



## USO DE BARRERAS CORTAVIENTOS EN UN LUVISOL CULTIVADO DE OLIVOS





## ÍNDICE GENERAL

	Páginas
1. Objetivos.	1
2. Fases del desarrollo	3
3. Introducción y localización geográfica	5
4. Factores formadores	11
5. Material y métodos	15
6. Resultados y discusión	27
7. Conclusiones	36
8. Competencias integradas en el proyecto	38
9. Bibliografía	40

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	Páginas
Figura 1. Ubicación del área de estudio	9
Figura 2. Vista aérea del área de estudio	10
Figura 3. Vista general del área de estudio	10
Figura 4. Disposición de las barreras en el campo donde se incluye la distribución de anemómetros	17
Figura 5. Representación de la malla antierosión	18
Figura 6. Microlagger CR3000	20
Figura 7. Vista lateral y superior del anemómetro sónico 3D	21
Figura 8. Anemómetro sónico 2D	21
Figura 9. Vista de los anemómetros	22
Figura 10. Dispositivos alrededor de la red cortavientos	23
Figura 11. Caracterización del viento por altura y distancia de la barrera contra el viento	23
Figura 12. Representación del sedimento capturado en relación a la distancia y altura respecto a la barrera	24
Figura 13. Anemómetros 2D en torno a la malla cortavientos	28
Figura 14. Características analíticas de la matriz de componentes C1-C2	32
Figura 15. Características de los puntos de muestreo de distancia altura-cortavientos (barlovento y sotavento incluyendo R) en la matriz del componente C1-C2	33
Figura 16. Comportamiento del aire a una altura de 0.4 m	34
Figura 17. Vista general del comportamiento del flujo de aire a una velocidad aproximada de $3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	34



## ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1. Cronograma de las fases del desarrollo del trabajo	4
Tabla 2. Especificaciones técnicas de la malla empleada	17
Tabla 3. Características técnicas de los anemómetros sónicos	19
Tabla 4. Velocidad del viento e intensidad de turbulencia	29
Tabla 5. Componentes de textura en los 3 cm superiores del suelo y trampas de sedimentos	30
Tabla 6. Contenido de elementos del suelo en los 3 cm superiores	31
Tabla 7. Densidad aparente media del suelo y resultados de pérdida registrada por el láser-scan y en el túnel de viento	35



## AGRADECIMIENTOS

A lo largo de mi recorrido en la Universidad de Almería he contado con la ayuda y colaboración de muchas personas, a las que me gustaría agradecerse.

En primer lugar, al Director y Codirectora de éste trabajo D. Carlos M. Asensio Grima y Dña. Isabel Miralles Mellado por su entrega, ayuda, confianza, ánimo y cariño que han hecho posible que yo sea capaz de terminar este trabajo.

En Segundo lugar, a mi familia y amigos, por su motivación diaria y apoyo incondicional, sobretodo a mis padres que sólo ellos saben lo que he sufrido para aprobar cada una de las asignaturas.

Por último, a la Universidad de Almería por darme la oportunidad de poder labrarme un futuro mejor.

A todos ellos, gracias de corazón.



### RESUMEN

Uso de redes cortavientos para disminuir la erosión y el transporte de sedimentos en un área concreta semiárida. Un hilo de 13x30 cm<sup>2</sup> y con una red de malla del 39 % frente al viento aumentaron la reducción promedio de erosión hasta un 72% a una altura de 0.4 m en olivares labrados recientemente. La anemometría sónica se utiliza para identificar patrones de movimiento del viento, no se suele utilizar para mejorar estudios de campo y menos para rompevientos. Una vez analizados los componentes de las muestras recolectadas en trampas a diferentes distancias y alturas de la barrera contra el viento. El Análisis de los Componentes principales se centró en el efecto combinado de la altura y la distancia al cortavientos sobre variables relacionadas con los dos primeros componentes. Un componente (C1) identificó la altura a la que se obtuvieron los datos y el otro (C2) la distancia de protección contra el viento desde el punto de muestreo. Este sistema resultó ser muy efectivo con respecto al material atrapado por las trampas y además siendo una herramienta barata y reutilizable.

**Palabras clave:** trampas de polvo, formación de costras, fertilidad del suelo, anemometría sónica.



### ABSTRACT

Use of windbreaks to reduce erosion and sediment transport in a specific semi-arid area. A 13x30 cm<sup>2</sup> thread and a 39% mesh net against the wind increased the average reduction in erosion to 72% at a height of 0.4 m in recently cultivated olive groves. Sonic anemometry is used to identify wind movement patterns, it is not usually used to improve field studies and less for windbreaks. After analyzing the components of the samples collected in traps at different distances and heights from the wind barrier. The Principal Component Analysis focused on the combined effect of height and distance to the windbreak on variables related to the first two components. One component (C1) identified the height at which the data was obtained and the other (C2) the wind protection distance from the sampling point. This system turned out to be very effective with respect to the material trapped by the traps and also being a cheap and reusable tool.

**Key words:** dust traps, crusting, soil fertility, sonic anemometry.



# 1. Objetivos



### **OBJETIVOS**

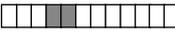
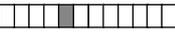
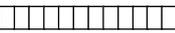
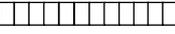
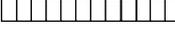
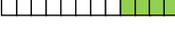
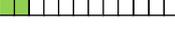
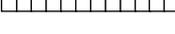
Nuestros objetivos son utilizar la anemometría sónica para analizar la efectividad de las barreras propuestas con el fin de reducir la erosión eólica en suelos con costra y recientemente labrados, estableciendo su posible idoneidad de uso en Luvisoles con un cultivo ecológico de olivos.



## 2. Fases del desarrollo

**FASES DEL DESARROLLO**

*Tabla 1. Cronograma de las fases del desarrollo del trabajo*

Actividad	2019	2020
	e f m a m j j a s o n d	e f m a m j j a s o n d
Búsqueda bibliográfica		
Trabajo de campo		
Trabajo de laboratorio		
Análisis de datos		
Estancia ERASMUS		
Redacción de memoria		



# 3. Introducción y localización geográfica

## INTRODUCCIÓN Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La influencia del viento y las características propias de la vegetación que sustenta el suelo tienen una gran influencia en la erosión eólica. Nos centraremos en este trabajo en zonas de cultivo de olivo, localizadas en el desierto de Tabernas. El proceso de erosión eólica ocurre lentamente en esta zona, debido a las características propias del suelo y del clima. La posible pérdida de calidad de los productos y de productividad sólo puede apreciarse a medio o largo plazo. Sin embargo, el manejo adecuado del suelo de cultivo y la utilización de fertilizantes puede neutralizar estos efectos negativos (Fryrear y Saleh, 1995; Leys, 2002).

Cada vez es más importante conocer cómo se genera la erosión eólica en las zonas de estudio, para poder poner solución cuanto antes, ya que afecta de forma negativa al contenido en nutrientes del suelo y condiciona la pérdida de humedad.

En primer lugar, tenemos que tener en cuenta las características propias del suelo que fomentan la erosión eólica:

- ❖ La cantidad de materia orgánica que posee el suelo, (en tanto por ciento), ya que la humedad y agregación depende de ella.
- ❖ Textura y el tamaño de las partículas, los suelos con partículas más gruesas son más propensos a sufrir la erosión eólica, ya que las conexiones entre partículas son más débiles, así como la pérdida de humedad del suelo.
- ❖ Humedad del suelo, cuanto más húmedo está el suelo menos susceptible a erosión.

En segundo lugar, tenemos que ser conscientes de que el viento es el principal causante de la erosión eólica. El cual se define como un fenómeno atmosférico que tiene una intensidad y una dirección determinada, con variaciones de presión atmosférica originadas por los cambios de temperatura entre las distintas zonas de la tierra.

Morgan (1997) afirma que la principal causante de la erosión eólica es la velocidad o intensidad del viento, la cual disminuye cuanto más cerca del suelo estemos por la presencia de obstáculos como vegetación o piedras (Udden, 1984).

Por tanto, el viento sobre el suelo agrícola produce degradación del mismo. Según FAO (1980), este fenómeno podemos definirlo como *“el conjunto de procesos que rebajan la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cualitativa, o cuantitativamente, bienes y servicios”*.

Por otro lado, Quirantes (1989) da la siguiente definición: *“La erosión eólica es el proceso natural mediante el cual el viento arranca y transporta partículas del suelo, desgastándolas, arrastrándolas y haciéndolas incidir sobre materiales y aéreas”*.

En definitiva, la pérdida de suelo fértil provoca el empobrecimiento del suelo agrícola, originando una posible desertificación de la zona.

Por consiguiente, para contrarrestar las consecuencias adversas que causan este efecto, se pueden aplicar algunas medidas preventivas para disminuir la virulencia del viento y así reducir un poco la erosión y los efectos negativos de la erosión.

La degradación del suelo provocada por el viento causa problemas ambientales, sociales y económicos, también tiene impacto en la salud humana aumentando la contaminación, el daño a los cultivos y la deposición de arena en pozos y arroyos (Arjmand Sajjadi y Mahmoodabadi, 2016; Novara et al. al., 2011; Prosdocimi et al., 2016; Sharifikia, 2013). En las zonas donde las lluvias son irregulares como las zonas áridas y semiáridas, los vientos son normalmente fuertes (Burtiev et al., 2013), la erosión eólica cambia de sitio grandes cantidades de suelo, lo que puede ocasionar serios problemas agrícolas y ambientales, como contaminación (Yildiz et al., 2017), o pérdida de material vegetal por acumulación de arena. Cuando los componentes del suelo se alteran, como por ejemplo, el cambio de textura, puede afectar al estado del agua del suelo (Kravchenko et al., 2016; Vaezi y Bahrami, 2014). Esto provoca que sea necesario mejorar los modelos de erosión que existen actualmente (Borrelli et al., 2015).

