

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

“Evaluación de la Erosión Eólica con diferentes tipos de colectores de partículas, en un Anthrosol con cultivos hortícolas”

Curso 2021/2022

Modalidad:

“Trabajo de Investigación”

Alumno/a:

Yolanda Martínez Egea

Director/es:

Carlos M. Asensio Grima
Ana Devaki Maldonado González



RESUMEN

Una de las principales formas de degradación en los ecosistemas mediterráneos es la erosión del suelo. La erosión eólica de Anthrosoles toma protagonismo en las zonas áridas y semiáridas como consecuencia de sus características climáticas, junto con los relieves llanos y abiertos, y la existencia de suelos sin estructura. El movimiento de las partículas del suelo, por el viento, se puede medir utilizando diferentes dispositivos. Estimamos la pérdida de suelo utilizando un túnel de viento, de diseño propio, con un escáner láser incorporado, y luego comparamos los resultados con los registros de colectores de partículas transportadas por el viento, a diferentes alturas. Los colectores pueden diferenciar entre la pérdida total y la deposición de partículas, hecho que no se puede detectar, a mayor escala, en el túnel. Probamos un nuevo tipo de colector de partículas transportadas por el viento (trampas multidireccionales, MDt) en las inmediaciones de Carboneras (Almería), para analizar el movimiento de partículas en la zona. Los colectores MDt son fáciles de fabricar a partir de filamentos termoplásticos con una impresora industrial 3D, mostrándose muy eficientes. Después de analizar las tasas de transporte de sedimentos y su equilibrio, encontramos que los sedimentos podían estar depositándose, en lugar de perderse, dependiendo de su dirección de origen. En ocasiones, los sedimentos aumentan la agregación y disminuyen la erosionabilidad eólica del suelo.

Palabras clave

Colectores de partículas, erosión eólica, encostramiento del suelo, ambiente semiárido

ABSTRACT

One of the main forms of degradation in Mediterranean ecosystems is soil erosion. Wind erosion of Anthrosols takes center stage in arid and semi-arid zones as a consequence of their climatic characteristics, together with flat and open reliefs, and the existence of soils without structure. The movement of soil particles, by the wind, can be measured using different devices. We estimated soil loss using a self-designed wind tunnel with a built-in laser scanner, and then compared the results with records from windborne particulate collectors at different heights. The collectors can differentiate between the total loss and the deposition of particles, a fact that cannot be detected, on a larger scale, in the tunnel. We tested a new type of windborne particle collector (multidirectional traps, MDt) in the vicinity of Carboneras (Almería), to analyze the movement of particles in the area. MDt collectors are easy to manufacture from thermoplastic filaments with an industrial 3D printer, showing themselves to be very efficient. After analyzing sediment transport rates and equilibrium, we found that sediments could be being deposited, rather than lost, depending on their direction of origin. Sometimes, sediments increase aggregation and decrease wind erodibility of the soil.

Keywords

Particle collectors, wind erosion, soil crusting, semi-arid environment

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 agradecerleselo.

En primer lugar, al Director y Codirectora de éste trabajo D. Carlos M. Asensio Grima y Dña. Ana Devaki Maldonado González 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 y hermano que sólo ellos saben lo que he sufrido para aprobar cada una de las asignaturas. Y en especial a mi sobrina, Ana Martínez Labella que sólo verla me motiva a seguir hacia delante.

