



**UNIVERSIDAD DE ALMERÍA**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGÍA Y QUÍMICA AGRÍCOLA**

***ALTERACIÓN DE PROPIEDADES DEL SUELO  
POR DEPÓSITOS EÓLICOS FORZADOS EN  
AMBIENTES SEMIÁRIDOS***

**PROYECTO FIN DE CARRERA  
INGENIERÍA AGRÓNOMA**

**Alumna: Margarita Aux. Arévalo Martín**

**Directores:**

***CARLOS M. ASENSIO GRIMA***

***FRANCISCO JAVIER LOZANO CANTERO***

**Julio, 2012**

# ÍNDICE

<b>1. INTERÉS Y OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>7</b>
<b>2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA</b>	<b>10</b>
<b>2.2. FACTORES FORMADORES</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1. Geomorfología</b>	<b>11</b>
<b>2.2.2. Climatología</b>	<b>14</b>
<b>2.2.3. Vegetación</b>	<b>17</b>
<b>2.2.3.1. Especies a estudio</b>	<b>20</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>22</b>
<b>3.1. MÉTODOS DE GABINETE</b>	<b>22</b>
<b>3.2. MÉTODOS DE CAMPO</b>	<b>23</b>
<b>3.3. MÉTODOS DE LABORATORIO</b>	<b>27</b>
<b>3.3.1. Análisis de datos</b>	<b>29</b>
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>31</b>
<b>4.1. PERFIL DEL SUELO</b>	<b>32</b>
<b>4.2. RESULTADOS ANALÍTICOS</b>	<b>34</b>
<b>4.3. IMÁGENES DE LA ZONA</b>	<b>47</b>
<b>5. DISCUSIÓN</b>	<b>51</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>55</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>57</b>

# **1. INTERÉS Y OBJETIVOS**

## 1. INTERÉS Y OBJETIVOS

La erosión eólica del suelo está condicionada por las propiedades inherentes al mismo, diferentes características del viento y la cubierta vegetal de la superficie. En la periferia del Desierto de Tabernas (SE español), en áreas olivareras, se está imponiendo una nueva técnica de cultivo, consistente en forzar el depósito eólico en plantones, lo que permite, según los agricultores, reducir el laboreo y obtener un incremento significativo en la productividad. Esa práctica consiste en un único aporte extra de viento forzado, con una sopladora, al año, lo que produce una polvareda que queda parcialmente retenida por el cultivo.

Para estudiar la influencia de esa técnica sobre las propiedades del suelo y justificar su uso, pretendemos modificar el método haciendo aplicaciones mensuales de viento extra en vegetación natural, al objeto de analizar los efectos del depósito de materiales y evaluar para diferentes especies vegetales la capacidad de retención de los materiales transportados eólicamente.

Se generarán unas condiciones de viento forzado constante, mediante el uso de una sopladora mecánica, con algunas adaptaciones. La turbulencia obtenida y la velocidad del viento a 3 metros de la salida se comprobarán en laboratorio y en campo. Las aplicaciones se harán coincidiendo con la dirección media mensual del viento natural.

El muestreo del suelo se realizará en claros y bajo copas de *Retama sphaerocarpa* y *Salsola genistoides*, especies muy representativas de las zonas llanas semiáridas estudiadas, antes de iniciar los ensayos. De las repeticiones para cada especie, unas seguirán el tratamiento con aporte extra de viento, mientras que las otras (controles) permanecerán en condiciones naturales. Tras los ensayos, se volverá a muestrear bajo copas, tanto de las especies sometidas a un aporte extra de viento, como de las que se mantuvieron en condiciones naturales. Pretendemos ver los cambios influenciados por el incremento del régimen eólico y las variaciones provocadas por el material depositado.

Las especies naturales de arbustos elegidas pueden ayudar a comprobar la efectividad de la aplicación forzada de viento. Así, nuestros objetivos serán:

1. Analizar los efectos del depósito de materiales sobre las propiedades del suelo
2. Comparar las diferencias entre el efecto de retención de dos especies vegetales
3. Observar la relación entre los cambios en las propiedades del suelo y los efectos sobre plantas sometidas a vientos forzados frente a otras en su ambiente natural.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La información referente a los antecedentes edáficos en la zona así como a la casuística se basa en mapas de suelos a gran escala o bien a estudios puntuales en zonas próximas a nuestra área.

Los mapas de suelos más actuales de la zona son el resultado de una evolución en el conocimiento de los mismos gracias a diversos estudios a lo largo de los años. Dichos estudios quedan reflejados en diversas publicaciones de muy diferentes organismos; entre ellos cabría destacar en primer lugar a la FAO, que en el año 1967 publica “Mapa de Suelos Europeos”, a escala 1: 2.500.000, donde destacan Serosem y suelos pardos rojizos asociados a Litosoles. Años más tarde, hacia el 1974, la Junta de Andalucía en una publicación denominada “Catálogo de los Suelos de Andalucía”, hizo también referencia a las diferentes tipologías de suelos de la zona. La Comisión de las Comunidades Europeas en el año 1985 también editaría un “Mapa de Suelos de Comunidades Europeas”, a escala 1:1.000.000, así como años más tarde (1991) publicaría “Memoria y Cartografía de Suelos” como base para la protección de los suelos europeos.

Por otro lado, y sumándose a la aportación de información de los suelos de la zona el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en el año 1981 también editó diferentes “Mapas de Cultivos y Aprovechamientos” a escala 1:50.000, de la hoja

topográfica de Tabernas, en la que se incluye íntegramente nuestra zona de estudio. Análogamente, el Instituto Tecnológico Geominero de España, sobre la base geográfica del Instituto Geográfico Nacional, publicó el “Mapa Geológico de Tabernas” (1991), a escala 1:50.000. Dentro del Convenio Universidad de Granada – ICONA, y bajo el marco del Proyecto LUCDEME, se realizó la “Memoria y Mapa de Suelos”, a escala 1:100.000, de Tabernas (hoja 1030).

Con respecto a los procesos erosivos, existen trabajos que constatan la variabilidad espacial de los mismos en la zona de estudio (Calvo-Cases et al., 1991, Solé et al., 1997). Calvo-Cases et al., (1991) llega a la conclusión de que los factores que controlan la erosión están relacionados con la cubierta de la superficie del suelo, particularmente con la existencia de umbrales para laderas desnudas y laderas cubiertas por piedras, plantas o líquenes.

La zona del desierto de Tabernas se ajusta, tal y como queda reflejado en el trabajo de Oyonarte (2004), a la conceptualización de suelos áridos: gran variabilidad de tipologías de suelos con estrechas relaciones con la litología y geomorfología, y alta fragmentación espacial.

En trabajos más actuales tal como el de Simón et al., (2005), se presenta un “Mapa de Suelos de la provincia de Almería” a escala 1:100.000, elaborado a partir de los trabajos previos realizados por Gil et al., (2005) y Aguilar et al., (2004). En este mapa las unidades de suelos definidos se han clasificado según la FAO (1999), diferenciándose para la zona de Tabernas los siguientes tipos de suelos: Leptosoles líticos, calcáricos, eútricos y réndzicos; Calcisoles háplicos y lúvicos; Luvisoles crómicos y cálcicos; Regosoles calcáricos y eútricos; Fluvisoles calcáricos y eútricos; Solonchaks háplicos; Gipsisoles háplicos; Cambisoles eútricos y unidades misceláneas, algunas de las cuales pueden ser clasificadas en el grupo de los Antrosoles al presentar un horizonte térrico, como en el caso de los cultivos bajo plástico.

La erosión eólica en regiones áridas y semiáridas, donde la vegetación es escasa, las precipitaciones erráticas, y el viento tiene cierta intensidad; las alteraciones texturales que se dan por la reubicación de enormes cantidades de los componentes del suelo puede ocasionar graves problemas ambientales y agrícolas; como son por ejemplo modificaciones en el estado hídrico del suelo, enterramientos o su efecto sobre la emergencia de plantas. Este tipo de erosión (eólica) se ve afectada por las propiedades

inherentes del suelo (Liu et al., 2003), la velocidad del viento (López et al., 2000) y la cobertura vegetal de la superficie (Li et al., 2004). Esta forma de degradación erosiva del suelo afecta al contenido en carbono orgánico de éste o la dinámica del nitrógeno (Méndez et al., 2006), lo que es fundamental para determinar la calidad del suelo, influenciada por el efecto integrado de la gestión en la mayoría de las propiedades del mismo que determinan la productividad agrícola y la sostenibilidad (Sharma et al., 2005).

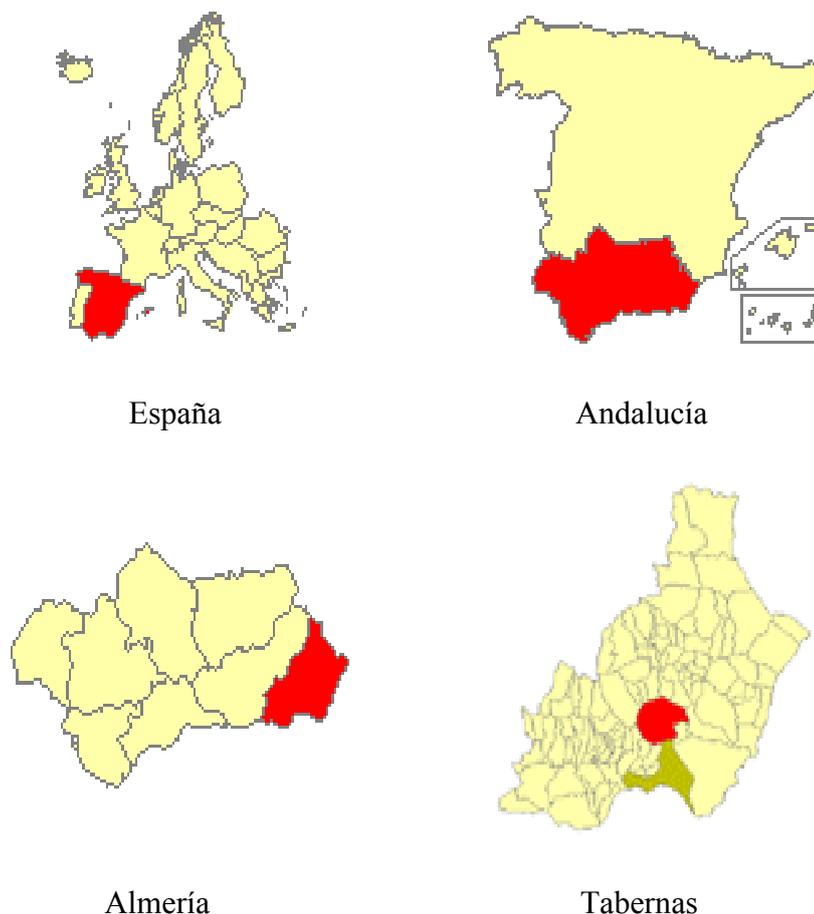
En este proceso erosivo promovido por la acción del viento se pueden diferenciar tres etapas: pérdida de materiales, transporte y posterior depósito de los mismos. La pérdida afecta al secuestro de carbono del suelo (Lal, 2003). Ese secuestro de carbono es importante para la fijación de los gases de efecto invernadero y está relacionado con el índice de cobertura de vegetación (Mahdi et al., 2005; Feng et al., 2006; Piao et al., 2007) y uso de la tierra (Wu et al., 2003).

