EROSIÓN HÍDRICA DE SEMILLAS EN RELACIÓN CON SU FORMA Y TAMAÑO

A. CERDÀ, N. GARRIGÓS y P. GARCÍA-FAYOS

Centro de Investigaciones sobre Desertificación-CIDE (CSIC, Universitat de València, Generalitat Valenciana). Camí de la Marjal, s/n, 46470 - Albal, València. Acerda@uv.es

Abstract. Soil erosion is very intense under bare o scarcely covered soils. There, the vegetation should be improved by restoration, mainly on abandoned fields, road embankments, burned soil and mine spoils. Nowadays, seed sowing is the more appropriate, inexpensive, and fast technique, although the surface wash and the splash can remove the seeds after sowing. Nevertheless there were no research focussed on this topic. As a preliminary approach, seeds from 46 species were selected from open environments of the East and Southeast of the Iberian Peninsula. The seed ranged in size from 0,04 mg of *Sedum sediforme* and 70 mg of *Prunus mahaleb*. Simulated rainfall at 55,8 mm h^{-1} was performed under laboratory conditions. The results demonstrate that the length, the width, the surface, and the volume of seeds affects negatively on the seed removal rates. More complex indexes, which represent the form of the seeds such as the Flatness Index or the Circle Index did not show any statistic relationship with the seed losses.

Key words: Erosion, Seeds, Size, Form, Simulated rainfall, Laboratory.

Resumen. En ambientes con escasa o nula cubierta vegetal los procesos erosivos son muy intensos. En esos casos, la regeneración de los suelos pasa por restaurar la vegetación, especialmente en aquellas zonas alteradas por el hombre como los campos de cultivo abandonados, taludes de carretera, derrubios de minas, incendios, etc. En la actualidad, la siembra de semillas es la técnica de revegetación más barata, rápida y conservadora del suelo que se emplea. Sin embargo se encuentra con algunos inconvenientes, entre los que destaca el que las semillas se pueden ver arrastradas por la arroyada y la salpicadura inmediatamente después de su siembra, con lo que la revegetación no se producirá. A pesar de la importancia de los procesos de erosión de las semillas por la escorrentía y la salpicadura no hay estudios al respecto. En una primera aproximación al problema, se eligieron semillas de 46 especies de espacios abiertos del sudeste peninsular, con distintos tamaños (entre *Sedum sediforme*, 0,04 mg y *Prunus mahaleb*, 70 mg), sobre las que se generó lluvia simulada a una intensidad de 55,8 mm h^{-1}, en condiciones de laboratorio. Los resultados demuestran que la longitud, el peso, la superficie y el volumen de las semillas influyen negativamente sobre la tasa de remoción de semillas. Índices más complejos que representan la forma de la semilla como son el de aplanamiento o el de circularidad no muestran ninguna relación estadística con la pérdida de semillas.

Palabras clave: Erosión, Semillas, Tamaño, Forma, Lluvia simulada, Laboratorio.

INTRODUCCIÓN

La vegetación es la cubierta básica en la protección del suelo. Su escasez o falta da lugar a tasas de erosión muy altas y con ello propicia la pérdida de la sostenibilidad de los cultivos y de los ecosistemas naturales (Morgan, 1986). Esta situación es especialmente crítica en ambientes semiáridos donde la precipitación es agresiva con el suelo (Thornes, 1985; López-Bermúdez y Albadalejo, 1990). Si a esta situación estructural de escasas precipitaciones y rala vegetación se unen usos antrópicos poco favorables a la colonización y desarrollo de la vegetación, y la degradación del suelo puede ser un hecho en pocas décadas (Barrow, 1994). Casos concretos de actuaciones que propiciarían la degradación ambiental en el sudeste de la Península Ibérica en particular, y en todo el Mediterráneo en general serían, entre otros, los siguientes:

1.- **Abandono de cultivos**. Una parte importante de los campos cultivados en los años 50 quedaron durante las siguientes décadas abandonados como consecuencia de la migración de la población rural a las ciudades. Después del abandono de los campos la superficie queda sin protección, y en ellos las tasas de erosión son altas (Rodríguez *et al*., 1991; García-Ruiz *et al*., 1991).

2.- Los **incendios forestales** también crean superficies desnudas que quedan afectadas por procesos de erosión de forma muy intensa. También los incendios forestales como los campos de cultivo abandonados, han aumentado su presencia en el Mediterráneo, y con ello las superficies susceptibles de ser afectadas por procesos de erosión (Moreno y Oechel, 1994).