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

ÍNDICE GENERAL

1. INTERÉS, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	1
1.1. INTERÉS E HIPÓTESIS	2
1.2. OBJETIVOS	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	6
2.1.1. ZONA DE ESTUDIO	6
2.1.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS DE ESTUDIO	9
2.1.3. FACTORES FORMADORES DE LOS SUELOS	9
2.2. ANTECEDENTES	15
2.3. INTRODUCCIÓN	18
3. MATERIAL Y MÉTODOS	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
5. CONCLUSIONES	40
6. BIBLIOGRAFÍA	42
7. FASES DE LA REALIZACIÓN Y CRONOGRAMA	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización y mapa físico de la provincia de Almería (Ruiz Castellano, 2008)	7
Figura 2. Imagen de Google-Earth de la zona de estudio	7
Figura 3. Imagen de Google-Earth donde se localiza el suelo estudiado y la estación agroclimática presente	8
Figura 4. Localización del Anthrosol	8
Figura 5. Precipitaciones medias de la provincia de Almería (Simón et al., 2005)	10
Figura 6. Esquema geológico de la provincia de Almería (Martín Penela et al., 1997)	11
Figura 7. Distribución de pendientes de la provincia de Almería (Simón et al., 2005)	12
Figura 8. Termotipos de la provincia de Almería (Simón et al., 2005)	13
Figura 9. Series de vegetación de la provincia de Almería (Simón et al., 2005)	13
Figura 10. Principales zonas cultivadas en la provincia de Almería (Rubio et al., 2005)	14
Figura 11. Frecuencia de las direcciones del viento en diciembre (izquierda) y julio (derecha) en la Provincia de Almería (Simón et al., 2005)	16
Figura 12. Túnel de viento desplegado en Anthrosol	23
Figura 13. Esquema de la disposición de componentes del túnel de viento	23
Figura 14. Principales componentes del túnel de viento	24
Figura 15. Ejemplo de DSMs del suelo antes y después del soplado	25

Figura 16. Ejemplo de mapa de erosión	25
Figura 17. Imagen esquemática de un colector BSNE	26
Figura 18. Vista en perspectiva del colector multidireccional	28
Figura 19. Vista en alzado del colector	28
Figura 20. Corte de la Figura 21, tomado a lo largo de la línea A-A	29
Figura 21. Vista en sección según el plano de simetría del colector	29
Figura 22. Vista del colector desplegado	30
Figura 23. Distribución de mástiles y dirección predominante del viento	31
Figura 24. Disposición de los colectores BSNE y MDt en los mástiles	32
Figura 25. Comparativa de los pares de colectores (BSNE y MDt) en los mástiles a las diferentes alturas	36
Figura 26. Flujo de sedimentos en las diferentes cápsulas orientadas de los colectores MDt	37
Figura 27. Cronograma de trabajo	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Características analíticas de los Anthrosoles</i>	35
Tabla 2. <i>Fracción Erosionable por el viento y repeticiones de soplado con el túnel</i>	36
Tabla 3. <i>Flujo de sedimentos captados en los colectores BSNE a las diferentes alturas, en los 9 mástiles empleados</i>	37
Tabla 4. <i>Flujo de sedimentos captados en los colectores MDt a las diferentes alturas, en los 9 mástiles empleados</i>	37
Tabla 5. <i>Tasa de transporte de sedimentos en los 9 mástiles, con ambos tipos de colectores</i>	38
Tabla 6. <i>Diferencias en la tasa de sedimentos captados por mástiles (barlovento – sotavento)</i>	38
Tabla 7. <i>Balance en la tasa de sedimentos</i>	38
Tabla 8. <i>Transporte masivo total en los Anthrosoles</i>	39

INTERÉS, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1. INTERÉS, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1.1. INTERÉS E HIPÓTESIS

A lo largo de los años, la aridez ha predominado en la mayoría de la superficie de la tierra. De acuerdo con el Índice de Sequía del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) consistente con Pointing y Belnap (2012), un tercio de la superficie de la Tierra se clasifica como tierras áridas o secas. La formación de este tipo de suelos son muy diversas así como el cambio climático, el aumento notable de la población y la utilización de cada vez más recursos pueden ser los causantes. Según diversos estudios, la erosión es la principal causante de la degradación de los ecosistemas mediterráneos tanto hídrica como eólica.

El clima es una de las principales causas de la erosión eólica, ya que la falta de lluvia y los vientos turbulentos la originan sobretodo en zonas más áridas o semiáridas. Si a todo esto le añadimos la falta de vegetación en la superficie, las planicies y la presencia de suelos faltos de estructura (Aimar et al., 2011) se aumenta el riesgo de erosión. Diversos investigadores en diferentes disciplinas han centrado sus áreas de estudio en la investigación de la erosión eólica ya que tienen múltiples efectos negativos (McTainsh y Strong, 2007).