Y es en la tercera etapa, de depósito, donde nos centramos en este trabajo, en la que la entrada de carbono y nitrógeno procedente de la deposición de sedimentos tiene un importante efecto de fertilización en regiones áridas y semiáridas (Offer et al., 1996). La deposición desempeña un papel importante en el ciclo de nutrientes de los ecosistemas naturales, como se muestra para la zona del Sahel (Biélders et al., 2002) o la meseta de Colorado (Reynolds et al., 2001). Además la agregación de polvo es de gran importancia para el almacenamiento de carbono de los suelos derivados de loess, como indicaron Jacobs y Mason (2005) para grandes llanuras de los Estados Unidos.

## 2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

A unos 30 kilómetros al norte de la capital de la provincia de Almería (sureste de la Península Ibérica) se encuentra la Cuenca de Tabernas, (**Figura nº 1**) limitada al norte por las sierras de los Filabres y Nevada, y por el sur por las sierras de Alhamilla y Gádor. Por el este está se sitúa en continuidad con la Cuenca de Sorbas y por el oeste se extiende hacia el Corredor de las Alpujarras. Esta cuenca intramontañosa tiene una dirección general E-W.

En concreto la zona de estudio está ubicada junto al límite oriental del Desierto de Tabernas, 9 km al ENE de la población del mismo nombre (37°06'N, 2°18'W, 520 m de altitud) en Almería, España. La zona de estudio abarca 3.2 ha, encontrándose el rango de altitud entre 517 y 522 m.s.n.m.



**Figura nº1.** Localización de la zona de estudio

## 2.2. FACTORES FORMADORES

### 2.2.1. Geomorfología

La Cuenca de Tabernas se sitúa dentro del Dominio de Alborán, sobre un basamento metamórfico formado por rocas que pertenecen a los tres complejos que en este dominio se han diferenciado y que son: el Complejo Nevado-Filábride, el Complejo Alpujárride y el Complejo Maláguide; nombrados de abajo a arriba. Los dos primeros afloran ampliamente, mientras que el tercero lo hace de forma más escasa. El origen de la cuenca está relacionado con el último de los episodios extensionales que afectaron a las Zonas Internas Béticas, durante el Mioceno medio (Pascual, 2001).

Los relieves de sierra béticos están constituidos por materiales intensamente metamorfizados y tectonizados de edad Precámbrico-Paleozoico o Triásico (entre 200 y más de 550 millones de años) y pertenecen a los Complejos Tectónicos Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide. Son básicamente esquistos y calizas o mármoles (Villalobos, 2003; 2004).

Como consecuencia de la colisión del continente africano con el europeo surgieron los complejos Nevado-Filábride y Alpujárride de las sierras béticas. Sus rocas se formaron a partir de los sedimentos depositados en el fondo del mar hace cientos de millones de años, para después ser enterradas y sufrir procesos metamórficos. El bloque de Sierra Nevada - Sierra de los Filabres comenzó a emerger del mar hace unos 15 millones de años y como consecuencia, hace unos 8 millones de años, en el Mioceno, se configuró un espacio de tierras emergidas y sumergidas bajo el mar, cuyo registro histórico ha sido recogido por Weijermars et al. (1985). El mar se extendía por el actual territorio del Desierto de Tabernas hasta el pie de la Sierra de los Filabres, en cuyos bordes permanecen arrecifes de coral fósiles, ayudando a marcar la posición de la antigua línea de costa.

En el talud de ese viejo mar se depositaron abanicos submarinos extensos y de gran potencia. Estos materiales, consistentes en alternancias de niveles de margas y arenas son sobre los que hoy se labra, en su mayor parte, el paisaje erosivo del Desierto de Tabernas. Más tarde, hace unos 7 millones de años (Mioceno superior), se levantó Sierra Alhamilla y Sierra de Gádor, cerrando una estrecha y alargada cuenca marina intramontañosa entre este nuevo relieve al sur y Los Filabres al norte (Villalobos, 2003).

El depósito de calizas, margas, arcillas y arenas, e incluso yesos continuó en este ambiente marino unas veces, lacustre otras, hasta que hace unos 4 millones de años (Plioceno inferior) el mar se retiró definitivamente, dejando expuestos los sedimentos a la acción de los agentes erosivos. Como consecuencia, quedaron emergidas amplias superficies de la región y se desarrollaron importantes abanicos deltaicos que recolectaban las aguas procedentes de la Sierra de los Filabres. Uno de ellos es el precursor del actual río Andarax, que ya ocupaba una posición similar, aunque su desembocadura estaba desplazada bastante más hacia el norte.

La provincia de Almería quedó emergida prácticamente al completo durante el final del Plioceno y comienzo del Pleistoceno, hace unos 2 millones de años, donde continuó la elevación de los relieves montañosos y el descenso del nivel del mar. En esta época se diferenciaron áreas sometidas a erosión y áreas con sedimentación. Estas últimas estaban representadas por pequeños lagos, instalados en las zonas más deprimidas, y algunos abanicos fluviales. El principal drenaje durante esa época seguía estando constituido por un sistema fluvial de trazado próximo al del actual Río Andarax, que en su desembocadura al Mediterráneo formaba un importante delta.

Unas nuevas condiciones climáticas más áridas en el Pleistoceno superior suponen la total desecación de las áreas lacustres y la casi total inactividad de los abanicos aluviales. Es a partir de esta época cuando los procesos erosivos se hacen netamente dominantes en la región, iniciándose el modelado del paisaje actual y el desarrollo de la red fluvial, principalmente en forma de surcos y cárcavas, que excava profundamente los sedimentos neógenos y cuaternarios de la Cuenca de Tabernas. El Río Andarax continúa como cauce principal al que vierten todas las aguas de la cuenca, si bien en la actualidad sus aportes de agua y sedimentos al mar son bastante escasos. La depresión de Tabernas se configura desde entonces como una depresión larga y estrecha (20 km de largo y 10 km de anchura) situada al Oeste de la de Sorbas, entre la Sierra de los Filabres y la de Alhamilla (Villalobos, 2003).

En la Depresión de Tabernas-Sorbas (cuenca sedimentaria neógena), la litología dominante está constituida por margas muy bioturbadas y poco estratificadas (Kleverlaan, 1989). La composición mineralógica media de estas margas corresponde a un 35% de moscovitas, un 10% de paragonitas, un 3% de esmectitas más cloritas, un 10% de cuarzos, un 20% de calcitas, un 2% de dolomitas y un 20% de yesos (Cantón et

al., 2001). También se encuentran en menor proporción arenas, areniscas e intercalaciones de materiales propios de ambientes restringidos tales como yesos y carbonatos. Existe otro conjunto lito-sedimentario de origen continental, representado por facies terminales de abanicos aluviales, aunque sólo se reconoce en la parte superior de algunos cerros (Delgado y Puigdefábregas, 1994). La zona de estudio estaría ubicada en esta depresión, cuyo material principal dominante se ha identificado como una serie sedimentaria de margas que contacta con evaporitas, fundamentalmente yeso, del Mioceno (Solé-Benet et al., 1997; Cantón et al., 2001).

Las características climáticas de la zona influyen fuertemente sobre las formas del paisaje, definidas principalmente a partir del Pleistoceno por precipitaciones eventuales y torrenciales, que generan un aparato fluvial tipo ramblas, normalmente secas, pero en fuertes tormentas evacúan gran cantidad de agua y sedimentos de modo casi instantáneo. Por ello sus cauces son muy amplios y encajados, con taludes altos y verticales, aunque permanezcan generalmente secos. En las laderas, blandas y fácilmente erosionables, la arroyada produce acanaladuras, que crecen hasta formar regueros o surcos y terminan en cárcavas separadas por crestas agudas. Este paisaje recibe el nombre de “badlands”, por su dificultad para ser laboreado y puesto en producción agrícola (Howards, 1994).

Como conclusión se puede considerar esta zona como un espacio natural geomorfológicamente joven, pero que a consecuencia de la aridez del clima se encuentra bastante estabilizado. Es por ello que este paisaje no es atribuible a la acción humana, sino a la concurrencia de una serie de factores geológicos, principalmente a la naturaleza blanda de los materiales, y a su propia evolución natural. Esto le confiere la particularidad de ser uno de los espacios de mayor valor científico y didáctico para el estudio y la comprensión de los fenómenos naturales de erosión y desertificación en la cuenca mediterránea (Villalobos, 2003).

### 2.2.2. Climatología

La aridez, tal y como se ha expuesto anteriormente, es la característica determinante en la zona de estudio, Debiéndose esto tanto a la situación geográfica general del área (sureste de la Península Ibérica), como a su posición particular (a sotavento de la circulación atmosférica dominante).

Las masas húmedas del Océano Atlántico son interceptadas por las alineaciones montañosas béticas, de orientación general SW-NE. La topografía determina que estas masas de aire húmedas se enfríen al elevarse para superar las montañas y el agua se condense y precipite. El aire que alcanza a sotavento de estas montañas es cálido y seco por efecto del proceso adiabático que sufre el aire al descender (efecto foehn). Por este motivo se califica al Desierto de Tabernas como un desierto de abrigo topográfico (Capel Molina, 1982; Lázaro et al., 2004). Además, la situación respecto al frente polar y su proximidad al norte de África contribuyen a acentuar aún más el carácter árido de la región (López- Bermúdez, 1990), existiendo evidencias que apuntan a que la aridez ha sido determinante en esta zona, como mínimo, desde hace dos o tres mil años (Lázaro et al., 2004).

El clima de la zona de estudio se ha calificado en la actualidad como semiárido termo-mediterráneo (Lázaro y Rey, 1990), con una temperatura media anual de 17,8 ° C y una precipitación anual media de 283 mm, según los registros de los últimos 10 años en la Estación agroclimática de Tabernas, siendo una de las áreas más secas en Europa (Capel-Molina, 1986). La media anual puede variar de unos años a otros unos 3 ó 4 grados, entre los 16 y los 20 ° C. De similar amplitud es también la variación en el espacio desde las áreas más bajas en el centro y sur de la zona hacia las proximidades de los piedemontes de las sierras circundantes (Lázaro et al., 2004).

Al tener cada año un ciclo anual con fuerte sequía en verano y uno o varios máximos de precipitación en otoño e invierno se considera al clima Mediterráneo. Por otro lado la posición geográfica, la baja altitud y la proximidad del Mediterráneo condicionan un régimen termométrico relativamente suave, siendo comparable al de los territorios mediterráneos circundantes. Se considera en el dominio templado y extratropical porque las oscilaciones estacionales son mayores que las diarias. En cuanto al carácter semiárido se debe a que presenta una aridez muy notable, fuertes variaciones inter e intraanuales de precipitación, elevada proporción de días con muy débil

precipitación, lluvias torrenciales menos frecuentes que en otras áreas mediterráneas, y una oscilación termométrica diaria relativamente elevada, próxima a la oscilación estacional. Este clima, intermedio entre lo mediterráneo y lo desértico (Lázaro et al., 2004) es característico del Sureste Ibérico.

En el momento en el que las borrascas penetran en la Península desde el Atlántico, en dirección Oeste-Este, van descargando en las cordilleras hasta llegar a la gran barrera de Sierra Nevada; se dan las precipitaciones de invierno, produciéndose entonces un efecto sombra en el Desierto de Tabernas (Lázaro et al., 2001). Después del largo y cálido verano, con fuertes índices de insolación, la superficie marítima mediterránea conserva en parte sus caracteres térmicos de altas temperaturas y la evaporación está muy acentuada. Cuando una transgresión de aire polar, bien sea en superficie (frente frío), bien en niveles altos (vaguada o gota fría) alcanza el Sur de la Península Ibérica, se crea una acentuada y brusca inestabilidad dinámica atmosférica, dando lugar a la formación de cumulonimbos, que suelen llegar hasta la Tropopausa, desencadenando aguaceros que pueden llegar a ser torrenciales (Capel Molina, 1982).