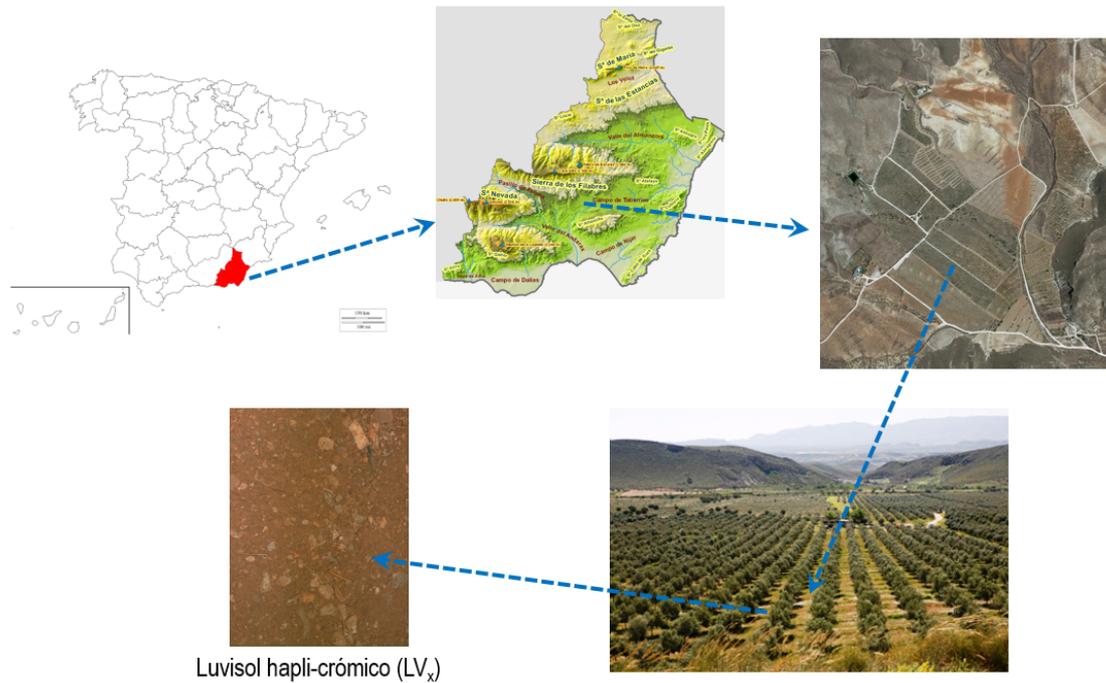
Lozano et al. (2013) se dedicaron a analizar la relación que existe entre la velocidad del viento y la erosión del viento en las regiones semiáridas, junto con la influencia del tipo de suelo y el tipo de vegetación. Otros autores observaron cómo la erosión eólica afecta al contenido de carbono orgánico y la dinámica del nitrógeno en los suelos (Li et al., 2004;

Asensio et al., 2015). Zobeck et al. (2013) detectaron una reducción en la estabilidad de los agregados y una pérdida progresiva de nutrientes por la erosión del viento. Gomesa et al. (2003) demostraron que la erosión por el viento en el suelo bajo labranza tradicional es menor que en la labranza de conservación por la formación de costras superficiales. Los suelos de textura media cultivados amplían las diferencias entre la fracción erosionable del suelo, que aumenta, y la estabilidad del agregado seco, que disminuye (Colazo y Buschiazzo, 2010 y 2015), ya que los cultivos debilitan la estructura del suelo ocasionado por la pérdida de carbono orgánico y por la rotura de los agregados. No obstante, en suelos con textura fina, la formación de grandes agregados resistentes a la labranza reduce de forma considerable la diferencia entre la fracción erosionable del suelo y la estabilidad de los áridos secos (Bogunovic y Kistic, 2017). Las crestas de labranza son útiles para obtener agregados transportados por salinidad, como dice Hagen et al. (2010), pero no es efectivo cuando los agregados se transportan en suspensión. Hay diferentes tipos de manejo de suelo que influyen en el transporte de la fracción mineral en más o menos medida (Rezaei et al., 2012), conforme con Beniston et al. (2015), esto ocasiona la pérdida de P. En un estudio de túnel de viento, Feras et al. (2008) encontraron que la eficacia de las trampas de sedimentos dependía principalmente del tamaño de partícula y la velocidad del viento. Basaran y col. (2011) midieron el flujo vertical de sedimentos con trampas colocadas a diferentes alturas.

Las barreras que se usan para reducir la velocidad del viento a sotavento y a barlovento se llaman rompevientos. Las características propias de la protección contra el viento utilizada, es decir, el material, la altura y la longitud, determinan la reducción e influyen en gran medida en la fertilidad del suelo y como consecuencia en la producción de los cultivos.

Los cortavientos de malla son una especie de obstáculo poroso que reduce la velocidad del viento que fluye a través de ellos. Actúan como un agente de rugosidad, reduciendo el arrastre a través de la pérdida neta de la fuerza del viento, protegiendo la superficie y atrapando las partículas del suelo (Molina-Aiz et al., 2006). Diferentes estudios han utilizado el método de anemometría para analizar la aerodinámica de las mallas en invernaderos (Molina-Aiz et al., 2009; Valera et al., 2006), aunque esta investigación no es frecuente en campo abierto.

La zona estudiada se encuentra en la provincia de Almería, España, cerca del desierto de Tabernas (37 ° 07'N, 2 ° 18'W). Ubicada a unos 30 kilómetros al norte de Almería. Límite al norte con la sierra de los Filabres y Sierra Nevada y al sur con Sierra Alhamilla y Gádor (Figura 1). El clima es mediterráneo semiárido con un temperatura media anual de 17.8 ° C y de 283 mm.



Luvisol hapli-crómico (LV<sub>x</sub>)

**Fig. 1.** Ubicación del área de estudio.

Concretamente, el área de estudio se encuentra ubicada junto a la carretera N-340.



*Fig. 2. Vista aérea del área de estudio.*



*Fig. 3. Vista general del área de estudio. (Finca el Vicario)*

El terreno elegido ha sido cedido por la empresa “Oro del desierto”. Es una finca ecológica (Figuras 2 y 3), donde se pueden encontrar unos 25.000 olivos, distribuidos en unas 100 hectáreas.



## 4. Factores formadores

## FACTORES FORMADORES

### - Geología

El área estudiada está formada por el Complejo Nevado-Filábride, el de Alpujárride y el de Maláguide, constituida durante la época de Mioceno medio (IGME, 1982; Pascual, 2001).

Por lo tanto, los materiales contenidos son del Precámbrico-Paleozoico o Triásico (200-500 millones de años) y están constituidos en su mayor parte por esquistos, calizas y mármoles muy metamorfizados y tectonizados (Villalobos 2003; 2004).

Sierra Nevada surgió hace 15 millones de años. En el Mioceno se formaron Sierra Alhamilla y la Sierra de Gádor. A partir de aquí surgió la cuenca marina intramontañosa situada entre las Sierras de Gádor, Alhamilla y los Filabres (Villalobos 2003). En el Plioceno inferior fue cuando el mar se fue retirando dejando al descubierto depósitos de arcillas, calizas, margas y arenas.

Al final del Plioceno y principios del Pleistoceno (hace 2 millones de años aproximadamente), surgió la provincia de Almería, en las que se encuentran todavía zonas deprimidas recubiertas por lagos. En el Pleistoceno superior, a causa de unas condiciones climáticas adversas, secas y estériles, las vías fluviales se secaron, obteniendo un papel importante en la influencia en los procesos erosivos sobre el paisaje. Tabernas es una larga y estrecha depresión, con unos 10 km de ancho y 20 km de largo. (Villalobos, 2003).

La litología predominante son margas muy bioturbadas y muy poco estratificadas del Mioceno (Kleverlaan, 1989). La composición mineralógica es: 35% moscovita, 20% de calcitas, 20% de Yesos, 10% de paragonita, 10% de cuarzos, 3% de esmectitas mas cloritas y un 2% de dolomita (Cantón et al., 2001). Por lo tanto, el contenido en areniscas, arenas, carbonatos y yesos se encuentra en menos cantidad. También se encuentran sedimentos de origen continental, que provienen de las corrientes fluviales (IGME, 1982).

Las condiciones meteorológicas se caracterizan por lluvias escasas y torrenciales, que afectan al medio rural formando ramblas secas con cauces anchos y profundos y también formando “badlands”.

Podemos reconocer que las sierras contenidas en Tabernas son una zona geomorfológicamente nueva o reciente, que se caracteriza por escasa dureza de sus materiales, lo que la sitúa en una zona interesante de estudio en los procesos de erosión y desertificación (Villalobos, 2003).

### - **Clima**

Debido a su posición y situación geográfica, Tabernas está caracterizada por ser un desierto de abrigo topográfico (Capel Molina, 1982, 1986 y 1990; Lázaro et al., 2004) y con un clima semiárido termo-mediterráneo, por su baja altitud y cercanía al mar Mediterráneo (Lázaro y Rey, 1990). Está considerada como una de las zonas más secas de Europa (Capel-Molina, 1986). Las variaciones en las temperatura y las precipitaciones son bastante considerables por lo que se considera un clima entre mediterráneo y desértico (Lázaro et al., 2004).

En el desierto de Tabernas se produce un efecto sombra durante el invierno (Lázaro et al., 2001), Sierra Nevada hace de barrera e impide el paso de las borrascas atlánticas a la zona de Tabernas. Las precipitaciones torrenciales durante el verano, las altas temperaturas, la evaporación del agua y la inestabilidad atmosférica está provocada por la llegada de los vientos polares (Capel Molina, 1982).