El SE español se ha centrado en el medio ambiente y agrícola, en cuanto a su aridez y como ha influido el desierto en la agricultura sabiendo adaptarse a todos los retos que impone. La pérdida de suelo es el factor más condicionante en la erosión por el viento Quirantes (1987) la erosión ocasiona grandes daños en el suelo de una manera continua. Los materiales del suelo son transportados a causa de el viento desgastando las partículas y depositándolas en otras zonas con distintos materiales.

Es muy importante saber que efectos ocasiona dicho fenómeno para entender bien

lo que puede pasar en el terreno de manera global. Este tipo de erosión se produce lentamente pero afecta gravemente en los suelos en cuanto a la calidad y la productividad de dichos suelos que se mantiene a lo largo de los años. Cuando hacemos un buen manejo agrícola en un suelo con problemas de erosión podemos amortiguar un poco los problemas y retrasar los efectos negativos (Van Den Biggelaar et al., 2001)

Estudios recientes sobre erosión eólica en Europa han demostrado que la erosión eólica en áreas específicas puede causar tantos problemas como la erosión hídrica. En vista de esto, pensamos que es necesario comprender la sensibilidad del suelo para resolver el problema. Las propiedades del suelo afectan la erosión del mismo, tanto la textura, la cantidad de humedad o la cantidad de materia orgánica. Si un suelo tiene una mayor proporción de arena fina, es más propenso a erosionarse porque la estructura del suelo es menos estable y el agua tarda menos en evaporarse. Los agregados por lo general están relacionados muy estrechamente con la cantidad de materia orgánica, mientras que la humedad juega un papel decisivo en la adhesión a las partículas.

La erosión está muy condicionada por la cantidad de piedras que hay en el terreno, la vegetación existente, el clima de la zona y el estado en el que se encuentra el suelo.

Según los estudios realizados anteriormente, tenemos que decir que existen diversas medidas para reducir la erosión del suelo que están relacionadas con la agronomía, es importante reducir la velocidad del viento o incluir cubiertas vegetales en la superficie para controlar la erosión de los epipedones.

1.2. OBJETIVOS

La finalidad de este trabajo es estudiar cómo influye la erosión eólica en la pérdida de material en Anthrosols del SE de España, mediante diversos procedimientos. Queremos analizar la diferencia en la cantidad de suelo afectado por la erosión eólica, entre los datos registrados empleando los métodos tradicionales, en contraposición a una

nueva técnica, que se basa en el uso de colectores de partículas, de nuevo diseño, patentados por la Universidad de Almería. Además, queremos ver las diferencias tanto de cantidad, como de calidad, de los materiales transportados y depositados sobre los Anthrosoles, de acuerdo a los distintos métodos de estudio, junto a las implicaciones de esto.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

2.1.1. ZONA DE ESTUDIO

Nuestra zona de estudio se encuentra en la provincia de Almería, con una latitud y longitud de 37° 52' y 36° 40' y 1° 37' y 3° 07' respectivamente. Almería es una provincia con varias sierras, entre las que se encuentran Sierra de los Filabres, Sierra de Gádor, Sierra Alhamilla, Sierra Cabrera, Sierra de Almagrera, próxima a Sierra Nevada. Estas montañas se encuentran a unos 2000 metros sobre el nivel del mar. Almería cuenta con 103 municipios divididos en 8 comarcas agrarias: Los Vélez, Alto Almanzora, Bajo Almanzora, Río Nacimiento, Campo de Tabernas, Alto Andarax, Campo de Dalías y Campo de Níjar-Bajo Andarax (Simón et al., 2005), repartidas en un área de 8774 kilómetros cuadrados

La zona donde se ubica nuestro estudio se sitúa en la provincia de Almería, (Fig. 1 a 4). La zona tiene unas precipitaciones medias de 248 mm, y una temperatura de 18,6 °C estos datos corresponden a un clima mediterráneo semiárido. Los sedimentos encontrados corresponden a la época geológica del Mioceno. La flora encontrada corresponde a plantas autóctonas aisladas y en la actualidad también podemos toparnos con una gran variedad de hortícolas. Según estudios anteriores de IUSS WRB (2015), los suelos de la zona estudiada corresponden a un Anthrosol calcaric-hórtico (AT_h) (Fig. 4 y 5).