El viento en el Desierto de Tabernas está influido la topografía, tanto a escala general, por tratarse de una depresión entre cadenas montañosas, como, sobre todo, a escala de detalle, al nivel del suelo. El viento en un punto depende de la posición del mismo en la red de barrancos y cerros. En la periferia del área, por influencia de las grandes sierras, o en su interior, en las inmediaciones de los cerros principales, existe un régimen de brisas (durante el día del llano a la montaña y durante la noche de la montaña al llano) que, unido al efecto de pantalla de los propios cerros, enmascaran con frecuencia la circulación general del aire, siempre que ésta no sea muy intensa.

El clima tiene una gran influencia sobre los biotopos y la biocenosis de la zona de estudio. Los principales aspectos del clima que presentan una mayor influencia son la cuantía y el patrón temporal de las precipitaciones, así como el régimen de temperaturas. En cuanto al biotopo, se observa una notable influencia en procesos como la edafogénesis y en los procesos erosivos, ya que las ocasionales lluvias torrenciales, unidas a la baja cobertura vegetal, pueden producir episodios de erosión hídrica importantes, rejuveneciendo los suelos. Si consideramos la biocenosis, el clima condiciona diversos aspectos de vegetación como la composición florística, fisionomía, cobertura y distribución espacial, fenología, desarrollo y reproducción, y provoca

adaptaciones que principalmente se dirigen a evitar o soportar el estrés hídrico (Lázaro et al., 2004).

### 2.2.3. Vegetación

La tesela sería la unidad básica más apropiada para describir de forma sintética el paisaje vegetal, tratándose de un espacio ecológicamente homogéneo en el que las comunidades vegetales se sustituyen entre sí siguiendo un patrón dinámico condicionado por factores del medio físico, así como también por las perturbaciones humanas.

Una *serie de vegetación* incluye la comunidad madura (asociación potencial) de esa tesela y todas las comunidades vegetales sustituyentes o reemplazantes (Mota et al., 2004).

Se han diferenciado 4 series de vegetación en el Desierto de Tabernas:

1. Serie climatófila termo-mesomediterránea alpujarreño-gadoreense, filábrico-nevadense y almeriense, semiárido-seca del lentisco (*Pistacia lentiscus*).
2. Geoserie edafohigrófila termomediterránea murciano-almeriense y mulullense basófila.
3. Complejo politeselar de vegetación edafoixerófila tabernense sobre margas subsalinas.
4. Complejo de vegetación edafoixerófila tabernense sobre yesos (Alcaraz et al., 1989; 1991; Rivas Martínez, 1988; Valle F, 2003; Mota et al., 2004).

Biogeográficamente, la zona de estudio se localiza en el reino Holártico, región Mediterránea, superprovincia Mediterránea-Iberolevantina, provincia Murciano-Almeriense, sector Almeriense y subsector Almeriense Occidental, el cual, al igual que el subsector Almeriense Oriental, resulta un territorio de una gran originalidad florística. La flora presente está dominada por la presencia de elementos mediterráneos, en sentido amplio, además de iberonorteafricanos, destacando una importante representación de endemismos del Sureste Peninsular (incluyendo las zonas no semiáridas) e ibéricos, que junto a los endemismos Murciano-Almerienses y Almerienses, le confieren a esta zona su propia identidad desde un punto de vista corológico.

Se podría decir que en el Desierto de Tabernas a pesar de las condiciones ambientales tan severas que caracterizan a un clima mediterráneo semiárido y de los suelos tan sumamente restrictivos para las plantas, la estructura de la vegetación se podría decir corresponde a una estepa que presenta máxima biodiversidad y biomasa. El primero de estos factores imposibilita el desarrollo de formaciones arbóreas, el segundo da lugar a un mosaico de comunidades vegetales determinadas por las características del sustrato y el relieve. El contacto entre lo mediterráneo y lo árido aparece en muy pocos lugares del planeta, lo que le confiere un valor ecológico excepcional .

En cuanto al paisaje se han distinguido 3 ambientes geomorfológicos con distinta vegetación (Cabello et al., 2004):

1. Ambientes erosivos sobre sustratos especiales: Son los que mayor superficie ocupan. Se refiere a todos los relieves acarcavados de las margas miocenas, las formaciones deltaicas (materiales aluviales, arenas, conglomerados, limos y arcillas del Plioceno) y las margas yesíferas.
2. Ambientes deposicionales o de transporte: A lo largo de las ramblas se encuentran materiales que han sido arrastrados aguas abajo tras las lluvias. Estos materiales se han depositado tanto en los márgenes como en el centro de los cauces y sirven de hábitats para muchas especies. Las zonas húmedas, por el contrario, mantienen algo más de tiempo la humedad, pero en ellas suelen aflorar sales según ciclos de humectación-deseccación (Cabello et al., 2004). Aunque varían en su extensión, desde el punto de vista paisajístico son esenciales ya que constituyen oasis de vegetación.
3. Ambientes estructurales: Bastante menos extensas son las áreas de montaña, lo que en la zona de estudio se corresponde con las estribaciones de sierras colindantes. En estas áreas montañosas periféricas afloran materiales geológicos distintos de las margas. Aunque las condiciones climáticas en esta orla siguen siendo restrictivas, las formaciones vegetales tienen mayor cobertura y porte que las presentes en los ambientes erosivos. Es posible encontrar arbustadas y pastizales vivaces o matorrales, formaciones que nos indican que abandonamos el ambiente desértico para adentrarnos en el mundo genuinamente mediterráneo (Cabello et al., 2004).

Son observables en el territorio árboles como *Pinus halepensis* y eucaliptales, cuyo origen está directamente relacionado con actividades antrópicas, pero que debido a la climática del territorio, no han pasado de ser grupos de árboles dispersos de escaso porte. De igual origen humano son los almendros y olivos también presentes en la zona; al igual que lo son algunas formaciones que, sin embargo, son identificadas como la imagen más típica del desierto. Tal es el caso de los chumberales de *Opuntia máxima*, las plantaciones de *Agave sp.* y los palmerales de *Phoenix dactylifera*.

Pero, a pesar de la existencias de estos árboles, en nuestra zona las comunidades vegetales se componen de arbustos nativos aislados que suelen crear islas de recursos debajo de sus copas, con suelos relativamente ricos en nutrientes y una mayor disponibilidad de agua, en comparación con áreas de terreno desnudo (Pugnaire et al., 2004). Las áreas de suelo desnudo entre arbustos son colonizadas por costras biológicas y especies de plantas anuales.

### 2.2.3.1. Especies a estudio

Nuestro estudio se va a centrar en dos especies vegetales presentes en la zona: *Retama sphaerocarpa* y *Salsola genistoides*.

<i>Retama sphaerocarpa</i> (L)	
<b>Familia</b>	Fabáceas
<b>Nombre común</b>	Retama amarilla
<b>Descripción</b>	Puede alcanzar los tres metros de altura. Generalmente <b>desprovisto de hojas</b> , grisáceo y muy ramificado. Las <b>flores</b> son papaleonáceas <b>amarillas</b> , muy pequeñas de de 5-8 mm de longitud, agrupadas en racimos. Florece de mayo a junio.
<b>Hábitat y distribución</b>	Noroeste de África y de la Península Ibérica

<i>Salsola genistoides</i> (Juss. ex Poir. in Lam.)	
<b>Familia</b>	Amaranthaceae
<b>Nombre común</b>	Salsola o escobilla (cuando se seca forman bolas que desplazan)
<b>Descripción</b>	No supera el metro de altura. Provisto de <b>hojas cortas</b> (0,5-1 cm). Las <b>flores</b> que son <b>poco vistosas</b> se forman en densos y largos grupos al final de las ramillas. Florece de agosto a septiembre.
<b>Hábitat y distribución</b>	Se trata de un endemismo Murciano- Almeriense.

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **3.1. MÉTODOS DE GABINETE**

Los datos climáticos se obtuvieron del registro de la Estación Agroclimática de Tabernas (situada a menos de 2 km de la zona de estudio), que está englobada en la red estaciones automáticas del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Junta de Andalucía (IFAPA).

Para los datos topográficos nos basamos en el Mapa del Servicio Geográfico del Ejército (1988), hoja 1030 a escala 1:50.000 de Tabernas.

Y por último los datos geológicos se obtuvieron del Mapa Geológico a escala 1:50.000 del I.G.M.E. (1991).

### 3.2. MÉTODOS DE CAMPO

Se utilizó una sopladora mecánica Echo PB-2155 (**Fotografía n° 1**) con algunas adaptaciones para generar unas condiciones de viento forzado constante. Con el fin de obtener un comportamiento dinámico constante, adaptamos un regulador manual de apertura de válvula, por medio de un sistema de trinquetes. Y para que se pudieran conjugar las componentes laminar y turbulenta, se colocó un difusor de aire *Swegon* (**Fotografía n° 2**), modelo *Eagle Wall* en el extremo del tubo de salida de la sopladora.

Antes de salir a campo la turbulencia obtenida y la velocidad del viento a 3 metros de la salida fueron comprobadas en el túnel de viento del laboratorio de Ingeniería Rural de la Universidad de Almería. Una vez en el campo se hicieron los ajustes correspondientes de velocidad de viento, utilizando un anemómetro de hilo caliente *PCE-424* (**Fotografía n° 3**) con una resolución de  $0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . En él, la corriente eléctrica calienta un hilo conductor que, a su vez, se refrigera por el paso del viento, por convección; de forma electrónica, el anemómetro intenta mantener constante la temperatura del hilo y, para ello, controla la corriente que circula por el mismo. La medida de esa corriente se correlaciona con la velocidad del viento.



**Fotografía n° 1.** Sopladora mecánica Echo PB-2155



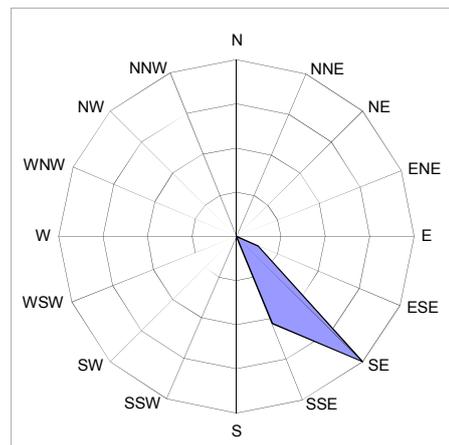
**Fotografía n° 2.** Difusor de aire Swegon (modelo *Eagle Wall*)



**Fotografía n° 3.** Anemómetro de hilo caliente PCE-424

En cuanto a la **dirección de aplicación del viento**, se parte de los datos de dirección media del viento natural del día 1 de noviembre de 2009 y promediamos hasta el día anterior a la aplicación. Para el siguiente intervalo temporal, partimos de los datos del día de aplicación, hasta el día anterior a la siguiente aplicación, y así sucesivamente, hasta completar 13 aplicaciones a lo largo de algo más de 1 año. Para realizar nuestro ensayo, pusimos el condicionante de que la velocidad del viento natural no excediera  $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , durante la aplicación. Otro condicionante importante era que el suelo estuviera seco; las aplicaciones de viento extra se pretendían hacer mensualmente,

aunque los intervalos temporales no fueron totalmente homogéneos (condicionados por las escasas, pero existentes precipitaciones). Como ejemplo, mostramos la rosa de los vientos obtenida para el intervalo temporal previo a la octava aplicación de viento, con dirección SE, el día 11 de junio de 2010 (**Figura n° 2**).