3. El desarrollo de una importante red viaria en los últimos diez años en España ha propiciado también un ingente desarrollo de los **taludes** de carretera, superficies muy inestables por su nula cubierta vegetal, elevada pendiente y poca consistencia del suelo, lo que da lugar a altas tasas de erosión (Reid y Dunne, 1984). De hecho, la construcción de taludes en vías de comunicación lleva aparejada una estrategia de revegetación y asentamiento del suelo, sin la cual terminaría por desmantelarse la vía construida.

4.- Un problema similar lo encontramos con los **derrubios de minas**, los cuales en caso de no ser estabilizados -y en ello juega un papel fundamental la vegetación- pueden provocar graves problemas de contaminación y de riesgo a causa de los movimientos en masa y las elevadas escorrentías generadas (Nicolau, 1992).

Los cuatro casos arriba mencionados no son en absoluto persistentes en el tiempo. En todos ellos, especialmente en los campos abandonados y en los incendios, la regeneración de la vegetación y de los suelos es importante e incluso rápida, con lo que las tasas de escorrentía y erosión se reducen (Naveh, 1994; Walsh *et al*., 1995). Más complicado es el proceso de regeneración de los derrubios de minas por el tipo de substrato, mientras que en los taludes el mayor problema está en la trascendencia de su rápida estabilización para la conservación de las infraestructuras construidas. Todo este proceso de regeneración se complica en ambiente semiáridos, y más en aquellos, como el mediterráneo, afectados por largos periodos de sequía y una estación seca y muy cálida (verano), donde la lluvia es prácticamente nula y las tasas de evapotranspiración superan con facilidad los 3 mm dia^{-1}.

Ante estas condiciones, es obvio que una regeneración rápida de la cubierta vegetal tras las actuaciones antes mencionadas (campos de cultivo abandonados, taludes de carretera, derrubios de minas, incendios) es fundamental para impedir la degradación de los suelos. Hasta el momento, las técnicas más utilizadas para la revegetación se han basado

en la plantación de árboles, especialmente en zonas incendiadas y en los campos de cultivos abandonados. El matorral cada vez esta siendo reivindicado más como un eficiente protector del suelo en el sudeste español (Thornes, 1980; Andreu *et al*., 1998; Puigdefábregas, 1996; Castillo *et al*., 1997; Bochet *et al*., 1998) y por ello se está ganando un sitio entre las especies utilizadas, especialmente en ambientes muy degradados. Incluso las herbáceas han aumentado proporcionalmente su presencia en los planes de reforestación, sobre todo en los derrubios de minas y en los taludes de carretera, donde son indispensables para un rápido recubrimiento del suelo. Dos aplicaciones de gran interés son aquellas dedicadas a la protección de urgencia tras incendios de elevada intensidad (Bautista *et al*., 1996), o en áreas de badlands (Guardía y Ninot, 1998), donde las tasas de erosión son muy elevadas.

Ese paulatino cambio en el tipo de vegetación utilizada en los planes de revegetación: de arboles a arbustos, y de éstos a herbáceas, ha hecho que las técnicas de aplicación cambien de forma ostensible. Se siguen utilizando técnicas de plantación a mano o con maquina, pero el paso de la planta a la semilla hace que la regeneración de la vegetación a partir de la siembra esté cada vez más extendida. Además, la siembra -especialmente la aérea- minimiza la alteración del suelo que supone la plantación y el tránsito de personal y maquinaria con otras técnicas que se han mostrado más agresivas.

No obstante, la aplicación de semillas conlleva un riesgo importante ya que al ser depositadas sobre la superficie del suelo pueden ser erosionadas por las escorrentías y removidas por la salpicadura. Este estudio pretende verificar la susceptibilidad de las semillas a ser removidas y determinar la influencia del tamaño y la forma de éstas en el proceso de remoción. Para ello se ha seleccionado un amplio abanico de especies, con formas y tamaños distintos con el fin de determinar cuales son más resistentes a la erosión hídrica. En otros estudios previos ya se determinó la influencia de variables hidrológicas y topográficas en el control del proceso de erosión de las semillas (Cerdà y García-Fayos, 1997). En este caso, el estudio se circunscribe al laboratorio con el fin de determinar variables no externas, aquellas propias de las semillas que pudiesen influir en los resultados. Se han descartado las especies cuyas semillas segregan mucílagos y las que poseen apéndices, ya que estas características pueden afectar su susceptibilidad frente al proceso de erosión (García-Fayos y Cerdà, 1997).