En cuanto a la climatología, datos de la red de estaciones meteorológicas automáticas del Instituto Andaluz de Investigación y Educación Agraria y Pesquera (<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController>), que pertenece a la junta de Andalucía. Según esta institución en la zona podemos obtener

rachas de viento en torno a $24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

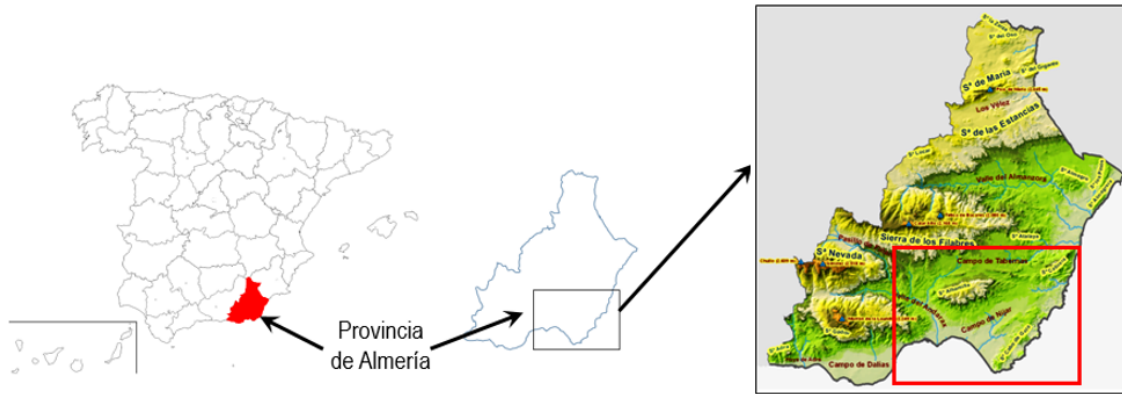


Figura 1. Localización y mapa físico de la provincia de Almería (Ruiz Castellano, 2008)



Figura 2. Imagen de Google-Earth de la zona de estudio



Figura 3. Imagen de Google-Earth donde se localiza el suelo estudiado y la estación agroclimática presente



Figura 4. Localización del Anthrosol

2.1.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS DE ESTUDIO

Seguidamente, se describen los suelos que se encuentran en nuestra de trabajo, de acuerdo a la Base de Referencia Mundial del Recurso Suelo, WRB (FAO, 2015).

Anthrosol calcaric-hórtico (AT_h)

Usualmente, los antosoles son suelos que se forman por la acción humana mediante manejo agrícola con la adición de materia orgánica, realizando trabajos de labranza o incluso con el riego del suelo. El material original viene de un suelo que ha sido modificado mediante el manejo agrícola principalmente.

2.1.3. FACTORES FORMADORES DE LOS SUELOS

La climatología, la topografía, la acción antrópica y en general el medio ambiente modelan los suelos y los modifican.

2.1.3.1. CLIMA

La provincial de almería tiene un clima cálido y seco que corresponde con el subdesértico. Las horas de sol están en torno a 3.600 con menos de 35 días al año con presencia de nubes. Almería es una de las zonas donde menos precipitaciones hay de España, con menos de 1125 mm al año. La temperatura es cálida tanto en invierno como en verano con una temperatura que ronda los 22 °C en verano y 12 °C en la época más fría. Sin embargo, el territorio de la provincia de Almería es muy extenso y podemos encontrar temperaturas muy dispares dentro de un rango amplio.

En relación a los datos de precipitación, las cifras están en torno a 150-300 (Fig. 5). mm sin tener en cuenta las zonas más altas como sierra nevada que duplica esta cantidad. Todo lo que hemos comentado en cuanto a la temperatura y las precipitaciones estamos

en una zona donde la falta de agua es notable. LA falta de precipitación esta ocasionada por la posición geográfica ya que los vientos descargan las nubes continuamente en la costa atlántica y de esta forma llega a la provincia sin agua. Por consiguiente, suele haber más precipitaciones en el mes de septiembre y el mes de octubre. Las condiciones adversas pueden ocasionar depresiones aisladas en las zonas más bajas por la colisión de la corriente de aire caliente y frio.

