía directa. La generación de escorrentía está por ello más relacionada con la saturación del suelo que con procesos de tipo hortoniano, que son casi imposibles en esta cuenca. Las precipitaciones sólo provocan respuesta hidrológica cuando el nivel piezométrico está muy alto. Ocasionalmente la respuesta puede ser intensa, con tramo ascendente del hidrograma muy empinado si coinciden condiciones de saturación del suelo con lluvias voluminosas, generalmente en primavera.
- De la información aislada (correspondiente a años anteriores a 2003) de que disponemos sobre transporte de sedimento puede deducirse que predominan los solutos en el balance anual frente al sedimento en suspensión (75% frente a 25% respectivamente). Este balance es congruente con el funcionamiento hidrológico: el predominio de la infiltración frente a la escorrentía superficial hace que el agua incorpore una mayor proporción de elementos disueltos, hasta hacer que las aguas vayan saturadas.

### Cuenca Experimental de Aragón

- El invierno y la primera mitad de la primavera es el periodo en que más intensamente se activan los procesos de meteorización en las margas, debido tanto a la presencia de humedad constante en el regolito como a la penetración del hielo. La meteorización es más intensa en umbría que en solana, precisamente por la mayor presencia de agua en todo el perfil del regolito y por el mayor número de ciclos de hielo-deshielo. Además, las heladas penetran más profundamente en la umbría.
- Si la estación húmeda y fría corresponde a la preparación del regolito, la erosión tiene lugar en la segunda mitad de la primavera y durante el otoño. Las tormentas estivales también contribuyen a la erosión de las margas.
- La cuenca de Aragón responde inmediatamente frente a cualquier precipitación. De ahí que se hayan registrado nada menos que 44 crecidas en un solo año hidrológico (casi 4 veces más que la cuenca de Arnás, que ya había sido definida como una cuenca hidrológicamente muy activa).
- La generación de escorrentía es extraordinariamente elevada, con un coeficiente de escorrentía en torno al 50%. Este valor debe considerarse un mínimo, dado que la parte alta de la cuenca está ocupada por un pinar denso de repoblación y que, por lo tanto debe interceptar, consumir e infiltrar una proporción elevada de la lluvia.
- El hidrograma de crecida reproduce bastante bien la forma de hietograma, reflejando que gran parte de la lluvia se transforma de manera inmediata en caudal, por exceso de infiltración. Se ha comprobado, no obstante, que durante las primeras lluvias de otoño el regolito margoso dispone de una cierta capacidad de infiltración, que se agota muy pronto. El hidrograma muestra además un tramo ascendente muy agudo, reflejando la concentración rápida de la escorrentía debido no sólo a las pendientes sino también a la densidad de la red de drenaje. El tramo descendente es también muy rápido, agotándose muy poco después de que haya cesado la lluvia.
- El transporte de sedimento es asimismo paralelo al hidrograma. Existe, no obstante, una elevada variabilidad en el transporte de sedimento en suspensión, debido a la actividad de pequeños movimientos en masa (mudflows), que ocurren de manera imprevisible en el tiempo y en el espacio. Hasta el momento, los resultados obtenidos indican una elevada concentración, que supera en muchas ocasiones los 200 g/l, muy por encima de los valores obtenidos en las otras dos cuencas. En situaciones extremas, por el cauce discurre casi un mudflow que provoca abundante sedimentación en el propio lecho, que posteriormente es removida por otras crecidas menores.

En la estación de **Venta el Olivo**, la instalación y seguimiento de las 6 parcelas de 1 m<sup>2</sup> distribuidas por la ladera permitirá, por un lado tener una idea de las áreas fuente y origen de sedimentos y, por otra, el efecto de la escala en la respuesta hidrológica y erosiva de la cuenca.

Otros estudios relacionados con la variabilidad en la respuesta entre réplicas así como el análisis del posible "agotamiento" del material en las parcelas ha sido realizando estando los resultados publicados en dos revistas de investigación.

El objetivo global que se pretende obtener con los estudios en la estación experimental de **Burete** es la de contribuir a la conservación y protección del suelo en las áreas con riesgo de desertificación, en diferentes escenarios actuales o futuros, aportando nuevos conocimientos que permitan establecer los usos más adecuados y mejorar las tecnologías para la protección de los suelos y recuperación de las áreas degradadas.

No existen hidrogramas ni sedimentogramas puesto que la recogida de escorrentía y sedimentos es manual no existiendo instrumentación automática. No obstante la recogida es cada evento y para obtener la concentración de sedimento se recogen 5 botellas de 1 litros en cada depósito una vez la muestra ha sido homogeneizada. Se traslada al laboratorio donde se seca en la estufa y posteriormente se pesa. Existe un pluviómetro automático que registra de forma continua la precipitación y por tanto se dispone de hietogramas de los eventos.