**Figura n° 2.** Rosa de los vientos de nuestra zona, obtenida para el intervalo temporal entre el 17 de mayo y 10 de junio de 2010.

Respecto a la **velocidad del viento provocado**, indicaremos que en los últimos 10 años, el valor máximo de velocidad media diaria del viento se produjo el día 2 de marzo de 2001, con  $7.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , por lo que adoptamos ese valor como estándar de aplicación. El tiempo de exposición fue de 5 minutos, siguiendo los criterios de Quirantes (1989), que indica que es suficiente para remover más del 95% de la carga edáfica. El extremo del dispositivo se colocó a 5 metros de la especie vegetal a tratar, controlando la homogeneidad de la velocidad del viento producido a 2 metros de la misma (anemómetro). El tubo del sistema de soplado se disponía horizontalmente, a 15 cm de la superficie del suelo, siguiendo los criterios de Fournier (1975).

Las **muestras de suelo** se tomaron en claros (3 repeticiones), así como bajo copas de *Retama sphaerocarpa* (Rs) y *Salsola genistoides* (Sg), especies perennifolias que difieren en la época de floración, verano la primera y primavera la segunda (Padilla et al., 2009) y en las estrategias para hacer frente a la sequía. Bajo cada especie se tomaron 12 repeticiones, de las cuales 6 siguieron el tratamiento con aporte extra de viento (Rs EW y Sg EW), mientras que las otras 6 permanecieron en condiciones naturales (Rs CN y Sg CN). Al finalizar los ensayos, se volvió a muestrear bajo copas,

para establecer las diferencias. Para el muestreo se escogieron plantas de tamaños similares, y separadas al menos 5 metros entre sí. Las actuaciones se prolongaron desde noviembre de 2009 hasta noviembre de 2010. Las muestras de suelo bajo copas se tomaron, por sistema, a la izquierda de las mismas, vistas desde la orientación S, para las muestras iniciales y a la derecha para las finales. El objeto fue muestrear siempre en condiciones similares y en terreno inalterado.

Durante las series temporales constituidas por los 13 eventos de aplicación de viento, se produjo un desplazamiento aleatorio de la dirección del viento entre ESE y W, dominando los vientos del sur. Eso implica que la superficie de vegetación expuesta al viento, responsable de la retención de partículas transportadas por el mismo, fue variando. Por ello, se tomó una fotografía digital de cada especie sometida a cada ensayo, en la dirección de aplicación del viento. Posteriormente se trataron esas fotografías, detectándose los contornos de las imágenes digitales de las especies vegetales, mediante un análisis de bordes y se utilizó una técnica de umbralizado en el espacio de color HSV, con el programa *Matlab 2010 a*, para obtener la superficie expuesta de cada una en las diferentes orientaciones de las series temporales de aplicación de viento forzado.

### **3.3. MÉTODOS DE LABORATORIO**

Los procedimientos que se adoptaron para obtener los valores de las diferentes características del suelo que nos interesaban fueron los siguientes:

- Extensión de las muestras sobre papel y secado al aire.
- Selección de algunos agregados para el estudio de propiedades físicas.
- Molienda con rodillo de madera, tamizado sobre malla de 2 mm de luz.
- Pesada del rechazo resultante.
- Molienda fina, en mortero de ágata y tamizado a 0,05 mm. para determinación de propiedades químicas.

#### **Análisis granulométrico:**

Se trataron las muestras con agua oxigenada ( $H_2O_2$ ) al 30% para la destrucción de la materia orgánica. La dispersión se realizó por agitación con hexametáfosfato sódico (40%) (Gee y Bauder, 1986). Posteriormente, la distribución de tamaño de partícula fue evaluada por tamizado seco y método de pipeta de Robinson.

La fracción de arena fue separada por tamizado en mojado, secado al horno y posterior fraccionado por tamizado en seco.

La arcilla y limo se separaron por sedimentación y se siguió el método de la pipeta de Robinson, tal como se describe en el Soil Survey Report, núm. 1 (Soil Conservation Service, 1972).

#### **Carbono orgánico:**

El contenido en carbono orgánico (CO), a través de la materia orgánica del suelo se determinó utilizando el método Walkley-Black de digestión húmeda (Nelson y Sommers, 1982).

#### **Nitrógeno total (orgánico + nitrato):**

El N total (N) se calculó a partir de colorimetría de  $\text{NH}_3$  obtenido después de digestiones Kjeldahl (Bremner, 1965).

**Fósforo asimilable:**

El fosfato disponible del suelo (P) se calculó por colorimetría (Watanabe y Olsen, 1965).

**Densidad aparente:**

Para determinar la densidad aparente (DA) se usaron cilindros de  $100 \text{ cm}^3$ , para referir el peso seco de la muestra con el volumen del cilindro.

**Carbono asociado a biomasa:**

El carbono asociado a la biomasa (CAB) se obtiene por el método propuesto por Vance et al. (1987). Se trata de una fumigación de la muestra con cloroformo libre de etanol, lo que provoca la ruptura de las células microbianas y el vertido al suelo del contenido citoplasmático de dichas células, de donde puede ser extraído con  $\text{K}_2\text{SO}_4$  0,5 M (García et al., 2003) y ser cuantificado.

### 3.4. ANÁLISIS DE DATOS

Una vez calculados los valores iniciales y finales de las diferentes características del suelo estudiadas, observamos los cambios o diferencias en CO, N, P, DA, CAB, Arena, Limo, Arcilla, relación N:P y relación C:N, para lo que se llevó a cabo un ANOVA de dos factores (primer factor la especie, segundo factor el viento), analizando el efecto interacción y los efectos principales frente a las variables que miden la diferencia experimentada en dichas características, desde el inicio de la experiencia hasta el final de los ensayos, DCO, DN, DP, DDA, DCAB, DArena, DLimo, DArcilla, DNP y DCN. Previamente se realiza el test de Levene para estudiar la homogeneidad de las varianzas. En caso necesario, para la comparación de medias, se llevó a cabo el test post-hoc de Tukey, para analizar las posibles diferencias. El nivel de significación empleado en todas estas pruebas fue de 0.05.

También se ha realizado un Análisis de Componentes Principales con las variables anteriormente citadas, para analizar las posibles relaciones entre dichas variables y la intensidad y comportamiento de dichas relaciones.

Además, con aquellos elementos donde se aplicó viento extra, se ha realizado un análisis de la covarianza (ANCOVA) para las mismas variables, con un factor (la especie) y una covariable (la superficie media expuesta al viento extra). Todas las técnicas estadísticas empleadas en el estudio fueron desarrolladas con *SPSS 15.0*.

## **4. RESULTADOS**

## 4. RESULTADOS

### 4.1. PERFIL DEL SUELO

El suelo de la zona de estudio es un **Regosol calcárico** con inclusiones de Solonchak órtico. Tiene una textura franca, sin fragmentos de roca, y una estructura débil en bloques subangulares gruesos.

#### CARACTERÍSTICAS MACROMORFOLÓGICAS

Localización: 2.4 km al WNW del Circuito de Tabernas

Coordenadas UTM: 30S WF 5.62362-41.05967

Altitud: 513 m

Posición fisiográfica: Pendiente cóncava.

Topografía circundante: Casi plano.

Pendiente: Suavemente inclinado (4.6 %).

Vegetación: Monte bajo de *Launaea arborescentes*, *Stipa tenacísima*, *Retama sphaerocarpa*, *Salsola genistoides* y otras.

Material original: Areniscas, margas y conglomerados del Andaluciense y Tortoniense.

Drenaje: Bien drenado.

Profundidad del manto freático: Desconocida.

Humedad: Seco todo el perfil.

Pedregosidad: Excesivamente pedregoso (Clase 4).

Afloramientos rocosos: Moderadamente rocoso (Clase 1).

Erosión: Hídrica laminar moderada y en cárcavas poco profundas.

Influencia humana: Nula.

Clasificación: Regosol calcárico (FAO, 1999), Xeric Torriorthent (USDA, 1999)

<b>Hor.</b>	<b>Prof.cm</b>	<b>Descripción</b>
A	0-14	Color 5Y 6/4 en húmedo y 5Y 4/3 en seco; textura franca; estructura débil en bloques subangulares gruesos; adherente, plástico, friable y ligeramente duro en seco; pocos poros vesiculares y tubulares muy finos; pocas gravas finas y medias, ligeramente alteradas de areniscas y margas; pocas galerías de hormigas; fuertemente calcáreo; pocas raíces muy finas y finas; límite abrupto y plano con el horizonte subyacente.
C	>14	Color 5Y 6/3 en húmedo y 5Y 4/3 en seco; textura franca; estructura débil en bloques subangulares medianos; adherente, plástico, friable y duro en seco; pocos poros vesiculares y tubulares muy finos; muy pocas gravas finas, redondeadas, ligeramente alteradas de areniscas y margas; muy pocas raíces finas; fuertemente calcáreo.

RESULTADOS ANALÍTICOS:

Hor.	Prof. (cm)	ARENAS (%)					LIMO (%)		ARCILLA (%)
		Muy gruesa (2-1)	Gruesa (1-0.5)	Mediana (0.5-0.25)	Fina (0.25-0.1)	Muy fina (0.1-0.05)	Grueso (0.05-0.02)	Fino (0.02-0.002)	(>0.002)
A	0-14	1.9	2.1	3.6	11.9	23.4	25.2	19.7	12.7
C	>14	0.4	0.5	1.1	7.4	25.6	23.0	20.5	21.8

Hor.	%CO	%N	C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	%CaCO <sub>3</sub>	% humedad		D.A. Kg/m <sup>3</sup>
				mg/100g			33 KPa	1500 KPa	
A	0.52	0.08	6.5	8.1	9.6	26.2	26.32	8.56	1284
C	0.21	0.03	7.0	5.7	14.3	28.3	23.17	13.12	1331

Hor.	GRAVAS (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	Bases extraíbles (cmol/kg)				C.E.C (cmol/kg)	%V	C.E. dS/m
	(>2)		1:1	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>			
A	9	8.0	26.7	1.9	0.3	0.7	9.22	100	2.2
C	3	7.8	32.2	4.8	6.1	0.9	13.31	100	1.3

## 4.2. RESULTADOS ANALÍTICOS

Los valores promediados obtenidos para distintas características del suelo bajo copa, antes de aplicar viento en las 12 repeticiones de Retama y Salsola ( $Rs_0$  y  $Sg_0$ ) y en las 3 muestras de suelo en claros se ofrecen en la **Tabla n° 1**.