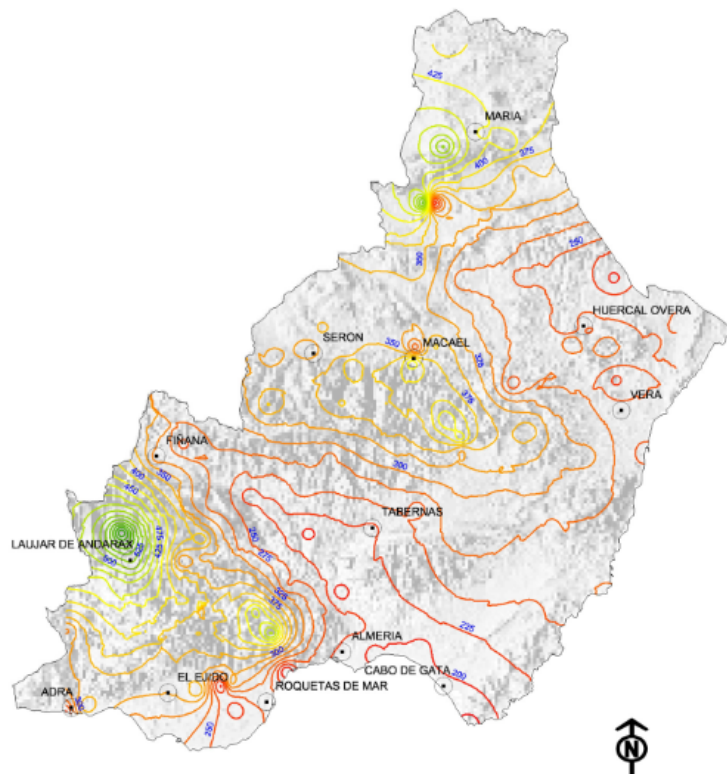


Figura 5. Precipitaciones medias de la provincia de Almería (Simón et al., 2005)

2.1.3.2. GEOLOGÍA

La geología de nuestra zona de estudio es bastante variada, como se puede observar en la figura 6. Almería esta contenida en la cordilleras Béticas esta cordillera tiene materiales de diferentes épocas geológicas como Paleozoica, Triástica,... Podemos encontrar restos que pertenecen al Mioceno Inferior, Superior, Medio, así como del Plioceno.

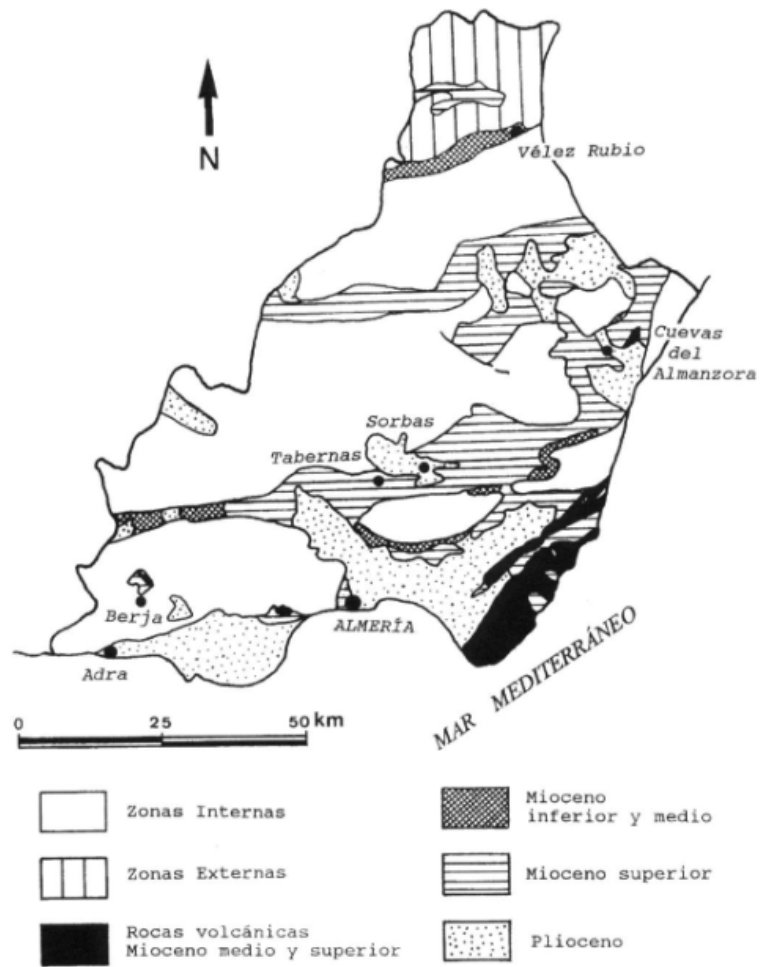


Figura 6. Esquema geológico de la provincia de Almería (Martín Penela et al., 1997)