Este estudio ayudará a entender los procesos de erosión de las semillas por la lluvia y a diseñar protocolos de siembra de semillas para regenerar superficies degradadas. Además, una selección de las especies más estables ante la lluvia potenciará políticas de revegetación mediante siembra, lo que facilitará la protección del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Se seleccionaron 46 especies con distintos formas y tamaños de semillas recolectadas en ambientes abiertos del este y sudeste de la Península Ibérica. La nomenclatura de las especies sigue los volúmenes de Flora Ibérica publicados hasta 1999 (Castroviejo, 1986-1999), y para el resto se utilizó la obra de Mateo y Crespo (1998). El *Jardí Botànic* de Valencia y el *Banc de Llavors* de la *Conselleria de Agricultura* suministraron parte de las semillas, mientras que las restantes fueron recolectadas y seleccionadas para el fin aquí diseñado. Para cada especie, el **tamaño** de las semillas se ha caracterizado a partir de los siguientes parámetros:

– **Peso** (P): expresado en miligramos.
– **Longitud** (L): eje mayor (mm).
– **Anchura** (A): eje medio (mm).
– **Altura** (T): eje menor (mm).
– **Superficie** (S): longitud por anchura (L x A).

– **Volumen** (V): superficie por altura (S x T).

– **Densidad** (D): cociente entre el peso y el volumen (P/V).

– **Ratio** S/P: cociente entre la superficie y el peso (S/P).

En cuanto a los índices de forma se han seleccionado tres:

– **Índice de aplanamiento** (F.I.). F.I. = (L+A)/2T (Poesen, 1987). Informa del grado de esfericidad de la semilla. En el caso de una semilla esférica el valor sería de 1, y cuanto mayor fuese el índice más lejos de la esfera estaría la forma de la semillas, es decir, más aplanada.

- **Índice de circularidad**: Ec = L (Longitud) / T (Anchura). El valor 1 indicaría que la semilla es perfectamente circular, mientras que valores mayores corresponden a formas distintas del circulo.

Las medidas antes reseñadas fueron tomadas con un micrómetro ocular de sensibilidad 0,01 cm., sobre 20 semillas. Para determinar el peso se utilizó una balanza de precisión con sensibilidad de 0,1 mg. En el caso de semillas con pesos inferiores a 2 mg. se pesaron lotes de hasta 50 semillas.

Los experimentos con lluvia simulada se llevaron a cabo con el aparato diseñado por Kamphorst (1987). Este instrumento se compone de un depósito situado sobre una base cuadrada (625 cm^2) sobre el que se produce la lluvia mediante 49 goteros, los cuales producen una lluvia de distribución uniforme (490 cm^2). Las gotas producidas con agua destilada desde 40 cm de altura alcanzan los 5,9 mm de diámetro y la velocidad terminal es de 2.8 m s^{-1}, con intensidades medias de 55,8 mm h^{-1} en los experimentos aquí desarrollados.

Para cada especie se realizaron 5 experimentos con 50 semillas. Las semillas se colocaron sobre un papel de lija con una rugosidad de 320 micras, el cual fue elegido con el fin de evitar que las semillas esféricas rodasen durante su colocación, ya que la pendiente seleccionada fue del 20 %. La duración del experimento fue de 25 minutos lo que equivale a un chaparrón de intensidad alta con un periodo de retorno de entre 2 y 5 años en gran parte del sudeste peninsular (Elías y Ruiz, 1979). Para cada especie la tasa de pérdidas utilizadas para los análisis estadísticos fue la media de los cinco experimentos. Todos los análisis se realizaron con el paquete SPSS v.9.0.

RESULTADOS

Tamaños y formas de las semillas.

Las 46 especies seleccionadas se caracterizan por tener semillas muy variables en cuanto a tamaños y formas. La **longitud** varía entre 1 mm de *Phagnalon saxatile* y 12 mm de *Psolarea bituminosa*. El **peso** fue aún más variado. 11 de las 46 semillas seleccionadas superan los 10 mg de peso, incluso llegaron a 70 mg en *Prunus mahaleb*. Las semillas de menor peso fueron las de *Sedum sediforme* (0,04 mg). La **superficie** de las semillas oscila entre los 0.002 cm^2 de *Phagnalon saxatile*, y los 0,595 cm^2 de *Prunus mahaleb*. El **volumen** de las semillas más grandes fue de 0,216 cm^3 en *Osyris quatripartita*, mientras que los volúmenes menores fueron *Cistus ladanifer*, *Cistus clusii*, *Erica multiflora*, *Phagnalon saxatile* y *Sedum sediforme* (todas ellas con volúmenes inferiores a 0,0005 cm^3). La **densidad** de las semillas también fue muy variable. La de mayor densidad fue la de *Cistus monspeliensis* (1,39 g cm^{-3}) y la de menor fue *Dianthus broteri* (0,13 g cm^{-3}). La razón de esta gran disparidad (10 veces más *Cistus monspeliensis* que *Dianthus broteri* cuando los pesos son casi iguales) se debe en parte a que el método de determinación del volumen se ve afectado por la forma de la semilla. Por lo que respecta a la **ratio S/P** se encontraron grandes variaciones: 120 para *Sedum sediforme*, 88 para *Erica multiflora* frente a valores de 5,3 para *Pistacea lentiscus* y 5,99 de *Juniperus oxycedrus*.