	CO	N	P	DA	CAB	Arena	Limo	Arcilla
$Rs_0$	1.119±0.20	0.163±0.03	10.362±1.32	1206.750±65.99	289.417±36.19	34.008±4.02	48.583±3.29	17.408±1.15
$Sg_0$	0.794±0.14	0.092±0.02	6.276±0.80	1296.916±23.01	231.083±24.45	38.767±3.02	48.883±0.20	12.350±0.38
C	0.577±0.04	0.077±0.01	7.490±0.96	1287.000±10.54	192.333±8.02	40.600±3.64	46.633±2.78	12.767±0.96

**Tabla n° 1.** Valores iniciales de carbono orgánico (CO), nitrógeno total (N), fósforo disponible (P), densidad aparente (DA), carbono asociado a la biomasa (CAB) y datos texturales de suelos bajo copa (n=12) de las dos especies ensayadas y suelos en claros (n=3). Los valores son medias  $\pm$  desviación estándar. Los datos se refieren a valores bajo copa antes de aplicar viento en las 12 repeticiones de Retama y Salsola ( $Rs_0$  y  $Sg_0$ ) en las 3 muestras de suelo en claros (Control (C)).

Posteriormente se iniciaron los tratamientos a 6 muestras de cada especie con aporte extra de viento ( $Rs$  EV y  $Sg$  EV), mientras que las otras 6 permanecieron en condiciones naturales ( $Rs$  CN y  $Sg$  CN). Al final, volvimos a muestrear, para obtener nuevos valores que reflejaban la nueva situación de las características del suelo bajo copas (**Tablas n° 2 y n° 3**).

	C.O. <sub>0</sub>	C.O. <sub>f</sub>	N <sub>0</sub>	N <sub>f</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>f</sub>	D.A. <sub>0</sub>	D.A. <sub>f</sub>	C.A.B. <sub>0</sub>	C.A.B. <sub>f</sub>	Arena <sub>0</sub>	Arena <sub>f</sub>	Limo <sub>0</sub>	Limo <sub>f</sub>	Arcilla <sub>0</sub>	Arcilla <sub>f</sub>
Rs 1	1,22	1,59	0,18	0,20	10,76	13,79	1111	1164	308	374	39,6	35,7	43,2	45,9	17,2	18,4
Rs 2	0,90	1,09	0,13	0,15	8,72	10,23	1233	1294	250	284	37,2	33,2	44,8	47,4	18,0	19,4
Rs 3	1,38	1,79	0,19	0,22	11,91	14,12	1090	1142	336	410	33,7	29,6	50,8	54,4	15,5	16,0
Rs 4	1,42	1,85	0,19	0,21	12,14	14,28	1057	1106	343	421	36,4	32,7	45,4	47,7	18,2	19,6
Rs 5	0,95	1,15	0,15	0,16	9,69	11,32	1216	1276	259	295	34,5	30,9	48,7	51,3	16,8	17,8
Rs 6	1,13	1,46	0,17	0,17	10,56	12,34	1133	1187	291	351	36,9	33,4	47,3	50,3	15,8	16,3
Rs 7	0,99	1,07	0,15	0,16	9,69	10,02	1225	1285	266	281	33,2	29,3	50,8	54,8	16,0	15,9
Rs 8	1,34	1,49	0,19	0,21	11,91	11,68	1087	1138	329	356	31,9	27,9	50,3	54,1	17,8	18,0
Rs 9	1,06	0,99	0,17	0,19	10,16	10,71	1153	1209	279	266	40,3	36,6	43,3	47,9	16,4	15,5
Rs 10	0,86	1,07	0,12	0,13	8,28	7,86	1204	1263	243	281	34,8	30,7	49,9	53,4	15,3	15,9
Rs 11	1,27	1,52	0,18	0,21	11,49	10,73	1106	1159	317	361	33,2	29,3	49,3	52,6	17,5	18,1
Rs 12	0,91	1,04	0,13	0,15	9,03	8,78	1200	1258	252	275	41,7	38,0	42,7	46,3	15,6	15,7

**Tabla n° 2.** Valores iniciales y finales en los 12 arbustos de *Retama sphaerocarpa* estudiados.

	C.O. <sub>0</sub>	C.O. <sub>f</sub>	N <sub>0</sub>	N <sub>f</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>f</sub>	D.A. <sub>0</sub>	D.A. <sub>f</sub>	C.A.B. <sub>0</sub>	C.A.B. <sub>f</sub>	Arena <sub>0</sub>	Arena <sub>f</sub>	Limo <sub>0</sub>	Limo <sub>f</sub>	Arcilla <sub>0</sub>	Arcilla <sub>f</sub>
Sg 1	0,86	1,08	0,11	0,12	6,52	8,36	1253	1304	243	282	42,5	38,9	45,1	48,4	12,4	12,7
Sg 2	0,97	1,21	0,11	0,13	7,21	8,56	1218	1267	263	306	45,6	42,1	42,7	46,1	11,7	11,8
Sg 3	0,65	0,77	0,07	0,08	5,28	6,19	1264	1316	205	227	43,7	39,8	44,3	47,9	12,0	12,3
Sg 4	1,00	1,25	0,11	0,13	7,36	8,66	1204	1252	268	313	38,9	34,9	48,3	52,1	12,8	13,0
Sg 5	0,80	1,00	0,10	0,11	6,40	7,48	1244	1295	232	268	37,6	33,5	50,1	54,0	12,3	12,5
Sg 6	0,68	0,80	0,08	0,10	5,87	6,86	1262	1314	211	232	36,9	33,2	51,4	55,0	11,7	11,8
Sg 7	0,71	0,75	0,08	0,09	5,87	6,07	1258	1310	216	223	42,4	38,8	46,0	49,5	11,6	11,7
Sg 8	0,94	1,02	0,11	0,12	7,21	7,08	1226	1276	257	272	38,1	34,7	49,9	53,4	12,0	11,9
Sg 9	0,75	0,71	0,10	0,10	6,15	6,49	1247	1298	223	216	40,5	36,6	47,6	51,9	11,9	11,5
Sg 10	0,62	0,75	0,06	0,07	5,01	4,76	1269	1321	200	223	43,3	39,5	44,4	46,3	12,3	12,2
Sg 11	0,90	1,04	0,11	0,11	6,96	6,50	1234	1284	250	275	38,6	34,6	49,6	54,0	11,8	11,4
Sg 12	0,65	0,73	0,07	0,08	5,47	5,32	1273	1326	205	220	37,6	33,5	50,5	54,8	11,9	11,7

**Tabla n° 3.** Valores iniciales y finales en los 12 arbustos de *Salsola gemistoides* estudiados.

Se establecieron las variables diferencia (valor final menos inicial) para CO, N, P, DA, CAB, Arena, Limo, Arcilla, relación N:P y relación C:N, expresadas como DCO, DN, DP, DDA, DCAB, DArena, DLimo, DArcilla, DNP y DCN. Con estas variables planteamos un estudio estadístico en el que el ANOVA de dos factores muestra que los efectos interacción “Especies-Viento” significativos son los correspondientes a la variable DP (**Tabla n° 4**).

	ANOVA	P-Value	Rs CN	Rs EV	Sg CN	Sg EV
DOC	1.129	0.301	0.125±0.11	0.322±0.104	0.072±0.063	0.192±0.058
DN	2.727	0.114	0.018±0.008	0.017±0.010	0.007±0.005	0.0150±0.005
DP	5.961	0.024	-0.130±0.486 <sup>a</sup>	2.050±0.554 <sup>c</sup>	-0.075±0.295 <sup>a</sup>	1.245±0.338 <sup>b</sup>
DDA	0.039	0.846	-56.167±3.545	-54.833±4.708	-51.333±1.211	-50.500±1.643
DCAB	1.219	0.283	22.333±20.196	58±18.889	13±11.730	34.333±10.424
DArena	1.310	0.266	-7.600±0.506	-6.817±0.977	-6.733±1.093	-6.700±0.410
DLimo	3.217	0.088	5.767±0.484	4.650±0.579	5.600±1.131	5.517±0.376
DArcilla	1.686	0.209	1.833±0.137	2.167±0.509	1.133±0.052	1.183±0.075
DNP	2.410	0.136	20.271±12.142	-12.426±8.924	13.547±12.441	-4.708±0.521
DCN	1.412	0.249	0.048±0.666	1.087±0.539	0.048±0.664	11.723±0.606

**Tabla n° 4.** Valores del efecto interacción “Especies- Viento” en el ANOVA de dos factores para las diferencias en las características edáficas de las cuatro categorías de Retama (Rs) y Salsola (Sg), en condiciones naturales (CN) o con aporte extra de viento (EV). Las letras a, b y c en DP denotan diferencias significativas.

A continuación, vamos a analizar con más detalle para dicha variable este efecto interacción. Para ello, vamos a realizar las comparaciones entre las cuatro modalidades

de interacción que tenemos (Rs CN, Rs EV, Sg CN, Sg EV), en la variable que presentan efecto interacción significativo. En la variable DP la categoría que más destaca es la “Rs EV” seguida de la “Sg EV”, después “Rs CN” y por último “Sg CN”. Además podemos considerar como grupos heterogéneos las categorías “Rs EV” y “Sg EV”, a su vez diferentes de un grupo homogéneo integrado por las categorías “Rs CN” y “Sg CN” (que no presentan diferencias significativas entre ellas). Cabe destacar que la diferencia en fosfatos disponibles para este último grupo (categorías sin aporte extra de viento) es negativa, lo que supone una disminución del nivel de fosfatos disponibles para las especies. El resto de variables presentan un efecto interacción poco significativo.

La tabla ANOVA de dos factores para el efecto principal “Especies”, aplicado a las variables diferencia (**Tabla n° 5**), nos muestra que hay diferencias significativas para el factor “Especie” en las variables DCO, DN, DP, DDA, DCAB y DArcilla.

	ANOVA	P-Value	Rs	Sg
DCO	6.455	0.019	0.223±0.146	0.131±0.086
DN	4.848	0.040	0.017±0.009	0.011±0.007
DP	4.533	0.046	0.960±1.242	0.585±0.753
DDA	12.961	0.002	-55.500±4.034	-50.917±1.443
DCAB	6.463	0.019	40.167±26.354	23.667±15.364
DArena	2.252	0.149	-7.208±0.848	-6.717±0.787
DLimo	1.476	0.238	5.208±0.774	5.558±0.805
DArcilla	59.516	0.000	2±0.395	1.158±0.067
DNP	0.011	0.916	3.923±19.870	4.419±14.957
DCN	1.089	0.309	0.567±0.792	0.303±0.648

**Tabla n° 5.** Valores del efecto principal “Especies” en el ANOVA de dos factores para las diferencias en las características edáficas de Retama (Rs) y Salsola (Sg).

Puesto que para DP hemos comentado los efectos de interacción, que tienen más interés que el efecto principal, pasamos a comentar el resto de resultados. Los resultados en *Retama sphaerocarpa* son superiores en media a los de *Salsola genistoides* en las anteriores variables, salvo en DDA, lo que indica que los suelos bajo copa de Salsola tienen menos alteración de su densidad aparente tras el tratamiento.

La tabla ANOVA de dos factores para el efecto principal “Viento”, aplicado a las variables diferencia (**Tabla n° 6**), muestra diferencias significativas para el viento en las variables DCO, DP, DCAB, DLimo, DNP y DCN. Como para DP hemos visto que existen efectos interacción, comentamos los restantes. Podemos indicar que para la categoría “EV” se producen incrementos positivos en la mayoría de estas variables,

excepto en la variable DLimo que no muestra grandes diferencias y, sobre todo, en la variable DNP, donde los incrementos son negativos, lo que significa que en la mayoría de las variables el viento provoca un aumento en la diferencia de valores. No ocurre así en las diferencias frente a la relación N:P.