Los procesos erosivos y el clima controlan los biotopos y la biocenosis condicionando así las características, reproducción y adaptación de la vegetación natural, generando un posible rejuvenecimiento del suelo (Lázaro et al., 2004)

### - **Vegetación y relieve**

El paisaje es muy homogéneo en cuanto a la vegetación, pudiendo distinguir 4 series diferentes (Merlo et al., 2004):

1. Serie climatófila termo-mesomediterránea alpujarreño-gadoreña, filábrica-nevadense y almeriense, semiárido-seca del lentisco (*Pistacia lentiscus*).
2. Geoserie edafohigrófila termomediterránea murciano-almeriense y mulullense basófila.
3. Complejo politeselar de vegetación edafoxerófila tabernense sobre margas subsalinas.
4. Complejo de vegetación edafoxerófila tabernense sobre yesos.

Se considera un espacio ecológico único, con una vegetación con una gran variedad, en la que se diferencian tres ambientes geomorfológicos:

1. Ambientes erosivos sobre sustratos especiales: margas miocenas, formaciones deltaicas (materiales aluviales, arenas, conglomerados, limos y arcillas del Plioceno) y margas yesíferas. Son las que tienen más extensión.
2. Ambientes deposicionales o de transporte: Los materiales han sido depositados en cauces de ramblas por el arrastre de las lluvias torrenciales. En las zonas más húmedas se forman oasis de vegetación.
3. Ambientes estructurales: Pastizales, matorrales y arbustos se forman en las zonas montañosas, característicos del clima mediterráneo.



## 5. Material y métodos

## MATERIAL Y MÉTODOS

La vegetación existente natural estaba formada por arbustos nativos de forma aislada, pero ahora, existe un olivar ecológico compuesto por olivos de la variedad picual de seis años. Según los datos obtenidos por el Grupo de Trabajo IUSS WRB (2014), el suelo es un Luvisol haplicrómico (LVx). Con una textura arcillosa y un promedio de 37% de fragmentos de grava y una estructura de bloque medio (Pérez-Pujalte et al., 1987; Aguilar et al., 2004; Cantón et al., 2001b).

El suelo después de ser labrado es altamente erosionable por el viento, pero en poco tiempo tiende a equilibrarse por la formación de costras en la superficie. Conforme con Asensio et al. (2016), estos suelos tienen una predisposición en recuperar la corteza de la superficie física entre unos 10 a 12 días. Los cortavientos extraíbles instalados después de haber sido labrado reducen la erosión considerablemente hasta que se forman las costras en la superficie y también conservan los sedimentos transportados por el viento. Las redes utilizadas de cortavientos de este estudio tenían unas dimensiones de 13 x 30 hilos·cm<sup>2</sup> y 39 % de porosidad. Los cortavientos con un ancho de 7,5 m y una altura de 0,7 m se colocan perpendicularmente a la dirección predominante principal del viento natural, en bandas espaciadas con una distancia de 40 m y alternas (Figura 4 y 5).



*Fig. 4. Disposición de las barreras en el campo donde se incluye la distribución de anemómetros.*

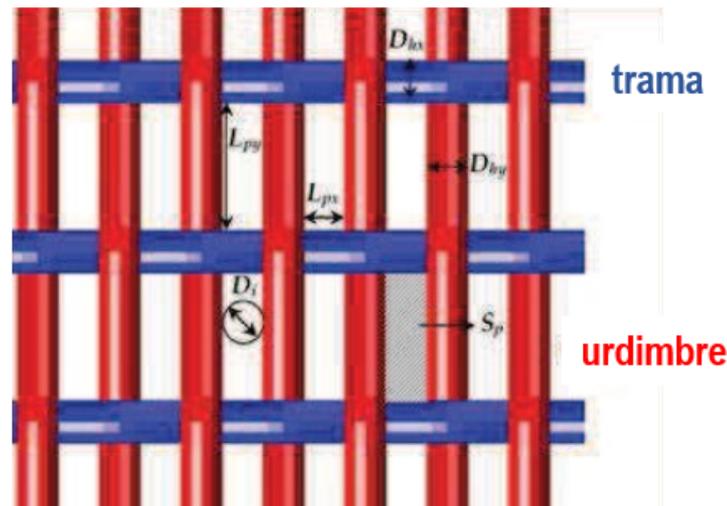
❖ Especificaciones técnicas de la malla empleada:

Características geométricas (valores promedio  $\pm$  desviación estándar) y propiedades aerodinámicas de la malla.

$D_r$ : Densidad de hilos [hilos $\cdot$ cm<sup>-2</sup>]; Valor medio y desviación estándar de porosidad [m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>];  $L_{px}$  y  $L_{py}$ , longitudes de los poros [ $\mu$ m] en la dirección de la trama y la urdimbre, respectivamente;  $D_{hx}$  y  $D_{hy}$ , diámetro [ $\mu$ m] de los hilos de trama y urdimbre, respectivamente;  $D_h$ , diámetro [ $\mu$ m] de los hilos;  $D_i$ , diámetro [ $\mu$ m] de la circunferencia interna de los poros;  $S_p$ , área [mm<sup>2</sup>] de los poros.

**Tabla 2.** Especificaciones técnicas de las mallas.

$D_r$	$\varphi$	$L_{px}$	$L_{py}$	$D_{hx}$	$D_{hy}$	$D_h$	$D_i$	$S_p$
13.1 $\pm$ 30.5	0.390 $\pm$ 0.000	104.8 $\pm$ 9.3	593.3 $\pm$ 19.0	168.0 $\pm$ 0.0	163.1 $\pm$ 8.3	165.5 $\pm$ 7.0	167.4 $\pm$ 9.6	0.098 $\pm$ 0.005



*Fig. 5. Representación de la malla anti-erosión.*

❖ Anemómetros, explicación y funcionamiento:

Todos los anemómetros sónicos funcionan de la misma manera. Determinan la velocidad del aire midiendo la influencia en el tiempo de dicha magnitud de transmisión de pulsos ultrasónicos entre dos parejas transmisor-receptor (Cuervas y Sanz-Anders, 2000).

- Ventajas de los anemómetros sónicos (López et al; 2012):

1. No poseen partes móviles que tengan que estar en equilibrio dinámico con el flujo de aire, esto evita los errores de sobreestimación de aire en flujos turbulentos. Estos errores suelen estar muy presentes en anemómetros de cazoletas.
2. La respuesta es lineal en un gran intervalo de frecuencias, la calibración se fija durante su fabricación.
3. Las medidas no dependen del flujo de aire.

- Anemómetro sónico 3D (CSAT3)

Mide la velocidad del aire verticalmente a 10 cm. Puede estar expuesto a extremas condiciones meteorológicas (Figura 7). Y mide tres componentes ortogonales de la velocidad del aire y de la temperatura sónica del aire (López et al., 2012).

**Tabla 3.** Características técnicas de los anemómetros sónicos.

Sensor	Salidas	Frecuencia de registro	Intervalo de medida	Precisión	Resolución
CSAT3	$u_x, u_y$	10 Hz	0 a 30 $m \cdot s^{-1}$	$\pm 0.04 m \cdot s^{-1}$	0.001 $m \cdot s^{-1}$
	$u_z$		0 a 30 $m \cdot s^{-1}$	$\pm 0.02 m \cdot s^{-1}$	0.0005 $m \cdot s^{-1}$
	$T_0$		-30 a 50 $^{\circ}C$	$\pm 0.026 m \cdot s^{-1}$	0.002 $^{\circ}C$
Windsonic	$u_x, u_y, u$ Dirección $\theta$	1 Hz	0 a 60 $m \cdot s^{-1}$  0 a 359 $^{\circ}$	$\pm 2 \%$  $\pm 3^{\circ}$	0.01 $m \cdot s^{-1}$  1 $^{\circ}$

- Anemómetros sónicos 2D

Mide la velocidad del aire verticalmente a 10 cm. Puede estar expuesto a extremas condiciones meteorológicas (Figura 8). Y mide dos componentes ortogonales de la velocidad del aire. (López et al; 2012).

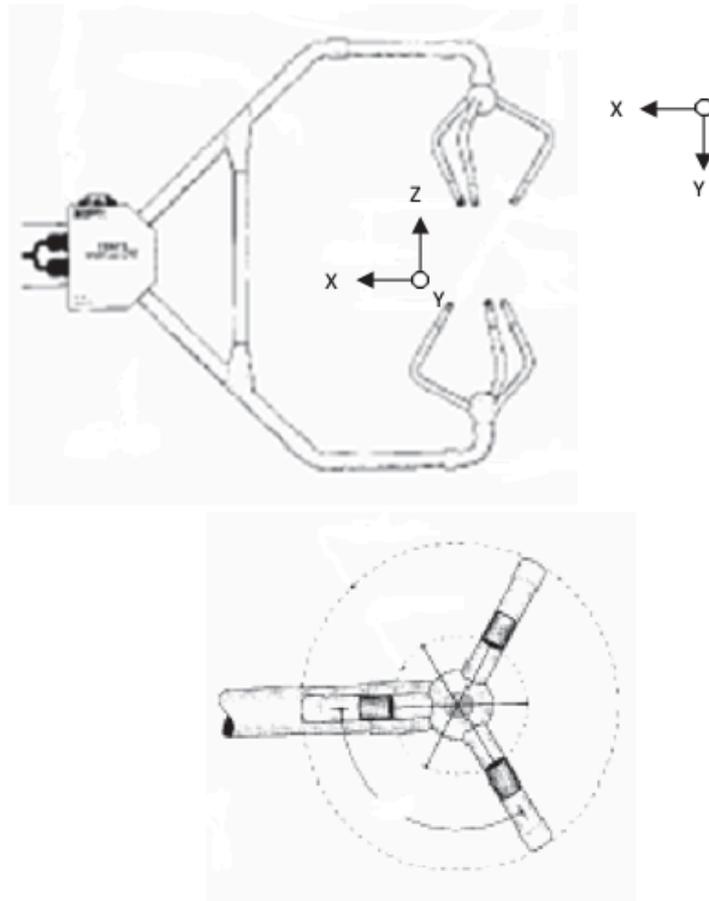
- ❖ Equipos de recogida y almacenamiento de datos:

Los micrologger CR3000 (Figura 6) son los encargados de recoger las medidas de los anemómetros sónicos. Cada uno está programado para conectar con un anemómetro sónico tridimensional CSAT3 y cinco anemómetros sónicos bidimensionales Windsonincs.