En cuanto a los índices de la forma

Cistus salvifolius y *Osyris quadripartita* presentaron un índice de aplanamiento 1, es decir son perfectamente esféricas. En cambio, las semillas *Brachypodium retusum* son muy aplanadas (F.I. = 8,1). Entre ambas hay una gran diversidad de formas, aunque el 50 % de las especies presentan semillas con índices de esfericidad entre 1 y 2. El índice de **Circularidad** oscila entre *Brachypodium retusum* (11,60 veces más larga que ancha) y *Osyris quadripartita* y *Cistus monspeliensis* (1,00), que son esféricas.

La pérdida de semillas

Las pérdidas de semillas fueron muy variadas, oscilando entre 0 y 92,8 %. En término medio sólo el 14 % de las semillas fueron erosionadas, pero en algunos casos las pérdidas fueron nulas (*Juniperus thurifera* o *Pistacia terebinthus*) (Tabla 1). En otras especies las pérdidas de semillas fueron muy importantes: 92,8 % en *Erica multiflora* y 81,60 % en *Phagnalon saxatile*. La figura 1 muestra como la pérdida de semillas presenta una distribución log-normal. Así, sólo 2 de las 46 especies utilizadas superan un 80 % de pérdidas y otras 2 no sufrieron ninguna pérdida. 10 especies superan el 20 % de pérdidas de semillas, y en 20 de las 46 se pierden más del 10 % de

TABLA 1. Pérdida de semillas (%). DES, Desviación estándard

Especie	**Pérdidas (%)**	**DES**	***Especie***	**Pérdidas (%)**	**DES**
Erica multiflora	92,80	1,74	*Anthyllis cytisoides*	6,00	0,89
Phagnalon saxatile	81,60	3,71	*Coronilla juncea*	5,60	2,04
Sedum sediforme	32,00	2,61	*Pistacea lentiscus*	5,20	2,15
Osyris quadripartita	30,80	0,49	*Daphne gnidium*	5,20	1,62
Convolvulus lanuginosus	28,80	3,14	*Dianthus broteri*	5,20	1,02
Teucrium lepicephalum	28,00	4,05	*Buxus sempervirens*	4,00	1,67
Cistus ladanifer	25,20	2,06	*Ononis tridentata*	4,00	1,26
Cistus clusii	24,80	4,22	*Pinus nigra*	3,60	1,33
Cistus laurifolius	24,40	2,14	*Pinus halepensis*	3,60	0,75
Phillyrea angustifolia	22,40	1,83	*Teucrium homotrichum*	3,20	0,80
Cistus populifolius	19,60	4,26	*Prunus mahaleb*	2,80	0,80
Satureja obovata	18,40	3,97	*Juniperus phoenicia*	2,40	1,17
Anagallis arvensis	16,80	2,73	*Dorycnium pentaphyllum*	2,40	0,98
Digitalis obscura	16,00	3,35	*Bupleurum fruticescens*	2,40	0,75
Gypsophila hispanica	14,00	4,00	*Ephedra fragilis*	2,00	0,89
Cistus monspeliensis	13,20	1,50	*Psolarea bituminosa*	2,00	0,63
Teucrium capitatum	12,80	1,02	*Cytisus heterochious*	2,00	0,63
Dactylis hispanica	11,20	2,33	*Juniperus oxycedrus*	1,20	0,80
Centaurea intybacea	11,20	2,33	*Hedysarum confertum*	1,20	0,80
Cistus albidus	10,40	2,48	*salvia officinalis*	1,20	0,49
Cistus salvifolius	8,40	1,72	*Pistacia terebinthus*	0,00	0,00
Brachypodium retusum	7,60	2,14	*Juniperus thurifera*	0,00	0,00
Amelanchier ovalis	6,40	1,47	**Media**	**13,65**	**1,80**
Arctostaphyllos uva-ursi	6,00	2,10	**Desviación standard**	**18,41**	**1,16**
			Coeficiente de variación (%)	**134,83**	**64,64**