	ANOVA	P-Value	CN	EV
DCO	19.259	0.000	0.098 $\pm$ 0.092	0.257 $\pm$ 0.105
DN	1.212	0.284	0.013 $\pm$ 0.009	0.016 $\pm$ 0.08
DP	98.729	0.000	-0.103 $\pm$ 0.384	1.647 $\pm$ 0.607
DDA	0.724	0.405	-53.750 $\pm$ 3.571	-52.667 $\pm$ 4.053
DCAB	19.283	0.000	17.667 $\pm$ 16.483	46.167 $\pm$ 19.087
DArena	1.553	0.227	-7.167 $\pm$ 0.930	-6.758 $\pm$ 0.718
DLimo	4.339	0.050	5.683 $\pm$ 0.834	5.083 $\pm$ 0.649
DArcilla	3.086	0.094	1.483 $\pm$ 0.379	1.675 $\pm$ 0.620
DNP	29.997	0.000	16.909 $\pm$ 12.235	-8.567 $\pm$ 10.720
DCN	8.476	0.009	0.066 $\pm$ 0.634	0.804 $\pm$ 0.622

**Tabla n° 6.** Valores del efecto principal “Viento” en el ANOVA de dos factores para las diferencias en las características edáficas en condiciones naturales (CN) o con aporte extra de viento (EV).

Hemos realizado un análisis de componentes principales aplicando el criterio de la media aritmética para la selección del número de componentes. La primera componente explica un 43.307% de la varianza total, la segunda componente explica un 19.595%, la tercera un 15.292% y la cuarta un 10,452%. Conjuntamente las cuatros componentes (C1, C2, C3, C4) explican un 88.647% de la varianza total.

Según la matriz de componentes, podemos observar (**Figura 3a**) que las variables DCO, DCAB, DDA, DP, DCN y DArcilla están asociadas claramente de forma positiva con la componente 1, mientras que las variables DLimo y DNP están asociadas de forma negativa con dicha componente y por tanto tienen un comportamiento opuesto a las anteriores. Las variables DLimo, DN y DArcilla están claramente asociadas, de forma positiva con la componente 2 y la variable DArena estaría asociada a la componente 2 de forma negativa y, por tanto, con comportamiento opuesto a las variables anteriores. Igualmente, podemos comprobar cómo la variable DDA no se puede asociar de forma clara a ninguna de las dos componentes.

En la **Figura 4a** podemos establecer que la categoría “Rs EV” se encuentra en el primer y cuarto cuadrante con lo que esta categoría presenta los valores más altos en las variables asociadas de forma positiva con la componente 1, éstas son las variables DCO, DCAB, DP, DCN y DArcilla, así como los valores más bajos en las variables DLimo y DNP. También podemos establecer que algunos elementos (los situados en el primer cuadrante) pertenecientes a esta categoría son los que presentan unos valores más altos en la variable DCO y los situados en el cuarto cuadrante presenta valores considerables en la variable DCN. Por el contrario es una categoría donde la variable DNP es baja, es decir, la diferencia de valores presenta disminución. La categoría “Sg EV” está situada alrededor del origen de coordenadas con lo que presenta valores moderados en la mayoría de variables. La categoría “Rs CN” se encuentra en el segundo cuadrante, con lo que esta categoría destaca, principalmente, por sus valores en la variable DNP y también presenta valores considerables en DLimo. Finalmente la categoría “Sg CN” no destaca en ninguna variable al centrarse fundamentalmente en el tercer cuadrante.

De forma análoga, en la **Figura 3b** podemos observar claramente como las variables DN y DNP están asociadas de forma positiva a la componente 3 y, además, podemos volver a establecer que las variables DLimo y DDA tienen comportamiento opuesto a las anteriores. En la **Figura 4b**, podemos observar que la categoría “Rs CN”, al estar mayoritariamente en la parte positiva de C3, presenta valores altos de DNP, mientras que la categoría “Sg EV” presenta un comportamiento opuesto frente a la componente C3, con valores bajos para la diferencia de densidades. Esa diferencia de

densidades muestra una marcada tendencia positiva con la componente 4 (**Figura 3c**), que igualmente queda correspondida por la categoría “Sg EV” en la **Figura 4c**.

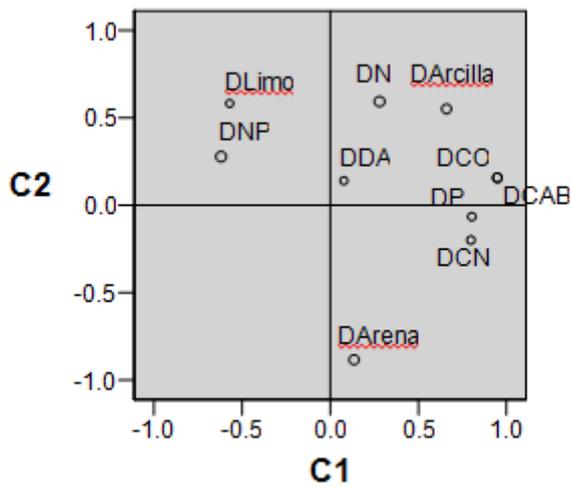


Figura 3a. Representación gráfica de las características edáficas para la matriz de los componentes 1 y 2.

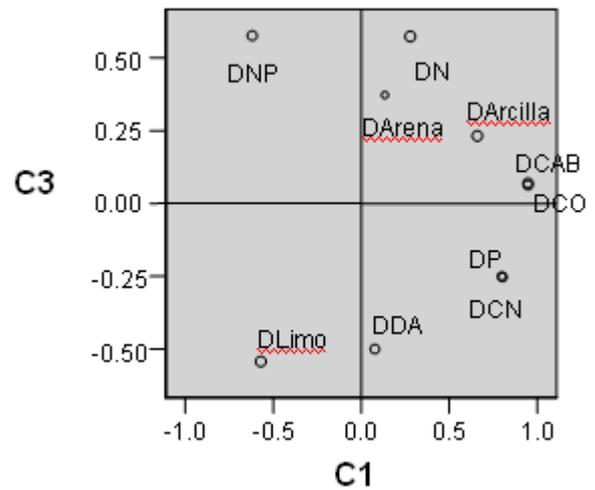


Figura 3b. Representación gráfica de las características edáficas para la matriz de los componentes 1 y 3.

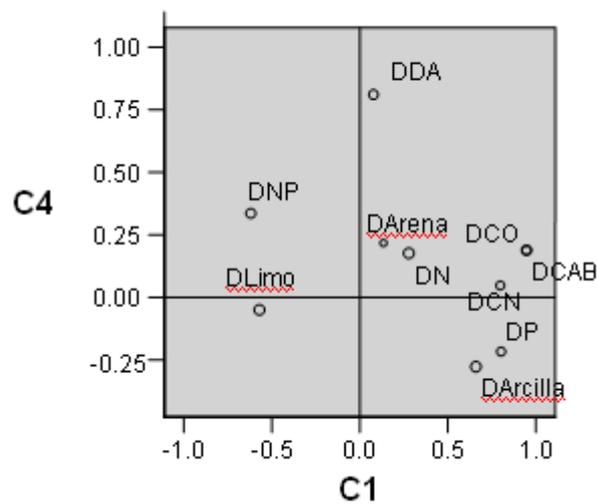


Figura 3c. Representación gráfica de las características edáficas para la matriz de los componentes 1 y 4.

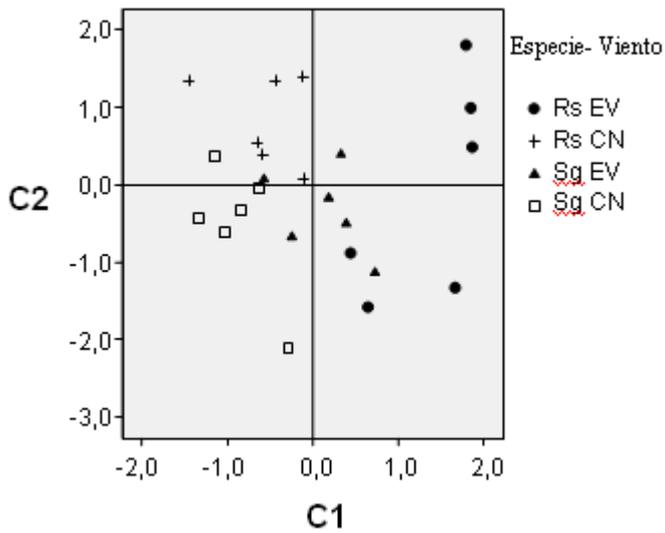


Figura 4a. Representación gráfica de las cuatro categorías establecidas para la matriz de los componentes 1 y 2.

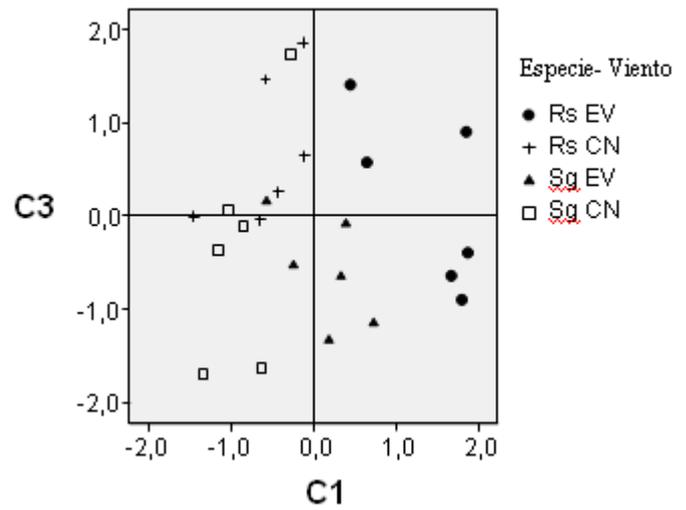


Figura 4b. Representación gráfica de las cuatro categorías establecidas para la matriz de los componentes 1 y 3.

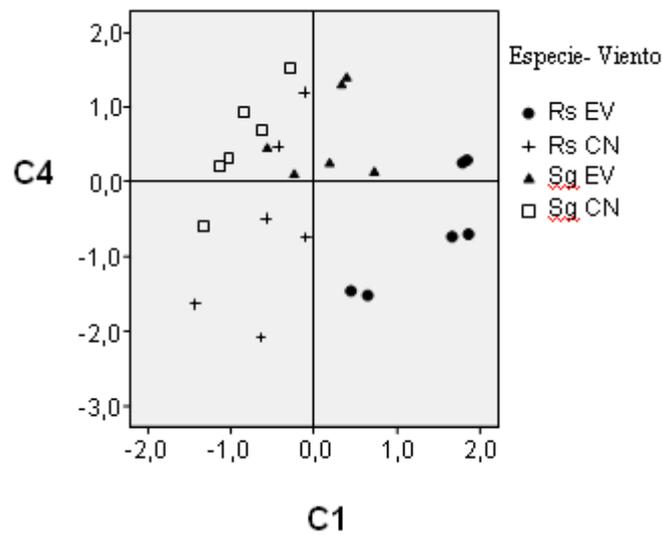


Figura 4c. Representación gráfica de las cuatro categorías establecidas para la matriz de los componentes 1 y 4.

Con los elementos donde se aplicó viento extra, se ha realizado un ANCOVA para las mismas variables, con un factor (la especie) y una covariable (la superficie media expuesta al viento extra). Los valores obtenidos para las distintas superficies expuestas de cada planta sometida a un viento extra en cada fecha de aplicación, con la dirección de aplicación correspondiente a esa fecha se muestran en la **Tabla n° 7**.

