

MASTER INVESTIGACIÓN
EN INGENIERÍA PARA EL
DESARROLLO
AGROFORESTAL

TRABAJO FIN DE MASTER

Sujeción de taludes en instalaciones fotovoltaicas mediante el
empleo de especies arbustivas



Universidad de Valladolid

Pablo Lázaro Gredilla

Tutor: Luis Manuel Navas Gracia

03/07/2012



SUJECIÓN DE TALUDES EN INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS MEDIANTE EL EMPLEO DE ESPECIES ARBUSTIVAS

Pablo Lázaro-Gredilla

Máster en Investigación para el Desarrollo Agroforestal, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias (ETSIIAA), Universidad de Valladolid, Avda. de Madrid 57, 34004 Palencia, España
e-mail: lazarop@gmail.com

Resumen: El objetivo de este trabajo fue determinar si la implantación de especies arbustivas puede minimizar el movimiento de tierra ocurrido en un talud producto de la construcción de una instalación solar fotovoltaica. Para ello se implantaron en 2008 diversas especies arbustivas y se tomaron diversas medidas de movimiento de tierra y superficie foliar para poder determinar qué especie podía resultar más adecuada. Desde abril de 2011 hasta abril de 2012 se registraron nuevas mediciones y se compararon con las previas. No se pudo encontrar relación directa entre el movimiento de tierra producido y la superficie foliar, ni resultó evidente que la vegetación implantada fuera más eficaz minimizando el movimiento de tierra que la nacida espontáneamente en parcelas testigo.

Palabras clave: erosión, fotovoltaicas, suelo, sujeción, talud

Abstract: *The aim of this study was to determine whether establishment of shrub species can minimize the land displacements occurred in an embankment as a product of the construction of a solar photovoltaic installation. To this end several shrub species were established in 2008 and several measurements of land displacement and leaf surface were taken in order to determine which species was the most appropriate. From April 2011 to April 2012 new measurements were recorded and compared with the previous ones. No direct relationship between land displacement and leaf surface could be found, and no evidence showing that the established vegetation was more effective minimizing land displacement than that which spontaneously grew on the control plot was found.*

Keywords: erosion, photovoltaic, soil, fixing, slope

1. ANTECEDENTES

La implantación de instalaciones solares fotovoltaicas sobre el terreno frecuentemente implica retirar la cubierta vegetal original así como algunos horizontes del terreno, movimiento de tierras y creación de taludes, lo que provoca una importante desestructuración del suelo y posterior erosión del mismo.

Tratando de dar una solución a este problema se consideró la implantación de especies vegetales como una opción muy interesante por diversos motivos que más adelante se exponen.

Este estudio de investigación comenzó en 2008. En aquel trabajo se estudió el periodo comprendido entre diciembre de 2008 y marzo de 2011. En el presente trabajo se estudió la evolución producida durante un año más.

1.1. Identificación, definición y cuantificación del problema

De los procesos de degradación, la erosión hídrica (De Alba *et al.*, 2001) es un problema a escala europea y afecta a 26 millones de hectáreas en la Unión Europea, mientras que la salinización afecta a un millón de hectáreas, principalmente en los países mediterráneos.

La erosión se muestra por tanto como una problemática a nivel mundial ya que el suelo edáfico (la parte superior del terreno o suelo agrícola) es un recurso no renovable de importancia clave y su erosión la causa principal de los procesos de desertificación.

La Península Ibérica es la región de la Unión Europea con la problemática erosiva más grave (Cabello *et al.*, 1998), alcanzando el proceso de erosión un valor de 67,14% del territorio según el Programa de Acción Nacional contra la Desertificación. España es, por tanto, el país europeo con más interés en el desarrollo de un marco comunitario sobre esta temática.

La modernización va unida al avance de la sociedad y con ello a un mayor consumo de energía. La adjudicación de espacios para la producción de esta energía afecta al suelo directamente en el caso de los



“huertos solares”, consistentes en sustituir la producción agrícola de estos suelos por producción eléctrica a través de módulos fotovoltaicos.

La implantación de estas instalaciones requiere parcelas que a menudo han sido sometidas a fuertes movimientos de tierra que buscan la nivelación apropiada. Esos desmontes y terraplenes destruyen la estructura de ese suelo, anteriormente agrícola (en la mayoría de los casos) dando como resultado en muchos casos taludes con un suelo muerto y sin una estructura adecuada.

Un suelo desnudo queda expuesto a los agentes atmosféricos (lluvia, viento, diferencias de temperaturas) y es más fácilmente erosionable facilitando la incorporación de partículas y su desplazamiento en suspensión en el aire constituyendo un tipo de contaminación (polvo). Esos sedimentos del suelo, acaban antes o después y en mayor o menor cantidad en las aguas superficiales, produciendo turbidez. De esa forma se dificulta la penetración en el agua de la luz que las plantas necesitan para la fotosíntesis y se deterioran los hábitats acuáticos y la calidad paisajística (Christensen *et al.*, 1995). Cuando los materiales arrastrados llegan a aguas embalsadas contribuyen a su eutrofización gracias a los nutrientes que incorporan, sobre todo fosfatos y nitratos (Kessavalou y Walters, 1999).

A su vez, la disminución de la materia orgánica del suelo deteriora su estructura, estabilidad de agregados, actividad biológica, y capacidad de retención de agua y nutrientes haciéndose cada vez más vulnerable a la erosión, compactación, acidificación, salinización, carencia de nutrientes y sequía (European Environment Agency, 1998; García y Hernández, 1997, Lacasta *et al.*, 2006).