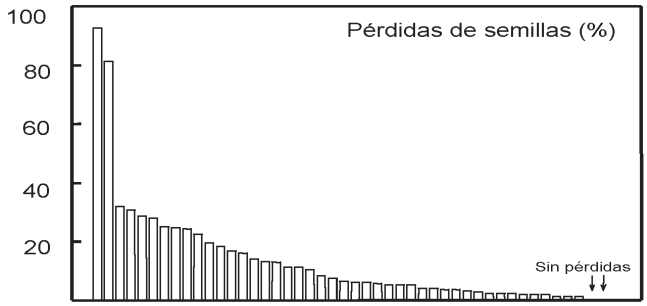

FIGURA 1. Distribución de las pérdidas de semillas (%)

las semillas. Por lo tanto más de la mitad de las especies utilizadas (26 de 46) presentan tasas de pérdidas de semillas por debajo del 10 % e incluso 17 de las 46 tienen pérdidas por debajo del 5 %.

De todos los parámetros utilizados los que mejor predicen la tasa de pérdidas fueron el peso, la superficie y el volumen (Fig. 2), aunque el porcentaje de explicación no superó en ningún caso el 70 %. La relación de

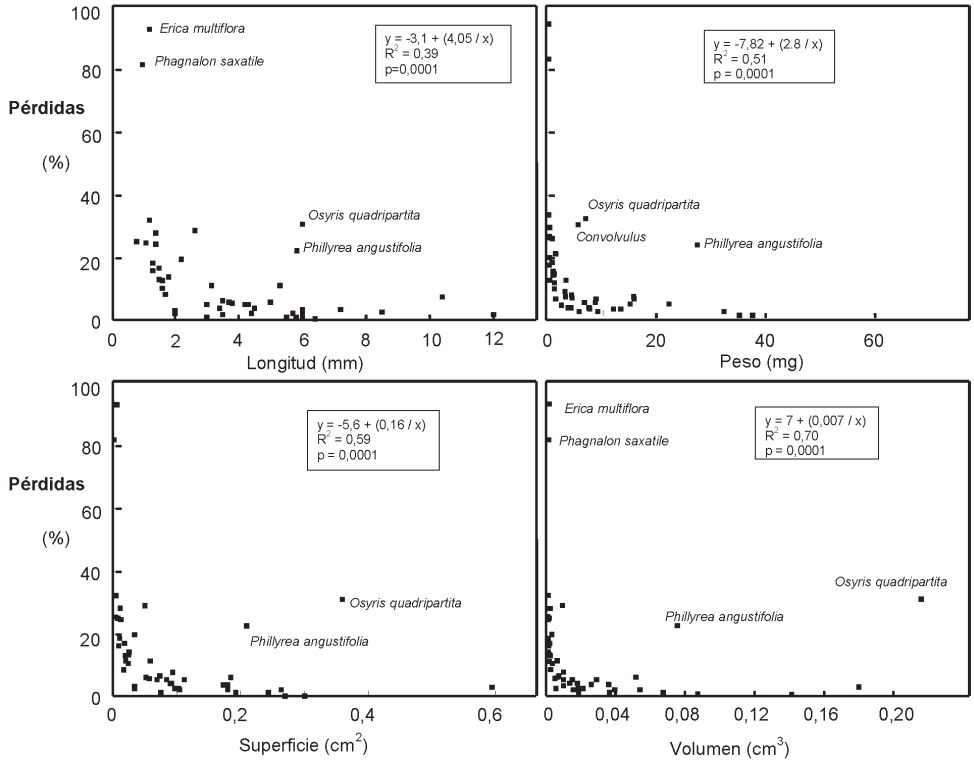

FIGURA 2. Relación entre la longitud, el peso, la superficie y el volumen con la pérdida de semillas. Para cada modelo se presenta la ecuación de regresión de mejor ajuste, el valor de R^2 y su significación.