*Fig.6. Micrologger CR3000.*

En cada uno se encuentra una tarjeta de 1 Gb de memoria, con los que puede almacenar datos durante 37 días y 10 horas.



*Fig. 7. Vista lateral y superior del anemómetro sónico 3D*



*Fig. 8. Anemómetro sónico 2D*



*Fig. 9. Vista de los anemómetros*

Nuestros experimentos comenzaron en abril de 2019. La climatología (media  $\pm$  desviación estándar) fue:

- ❖ Velocidad del viento ( $u_0$ ):  $3,4 \pm 0,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- ❖ Dirección del viento ( $\theta$ ):  $270 \pm 18^\circ$
- ❖ Temperatura del aire (A):  $21,0 \pm 0,9 \text{ }^\circ\text{C}$
- ❖ Humedad relativa del aire ( $HR_0$ ):  $54 \pm 3 \%$

Las muestras se identificaron mediante la distancia de altura-cortavientos a la malla. Las muestras de sotavento se marcaron con un R (Figura 9).

Para saber cuál ha sido la influencia del cortavientos de malla en la prevención de la erosión del suelo, repartimos dispositivos como se muestra en la figura 10 a continuación, y según lo que dicen otros autores, registraron el efecto hasta una distancia de ocho o nueve veces la altura del cortavientos (Brandle et al., 2006).

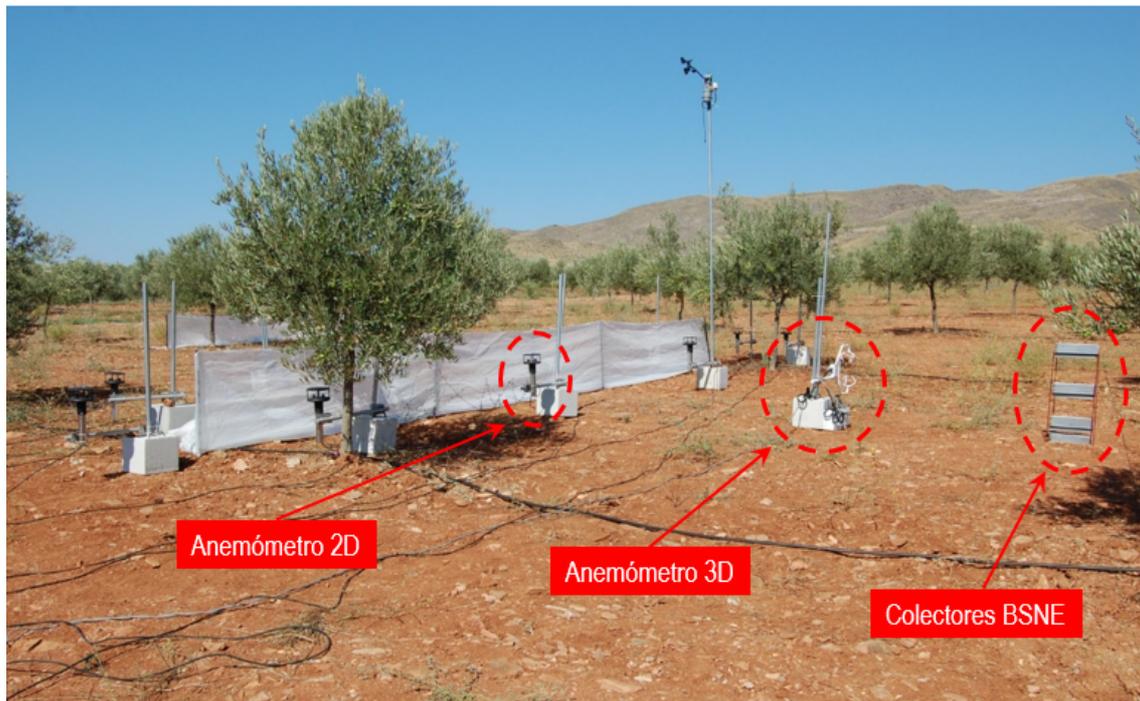


Fig. 10. Dispositivos alrededor de la red de cortavientos

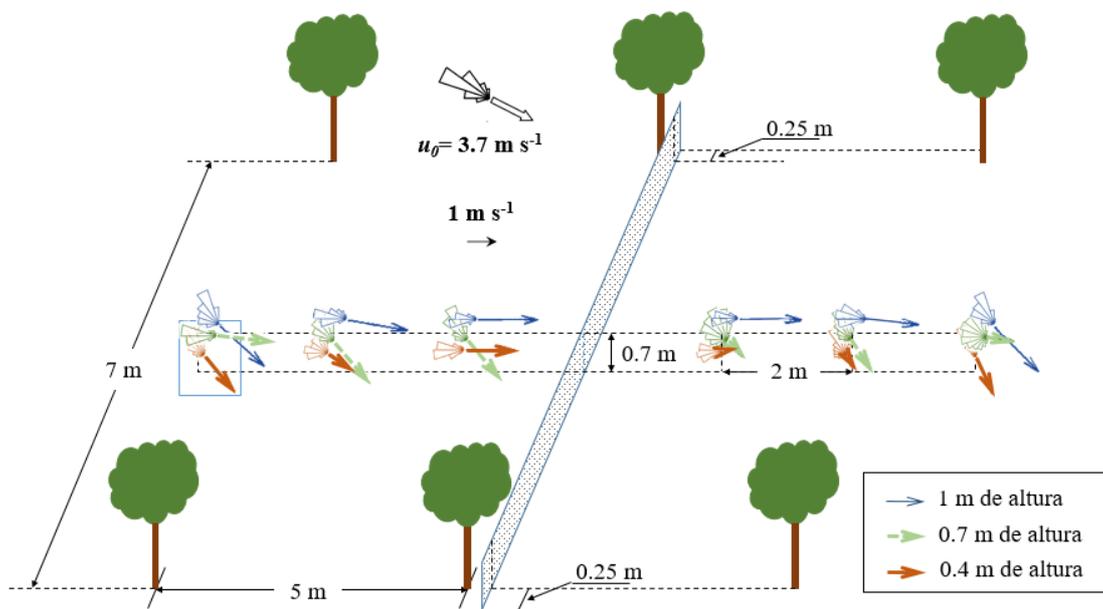
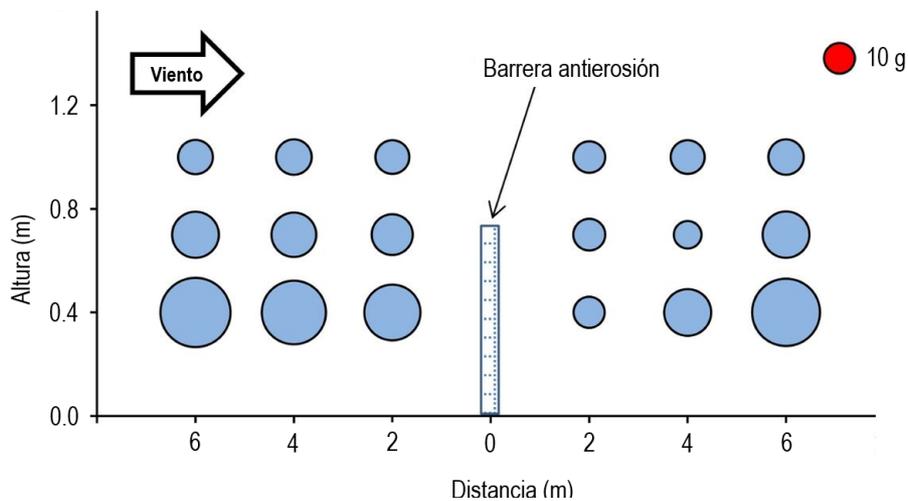


Fig. 11. Caracterización del viento por altura y distancia de la barrera contra el viento

Para estudiar la velocidad del viento, usamos dos anemómetros sónicos 3D (mod. CSAT3, Campbell Scientific Spain S.L.) posicionados a barlovento y sotavento perpendiculares al centro del rompevientos. Las mediciones se tomaron a 2, 4 y 6 m de distancia al cortavientos y 0.4, 0.7 y 1 m de altura (Figura 11). Además, colocamos diez anemómetros sónicos 2D (mod. Windsonic, Gill Instrument LTD) en torno al cortavientos. Las condiciones climáticas se registraron mediante una estación meteorológica portátil. Donde se registraron los datos como el vector de velocidad del viento y la intensidad de la turbulencia (López et al., 2011 y 2017; Valera et al., 2006).

También, se instalaron trampas para controlar el efecto de los cortavientos recogiendo los sedimentos durante los tres días de prueba (Figura 12). Las trampas eran muestreadores de Fryrear, BSNE utilizados sin mástil, ya que se usaron en una dirección fija del viento, es decir la dirección principal (Asensio et al., 2015). Las trampas se colocaron a 0.4, 0.7, y 1 m del suelo, y a 2, 4 y 6 m de barlovento y sotavento del cortavientos.



**Fig. 12.** Representación del sedimento capturado en relación a la distancia y altura respecto a la barrera.

De los tres centímetros superiores se cogieron muestras para equiparar los efectos en suelos con costra con un labrado reciente y se analizaron tres réplicas de cada uno. Mediante el método de pipeta de Robinson se obtuvieron los datos de textura. El contenido de carbono orgánico se analizó mediante el método de digestión húmeda Walkley-Black. A través de la volumetría de NH<sub>3</sub> se obtuvo el contenido total de nitrógeno después de la digestión con

Kjeldahl. El fósforo disponible en el suelo fue el resultado de la fotometría de llama. El contenido de carbonato se obtuvo gracias a la volumetría de gas. Después de todo, tanto el porcentaje de reducción de peso en trampas de suelo con costra, como en las labradas se determinaron por la diferencia con respecto a la ubicación de la primera trampa (seis metros contra el viento).