La exposición a la intemperie afecta especialmente a este tipo de suelos desnudos y desestructurados en los que el aire traslada gran cantidad de polvo que es en parte depositado sobre la superficie de los captadores solares.

Como consecuencia de esta suciedad parte de la radiación solar no llega a las células, perdiéndose por reflexión en la cara externa del vidrio que las cubre (Martín, 1999).

1.2. Beneficios que se espera obtener

Puede hablarse de 2 grupos de beneficios que se esperan obtener: agronómicos y ambientales.

1.2.1. Beneficios agronómicos

Los residuos vegetales de una cubierta vegetal retornarán al suelo y se irán descomponiendo lentamente e incorporando al horizonte más superficial, consiguiendo incrementar el nivel de materia orgánica del mismo (Carter, 2002; Howard *et al.*, 2002; Saber y Mrabet, 2002) y, por tanto, su fertilidad (Crovetto, 1992; Sainju *et al.*, 2002). Esta cubierta y la incorporación parcial de los residuos en los primeros

centímetros, permiten crear una protección contra la atmósfera y la descomposición de éstos en condiciones favorables en aerobiosis (Urbano, 1995, Olaoye, 2002).

Estos beneficios edáficos son particularmente útiles en ambientes semiáridos, tanto por la mejora en la fertilidad como por el aumento de la capacidad de retención de agua. De esta forma se consigue una mejora perceptible de la estructura del suelo (Ding *et al.*, 2002). Se conserva mejor la porosidad debido a las galerías que realizan las lombrices de tierra así como por las mismas raíces y grietas que se forman en el suelo por los ciclos de humectación-deseccación que sufre. Todo esto contribuye a aumentar la porosidad del suelo de una forma natural y más estable.

Gracias a la vegetación y al mayor contenido en materia orgánica y de carbono en el suelo (Baumhardt y Jones, 2002) se produce una mayor estabilidad estructural y de esta forma se reduce el arrastre de partículas por las distintas formas de erosión (Castro *et al.*, 2002; Janosky *et al.*, 2002), especialmente, en zonas que se encuentran en pendiente (Pardo *et al.*, 2009), a la vez que se incrementa la infiltración.

Las propiedades y funciones de la materia orgánica en el suelo son muchas. Puede dividirse en propiedades biológicas, físicas y químicas (Reicosky, 2003). Entre las propiedades biológicas puede decirse que funciona como reservorio de energía metabólica a la vez que es una fuente de macronutrientes. Proporciona resistencia al ecosistema frente a perturbaciones y regula la estimulación e inhibición de las actividades enzimáticas y el crecimiento de plantas, microorganismos y rizobacterias (Epperlein, 2003; Feng *et al.*, 2003; González-Fernández, 2003; Fernández *et al.*, 2005).

Entre sus propiedades físicas se encuentra la de dar estabilidad a la estructura del suelo (Castro *et al.*, 2002) mejorando la capacidad de retención de humedad y la aireación así como disminuyendo la solubilidad y con ello la retención de sustancias en el suelo (pesticidas, por ejemplo).

Como propiedades químicas de la materia orgánica hay que hablar del efecto tampón en el paso de acidez a basicidad y a la inversa (Bolan *et al.*, 2006; Dakora *et al.*, 2002; Hoberg *et al.*, 2005). Puede alterar la biodegradabilidad, actividad y persistencia de los pesticidas en el suelo. Por sus características de carga retiene elementos minerales y orgánicos reduciendo las pérdidas de micronutrientes, metales, etc., lo cual es interesante para el mantenimiento de las especies implantadas.

Con una cubierta vegetal el suelo está protegido de la erosión, de la lluvia y de la escorrentía de las aguas. Los agregados del suelo, la materia orgánica y el nivel de fertilidad se incrementan, disminuye la contaminación de las aguas superficiales, se capta CO₂ de la atmósfera y aumenta la biodiversidad (García-Torres y González, 1997).

Un suelo con cubierta vegetal constituye un sistema de producción sostenible (Brennan *et al.*, 2009; Brennan *et al.*, 2011) en el que no sólo se conservan,



sino que se refuerzan, los propios recursos naturales y se incrementa la variedad y el número de fauna, flora, organismos y microorganismos del suelo.

De esta forma se mantiene la capacidad productiva de los suelos y no peligra el medio de vida de las futuras generaciones de agricultores (Hernanz, 1997).

1.2.2. Beneficios medioambientales

Además de los agronómicos, la erosión tiene efectos medioambientales negativos, como la colmatación de aguas superficiales y colmatación de embalses. Al disponer de una cubierta vegetal y reducir la erosión del suelo, se mejora la calidad de las aguas superficiales al reducirse los sedimentos de suelo en las mismas.

Por otro lado, una cobertura vegetal constituye una forma de mitigar el cambio climático y un freno contra el calentamiento global del planeta (Schlesinger, 2000). La Agencia Europea de Medio Ambiente considera las emisiones de gases de efecto invernadero la primera preocupación actual y del futuro ya que estima que la temperatura media anual de Europa está aumentando (European Environment Agency, 1998). La solución, por tanto, estriba en controlar las emisiones de CO₂ debidas a la combustión de combustibles fósiles y por otro lado en la posibilidad que ofrece la captación de CO₂ por el suelo. Así, como dice el protocolo de Kyoto, el secuestro de carbono atmosférico en los suelos agrícolas está siendo considerado como una posibilidad para remediar este problema (West y Marland, 2002) llegando incluso a plantearse el pagar por toneladas de CO₂ retenidas por hectárea (t CO₂/ha).