2.1.3.3. RELIEVE

La altitud de Almería varía entre los 2.609 metros (chulo) hasta el nivel del mar. La gran variación de altura distingue claramente tres partes: montañas, depresiones neógenas y áreas de costa. Solo el 12% del terreno son a áreas planas o casi planas, el 65,5% incluye inclinaciones comprendidas entre 6-13%, y el 22,5% sobrante tiene pendientes superiores al 13% lo vemos en la figura 7.

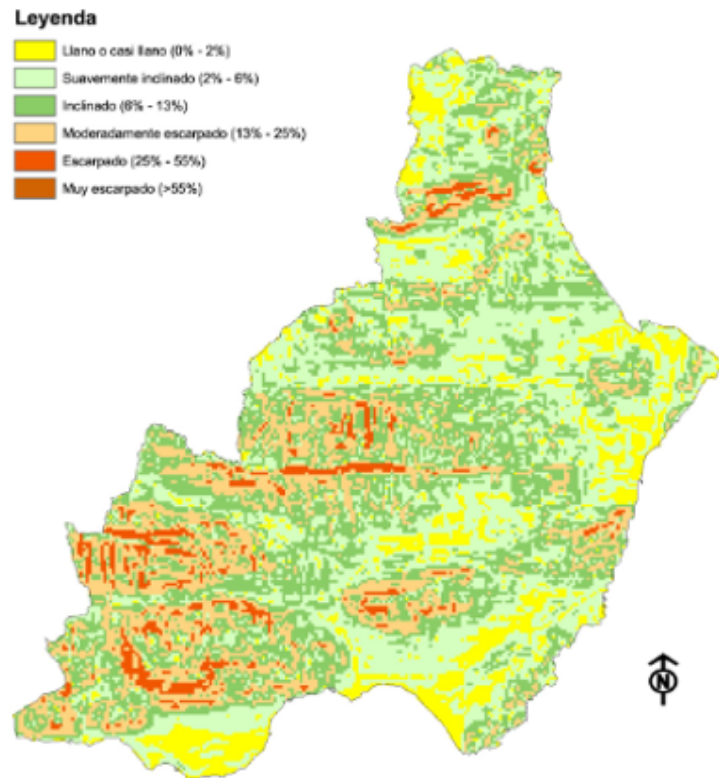


Figura 7. Distribución de pendientes de la provincia de Almería (Simón et al., 2005)

2.1.3.4. VEGETACIÓN

La flora presente en la zona es muy peculiar y por ellos podemos distinguir 4 zonas bio-climáticas (Fig. 8). La zona Termomediterránea, es la más dominante en nuestra zona, cuya peculiaridad principal es la falta de bosque, pudiendo encontrar algunas especies de arbustos espinosos o matorrales subdesérticos.

En cuanto a al tipo de vegetación que se detalla en la figura 9, en la demarcación donde estamos estudiando el suelo destacamos la serie semiárida del lentisco y la serie semiárida del azufaifo.