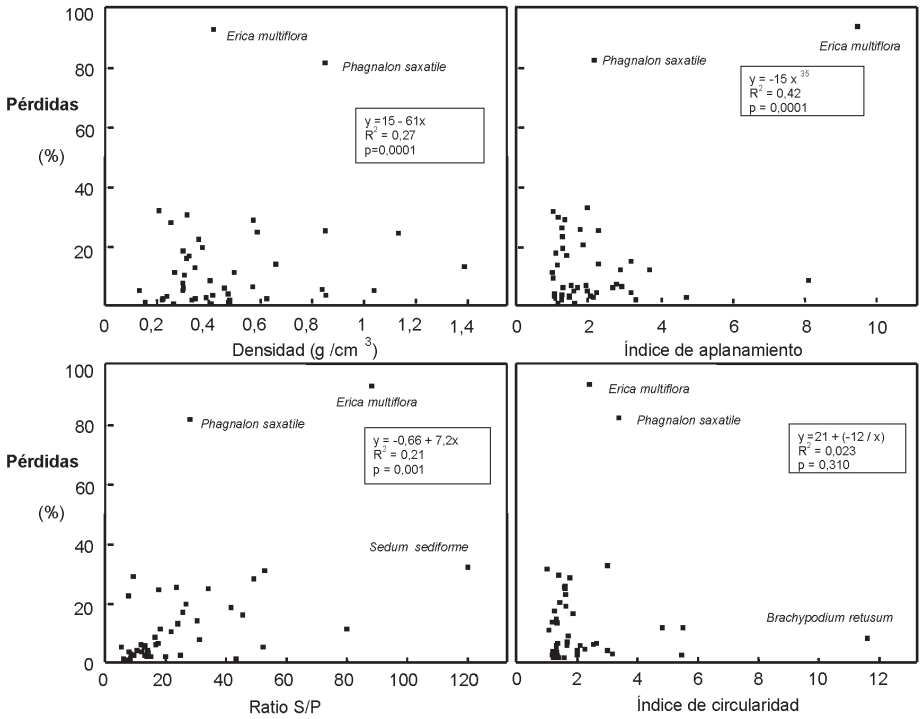

FIGURA 3. Relación entre los índices de aplanamiento, índices de circularidad, Ratio Peso/Superficie y Densidad con la pérdida de semillas. Para cada modelo se presenta la ecuación de regresión de mejor ajuste, el valor de R^2 y su significación

estos parámetros con la tasa de pérdidas fue en todos los casos logarítmica y negativa. Es decir, que las pérdidas de semilla disminuyen con el tamaño de las mismas. De todos los índices de forma ninguno presentó una relación significativa con las pérdidas (Fig. 3).

DISCUSIÓN

Los estudios de Bagnold (1979) sobre la física de la remoción, transporte y sedimentación de los granos de arena indica que cuanto menor es la partícula mayor es su recorrido y más veces es movilizada durante el proceso de erosión. Una situación similar la encontramos con las semillas estudiadas en este trabajo. A menor tamaño, mayores pérdidas. Pero la semilla no es una partícula inerte y además es mucho más variable en forma y tamaños que las arenas. No obstante, la forma de la semilla se relacionó en términos generales en nuestros experimentos con las pérdidas. Sin embargo, en nuestro trabajo, la variedad de semillas utilizadas hace que se produzcan comportamientos específicos. Uno de estos casos es el de *Osyris quadripartita*, cuyas semillas presentan una alta tasa de pérdida (31 %) a pesar de poseer un tamaño y peso intermedios. No obstante su densidad es baja y es una semilla esférica con lo cual puede rodar. Y algo semejante ocurre con *Phillyrea angustifolia* (22 % de pérdidas), también de forma casi esférica.

Una visión de las pérdidas de semillas

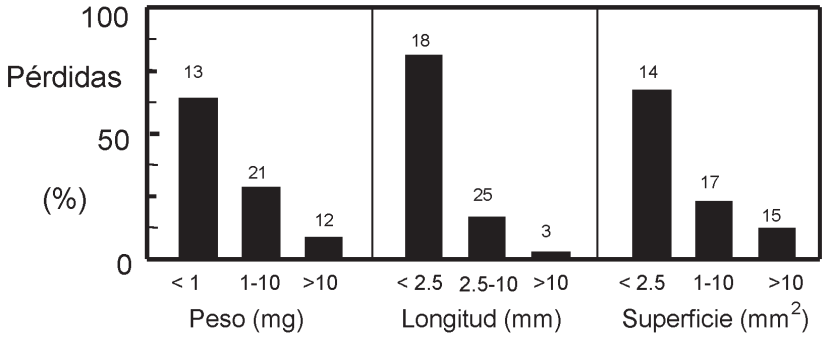

FIGURA 4. Distribución de frecuencias de las pérdidas según rangos de longitudes, pesos y superficies de las semillas seleccionadas. Sobre las barras se indica el número de especies que se incluye en cada rango

desde su tamaño (peso y longitud) por rangos ejemplifica el gran control que ejercen estas variables en la erosión de las semillas. La figura 4 presenta la proporción de pérdidas de semillas según rangos de longitud, peso y superficies de las semillas. En ellas se observa como las semillas que están en el rango de tamaños menores presenta pérdidas que son superiores a los otros dos rangos juntos.