El mantenimiento de una cobertura vegetal sobre el suelo conlleva una fijación muy importante de carbono en la materia orgánica del suelo. Al mismo tiempo, la descomposición lenta de los restos biomásicos inmoviliza una parte importante de este gas de efecto invernadero (Sánchez *et al.*, 2004), incrementando el contenido de carbono del suelo anualmente en una o más toneladas por hectárea y año. De esta manera se comporta como un sumidero de CO₂ (Kyoto Protocol, 1998).

La cobertura vegetal contribuye también a aumentar la biodiversidad. Los residuos vegetales sobre el suelo proporcionan una fuente de alimento y protección a aves y pequeños animales (codornices, perdices...) durante períodos críticos de su ciclo de vida, constituyendo una estructura viva en el suelo más estratificada, más rica y diversa (López-Fandó y Belló-Pérez, 1997; Kladvík, 2001; González-Barragán *et al.*, 2004) que contribuye a mejorar la autorregulación del ecosistema. La gran mayoría de las especies que constituyen la fauna del suelo son beneficiosas para la agricultura y contribuyen de alguna manera a la formación del suelo, a la movilización de nutrientes y al control biológico de los organismos considerados como plagas.

1.3. Resultados obtenidos en la fase anterior del ensayo

Cabe mencionar los resultados obtenidos en la fase anterior del ensayo para posteriormente poder compararlos con los obtenidos en este trabajo:

1.3.1. Superficie foliar (Intraanualmente en el primer año de establecimiento)

- Cuando la plantación acababa de ser realizada se produjeron diferencias significativas entre las fajas de diferentes especies, pero conforme pasó el tiempo y se estabilizó el talud se observó cómo sólo había diferencias significativas entre el testigo y las especies vegetales implantadas.

- Llegado el otoño, *Colutea arborescens* + *Thymus zygis* quedó clasificado en el mismo subconjunto que el testigo, esto es debido a que *Colutea arborescens* es caducifolia y *Thymus zygis* no se había implantado bien, su desarrollo no fue bueno y en algunos casos murió.

- *Santolina rosmarinifolia*, *Rosmarinus officinalis* y *Salvia officinalis* son las especies que mayor superficie foliar presentan de manera continua a lo largo de todo el año analizado.

1.3.2. Movimiento de tierra (Intraanualmente en el primer año de establecimiento)

- El movimiento de tierra producido en las diferentes fajas, tanto testigo como con diferentes especies implantadas, no presentó diferencias significativas a lo largo de todo el año analizado.

- Las especies vegetales implantadas no parecieron estar ejerciendo una acción positiva que disminuyera el movimiento de tierra frente al producido en las fajas testigo.

1.3.3. Influencia de la superficie foliar en el movimiento de tierra (Intraanualmente en el primer año de establecimiento)

- No se pudo establecer ninguna relación de proporcionalidad (ni directa ni inversa) entre la superficie foliar que cubría el terreno y el movimiento de tierra producido en este.

- Se pudo observar cómo en algunas fechas y en algunas fajas sí que disminuía el movimiento de tierra cuando aumenta la superficie foliar, pero en otras fechas dentro de las mismas fajas así como en otras fajas para cualquier fecha no, por lo que se pudo concluir que este suceso era aleatorio, y no una consecuencia de la superficie foliar.

1.3.4. Movimiento de tierra (Interanualmente desde el establecimiento)

- En el primer periodo analizado no se produjeron diferencias significativas entre las fajas con especies



implantadas y el testigo mientras que en el segundo sí que se produjeron.

- El testigo y *Colutea arborescens* + *Thymus zygis* quedaron englobados en el mismo subconjunto. Esto pudo ser debido a que *Thymus zygis* no se implantó demasiado bien y *Colutea arborescens* por sí sola no tuvo una densidad suficiente de plantación.

- En el primer año las plantas no ejercieron la acción buscada, probablemente debido a una falta de desarrollo de éstas. Sin embargo en el segundo año éstas adquirieron un desarrollo que proporcionó mayor estabilidad al talud, protegiéndolo mejor del movimiento de tierra frente al testigo que sólo contaba con la vegetación espontánea, la cual cabe resaltar que era escasa.

- Como cabía esperar, las especies que alcanzaron mayor superficie foliar (*Santolina rosmarinifolia*, *Rosmarinus officinalis* y *Salvia officinalis*) resultaron más eficientes evitando el movimiento del terreno.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es estudiar la restauración vegetal para evitar la erosión en los taludes de las parcelas que albergan instalaciones fotovoltaicas y como objetivo más específico se puede apuntar a determinar si la implantación de especies arbustivas frena el movimiento de tierra que ocurre en un talud, y en caso afirmativo, cuáles son las especies más adecuadas.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo tuvo lugar en una parcela de Torrecilla de la Torre (Valladolid) en la que se un “huerto solar”. Para dicho fin se realizó una nivelación de dicha parcela cuyo resultado fue la obtención de dos plataformas (una superior y otra inferior) separadas mediante un talud.

El talud se encuentra dividido en dos tramos similares (Norte y Sur), separados por una construcción, orientado al Este, del 40% de pendiente, de 4,5 a 5 m de longitud de la línea de máxima pendiente, 3 m de desnivel, uniforme a priori en su composición y morfología, longitud de cada tramo de 50 m, suelo antrópico mezcla de horizontes, muy calizo, poca materia orgánica, barroso húmedo y casi rocoso en seco.

3.1. Diseño experimental

El diseño experimental se basó en las especies arbustivas implantadas en el talud así como el marco de plantación que tendrían y por último la organización y distribución del ensayo.