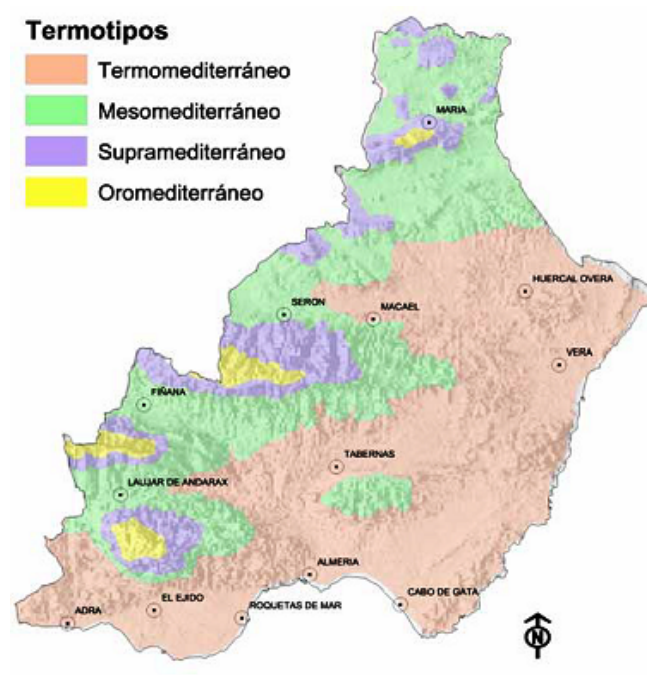


Figura 8. Termotipos de la provincia de Almería (Simón et al., 2005)



Figura 9. Series de vegetación de la provincia de Almería (Simón et al., 2005)

2.1.3.5. ACCIÓN ANTRÓPICA

El manejo del hombre en el uso de la manera, los recursos mineros y la agricultura extensiva e intensiva bajo plástico son causas determinantes que han originado el cambio del suelo en nuestra provincia. En la siguiente imagen podemos ver con claridad las zonas con alguno de los cultivos que hemos mencionado anteriormente, observando que las zonas con más cantidad de cultivos son el Bajo Almanzora, el Campo de Níjar y el Campo de Dalías.

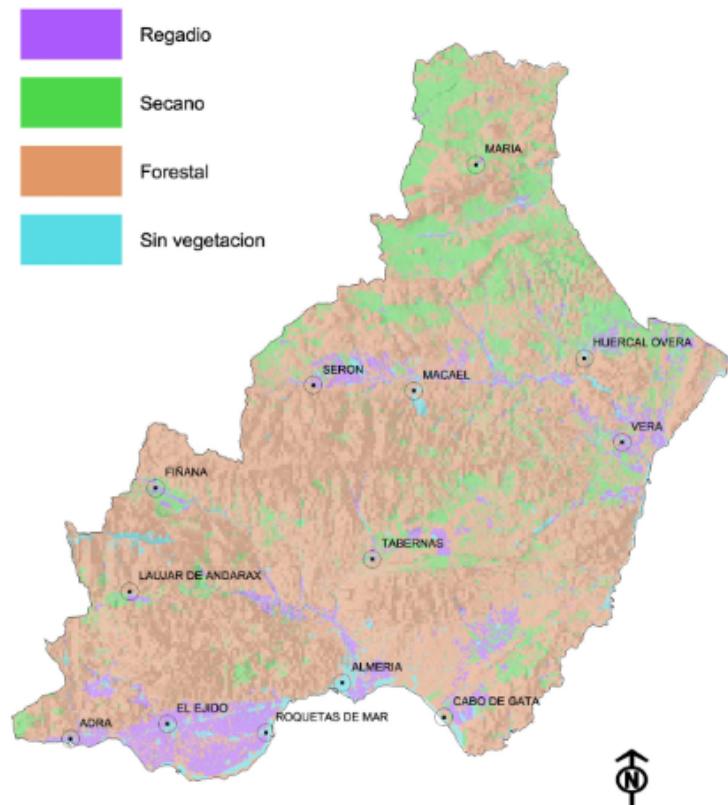


Figura 10. Principales zonas cultivadas en la provincia de Almería (Rubio et al., 2005)

2.2. ANTECEDENTES

Si nos fijamos en investigaciones anteriores de suelos de la región se basan en mapas de suelos, corresponden a fincas cercanas al área de estudio. Se han producido mapas de suelos a lo largo del tiempo a partir de diferentes estudios, como la publicación de la FAO (1967) "Mapas de suelos de Europa" con suelos de suero y marrón rojizo relacionados con el karst. Diez años más tarde, el gobierno militar andaluz publicó el "Catálogo de Suelos de Andalucía", en el repasa las diferentes oreografías de nuestro territorio. La Comisión de las Comunidades Europeas divulgaron el Mapa de Suelos de la Comunidad Europea, seguido de la publicación de Soil Memory and Mapping.