La influencia del tamaño de las semillas en su redistribución espacial ha sido puesta de manifiesto en otros contextos. La capacidad de formar una reserva de semillas permanentes en el suelo está muy ligada al tamaño (Thompson, 1987; Venable y Brown, 1988). Así, para las especies de la flora templada en general, un pequeño tamaño de las semillas se relaciona con una forma más compacta y ambas son características que favorecen el enterramiento de las semillas, escapar de los predadores y poseer mecanismos de letargo de la germinación (Grime *et al*., 1988; Thompson *et al*., 1993; Rees, 1996).

Considerando también los resultados obtenidos en este trabajo, podríamos decir que un pequeño tamaño de semilla favorece el desplazamiento de las mismas bien dentro del perfil del suelo ó bien ladera abajo. El primer caso se daría más fácilmente cuando la estructura del suelo sea irregular, con grietas y mantillo o piedras (Chambers *et al*., 1991), y cuando la lluvia no sea torrencial. Mientras que el segundo caso seria más frecuente en suelos compactos o compactados artificialmente (p. ej. taludes de obras públicas) y con regímenes de lluvia torrenciales.

CONCLUSIONES.

Los resultados de este trabajo muestran una relación negativa y logarítmica entre el tamaño de las semillas y su pérdida por erosión hídrica bajo condiciones artificiales. En cambio, la forma de dichas semillas no muestra una relación clara con las pérdidas. Este trabajo es pionero en el estudio de las pérdidas de semillas del suelo, ya que hasta el momento la erosión del suelo sólo se ha prestado atención a los sedimentos y a los nutrientes. Por ello, se hace necesario una ampliación de la base de datos sobre la pérdidas de semillas a causa de la erosión hídrica, que contemple la interacción entre las variables de las semillas con la intensidad de la lluvia, la morfología superficial del suelo, la pendiente y la cubierta vegetal, entre otros.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido financiado por el proyecto FEDER IFD97-0551 "*Mejora de la tecnología de obtención,*

almacenamiento, germinación y uso de semillas de especies silvestres utilizadas en los planes de reforestación y revegetación de la Comunidad Valenciana" y por un contrato de reincorporación de Doctores y Tecnólogos a grupos de investigación en España concedido por la Secretaría de Estado de Universidades, Investigación y Desarrollo a A. Cerdà, y por una Beca CSIC de Iniciación a la Investigación a N. Garrigós. Queremos agradecer a Florencio Ingelmo su colaboración con el simulador de lluvia, a M.J. Molina por la recolección de semillas y al "Banc de Llavors" de la Conselleria de Medi Ambient y al Jardí Botánic de València por el suministro de las semillas de algunas especies.

REFERENCIAS

Andreu, V.; Rubio, J.L. y Cerni, R. (1998). Effects of Mediterranean shrub cover on water erosion (Valencia, Spain). *Journal of Soil and Water Conservation 53(2),* pp. 112-120.

Bagnold, R.A. (1979). Sediment transport by wind and water. *Nordic Hydrol*., 10, 309-322.

Barrow, C.J. (1994). *Land Degradation*. Cambridge University Press, Cambridge, 295 pp.

Bautista, S., Abad, N., Llovet, J., Bledé, C. Ferran, A., Ponce, J.M., Alloza, J.A., Bellot, J. y Vallejo, V.R. (1996). Siembra de herbaceas y aplicación de mulch para la conservación de suelos afectados por incendios forestales. En Vallejo, V.R. (Ed.) *La restauración de la cubierta vegetal de la Comunidad Valenciana*. CEAM, Valencia, 395-4334.

Bochet, E.; Rubio, J.L. y Poesen, J. (1998). Relative efficiency of three representative matorral species in reducing water erosion at the microscale in a semi-arid climate (Valencia, Spain). *Geomorphology 23*, pp. 139-150.

Castillo, V.M.; Martínez Mena, M. y Albadalejo, J. (1997). Runoff and soil loss response to vegetation removal in semiarid environment. *Soil Science Society of America Journal 61*, pp. 1116-1121.

Castroviejo, S. (1986-1999). *Flora Ibérica*. Vol. I a VIII (VII p.p.) CSIC, Madrid.

Cerdà, A. y García-Fayos, P. (1997). The influence of slope angle on sediment, water and seed losses on badland landscapes. *Geomorphology* 18:77-90.