3.1.1. Especies

Las especies que se encontraban implantadas en el talud eran: *Colutea arborescens*, *Thymus zygis*,

Rosmarinus officinalis, *Salvia officinalis* y *Santolina rosmarinifolia*.

Además, se contaba con suelo sin ninguna especie implantada artificialmente sobre él, sobre el cual no se realizaron labores de limpieza de malas hierbas y se dejó que crecieran las arvenses que nacieron espontáneamente.

3.1.2. Densidad de plantación

En la formación del ensayo se estableció un marco de plantación al tresbolillo con distancias de 35 cm entre columnas y 40 cm entre filas para todas las parcelas y especies, pretendiendo así que la densidad de plantación no fuera una variable más que no permitiera sacar conclusiones fiables.

Colutea arborescens y *Thymus zygis* se encontraban intercalados. El motivo fue que *C. arborescens* es de hoja caduca y se pensó que *T. zygis* al ser perenne podría mantener una cubierta vegetal permanente. El resto de especies hallaban individualmente.

3.1.3. Organización y distribución

El diseño experimental constó de 4 repeticiones numeradas de Sur a Norte. Cada repetición constó de 5 franjas o fajas. Se denominó unidad experimental a cada una de estas fajas.

La unidad experimental del ensayo fue de: 5,03 m (largo) x 2,5 m (ancho) = 12,575 m² y el nº de unidades experimentales fue de: 5 fajas x 4 repeticiones = 20 unidades.

Cada unidad experimental abarcó una franja del talud de 5 m de largo (medidos desde la línea de ruptura superior a la línea de ruptura inferior) y 2,5 m de anchura.

La primera unidad experimental de cada repetición fue el testigo sobre el que se dejaron crecer las arvenses que nacieron espontáneamente, y las otras cuatro se ordenaron aleatoriamente (Tabla 1).

Tabla 1. Diseño estadístico del ensayo realizado sobre el talud. T: Testigo, Sant: *Santolina rosmarinifolia*, C + Th: *Colutea arborescens* + *Thymus zygis*, Ros: *Rosmarinus officinalis*, Salv: *Salvia officinalis*.

Repetición 1				
T	Sant	C+ Th	Ros	Salv
Repetición 2				
T	C+ Th	Salv	Sant	Ros
Repetición 3				
T	Ros	Sant	Salv	C+ Th
Repetición 4				
T	Salv	C+ Th	Ros	Sant

3.2. Evaluación de los objetivos

A continuación se presenta la metodología seguida para calcular la superficie foliar y el movimiento de tierra producido en el talud.



3.2.1. Superficie foliar

Para determinar la superficie foliar de cada especie se obtuvo una fotografía perpendicular a la base de las plantas por cada faja. Luego estas fotos fueron tratadas con un programa de procesamiento digital de imágenes en el que se delimitó la superficie foliar y posteriormente un programa informático diseñado para tal fin calculó el porcentaje de superficie cubierta.

3.2.2. Movimiento de tierra

Para medir la erosión producida sobre el talud se empleó el método de las varillas. Este sistema consiste en clavar en el suelo una varilla medidora de manera que ésta sobresalga al menos unos 25 cm (Hudson, 1997). Posteriormente, se realizan sucesivas medidas a lo largo del tiempo (Cerdá, 2001) de la longitud del trozo de varilla sobresaliente del suelo, para determinar en qué medida ha aumentado o disminuido la cota en ese punto del suelo, o lo que es lo mismo, en qué medida se ha producido movimiento del suelo.

Por lo tanto, se definió el movimiento del terreno como la desviación que tendría la longitud de la varilla con respecto a la última medida. Esto se calculó en valor absoluto (1).

$$\text{Movimiento del terreno } y = |xy - x_{(y-1)}| \quad (1)$$

xy = Medida de la varilla en el instante y

Se clavaron 4 varillas por parcela, dos en la parte superior y otras dos en la inferior. Esto se hizo en todas las parcelas para posteriormente poder compararlas entre sí.

3.3. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con un paquete estadístico informático, utilizando un tratamiento GLM en la obtención y comparación de medias y aplicando un test de rango múltiple de Duncan con una significancia del 95% de confianza.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS INTRAANUALES

Se presentan los resultados del ANOVA de los datos obtenidos a lo largo de un año (de abril de 2011 a abril de 2012) ..

4.1.1. Superficie foliar

Los resultados obtenidos en diferentes fechas incluyendo el testigo en el ANOVA fueron los que se presentan a continuación (desde la Tabla 2 hasta la Tabla 6). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes para $p \leq 0,05$. Se remarcan en negrita la/s especies/s que mayor superficie foliar presentaron.

Tabla 2. Superficie foliar a 01/04/2011. Agrupamientos (Duncan).

Especie	Superficie foliar (fracción)	p	Signif.
Testigo	0,0052 b	0,0002	✓
Santolina rosmarinifolia	0,6440 a		
Rosmarinus officinalis	0,6028 a		
Salvia officinalis	0,6689 a		
Colutea arborescens + Thymus zygis	0,5857 a		

Tabla 3. Superficie foliar a 05/07/2011. Agrupamientos (Duncan).

Especie	Superficie foliar (fracción)	p	Signif.
Testigo	0,2089 b	0,0001	✓
Santolina rosmarinifolia	0,9244 a		
Rosmarinus officinalis	0,7596 a		
Salvia officinalis	0,8369 a		
Colutea arborescens + Thymus zygis	0,9724 a		

Tabla 4. Superficie foliar a 03/10/2011. Agrupamientos (Duncan).