El efecto de la altura y la ubicación de la trampa, se determinó a través de un análisis de varianza, también se realizó un análisis de componentes principales para valorar si existe alguna relación entre altura y distancia de protección contra el viento con respecto a la textura, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo y potasio presentes o diferencias de contenido de carbonato equivalente en las trampas. Con la ayuda de SPSS v23 (IMB Corp.) se realizaron los análisis estadísticos.

### **MÉTODOS DE LABORATORIO**

Utilizamos los siguientes métodos para obtener los valores de las características del suelo que necesitábamos para la erosión eólica:

- Secado al aire y extensión de las muestras sobre papel.
- Selección de agregados para estudiar las propiedades físicas
- Pesada del rechazo resultante
- Determinación de propiedades químicas mediante molienda fina en mortero de ágata y tamizado a 0,05 mm.

#### Análisis granulométrico:

Tratamos las muestras con agua oxigenada ( $H_2O_2$ ) al 30% para acabar con la materia orgánica. La dispersión la realizamos mediante agitación con hexametáfosfato sódico (40%) (Gee y Bauder, 1986).

Después, evaluamos la distribución de tamaño de partícula mediante tamizado en seco y método de pipeta de Robinson. Por tamizado separamos la fracción de arena en mojado, secado al horno y posteriormente fraccionado por tamizado en seco.

Por sedimentación separamos la arcilla y el limo y siguiendo el método de la pipeta de Robinson como explica Soil Survey Report núm.1 (Soil Conservation Service, 1972).

### Carbono orgánico:

La cantidad de carbono orgánico (CO), mediante la materia orgánica del suelo, se obtuvo con el método de Walkley-Black de digestión húmeda (Nelson y Sommers, 1982).

### Carbonatos:

Con volumetría de gases. Las correcciones de presión y temperatura se hicieron por carbonato cálcico puro (Ministerio de Agricultura, 1982).

### Nitrógeno total (orgánico + nitrato):

El N total (N) se sacó por colorimetría de  $\text{NH}_3$  después de digestiones Kjeldahl (Bremner, 1965).

### Fósforo asimilable:

El fosfato presente en el suelo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) se obtuvo mediante calorimetría (Olsen y Dean, 1965).

### Potasio asimilable:

Por fotometría de llama, teniendo que hacer una extracción previa en una solución de acetato amónico 1N a pH 7.

Las cantidades extraídas son muy variables en función del cultivo, dependiendo principalmente del rendimiento esperado. Una vez hayamos calculado las necesidades del cultivo para un suelo que tenga una fertilidad media, tenemos que multiplicar estas necesidades por un factor de corrección que cambia en función del tipo de suelo y las diferentes formas de cultivo (Ministerio de Agricultura, 1982).



## 6. Resultados y discusión

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos tomados de la velocidad del viento y de la intensidad de turbulencia aumentan en los anemómetros sónicos ubicados a 2, 4 y 6 m hacia el viento y a sotavento de la malla donde se muestran más adelante (Figura 13). A la altura de un metro demostraron que no hubo un efecto importante a cuatro y seis metros de distancia a la malla. Los anemómetros sónicos alrededor del cortavientos demostraron una media del 72% en la perpendicular ( $u_x$ ) a la malla en una altura de 0.4 m. Por el contrario, el componente ( $u_y$ ) a un metro de altura se redujo una media de 41%, causado por los efectos del borde cerca de la barrera contra el viento. La magnitud de la turbulencia ( $i$ ) aumento a sotavento, ya que al pasar a través de la malla la velocidad media disminuyó.



**Fig. 13.** Anemómetros 2D en torno a la malla de cortavientos.

**Tabla 4.** *Velocidad del viento e intensidad de turbulencia.*

Barlovento/ Sotavento	% Reducción		% Incremento	
	U <sub>x</sub>	U <sub>y</sub>	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>
0.4 - 6 / 0.4 - 6R	-	-	-	-
0.7 - 6 / 0.7 - 6R	-	-	-	-
1 - 6 / 1 - 6R	-	-	-	-
0.4 - 4 / 0.4 - 4R	31	-	4	14
0.7 - 4 / 0.7 - 4R	29	3	22	31
1 - 4 / 1 - 4R	-	-	1	2
0.4 - 2 / 0.4 - 2R	72	26	40	47
0.7 - 2 / 0.7 - 2R	41	16	31	26
1 - 2 / 1 - 2R	14	41	11	13

Las muestras se diferencian por la altura y la distancia de muestreo hasta la barrera cortavientos, si incluye una R mayúscula significa a sotavento, el que no incluye la R es barlovento.

La perspectiva está en los efectos acerca de las características de los sedimentos capturados en el muestreador de Fryrear, BSNE. En las siguientes tablas se muestran los valores de suelo y de sedimentos para los diferentes componentes y las pérdidas de peso del sedimento, en suelos con costra y en suelos labrados. Tenemos que tener en cuenta la erosión eólica estimada por Asensio et al. (2016) para esta zona fue  $6.3 \pm 0.8$  para suelo con costra y  $15.9 \pm 1.8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  para suelos labrados (n=5). Se muestran los componentes del sedimento del suelo con costra ya que solo se encontraron diferencias importantes en arena muy fina, limo grueso y contenido de carbono orgánico a 0.4 metros de altura. Las diferencias de peso tienen que ver con el primer punto de muestreo 6 metros, a barlovento y a la misma altura.

**Tabla 5.** Componentes de textura en los 3 cm superiores del suelo ( $LV_x$ ) y en trampas de sedimentos.

MUESTRA	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Limo grueso	Limo fino	Arcilla
	(%)							
<b>LV<sub>x</sub></b>	0.3±0.1	5.3±0.7	6.1±0.6	8.9±1.1	25.9±3.2	26.8±2.8	6.3±0.7	20.4±1.0
<b>0.4-6</b>	0.1±0.0	0.1±0.0	0.3±0.1	0.5±0.2	23.0±2.6	40.2±3.1	9.4±0.5	26.6±2.8
<b>0.7-6</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.0	0.3±0.1	15.3±1.1	42.3±3.9	14.9±1.4	27.0±1.3
<b>1-jun</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.1	0.2±0.1	11.4±1.3	42.6±0.8	15.5±0.3	30.3±1.6
<b>0.4-4</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.1	0.4±0.2	23.4±2.0	41.1±3.4	10.1±0.7	24.8±2.2
<b>0.7-4</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.1	0.2±0.1	15.5±1.1	43.5±3.9	15.2±1.5	25.3±1.2
<b>1-abr</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.1	11.8±1.7	42.2±0.5	15.3±0.3	30.5±1.4
<b>0.4-2</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.1	0.3±0.2	23.7±2.1	42.4±3.9	9.9±0.6	23.6±3.9
<b>0.7-2</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1	0.2±0.1	15.6±1.1	43.5±4.4	15.4±1.5	25.1±1.9
<b>1-feb</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.1	11.5±1.3	42.9±0.8	15.7±0.4	29.8±1.6
<b>0.4-2R</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1	0.2±0.1	24.9±2.2	43.6±2.8	10.7±0.5	20.5±3.2
<b>0.7-2R</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.0	0.2±0.1	16.0±1.2	44.1±3.7	16.1±1.5	23.5±1.0
<b>1-2R</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.0	11.5±1.3	41.4±1.7	15.9±0.3	31.1±1.4
<b>0.4-4R</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.1	0.2±0.1	24.2±2.1	43.2±3.2	10.3±0.4	21.8±3.5
<b>0.7-4R</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1	0.2±0.0	16.0±1.1	44.9±3.6	15.7±1.7	23.1±1.3
<b>1-4R</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.1	11.6±1.3	42.8±0.6	15.9±0.2	29.5±1.3
<b>0.4-6R</b>	0.1±0.0	0.1±0.1	0.2±0.0	0.3±0.1	23.7±2.0	40.6±3.1	9.7±0.5	25.4±2.8
<b>0.7-6R</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.1	0.2±0.1	15.9±1.1	42.7±4.0	15.2±1.4	25.7±1.3
<b>1-6R</b>	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.2±0.1	11.8±1.2	42.7±0.8	16.0±0.3	29.3±1.4

Los datos son medidas  $\pm$  desviación standard ( $n=3$ ). Textura franca a francolimosa.

Las diferentes trampas capturaron los sedimentos al cual le hemos hecho un análisis estadístico ANOVA de sus características. Dicho análisis nos mostró que el efecto de interacción altura-distancia cortavientos fue significativo sólo para la variable de reducción de peso ( $p < 0.05$ ). Un ANOVA de dos factores enseñó que había diferencias significativas para la altura en la mayoría de las variables excepto para el limo. En el caso de la distancia, el efecto principal del cortavientos hubo diferencias importantes para la mayoría de las variables excepto para arena muy fina, limo y C.O.

**Tabla 6.** Carbono orgánico (OC), nitrógeno total (N), fósforo y potasio disponibles (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O), contenido de carbonato equivalente (CO<sub>3</sub><sup>=</sup>) en los 3 cm superiores del suelo (LVx) y en trampas, y puede ser observó la reducción de peso en trampas para suelos con costra y labranza.