En esta zona experimental, de nueva creación, se están realizando en la actualidad dos tesis doctorales: una de ellas relativa a la determinación de como afectan los cambios de uso y/o cobertura vegetal, en las regiones semiáridas, a las entradas y salidas (flujos) de carbono orgánico en el suelo y una segunda orientada a profundizar en el conocimiento de los factores que afectan a las pérdidas de



## La Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación (RESEL)

Febrero de 2008-Nº 4

carbono orgánico asociadas a la erosión hídrica del suelo y mineralización de la materia orgánica.

En la estación experimental de **Rambla Honda**, la probabilidad de fallo de alguno de los dispositivos para adquisición de datos, sobre todo de los automáticos, ha sido claramente mayor durante los eventos pluviométricos de mayor magnitud. Esto aconseja ser menos ambicioso en el número de variables a registrar para asegurar el buen funcionamiento de un número menor de dispositivos, ya que el mayor interés de las series temporales es tener datos de todas las variables al mismo tiempo y precisamente durante los eventos.

La densidad de la vegetación, su composición específica y su estructura espacial son fundamentales para explicar las diferencias en escorrentía, erosión y transporte de sedimentos. A escala de ladera las interacciones entre la vegetación, la escorrentía y el flujo de sedimentos son complejas.

Las escalas espaciales y temporales de generación de escorrentía dependen del efecto combinado de la variabilidad temporal de la lluvia y de la organización del suelo y la estructura de la vegetación.

El comportamiento hidrológico en estas cuencas semiáridas de unas pocas hectáreas es diferente según el mecanismo por el que se genere la escorrentía:

a) al exceder la capacidad de infiltración (Horton): pequeños flujos en las fases iniciales de escorrentía, de corta duración y espacialmente heterogéneos por lo que no hay conectividad hidrológica.

b) por saturación de las capas sub-superficiales: flujos mayores después de las fases iniciales de escorrentía, de mayor duración y espacialmente homogéneo por lo que puede haber conectividad hidrológica.

En Rambla Honda, como en muchas regiones áridas y semi-áridas, la distribución espacial de la humedad del suelo está más controlada por factores locales (vegetación, pedregosidad superficial, porosidad del suelo, contenido en limo + arcilla y materia orgánica) que por la topografía.

### Estación experimental de Rambla Honda: Recomendaciones

- Descartar el uso agrícola intensivo, por la escasez de agua, lo accidentado de la topografía y el valor paisajístico del entorno. Por lo mismo, descartar también el uso industrial. Cabe mantener el uso agrícola tradicional en los fondos de valle en bancales regados por boqueras, el cual podría contribuir a evitar la expansión de redes de suflusión y su consiguiente acarreamiento. Sin embargo, se desconoce si ello puede resultar rentable hoy actualmente (tal vez lo sea seleccionando determinados cultivos ecológicos).
- Permitir (quizás impulsar) la ganadería extensiva de caprino y ovino, con un número bajo de cabezas por hectárea, dadas las características de la vegetación y la escasez de agua, y concentrándola particularmente en las áreas de *Retama* y *Anthyllis* (mucho más rica en herbáceas la primera, que además son favorecidas por dicho arbusto).
- La reforestación clásica no es recomendable porque el clima no permite una cobertura arbórea generalizada, sólo árboles aislados en situaciones microclimáticas. Sin embargo podría ser muy buena una reforestación con especies seleccionadas de arbustos autóctonos y el mínimo movimiento de tierras. La implantación de pequeños rodales de árboles y arbustos en los bancales abandonados por la agricultura podría contribuir a la estabilización de los mismos, evitando su desmoronamiento.
- La urbanización y las instalaciones para uso recreativo podrían aceptarse siempre que se localizaran en pequeños núcleos situados en los antiguos cortijos, terrazas fluviales y abanicos aluviales. En todo caso, su densidad total debería ser muy baja, evitando siempre la impermeabilización de grandes extensiones de terreno y la acumulación de desmontes que favorecerían las avenidas y el cambio de régimen de la rambla. En ningún caso se considera apropiada la urbanización en las laderas.
- Una vez constatado que las comunidades de retama y albaida se encuentran en fase de regeneración y que las de esparto se encuentran estabilizadas, un abandono monitorizado de la mayoría del territorio es una opción adicional. Ello implicaría un incremento general de biomasa y una contribución a los bienes y servicios asociados a las tierras marginales, en términos de regulación hidrológica, protección frente a la erosión y biodiversidad. Para que se cumplieran dichos procesos sería deseable alguna clase de protección o control.