Especie	Superficie foliar (fracción)	p	Signif.
Testigo	0,1057 b	<0,0001	✓
Santolina rosmarinifolia	0,9371 a		
Rosmarinus officinalis	0,7932 a		
Salvia officinalis	0,8464 a		
Colutea arborescens + Thymus zygis	0,8551 a		

Tabla 5. Superficie foliar a 04/01/2012. Agrupamientos (Duncan).

Especie	Superficie foliar (fracción)	p	Signif.
Testigo	0,0490 b	0,0003	✓
Santolina rosmarinifolia	0,9590 a		
Rosmarinus officinalis	0,7668 a		
Salvia officinalis	0,6989 a		
Colutea arborescens + Thymus zygis	0,6799 a		



Tabla 6. Superficie foliar a 02/04/2012. Agrupamientos (Duncan).

Especie	Superficie foliar (fracción)	p	Signif.
Testigo	0,1010 b	0,0005	✓
<i>Santolina rosmarinifolia</i>	0,9554 a		
<i>Rosmarinus officinalis</i>	0,8413 a		
<i>Salvia officinalis</i>	0,7068 a		
<i>Colutea arborescens</i> + <i>Thymus zygis</i>	0,6893 a		

A la vista de las tablas anteriores y de los resultados obtenidos en la fase anterior del ensayo se pueden realizar los siguientes comentarios:

- *Santolina rosmarinifolia*, *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis* y *Colutea arborescens* se mantienen a lo largo de todo el año con una superficie foliar que se encuentra englobada dentro del mismo subconjunto mientras que el testigo se encuentra en otro subconjunto diferente.

- A lo largo de todo el año se producen diferencias significativas entre la superficie foliar de las fajas testigo y la del resto de fajas con especies implantadas.

- Ninguna de las especies implantadas destaca por su superficie foliar respecto al resto.

- Estos resultados se asemejan a los ya observados hacia el final de la fase anterior de este ensayo.

4.1.2. Movimiento de tierra

A continuación se presenta el ANOVA (desde la Tabla 7 hasta la Tabla 10) obtenido a partir de las medidas tomadas en diferentes fechas. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes para $p \leq 0,05$. Se remarcan en negrita las especies que estaban implantadas sobre las fajas que menor movimiento de tierra presentaron.

Tabla 7. Movimiento de tierra entre 01/04/2011 y 01/07/2011. Agrupamientos (Duncan).

Especie	Mov. Tierra (cm)	p	Signif.
Testigo	0,9313 ab	0,2212	✗
<i>Santolina rosmarinifolia</i>	2,0188 a		
<i>Rosmarinus officinalis</i>	0,9563 ab		
<i>Salvia officinalis</i>	0,6188 b		
<i>Colutea arborescens</i> + <i>Thymus zygis</i>	0,9500 ab		

Tabla 8. Movimiento de tierra entre 01/07/2011 y 03/10/2011. Agrupamientos (Duncan)

Especie	Mov. Tierra (cm)	p	Signif.
Testigo	0,6375 a	0,8795	✗
<i>Santolina rosmarinifolia</i>	0,7063 a		
<i>Rosmarinus officinalis</i>	0,6687 a		
<i>Salvia officinalis</i>	0,4688 a		
<i>Colutea arborescens</i> + <i>Thymus zygis</i>	0,6250 a		

Tabla 9. Movimiento de tierra entre 03/10/2011 y 02/01/2012. Agrupamientos (Duncan).

Especie	Mov. Tierra (cm)	p	Signif.
Testigo	0,6625 a	0,8899	✗
<i>Santolina rosmarinifolia</i>	0,7625 a		
<i>Rosmarinus officinalis</i>	0,5875 a		
<i>Salvia officinalis</i>	0,5250 a		
<i>Colutea arborescens</i> + <i>Thymus zygis</i>	0,6563 a		

Tabla 10. Movimiento de tierra entre 02/01/2012 y 02/04/2012. Agrupamientos (Duncan).

Especie	Mov. Tierra (cm)	p	Signif.
Testigo	1,6125 a	0,9772	✗
<i>Santolina rosmarinifolia</i>	1,2937 a		
<i>Rosmarinus officinalis</i>	1,3500 a		
<i>Salvia officinalis</i>	1,4625 a		
<i>Colutea arborescens</i> + <i>Thymus zygis</i>	1,1625 a		

Considerando las tablas anteriores y los resultados obtenidos en la fase anterior del ensayo se puede observar como:

- El movimiento de tierra producido en las diferentes fajas, tanto testigo como con diferentes especies implantadas, no presentó diferencias significativas a lo largo de todo el año analizado.

- Las especies vegetales implantadas no parecen estar ejerciendo una acción positiva que disminuya el movimiento de tierra frente al producido en las fajas testigo.

- Esto mismo ya se observó a lo largo de toda la fase anterior realizada del este ensayo.

4.1.3. Influencia de la superficie foliar en el movimiento de tierra

En las gráficas siguientes (Fig. 1, 2, 3, 4 y 5) se puede observar la variación de movimiento de tierra y superficie foliar en diferentes fechas a lo largo del periodo comprendido entre abril de 2011 y abril de 2012.