MUESTRA	C.O. (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (mg·kg <sup>-1</sup> )	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (%)	% Reducción de peso encostrado	% Reducción de peso labrado
LV <sub>x</sub>	2.84±0.19	0.195±0.042	5±2	16±4	2±1	-	-
40-6	1.94±0.13	0.318±0.036	4±1	18±3	2±1	0±0	0±0
70-6	1.90±0.11	0.229±0.028	8±1	8±4	2±1	0±0	0±0
100-6	1.77±0.08	0.201±0.014	7±1	6±4	2±0	0±0	0±0
40-4	1.89±0.11	0.306±0.040	4±1	18±2	2±1	10±2	41±5
70-4	1.83±0.12	0.218±0.030	7±1	9±6	1±1	6±1	21±3
100-4	1.69±0.11	0.202±0.015	5±1	7±4	1±1	1±1	5±2
40-2	1.83±0.12	0.299±0.031	6±1	14±2	2±0	22±2	83±9
70-2	1.85±0.10	0.212±0.039	8±1	8±2	0±0	14±2	48±6
100-2	1.75±0.08	0.195±0.014	6±2	6±1	1±0	3±1	11±2
40-2R	1.76±0.13	0.265±0.024	3±1	12±2	1±0	59±4	217±25
70-2R	1.78±0.11	0.184±0.023	6±2	6±3	0±0	34±2	108±14
100-2R	1.66±0.09	0.165±0.018	5±1	4±3	0±0	9±1	27±2
40-4R	1.84±0.14	0.289±0.035	5±2	16±2	1±0	36±1	128±12
70-4R	1.82±0.10	0.211±0.027	9±1	9±2	0±0	43±1	132±16
100-4R	1.70±0.08	0.186±0.015	7±1	7±1	0±0	3±2	14±3
40-6R	1.88±0.10	0.311±0.037	5±1	15±3	1±0	6±0	21±2
70-6R	1.81±0.11	0.222±0.031	8±1	8±1	0±0	3±1	12±2
100-6R	1.69±0.06	0.193±0.015	7±2	7±2	0±0	1±1	5±1

Los datos son medidas ± desviación standard (n=3).

El análisis de los componentes principales (PCA), usando el método de la media aritmética para elegir el número de componentes, identificó cuatro componentes que explican el 81.3% de la varianza total. Conforme con la matriz de componentes C1-C2 que se muestran en la siguiente figura (Figura 14), variables como arena muy fina, N o K<sub>2</sub>O disponible, se relacionaron positivamente con C1. Todo lo contrario, ha pasado con el limo fino que se asoció

negativamente con ese componente. Se asoció positivamente el componente C2 con la reducción de peso y negativamente con la arcilla.

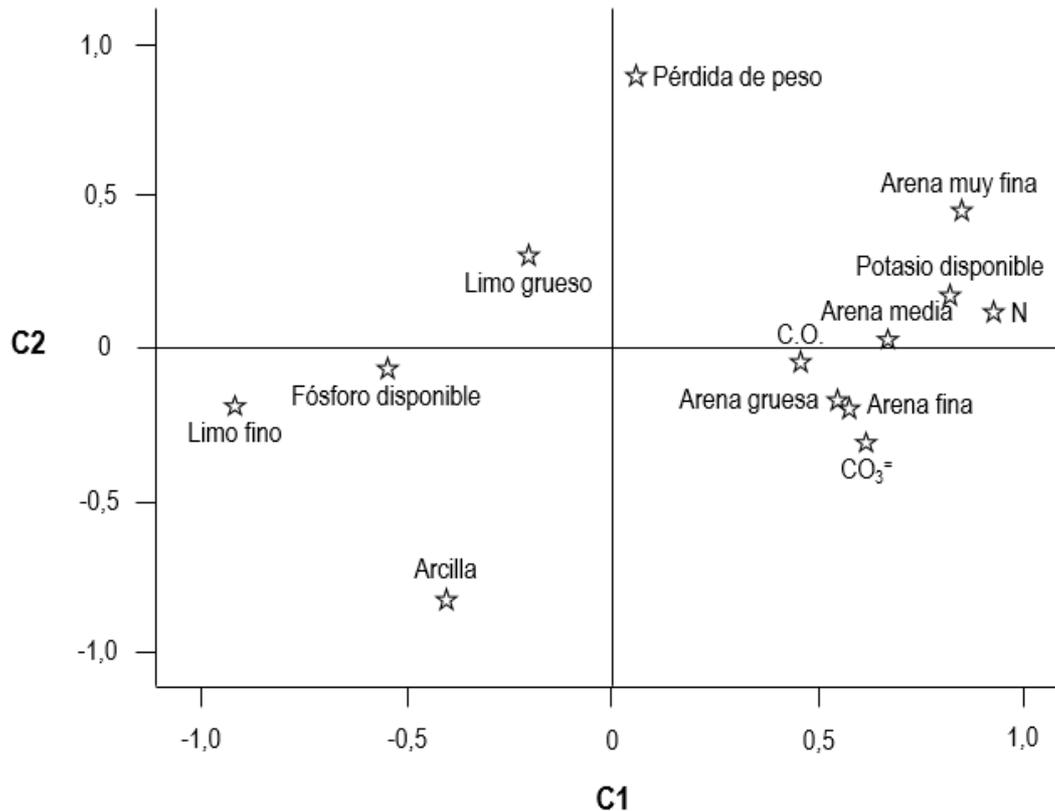
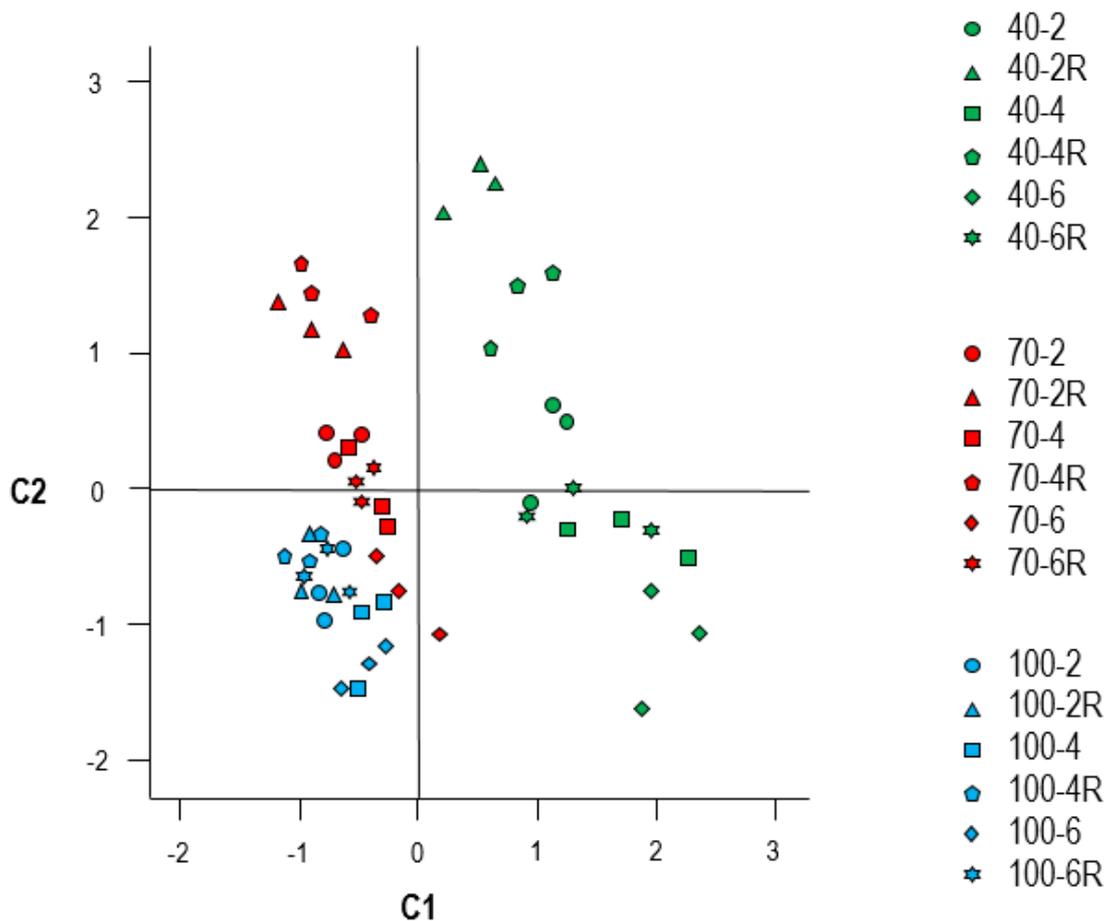


Fig. 14. Características analíticas de la matriz de Componentes C1-C2

El estudio de la combinación de la altura y la distancia cortavientos (WD) en las variables asociadas con los primeros componentes. La figura 15 muestra que el componente C1 diferencia la altura a la que se obtuvieron los datos analíticos, entre todas las alturas los de mayor C1 corresponden a los puntos 6, 4 y 6R m WD, después en los datos adquiridos en 2 y 4R y por último a los de 2R. Para el C2, los más bajos corresponden a 0.4 m de altura y a 6 y 4 m WD. Por otro lado, los datos obtenidos de una altura de 0,4 m, 2R y 4R m WD predominan por su fuerte reducción de peso y bajo contenido de arcilla. De los datos tomados a 0.7 m de altura tienen valores nulos a 6, 4 y 6R m WD comparándolos con negativos para 2, 2R y 4R, pese a que son moderados en las variables asociadas a C1. En el componente C2, se pueden observar cómo los datos correspondientes a 4R y 2R m WD son más extremos, por lo tanto,

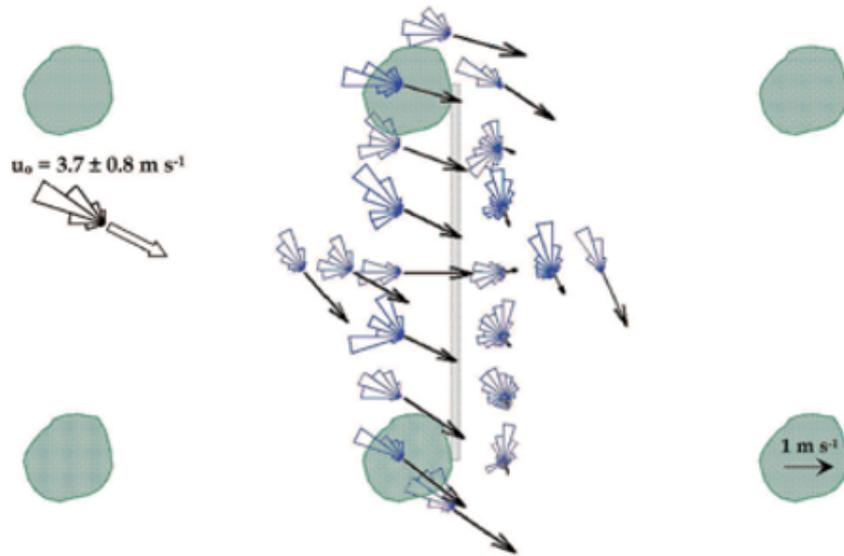
tienen una fuerte reducción de peso y menos arcilla. No obstante, a 6 y 4 m WD es bajo, mientras en las demás muestras de WD en C2 es casi nulo, siendo moderada en reducción de peso como en arcilla. En los datos obtenidos a 1 m de altura presentan un comportamiento parecido en todos los WD. Por lo tanto, el Componente C1 se puede identificar como un factor diferenciador para la altura, mientras que el C2 cambia la distancia desde la barrera contra el viento.