Chambers, J.C., MacMahon, J.A. y Haefner, J.H. (1991). Seed entrapment in alpine ecosystems: effects of soil particle size and diaspore morphology. *Ecology*, 72 (5), 1668-1677.

Elias, J. y Ruiz, L. (1979). *Precipitaciones máximas en España*. Ministerio de Agricultura, Madrid, 545 p.

García-Fayos, P. y Cerdà, A. (1997). Seed losses by surface wash in degraded Mediterranean environments. *Catena 29*, pp. 73-83.

García-Ruiz, J.M., Ruiz-Flaño, P., Lasanta, T., Monserrat, G., Martínez-Rica, J.P. y Pardini, G. (1991). Erosion in abandoned field, what is the problem?. En Sala, M., Rubio, J.L. y García-Ruiz, J.M. (Eds.). *Soil Erosion Sudies in Spain*, 97-108.

Grime, J.P., Hodgson, J.G. y Hunt, R. 1988. *Comparative Plant Ecology. A Functional Approach to Common British Species*. Unwin-Hyman, London.

Guàrdia, R. y Ninot, J.M. (1998). Assaigs de sembra d'*Achnatherum calamagrostis* en una àrea aixaragallada de Vallcebre (Berguedà). *Butll. Inst. Cat. His. Nat*., 66, 115-127s ai

Kamphorst, A. (1987). A small rainfall simulator for determination of soil erodibility.

Netherlands *Journal of Agricultural Soil Science*, 35, 407-415.

López-Bermúdez, F. y Albadalejo, J. (1990). Factores ambientales de la degradación del suelo en el área mediterránea. En Albadalejo, J., Stocking, M.A. y Díaz, E (Eds.): *Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas*, 15-45, CSIC-CEBAS, Murcia.

Mateo, G. y Crespo, M.B. (1998). *Manual para la determinación de la flora valenciana*. Monografías de flora Montibérica nº 3, Alicante-Valencia, 493 pp.

Moreno, J.M. y Oechel, W. C. (1994). *The role of fire in Mediterranean-Type ecosystems*. Springer-Verlag, New York, 201 pp.

Morgan, R.P.C. (1986). *Soil Erosion and Conservation*. Longman, New York, 298 pp.

Naveh, Z. (1994). The role of fire and its management in the conservation of mediterranean ecosystems and landscapes. En Moreno, J.M. y Oechel, W. C. (Eds.), *The role of fire in Mediterranean-Type ecosystems*, 163-186, Springer-Verlag, New York.

Nicolau, J.M. (1992). *Erosión hídrica superficial en taludes de escombreras en ambiente mediterráneo continental. Cuenca de Utrillas*. Teruel. Tesis Doctoral Inédita. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.

Poesen, J. (1987). Transport of rock fragments by rill flow-a field study. *Catena Supplement*, 8, 35-54.

Puigdefábregas, J. (1996). El papel de la vegetación en la conservación del suelo en ambientes semiáridos. En: T. Lasanta & J.M. García Ruiz (Eds.), *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. Instituto de Estudios Riojanos, Sociedad Española de Geomorfología, Logroño, pp. 79-87.

Rees, M. (1996). Evolutionary ecology of seed dormancy and seed size. *Phil. Trans. R. Soc. Lon.*, 351, 1299-1308.

Reid, L.M. y Dunne, T. 1984. Sediment production from forest road surfaces. *Water Resources Research*, 20, 11: 1753-1761.

Rodríguez, J, Pérez, R. y Cerdà, A. (1991). Colonización vegetal y producción de escorrentía en bancales abandonados: Vall de Gallinera, Alicante. *Cuaternario y Geomorfología*, 5, 119-129.

Thompson, K. (1987). Seed and seed banks. *New Phytologist*, 106, 23-24

Thompson, K., Band, S.R. y Hodgson, J.G. 1993. Seed size and shape predict persistence in soil. *Functional Ecology*, 7, 236-241.

Thornes, J.B. (1985). The ecology of erosion. *Geography*, 70 (3), 222-36.

Venable, D.L. y Brown, J.S. (1988). The selective interactions of dispersal, dormancy and seed size as adaptations for reducing risks in variable environments. *The American Naturalist*, 131. 360-384.

Walsh, R.P.D., Boakes, D.J., Coelho, C. de O.A., Ferreira, A.J.D., Shakesby, R.A. y Thomas, A.A.D. (1995). Post-fire land use and management and runoff responses to rainstorms in northern Portugal. En McGregor, D.F.M. y Thomson, D.A. (Eds.), *Geomorphology and land management in a changing environment*. John Wiley and Sons, Chichester, 282-308.