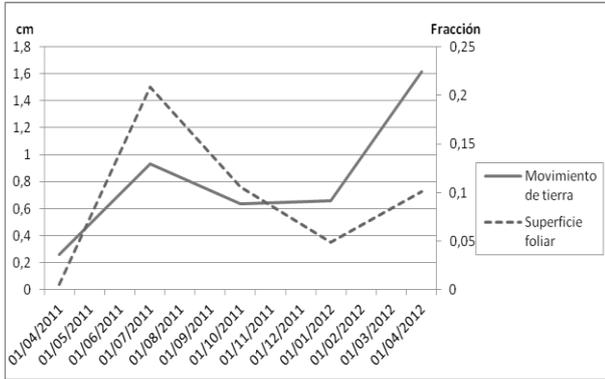


Fig. 1. Evolución del movimiento de tierra (cm) y superficie foliar (fracción) en las fajas testigo entre abril de 2011 y abril de 2012.

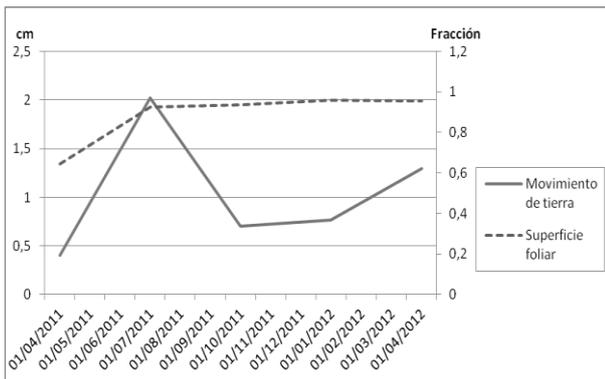


Fig. 2. Evolución del movimiento de tierra (cm) y superficie foliar (fracción) en las fajas con *Santolina rosmarinifolia* entre abril de 2011 y abril de 2012.

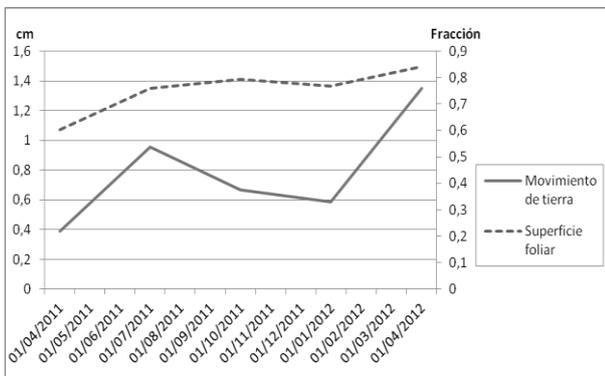


Fig. 3. Evolución del movimiento de tierra (cm) y superficie foliar (fracción) en las fajas con *Rosmarinus officinalis* entre abril de 2011 y abril de 2012.

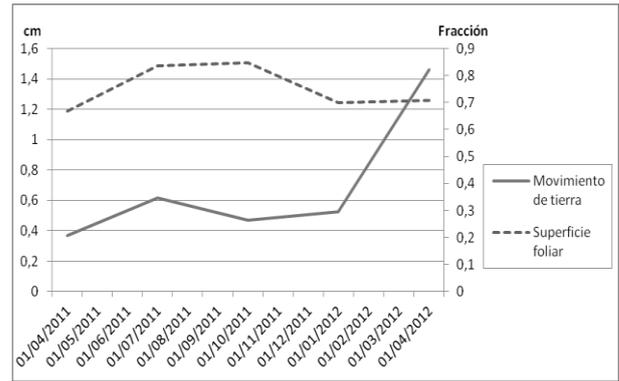


Fig. 4. Evolución del movimiento de tierra (cm) y superficie foliar (fracción) en las fajas con *Salvia officinalis* entre abril de 2011 y abril de 2012.

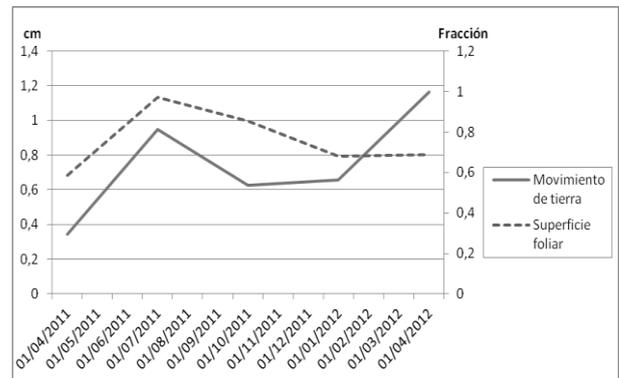


Fig. 5. Evolución del movimiento de tierra (cm) y superficie foliar (fracción) en las fajas con *Colutea arborescens* + *Thymus zygis* entre abril de 2011 y abril de 2012.

A la vista de las gráficas anteriores no se puede establecer ninguna relación de proporcionalidad (ni directa ni inversa) entre la superficie foliar que cubría el terreno y el movimiento de tierra producido en este.

Se puede observar cómo en algunas fechas y en algunas fajas sí que disminuye el movimiento de tierra cuando aumenta la superficie foliar, pero en otras fechas dentro de las mismas fajas así como en otras fajas para cualquier fecha no, por lo que se puede decir que este suceso es aleatorio, y no una consecuencia de la superficie foliar.

Esto mismo ya se pudo observar en la fase anterior de este mismo ensayo.

4.2. RESULTADOS INTERANUALES

Se presenta en la tabla 11 el ANOVA realizado considerando el periodo anual estudiado (de abril de 2011 a abril de 2012). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes para $p \leq 0,05$. Se remarcan en **negrita** la/s especie/s que estaban implantadas sobre las fajas que menor movimiento de tierra presentaron.



Tabla 11. Movimiento de tierra entre 01/04/2011 y 02/04/2012. Agrupamientos (Duncan).