	13/11	10/12	18/1	11/2	19/3	12/4	17/5	11/6	14/7	13/8	15/9	26/10	16/11
<b>Rs 1</b>	9152	8736	9152	8112	9360	9152	9360	8736	8736	8112	7890	8112	9152
<b>Rs 2</b>	5472	5328	5472	5184	5400	5472	5400	5328	5328	5184	5040	5184	5472
<b>Rs 3</b>	9200	8648	9200	8464	9200	9200	9200	8648	8648	8464	8280	8464	9200
<b>Rs 4</b>	9984	9600	9984	9216	10080	9984	10080	9600	9600	9216	9120	9216	9984
<b>Rs 5</b>	6400	6240	6400	6240	6400	6400	6400	6240	6240	6240	6000	6240	6400
<b>Rs 6</b>	7920	7216	7920	6864	7920	7920	7920	7216	7216	6864	6600	6864	7920
<b>Sg 1</b>	1015	840	1015	665	1050	1015	1050	840	840	665	613	700	1015
<b>Sg 2</b>	1020	866	1020	732	1059	1020	1059	866	866	732	674	751	1020
<b>Sg 3</b>	756	677	756	583	788	756	788	677	677	583	551	583	756
<b>Sg 4</b>	1218	1050	1218	903	1260	1218	1260	1050	1050	903	840	924	1218
<b>Sg 5</b>	1020	866	1020	732	1059	1020	1059	866	866	732	674	732	1020
<b>Sg 6</b>	840	700	840	560	875	840	875	700	700	560	525	578	840

**Tabla n° 7.** Superficie media expuesta de suelo (cm<sup>2</sup>) sobre la que se ha aplicado el aporte de viento extra.

El efecto interacción entre la especie y la superficie expuesta sólo es significativo para DCO y DCAB. Por esto, sólo para ellas, las pendientes de la covariable “Superficie Expuesta” del modelo de regresión no son idénticas frente a Retama y Salsola. Obtenemos los siguientes modelos de regresión:

$$DCO = -0.127 - 0.019 \cdot \text{Especie} + 0.00027 \cdot \text{Superficie Expuesta} - 0.00022 \cdot \text{Especie} \cdot \text{Superficie Expuesta}$$

$$DCAB = -23.026 - 3.655 \cdot \text{Especie} + 0.049 \cdot \text{Superficie Expuesta} - 0.040 \cdot \text{Especie} \cdot \text{Superficie Expuesta}$$

donde la variable “Especie” toma el valor 1 para Retama y el valor 0 para Salsola, y cuyos Coeficientes de Correlación Corregidos son 0.932 y 0.931, respectivamente.

Para el resto de variables el efecto interacción no es significativo y, en consecuencia, el coeficiente de la covariable “Superficie Expuesta” puede considerarse idéntico para las dos especies. Por tanto, pasamos a comprobar el efecto principal “Especie” para ver si es significativo con la covariable “Superficie Expuesta”. Así, obtenemos que en las únicas variables donde el efecto principal “Especie” es significativo son DDA, DArena, DLimo y DArcilla. De ellas destacaremos dos modelos de regresión:

$$DCAB = -53.219 - 23.231 \cdot \text{Especie} + 0.002 \cdot \text{Superficie Expuesta}$$

$$DArcilla = 0.901 - 0.977 \cdot \text{Especie} + 0.0002 \cdot \text{Superficie Expuesta}$$

cuyos Coeficientes de Correlación Corregidos son 0.905 y 0.961, respectivamente.

En el resto de variables, la variable “Especies” no es significativa y pasamos a analizar la conveniencia de un modelo lineal con la covariable “Superficie Expuesta”. De este modo, el único modelo lineal relevante es el de DP, aunque ofrece un Coeficiente de Correlación Corregido de 0.603, si bien su p-value es 0.002.

### 4.3. IMÁGENES DE LA ZONA



**Fotografía n° 4.** Vista general de la zona de estudio.



**Fotografía n° 5.** Área muy castigada por la erosión.



**Fotografía n°6.** *Retama sphaerocarpa* n° 2.



**Fotografía n°7.** *Retama sphaerocarpa* n° 8.



**Fotografía n° 8.** *Salsola genistoides* n° 6.



**Fotografía n° 9.** *Salsola genistoides* n° 12.

## 5. DISCUSIÓN

## 5. DISCUSIÓN

Como en cualquier proceso erosivo, las partículas que son desprendidas por el viento, sufren un transporte y posterior depósito en otro lugar. Nos centramos aquí en esos depósitos y en la acción fijadora de la vegetación en ambientes semiáridos, que tiene una función de sumidero de polvo rico nutrientes (Hoffmann et al., 2008).

Viendo los resultados obtenidos, podemos indicar que el aporte extra de viento incrementa el grado de retención de materiales, lo que afectará a parámetros responsables de la fertilidad de los suelos. Existe un notable incremento de CO y de CAB, lo que indica una mayor actividad biológica; algo similar sucede con N y P. La DA tiene una doble influencia, por un lado tenderá a reducirse por efecto del enriquecimiento orgánico, pero por otro tiende a aumentar por la acumulación de fragmentos finos (limo y, sobre todo, arcilla). En ese contexto, las relaciones entre CO, N y P mostrarán fluctuaciones en la disponibilidad de los diferentes elementos.

Tras analizar el efecto interacción “Especies-Viento” en el ANOVA de dos factores, observamos las diferencias negativas en fosfatos disponibles para las plantas que aparecen en los arbustos de *Retama sphaerocarpa* y *Salsola genistoides* no tratados con el aporte extra de viento, lo que probablemente se deba a pérdidas resultantes del lavado tras episodios torrenciales en las precipitaciones, que afectan más a las plantas que han tenido menor acumulación.

Cuando nos referimos al efecto principal “Especies”, queda corroborado lo indicado por Zhao et al. (2007 y 2009) al indicar que la materia orgánica a menudo se combina con partículas del suelo fino. El coeficiente de correlación entre la arcilla y el contenido de materia orgánica fue para estos autores de 0.95. En nuestro caso observamos una relación directa entre las diferencias en el contenido de CO y de arcilla. Observamos paralelismos lógicos en las diferencias de CO y de CAB, ya que, a fin de cuentas, el segundo queda integrado en el contenido total de CO. Por otra parte, la evolución de las diferencias negativas en la variable DA, también son lógicas, y están condicionadas por el mayor enriquecimiento orgánico. El efecto principal “Viento” muestra un comportamiento inverso para las diferencias en el contenido de fósforo disponible y, lógicamente, en la relación N:P.

Respecto al análisis de componentes principales, indica comportamientos opuestos para las diferencias de las relaciones N:P y C:N. La disponibilidad de fosfatos para las plantas está influenciada por factores como plantas vecinas o dinámica estacional de este entorno semiárido, como estudian Martínez-García et al. (2011). Los suelos bajo nuestros arbustos tienen valores bajos para la relación C:N, lo que indica mineralización de N y que éste está disponible para el uso de las plantas. Zhao et al. (2007) también indican que el efecto de pequeñas deposiciones de arena sobre propiedades del suelo y el rendimiento de la vegetación no fue significativo, si bien la temperatura del suelo tiende a aumentar con el aumento de espesor de deposición, lo que podrá afectar a los procesos de descomposición orgánica.

Las diferencias en los valores de distintas características edáficas antes y después del experimento realizado podrían hacernos pensar en un incremento exponencial, a lo largo del tiempo, por ejemplo, en el contenido orgánico bajo copas, hipótesis que no es real. Hay que tener en cuenta otros condicionantes que rebajan los efectos. Uno de esos condicionantes puede ser la erosión hídrica, que reduce el grado de acumulación, más en zonas semiáridas con precipitaciones erráticas y torrenciales.

Por otra parte, los resultados del ANCOVA ponen de manifiesto la importancia de la superficie expuesta por la vegetación y su influencia sobre diferentes características edáficas. En este estudio hablamos de superficie, pero se hace necesario incluir nuevos criterios, como por ejemplo, datos morfológicos. De hecho, hemos observado que especies que exponen superficies globales similares, pueden tener

diferencias en la superficie de contacto con el suelo de más de cinco veces, lo que también repercutirá en la retención de partículas. Pero eso será objeto de futuras investigaciones. A la vista de nuestros resultados, en las variables que muestran un incremento del contenido en carbono orgánico, asociado o no a la biomasa, existe interacción especie-superficie expuesta; en las variables DDA, DArena, DLimo y DArcilla es significativo el efecto principal “Especie”; para el resto de variables establecemos un modelo lineal con la covariable “Superficie Expuesta”, lo que indica que es más influyente la superficie expuesta que el tipo de especie vegetal para las variaciones de algunas propiedades edáficas en nuestro ensayo.

## **6. CONCLUSIONES**

## 6. CONCLUSIONES

1ª. El aporte extra de viento incrementa el grado de retención de materiales, lo que afecta a la fertilidad de los suelos. Observamos un incremento notable de CO y de CAB, que indica mayor actividad biológica; lo mismo ocurre con N y P.

2ª. La DA tiende a reducirse por efecto del enriquecimiento orgánico, por un lado, pero por otro, tiende a aumentar por la acumulación de fragmentos finos. Existe una relación directa entre las diferencias en el contenido de CO y de arcilla en los suelos bajo copa de ambas especies, siendo los valores mayores para *Retama sphaerocarpa* frente a *Salsola genistoides*.

3ª. La permanente acumulación se ve compensada por pérdidas debidas fundamentalmente a la erosión hídrica. La importancia de la superficie expuesta por la vegetación y su influencia sobre diferentes características edáficas queda demostrada con el ANCOVA realizado, en el que pierde protagonismo la especie de que se trate.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, J.; Martín, F.; Sierra, M. 2004. Mapa de suelos de Almería. E 1:100.000. Dpto. de Edafología y Química Agrícola. En prensa.

Alcaraz, F.; Díaz, T.E.; Rivas Martínez, S.; Sánchez-Gómez, P. 1989. Datos sobre la vegetación del sureste de España: provincia biogeográfica murciano-almeriense. *Itinera Geobotanica*, 2, 5-133.

Bielders, C.L., Rajot, J.L., Amadou, M., 2002. Transport of soil and nutrients by wind in bush fallow land and traditionally managed cultivated fields in the Sahel. *Geoderma* 109, 19-39.

Bremner, J., 1965. *Methods of Soils Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, USA.

Cabello, J.; Alcaraz, D.; Rodríguez-Tamayo, M.L.; Mota, J.F. 2004. La vegetación actual. En: Mota, J.; Cabello, J.; Cerrillo, M.I.; Rodríguez-Tamayo, M.L. (Eds). *Los Subdesiertos de Almería: naturaleza de cine*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. pp. 215-225.

Calvo-Cases, A.; Harvey, A.M.; Paya-Serrano, J. 1991. Processes interactions and badland development in SE Spain. En: Sala, Rubio y García-Ruiz (Eds.). Soil erosion studies in Spain. Logroño, pp. 75-90.

Cantón, Y., Solé-Benet, A., Queralt, I., Pini, R., 2001. Weathering of a gypsum-calcareous mudstone under semi-arid environment in SE Spain: laboratory and field-based experimental approaches. *Catena* 44, 111-132.

Capel Molina, J.J. 1982. El clima de las zonas áridas. En: Instituto de Estudios Almerienses. Diputación provincial (Ed). Seminario sobre zonas áridas. Almería, pp. 15-44.

Capel-Molina, J.J., 1986. El clima de la provincia de Almería. Publicaciones Caja de Ahorros Almería, Almería, Spain, 2nd ed. 262 pp.