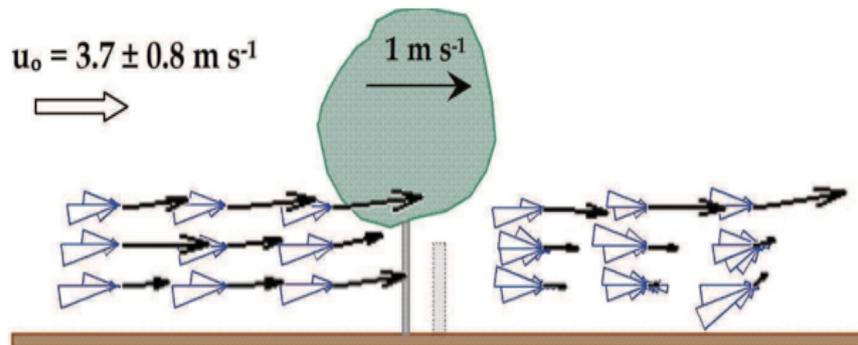
**Fig. 15.** Características de puntos de muestreo de distancia altura-cortavientos (barlovento y sotavento incluyendo R) en la matriz Componente C1-C2.

Mientras se realizaron las pruebas, la erosión eólica se presenta especialmente en fracciones de arena, limo y arcillas muy finas (Hagen et al., 2010). Se recogieron grandes cantidades mediante trampas colocadas a 1 m de altura de limo fino y arcilla. Por otro lado, en trampas colocadas a 0.4 m (Figura 16) grandes cantidades de arena muy fina y limo, y a medida

que aumentaba la altura de la trampa se iban recogiendo cantidades más pequeñas. Cuando mayor es la altura de la barrera más efectiva es la protección contra el viento, la retención de sedimentos aumentó y la distancia efectiva también. Sin embargo, cuanto mayor sea la barrera, tiene más requerimientos de coste y de trabajo para su instalación. Por lo tanto, a la altura de 0.7 m podría ser un equilibrio perfecto para estos suelos.



*Fig. 16. Comportamiento del aire a una altura de 0.4 m.*



*Fig. 17. Vista general del comportamiento del flujo de aire a una velocidad de 3,7 m·s⁻¹.*

En general, las trampas recolectaban menos sedimento cuanto más cerca estaban, tanto a sotavento como a barlovento. La reducción en la pérdida de partículas es debido al efecto positivo de la distancia de muestreo, que provoca un aumento de peso total del sedimento recogido por las trampas. Comparando los suelos con el peso de sedimento recogido por las trampas, la cantidad de sedimento recogido fue menor en suelos con costra que en la labrada. Tenemos que considerar que la erosión eólica evaluada en estos suelos (Asensio et al., 2016) es más de 2.5 veces mayor en los suelos labrados, donde además, la forma de suspensión de partículas es mucho más intenso, superando la altura de muestreo (Figura 17). A pesar de esto, la arcilla retenida, la arena muy fina y el carbono orgánico aumentaron más de 3, 3.5 y 6,8 % respectivamente, a 0.4 – 2R, haciendo así que podamos comparar el efecto en suelos con costra y labrados. Y esto es sólo para un episodio de viento. Se pueden imaginar con el tiempo. Una gran disminución de transporte de sedimentos se concentró cerca de la malla cortavientos (Colazo y Buschiazzo, 2015). A una distancia de 6 metros a favor del viento (8,6 veces su altura) el cortavientos casi no tuvo efecto en el transporte general de sedimentos. Pero, considerando la acumulación debido a la erosión eólica y los resultados para suelos con costra y labrados, recomendamos el uso de cortavientos de malla en este olivar, después de la realización de la labranza y durante los 10 días siguientes hasta la formación de la costra en el suelo. Estas mallas son económicas y se pueden almacenar fácilmente hasta la siguiente labranza. Es una inversión económica baja y tendrá un gran impacto en la reducción en los costes de producción.

**Tabla 7.** Densidad aparente media (D.A.) del suelo (n=5) y resultados de pérdida media registrada por el láser-scan y en el túnel de viento en suelos encostrados y labrados. Los datos son medias  $\pm$  desviación standard.

MUESTRA	D.A. (t·m <sup>-3</sup> )	Suelo encostrado		Suelo labrado	
		Erosión Eólica			
		Pérdida Láser-scan (mm)	Pérdida Túnel (t·ha <sup>-1</sup> )	Pérdida Láser-scan (mm)	Pérdida Túnel (t·ha <sup>-1</sup> )
<b>LV<sub>x</sub></b>	1.22	0.52 $\pm$ 0.07	6.3 $\pm$ 0.8	1.30 $\pm$ 0.18	15.9 $\pm$ 1.7



## 7. Conclusiones

### CONCLUSIONES

1ª. Este estudio confirma que las técnicas de anemometría sónica ayudan a identificar los patrones de movimiento del viento cerca de los rompevientos y a analizar parámetros como los componentes del vector de velocidad del viento o las características de flujo turbulento, los cuales están relacionados directamente con la erosión eólica del suelo.

2ª. La forma más útil y económica para reducir la erosión del viento es la instalación de mallas cortavientos. Con la malla probada, se consiguió una reducción media del 72% en la velocidad del viento a una altura de 0.4 m y a 2 m del cortavientos.

3ª. A sotavento la intensidad de turbulencia aumentó debido a la disminución de la velocidad del viento. A mayores distancias desde la barrera o a distancias cercanas a su borde superior, la turbulencia se mostró menos pronunciada.

4ª. Además de reducir el transporte de sedimentos por el viento, se ha demostrado que las mallas son una herramienta barata y reutilizable para reducir la erosión eólica los días inmediatamente después de labrar los olivares ecológicos.

# 8. Competencias integradas en el proyecto

## COMPETENCIAS INTEGRADAS EN EL PROYECTO

### *Competencias Básicas*

- Aplicación de conocimientos
- Capacidad de emitir juicios
- Capacidad de comunicar y aptitud social
- Habilidad para el aprendizaje

### *Competencias Transversales*

- Conocimiento de una segunda lengua
- Conocimientos básicos de la profesión
- Capacidad para resolver problemas
- Comunicación oral y escrita en la propia lengua
- Habilidad en el uso de las TIC
- Capacidad de crítica y autocrítica
- Trabajo en equipo
- Compromiso ético
- Capacidad para aprender a trabajar de forma autónoma



## 9. Bibliografía

## BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR J., MARTÍN F., SIERRA M., ORTIZ R., OYONARTE C. (2004). Mapa digital de suelos: Provincia de Almería (Escala 1:100.000). Ed.: Dirección general para la biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. NIPO: 311-04-082-5.

ARJMAND SAJJADI S., MAHMOODABADI M. (2015). Aggregate breakdown and surface seal development influenced by rain intensity, slope gradient and soil particle size, *Solid Earth*, 6, 311-321.

ASENSIO C., GIMÉNEZ A., TORRES J.A., LOZANO F.J. (2013). Nuevo sistema para la evaluación de la erosión eólica. VI Congreso Nacional para el Control de la Degradación y Restauración de Suelos. Almería.

ASENSIO C., LOZANO F.J., ORTEGA E., KIKVIDZE Z. (2015). Study on the effectiveness of an agricultural Technique based on aeolian deposition, in a semiarid environment, *Environmental Engineering and Management Journal*, 14, 1143-1150.

ASENSIO C., LOZANO F.J., GALLARDO P., GIMÉNEZ A. (2016). Soil wind erosion in ecological olive trees in the Tabernas desert (Southeastern Spain): a wind tunnel experiment, *Solid Earth*, 7, 1233-1242.

BASARAN M., ERPUL G., UZUN O., GABRIELS D. (2011). Comparative efficiency testing for a newly designed cyclone type sediment trap for wind erosion measurements, *Geomorphology*, 130, 343-351.

BENISTON J.W., SHIPITALO M.J., LAL R., DAYTON E.A., HOPKINS D.W., JONES F., JOYNES A., DUNGAIT J.A.J. (2015). Carbon and macronutrient losses during accelerated erosion under different tillage and residue management, *Eurasian Journal of Soil Science*, 66, 218-225.

BOGUNOVIC I., KISIC I. (2017). Compaction of a Clay Loam Soil in Pannonian Region of Croatia under Different Tillage Systems, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19, 475-486.

BORRELLI P., PANAGOS P., MONTANARELLA L. (2015). New insights into the geography and modelling of wind erosion in the European agricultural land. Application of a spatially explicit indicator of land susceptibility to wind erosion, *Sustainability*, 7, 8823-8836.

BRANDLE J.R., ZHOU X., HODGES L. (2006). How windbreaks work, University of Nebraska, Lincoln, NE, USA. Extension EC1763.