Especie	Mov. Tierra (cm)	p	Signif.
Testigo	1,8563 a	0,9387	✗
<i>Santolina rosmarinifolia</i>	2,4438 a		
<i>Rosmarinus officinalis</i>	1,7750 a		
<i>Salvia officinalis</i>	1,7875 a		
<i>Colutea arborescens</i> + <i>Thymus zygis</i>	2,0688 a		

Considerando las tablas anteriores y los resultados obtenidos en la fase anterior del ensayo se puede comentar que:

- No se producen diferencias significativas entre las fajas con especies implantadas y el testigo.

- Después de que en la anterior fase del ensayo se observara que pasado un tiempo y estabilizado el talud las fajas con especies implantadas protegían mejor el talud consiguiendo que el movimiento de tierra fuera menor en estas fajas, se observa que de nuevo vuelven a no producirse diferencias significativas en este aspecto.

- A diferencia de lo observado en la fase anterior de este ensayo, no se encuentra relación entre la superficie foliar de las especies implantadas y la protección ejercida frente al movimiento de tierra.

- Es posible que pasados unos años el talud se haya estabilizado, o que se haya arrastrado ya la mayor cantidad de partículas que más susceptibles eran de ser arrastradas, o simplemente que en el periodo de un año no se pueda apreciar la protección ejercida por las plantas. En la fase anterior del ensayo cuando se analizó el primer año los resultados fueron similares. En aquella ocasión se sugirió que quizá se debiera a que en el primer año de implantación el talud debía estabilizarse después del pisoteo y movimiento de tierra realizado durante las labores de plantación.

- A medida que se recojan más datos de años venideros se podrá saber con más exactitud qué opción de las planteadas es la correcta, o incluso podría surgir alguna otra causa de la que por ahora no resulta fácil percatarse.

5. CONCLUSIONES

Tanto en el análisis intraanual como en el interanual no se encontró relación en las especies sometidas a ensayo, entre la superficie foliar de éstas y el movimiento de tierra producido en el talud.

Tras estudiar durante un año el comportamiento de un talud con vegetación implantada que llevaba más de 2 años establecido no resulta evidente que esta vegetación evite el movimiento de tierra más que la nacida espontáneamente aunque ésta última sea menos abundante.

Será necesario recopilar y analizar información de años venideros para poder concluir mejor qué relación se puede establecer entre la vegetación implantada en el talud y la protección que ésta brinda frente las acciones de erosión y sedimentación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- BAUMHARDT, R..L. y JONES, O R. (2002). Residue management and paratillage effects on some soil properties and rain infiltration. *Soil and Tillage Research*, 65: 19-27.
- BOLAN N.S., HEDLEY M.J. y WHITE R.E. (2006). Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. *Plant and soil*, 134 (1): 53-63.
- BRENNAN, E. B., BOYD, N.S. y SMITH, R.F. (2011). Comparison of rye and legume-rye cover crops mixtures for vegetable production in California. *Agronomy Journal*, 103 (2): 449-463
- BRENNAN, E.B., BOYD, N.S., SMITH, R.F. y FOSTER, P. (2009). Seeding Rate and Planting Arrangement Effects on Growth and Weed Suppression of a Legume-Oat Cover Crop for Organic Vegetable systems. *Agronomy Journal*, 101: 979-988.
- CABELLO, J., ALEMÁN M. DEL M., CASTRO, H. y MOTA, J. (1998). Diversidad ecológica en comunidades de matorral mediterráneas-semiáridas del sureste de la península ibérica. *Encuentro Medioambiental Almeriense: en Busca de Soluciones*. Almería 7 y 8 de marzo.
- CARTER, M. R. (2002). Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*, 94(1): 38-47.
- CASTRO, C., LOURENÇO, A., GUIMARAES, M. DE F. y FONSECA, I.C.B. (2002). Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. *Soil and Tillage Research*, 65: 45-51.
- CERDÁ, A. (2001). La erosión del suelo y sus tasas en España. *Ecosistemas* 3. Septiembre 2001.
- CROVETTO, C. (1992). Rastrojos sobre el suelo, una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria. Santiago, Chile: 260-270.
- CHRISTENSEN B., MONTGOMERY, J. M., FAWCETT, R. S. y TIERNEY, D. (1995). Best management practices for water quality. Conservation Technology Information Center, West Lafayette, Indiana, USA.
- CNE. (2010). <http://www.cne.es>. Última visita: 10 de agosto de 2010.
- DAKORA, F.D. y PHILLIPS, D.A. (2002). Root exudates as mediators of mineral acquisition in low nutrient environments. *Plant and Soil*, 245: 35-47
- DE ALBA, S., LACASTA, C., BENITO, G. y PEREZ-GONZALEZ, A. (2001). Influence of soil management on water erosion in a Mediterranean semiarid environment in Central Spain.