Commission of the European Communities. 1985. Soil Map of the European Communities. scale 1:1.000.000. Directorate General for Agriculture, Office of Official Publication of the European Communities. pp. 85 - 96. Luxemburg.

Commission of the European Communities. 1991. Soil Survey: A basis for European Soil Protection. Soil and Groundwater Research Report 1.Ed. J.M. Hodgson.

Delgado-Castilla, L. 1995. Caracterización sedimentológica y paleontológica del Pleistoceno Superior en el borde N de la cuenca Neógeno-Cuaternaria de Tabernas, Almería (SE de España). En: Aleixandre, T.; Pérez, A. (Eds). Reconstrucción de paleoambientes y cambios climáticos durante el Cuaternario (IX Reunión Nacional sobre cuaternario), pp. 93-102.

Delgado-Castilla, L. 1997. Formaciones de travertinos del Pleistoceno superior-Holoceno en la Cuenca de Tabernas, Almería (SE España). *Etudes de Géographie Physique, Suppl. Au n° 26. CAGEP-QRA 903 du CNRS, Université De Provence*, pp. 63-65.

Delgado-Castilla, L.; Puigdefábregas, J. 1994. Caracterización geomorfológica y sedimentológica de los glacis en la zona de El Cautivo, Tabernas (Provincia de Almería). En: Arnaez, J.; García, M.; Gómez, A. (Eds). *Geomorfología en España. Sociedad Española de Geomorfología. Logroño*, pp. 305-311.

Directorate General for Agriculture, Office of Official Publication of the European Communities. pp. 214. : 85 - 96. Luxemburg.

Feng, Q., Wei, L., Zhang, Y.W., Si, J.H., Su, Y.H., Qiang, C.Z., Xi, H.Y., 2006. Effect of climatic changes and human activity on soil carbon in desertified regions of China. *Tellus. Series B, Chemical and Physical Meteorology* 58, 117-128.

Flores, J., Jurado, E., 2003. Are nurse-protector interactions more common among plants from arid environments? *Journal of Vegetation Science* 14, 911-916.

Fournier, F., 1975. *Conservación de suelos. Mundi-Prensa*, p: 254, Madrid. Spain.

García, C., Gil, F., Hernández T., Trasar, C., 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. *Mundi-Prensa*, p: 371, Madrid. Spain.

Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Particle-size analysis, In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, part I. Physical and Mineralogical Methods*, 2nd edition. Agronomy, vol. 9. American Society of Agronomy, Madison, Wi, pp. 383-411.

Gil, C.; Oyonarte, C.; Pinto-Vidal, V.; Romero, R.Y. 2005. Atlas provincial de los suelos de Almería. Instituto de Estudios Almerienses. Excma. Diputación Provincial de Almería. En prensa.

Hoffmann, C., Funk, R., Li, Y., Sommer, M., 2008. Effect of grazing on wind driven carbon and nitrogen ratios in the grasslands of Inner Mongolia. *Catena* 75, 182-190.

Howards, A.D. 1994. Badlands. En: Abrahams, A.D.; Parsons, A.J. (Eds.), *Geomorphology of Desert Environments*. Chapman and Hall, London, pp. 213-242.

I.G.M.E. 1991: Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja 1030. Tabernas (Almería). Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria. Madrid.

Jacobs, P., Mason, J., 2005. Impact of Holocene dust aggradation on A horizon characteristics and carbon storage in loess-derived Mollisols of the Great Plains, USA. *Geoderma* 125, 95-106.

Junta de Andalucía. 1984. Catálogo de suelos de Andalucía. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía. pp. 271. Sevilla.

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

Lal, R., 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International* 29, 437-450.

Lázaro, R., Rey, J.M., 1990. Sobre el clima de la provincia de Almería (SE Ibérico): primer ensayo de cartografía automática de medias anuales de temperatura y precipitación. *Suelo y Planta* 1, 61- 68.

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 (3), 373-395.

Lázaro, R.; Rodríguez-Tamayo, M.L.; Ordiales, R.; Puigdefábregas, J. 2004. El clima. En: Mota, J.; Cabello, J.; Cerrillo, M.I.; Rodríguez-Tamayo, M.L. (Eds). *Los Subdesiertos de Almería: naturaleza de cine*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. pp. 63-79.

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 Res.* 75, 121-130.

Liu, L.Y., Shi, P.J., Zou, X.Y., Gao, S.Y., Yan, P., Li, X.Y., Dong, Z.B., Wang, J.H., 2003. Short-term dynamic of wind erosion of three newly cultivated grassland soils in Northern China. *Geoderma* 115, 55-64.

López, M.V., Gracia, R., Arrue, J.L., 2000. Effects of reduced tillage on soil surface properties affecting wind erosion in semiarid fallow lands of Central Aragon. *European J. Agron.* 12, 191-199.

López-Bermúdez, F. 1990. El clima mediterráneo semiárido como factor de erosión. *Estudios geográficos*, 199-200, 489-506.

Ludwig, J.A., Wilcox, B.P., Breshears, D.D., Tongway, D.J., Imeson, A.C., 2005. Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. *Ecology* 86, 288-297.

Mahdi, M.A.K., Yin, X.H., Licht, M.A., 2005. Soil carbon and nitrogen changes as affected by tillage system and crop biomass in a corn-soybean rotation. *Applied Soil Ecology* 30 (3), 174-191.

Martínez-García, L.B., Armas, C., Miranda, J.D., Padilla, F.M., Pugnaire, F.I., 2011. Shrubs influence arbuscular mycorrhizal fungi communities in a semi-arid environment. *Soil Biology & Biochemistry* 43, 682-689.

Mendez, M.J., Oro, L.D., Panebianco, J.E., Colazo, J.C., Buschiazzo, D.E., 2006. Organic carbon and nitrogen in soils of semiarid Argentina. *Journal of Soil and Water Conservation* 61, 230-235.

Mota, J.F.; Garrido, J.A.; Martínez-Hernández, F.; Medina-Cazorla, J.M.; Dana, E.D.; Rodríguez-Tamayo, M.L. 2004. Fitosociología y series de vegetación. En: Mota, J.; Cabello, J.; Cerrillo, M.I.; Rodríguez-Tamayo, M.L. (Eds). *Los Subdesiertos de Almería: naturaleza de cine*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. pp. 173-213.

Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, In: Page, L.A., Miller, R.H., Kenney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods*, 2nd edition. American Society of Agronomy, Madison, Wi, pp. 539-579.

Offer, Z.Y., Sarig, S., Steinberger, Y., 1996. Dynamics of nitrogen and carbon content of aeolian dry deposition in an arid region. *Arid Soil Research and Rehabilitation* 10, 193-199.

Ortega, R. 2006. Suelos y color superficial en áreas semiáridas: Desierto de Tabernas. Tesis doctoral. Universidad de Almería. 522 pp.

Oyonarte, C. 2004. La diversidad edáfica. En: Mota, J.; Cabello, J.; Cerrillo, M.I.; Rodríguez-Tamayo, M.L. (Eds). *Los Subdesiertos de Almería. Naturaleza de cine*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla. pp. 51-62.

Padilla, F.M., Miranda, J.D., Jorquera, M.J., Pugnaire, F.I., 2009. Variability in amount and frequency of water supply affects roots but not growth of arid shrubs. *Plant Ecology* 204, 261-270.

Pascual, A. 2001. La cuenca neógena de Tabernas (Cordilleras béticas). Tesis doctoral inédita. Universidad de Granada.

Piao, S.L., Fang, J.Y., Zhou, L.M., Tan, K., Tao, S., 2007. Changes in biomass carbon stocks in China's grasslands between 1982 and 1999. *Global Biogeochemical Cycles* 21.

Pugnaire, F.I., Armas, C., Valladares, F., 2004. Soil as a mediator in plant-plant interactions in a semi-arid community. *Journal of Vegetation Science* 15, 85-92.

Pugnaire, F.I., Haase, P., Puigdefábregas, J., 1996. Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. *Ecology* 17, 1420-1426.

Puigdefábregas, J. 2001. Desertificación y erosión. ¿Dos caras de una misma moneda? *Ecosistema*, año X, nº3, Septiembre- Diciembre.

Quirantes, J., 1989. Aproximación cualitativa y cuantitativa de los fenómenos de erosión eólica en el SE español. Proyecto LUCDEME V. Monografía 51. ICONA. M<sup>o</sup> Agricultura y Pesca. Madrid. Spain.

Reynolds, R., Belnap, J., Reheis, M., Lamothe, P., Luiszer, F., 2001. Aeolian dust in Colorado Plateau soils: nutrient inputs and recent change in source. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 98, 7123-7127.

Rivas-Martínez, S. 1988. Bioclimatología, Biogeografía y Series de Vegetación. Lagasalia, 15, 91-119.

Sharma, K.L., Mandal, U.K., Srinivas, K., Vittal, K.O.R., Mandal, B., Grace, J.K., Ramesh, V., 2005. Long term soil management effects on crop yield and soil quality in a dryland Alfisol. Soil & Tillage Res. 83 (2), 173-286.

Soil Conservation Service 1972. Soil Survey Laboratory. Methods and procedures for collecting soil samples. U.S.D.A. Dpto. Agric. Washington. U.S.A.

Soil Survey Staff 1978. Soil Taxonomy. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture. Manual de agricultura n<sup>o</sup> 537. U.S.D.A. USA.

Solé-Benet, A., Calvo, A., Cerdá, A., Lázaro, R., Pini, R., Barbero, J., 1997. Influences of micro-relief patterns and plant cover on runoff related processes in badlands from Tabernas (SE Spain). Catena 31, 23- 28.

Valle, F. (Ed.). 2003. Mapa de series de vegetación de Andalucía. Editorial Rueda. Madrid.

Vance, E.D.; Brookes, P.C.; Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 703-707.

Villalobos, M. 2003. Geología del entorno árido almeriense. Guía didáctica de campo. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla. 180 pp.

Villalobos, M. 2004. Los subdesiertos de Almería: un paisaje geológico único. En: Mota, J.; Cabello, J.; Cerrillo, M.I.; Rodríguez-Tamayo, M.L. (Eds). Los subdesiertos de Almería: naturaleza de cine. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. pp. 25-37.

Watanabe, F.S.; Olsen, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil. *Soil Science Society of American Journal* 29, 677-678.

Weijermars, R.; Roep, Th.B.; Van den Eeckhout, B.; Postma, G.; Kleverlaan, K. 1985. Uplift history of a Betic fold nappe inferred from Neogene-Quaternary sedimentation and tectonics (in the Sierra Alhamilla and Almería, Sorbas and Tabernas Basins of the Betic Cordilleras, SE Spain). *Geol. Mijnb.*, 64, 397-411.

Wu, H.B., Guo, Z.T., Peng, C.H., 2003. Land use induced changes of organic carbon storage in soils of China. *Global Change Biology* 9, 305-315.

[www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController)

[www.tabernas.org/secciones/situacentral.htm](http://www.tabernas.org/secciones/situacentral.htm)

Zhao, H.L., He, Y.H., Zhou, R.L., Su, Y.Z., Li, Y.Q., Drake, S., 2009. Effects of desertification on soil organic C and N content in sandy farmland and grassland of Inner Mongolia. *Catena* 77, 187–191.

Zhao, H.L., Zhou, R.L., Drake, S., 2007. Effects of aeolian deposition on soil properties and crop growth in sandy soils of northern China. *Geoderma* 142 : 342-348.