BREMNER, JM. (1965). Nitrogen availability indexes. En CA Black et al. (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monogr. 9.* ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, EEUU. p. 1324-1345.

BURTIEV R., GREENWELL F., KOLIVENKO V. (2013). Time series analysis of wind speed and temperatura in Tiraspol, Moldova, *Environmental Engineering and Management Journal*, 12, 23-33.

CANTÓN Y., DOMINGO F., SOLÉ-BENET A., PUIGDEFÁBREGAS J. (2001a). Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. *Journal of Hydrology*, 252: 65-84.

CANTÓN Y., SOLÉ-BENET A., QUERALT I., PINI R. (2001b). Weathering of a gypsum-calcareous mudstone under semi-arid environment at Tabernas, SE Spain: laboratory and field-based experimental approaches. *Catena*, 44:111-132.

CAPEL MOLINA, J.J. (1982). La aridez en la península Ibérica. Algunos índices bioclimáticos. En: *Homenaje almeriense al botánico Rufino Sagredo.* Instituto de Estudios Almerienses. Almería

CAPEL MOLINA, J. J. (1986). El clima de la provincia de Almería. Publicaciones de la Caja de Ahorros de Almería. 262 p.p. Almería.

CAPEL MOLINA, J.J. (1990). Climatología de Almería. Instituto de estudios almeriense, Diputación de Almería, 159 p.

COLAZO J.C., BUSCHIAZZO D.E. (2010). Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina, *Geoderma*, 159, 228-236.

COLAZO J.C., BUSCHIAZZO D.E. (2015). The Impact of Agriculture on Soil Texture Due to Wind Erosion, *Land Degradation & Development*, 26, 62-70.

CUERVA A., SANZ-ANDRÉS A. (2000). On sonic anemometer measurement theory. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 88; 25-55.

F.A.O.-P.N.U.M.A. (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. Italia. 86 pp.

FERAS Y., ERPUL G., BOGMAN P., CORNELIS W.M., GABRIELS D., (2008). Determination of efficiency of Vasaline slide and Wilson and Cook sediment traps by wind tunnel experiments, *Environmental Geology*, 55, 741-757.

FRYREAR D.W., SALEH A. (1995). Soil losses by wind erosion. *Soil Sci. Soc Am.J.* 59:668-672. FÜCHTBAUER.

GEE G.W., BAUDER, J.W. (1986). Particle-size analysis. p. 383-411. In A Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9 (2ed).* American Society of Agronomy/Soil Science Society of America, Madison, WI.

GOMESA L., ARRÚE J.L., LÓPEZ M.V., STERK G., RICHARD D., GRACIA R., SABRE M., GAUDICHET A., FRANGI J.P. (2003). Wind erosion in a semiarid agricultural area of Spain: the WELSONS project, *Catena*, 52, 235-256.

HAGEN L.J., VAN PELT S., SHARRATT, B. (2010). Estimating the saltation and suspension components from field wind erosion, *Aeolian Research*, 1, 147-153.

I.G.M.E. (1982). Mapa Geológico de la Plataforma Continental Española y zonas adyacentes; hoja 84-85-84S-85S (Almería-Garrucha-Chella-Los Genoveses).

IUSS Working Group WRB (2014). International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 181 p.

KLEVERLAAN K. (1989a). Neogene history of the Tabernas basin (SE Spain) and its Tortonian submarine fan development. *Geologie en Mijnbouw*, 68:421- 432.

KLEVERLAAN, K. (1989b). Three distinctive feeder-lobe systems within one time slice of the Tortonian Tabernas fan, SE Spain. *Sedimentology*, 36:25-45

KRAVCHENKO Y.S., CHEN Q., LIU X., HERBERT S.J., ZHANG X. (2016). Conservation Practices and Management in Ukrainian Mollisols, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 1455-1466.

LÁZARO R., RODRÍGUEZ M.L., ORDIALES R., PUIGDEFÁBREGAS, J. (2004). Subdesiertos de Almería: naturaleza de cine. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, pp 62-79

LÁZARO R., RODRIGO F.S., GUTIÉRREZ L., DOMINGO F., PUIGDEFÁBREGAS, J. (2001). Analysis of a 30-year rainfall record (1967- 1997) in semi-arid SE Spain for implications on vegetation. *Journal of Arid Environments* 48: 373-395.

LEYS, J. F. (2002). Erosion by Wind, Effects on Soil Quality and Productivity. In *Enciclopedia of Soil Science*. (Ed. R Lal) pp. 499-502.

LI F.R., ZHAO L.Y., ZHANG T.H. (2004). Wind erosion and airborne dust deposition in farmland during spring in the Horqin Sandy Land of eastern Inner Mongolia, China, *Soil Tillage and Restoration*, 75, 121-130.

LÓPEZ A., VALERA D.L., MOLINA-AIZ F.D. (2011). Sonic anemometry to measure natural ventilation in greenhouses, *Sensors*, 11, 9820-9838.

LÓPEZ, A., VALERA, D. Y MOLINA-AIZ, F. (2012). Ventilación Natural en Invernaderos. Editorial académica española. 541 pp.

LÓPEZ A., VALERA D.L., MOLINA-AIZ F.D., LOZANO F.J., ASENSIO C. (2017). Sonic anemometry and sediment traps to evaluate the effectiveness of windbreaks in preventing wind erosion, *Scientia Agricola*, 74, 425-435.

LOZANO F.J., SORIANO M., MARTÍNEZ S., ASENSIO C. (2013). The influence of blowing soil trapped by shrubs on fertility in Tabernas district (SE Spain), *Land Degradation & Development*, 24, 575-581.

MINISTERIO DE AGRICULTURA (1982). *Métodos Oficiales de Análisis del Ministerio de Agricultura*. Madrid. 182p.

MOLINA-AIZ F.D., VALERA D.L., ÁLVAREZ A.J., MADUEÑO A. (2006). A wind tunnel study of airflow through horticultural crops: determination of the drag coefficient, *Biosystems Engineering*, 93, 447-457.

MOLINA-AIZ F.D., VALERA D.L., PEÑA A.A., GIL J.A., LÓPEZ A. (2009). A study of natural ventilation in an Almería-type greenhouse with insect screens by means of tri-sonic anemometry, *Biosystems Engineering*, 104, 224-242.

MORGAN J., CANNELL, M. (1994). Shape of Tree Stems - a Reexamination of the Uniform Stress Hypothesis. *Tree Physiol.* 14, 49-62.

MERLO M.E., RODRIGUEZ-TAMAYO M.L., CABELLO PIÑAR J., LÁZARO R. (2004). Adaptaciones de la flora y vegetación: implicaciones del clima y biotopos. Subdesiertos de Almería: naturaleza de cine. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente.

NOVARA A., GRISTINA L., SALADINO S.S., SANTORO A., CERDÀ A. (2011). Soil erosion assessment on tillage and alternative soil managements in a Sicilian vineyard, *Soil Tillage and Restoration*, 117, 140-147.

NELSON D.W., SOMMERS L.E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2.* pp. 539-594. Agron. Mongr. 9 2nd ed ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

OLSEN S. R., DEAN L.A. (1965). Phosphorus. In: *Methods of Soil Chemical Analysis*, C.A. Black et al. (eds.) Part 2. *Agronomy* 9:1035-1049. American Society of Agronomy Inc., Madison, Wisconsin USA.

PASCUAL E., DONAIRE T., MATAS J., DÍAZ A., ALMARZA J.J., DONAIRE M. (2001). Some precisions on the geochemical features of igneous rocks in the Spanish Iberian Pyrite Belt: first results from a new geochemical study. *GEODE Workshop: Massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt* 45-46, Aracena (Huelva), E.

PÉREZ-PUJALTE A., OYONARTE C., GARCÍA-CHICANO A., FERNÁNDEZ R., BURGOS M. C., QUESADA J. L., GUIRADO C., DÍAZ J. L. (1987). Mapa de suelos. Hoja de Tabernas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA, CSIC. Granada.

PROSDOCIMI M., CERDÀ A., TAROLLI P. (2016). Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review, *Catena*, 141, 1-21.

REZAEI N., ROOZITALAB M.H., RAMEZANPOUR H. (2012). Effect of Land Use Change on Soil Properties and Clay Mineralogy of Forest Soils Developed in the Caspian Sea Region of Iran, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 1617-1624.

SHARIFIKIA M. (2013). Environmental challenges and drought hazard assessment of Hamoun Desert Lake in Sistan region, Iran, based on the time series of satellite imagery, *Natural Hazards*, 65, 201-217.

SOIL CONSERVATION SERVICE, SCS. (1972). Section 4: Hidrology. National Engineering Handbook. Soil Conservation Service. United States Department of Agriculture.

QUIRANTES J., CUADROS S., FRANEIA J.R. (1989). Simulador eólico portable para estudios cualitativos de erosión eólica. Congreso Forestal Español, 1993

VAEZI A.R., BAHRAMI H.A. (2014). Relationship between Soil Productivity and Erodibility in Rainfed Wheat Lands in Northwestern Iran, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 1455-1466.

VALERA D.L., MOLINA-AIZ F.D., ALVAREZ A.J., (2006). Aerodynamic analysis of several insect-proof screens used in greenhouses, *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4, 273-279.

VILLALOBOS, F.J. (2002). *Fitotécnia. Bases y Tecnologías de la Producción Agrícola*. Ed. Mundi Prensa. Madrid, 1-493

YILDIZ S., ENÇ V., KARA M., TABAK Y., ACET E. (2017). Assessment of the potential risks of airborne microbial contamination in solid recovered fuel plants: A case study in Istanbul, *Environmental Engineering and Management Journal*, 16, 1415-1421.

ZOBECK T. M., BADDOCK M., VAN PELT R.S., TATARKO J., ACOSTA-MARTÍNEZ V., (2013). Soil property effects on wind erosion of organic soils, *Aeolian Research*, 10, 43-51.