- Conservation agriculture, a worldwide challenge. First World Congress on conservation agriculture, Madrid, Spain, 1-5 October, 2001. Volume 2: offered contributions 2001: 173-177.
- DING, G., NOVAK, J.M., AMARASIRIWARDENA, D., HUNT, P.G. y XING, B. (2002). Soil organic matter characteristics as affected by tillage management. *Soil Science Society of America Journal*. 66(2): 421-429.
- ELFSTRAND, S., BATH, B. y ANO MARTENSSON, A. (2007). Influence of various forms of green manure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek. *Applied Soil Ecology* 36 (1): 70-82.
- EPIA. (2010). <http://www.epia.org>. Última visita: 10 de agosto de 2010.
- EPERLEIN, J. (2003). Development of the biological activity in different tillage systems. *Conservation agriculture: environment, farmers experiences, innovations, socio-economy, policy*. 387-393.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (1998). Medio ambiente en Europa. Degradación del suelo (cap. 11): 231-246.
- FENG, Y., MOTTA, A.C., REEVES, DW, BURMESTER, C.H., VAN SANTEN, E. y OSBORNE, J.A. (2003). Soil microbial communities under conventional-till and no-till continuous cotton systems. *Soil biology and biochemistry*, 35 (12): 1693-1703.
- FERNÁNDEZ, L. A., ZALBA, P., ANAHI, M. y SAGARDOY, M. A. (2005). Bacterias solubilizadoras de fosfato en la región sojera argentina. *Buenos Aires. Ciencia del suelo* 23 (1).
- GARCÍA-TORRES, L. y GONZÁLEZ, P. (1997). Agricultura de conservación: fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos. L. García-Torres y P. González Fernández (Eds.): 3-10. Asociación Española de Laboreo de Conservación.
- GARCÍA, C. y HERNÁNDEZ, T. (1997). Biological and Biochemical parameters in direct soils subject to erosion process. *Soil Biology and Biochemistry*, 29: 171-177.
- GONZÁLEZ-BARRAGÁN, M.I., ÁLVAREZ-NIETO, M.A., DE BENITO, A. y SOMBRERO, A. (2004). El Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León y la agricultura de conservación. *Tierras* 101.
- GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, P. (2003). La fertilización en el laboreo de conservación. *Agricultura*, 853: 518-524.
- HERNANZ, J.L. (1997). Hacia una agricultura de conservación, tendencias y adaptaciones de la maquinaria agrícola. Congreso Nacional Agricultura de Conservación y Medidas Agroambientales: 99-113. Burgos, 3 y 4 de diciembre.
- HOBERG, E., MARSCHNER, P. y LIEBEREI, R. (2005). Organic acid exudation and pH changes by *Gordonia* sp. And *Pseudomonas fluorescens* grown with P adsorbed to goethite. *Microbiological Research*, 160 (2): 177-187.
- HOWARD, D. D., ESSINGTON, M. E. y LOGAN, J. (2002). Long-term broadcast and banded phosphorus fertilization of corn produced using two tillage systems. *Agronomy journal*, 94(1): 51-56.
- HUDSON, N. W. (1997). Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. *Boletín de Suelos de la FAO* – 68.
- JANOSKY, J.S., YOUNG, D.L. y SCHILLINGER, W.F. (2002). Economics of conservation tillage in a wheat-fallow rotation. *Agronomy Journal*, 94(3): 527-531.
- KESSAVALOU, A. y WALTERS, D. T. (1999). Winter rye cover crop following soybean under conservation tillage: residual soil nitrate. *Agronomy journal*, 91: 643-649.
- KLADIVKO, E. J. (2001). Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research*. 61 (2001): 61-76.
- KYOTO PROTOCOL/UNITED NATIONS. (1998). Framework Conventions on Climate Change.
- LACASTA, C., BENITEZ, M., MAIRE, N. y MECO, R. (2006). Efectos de la textura del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos. VII Congreso SEAE: Agricultura y Alimentación Ecológica. Trabajo 110.
- LÓPEZ-FANDO, C. y BELLO-PÉREZ, A. (1997). Effect of tillage systems on soil biology. En: Agricultura de conservación: fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos. L. García-Torres y P. González Fernández (Eds.): 203-221. Asociación Española de Laboreo de Conservación.
- MARTÍN CHIVILET, N. (1999). Estudio de la influencia de la reflexión, el ángulo de incidencia y la distribución espectral de la radiación solar en los generadores fotovoltaicos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- OLAOYE, J.O. (2002). Influence of tillage on crop residue cover, soil properties and yield components of cowpea in derived savannah ecotones of Nigeria. *Soil and Tillage Research*, 64(2002): 179-187.
- PARDO, F., SANFELIU, T. y JORDÁN, M.M. (2009). Modelización de la degradación del suelo ante un cambio climático en un monte en proceso de mediterrización. Libro de actas IV simposio sobre control de la degradación de los suelos y cambio global. Valencia 8-10 septiembre 2009: 45-46.
- REICOSKY, D.C. (2003). Conservation agriculture: Global environmental benefits of soil carbon management. *Conservation agriculture environment, farmers experiences, innovations, socio-economy, policy*: 3-12.
- SABER, N. y MRABET, R. (2002). Impact of no tillage and crop sequence on selected soil quality attributes of a vertic calcixeroll soil in Morocco. *Agronomie*. 22(5): 451-459.



SAINJU, U.M., SINGH, B.P. y WHITEHEAD, W.F. (2002). Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. *Soil and Tillage Research*, 63(2002): 167-179.

SÁNCHEZ, J.; RECATALÁ, L.; GOBERNA, M. (2004). Secuestro de carbono inorgánico en el suelo: una primera aproximación en el ámbito semiárido español. *Edafología*, 11(3): 309-317.

SCHLESINGER, W.H. (2000). Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 82 (1-3 Special Issue SI):121-127.

SHAPIRO, C.A., HOLSHOUSE, D.L., KRANZ, W.L., SHELTON, D.P., WITKOWSKI, J.F., JARVI, K.J., ECHTENKAMP, G.W., LUNZ, L.A., FRERICHS, R.D., BRENTLINGER, R.L., LUBBERSTEDT, M.A., MCCLUSKEY, M.M. y STROUP, W.W. (2001). Tillage and management alternatives for returning Conservation Reserve Program land to crops. *Agronomy Journal*, 93(4): 850-862.

WEST, T. O. y MARLAND, G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, ecosystems and environment*, 91: 217-232.