Todos los estudios anteriores son muy generales, por lo que no podemos aplicarlos a nuestra investigación. Además, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación publicó en 1981 la "*Mapas de cultivos y aprovechamientos*". Al mismo tiempo, el Instituto de Geotecnología de España editó el "*Mapa Geológico*" de las distintas comarcas de la provincia a escala 1:50.000. En 1991, como parte del proyecto LUCDEME (contra la desertificación en el Mediterráneo), se publicaron "Memorias y Mapas de suelos" a escala 1:100.000 en toda el área de estudio.

El estudio de la pérdida eólica de suelo se ha estudiado mucho, a lo largo del tiempo, ya que el movimiento del polvo por la acción del viento ocasiona cambios en el terreno. En 1941, se publicó "*La física de la arena soplada y las dunas del desierto*" por Ralph Bagnold, donde se monitorizaba el movimiento y deposición de los sedimentos en el desierto de Libia. Con el transcurso de los acontecimientos, se investigó en profundidad, encontrando diferentes libros y artículos como "*Soil and Water conservation for production and environmental protection*" (Troeh et al., 1980) o "*Erosion, Transportation and Sedimentation performed by the atmosphere*" (Udden, 1984). A mitad de los años 90, se publicó "*Erosión y Conservación del suelo*" (Morgan, 1997). Morgan escribió acerca del desarrollo del desgaste del suelo y se centró en cómo conservar el suelo con la premisa de mejorar las técnicas, para que la consecuencia fuera la reducción de la erosión del suelo. Tiempo después, investigadores de la Universidad de Almería

publican el “Análisis de las direcciones de los vientos en Andalucía” (Viedma, 1998). En estudios más recientes como los de Simón et al. (2005), se edita un “Mapa de Suelos de la provincia de Almería”, a escala 1:100.000 donde estudian en detalle el por qué del desgaste del suelo y por qué se origina.

Si miramos el viento con una visión más física lo podemos tomar como si fuera un vector con magnitud, y dirección. De acuerdo con los estudios realizados por Udden (1984) postuló que cuanto menos altitud tiene el vector viento menor es su velocidad. Morgan (1997) se dio cuenta que el daño principal que ocasionaba la erisión estaba ocasionado por la velocidad que tenía el viento.

En almería el registro de la cantidad velocidad y dirección del viento es muy elevado ya que existen muchos días con viento en nuestra zona . Generalmente, el viento es estacional, de esta forma en los meses de noviembre a febrero la dirección más habitual es N, en cuanto a los meses de verano la más habituales son E y SW con la mas predominante en el mes de julio (Simón et al., 2005). En la figura 11, podemos observar la rosa de los vientos que corresponde a la zona de estudio.

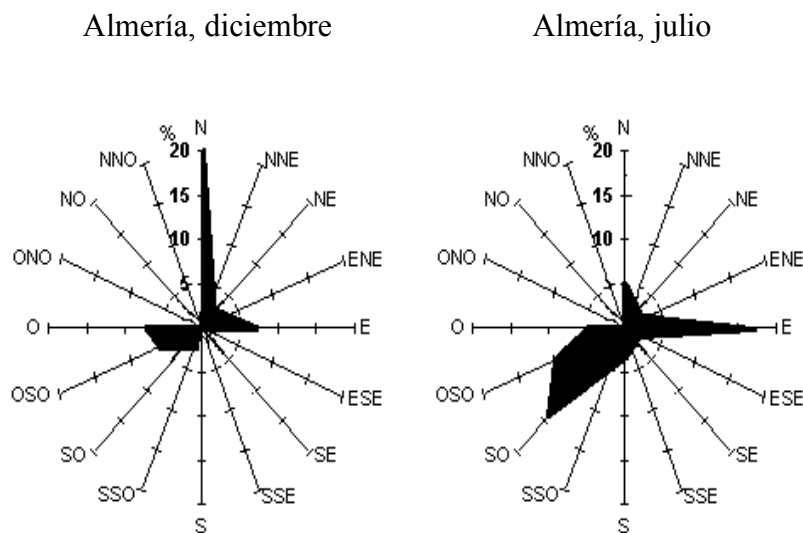


Figura 11. Frecuencia de las direcciones del viento en diciembre (izquierda) y julio (derecha) en la Provincia de Almería (Simón et al., 2005)

En cuanto a la disminución de suelo por la influencia del viento, FAO (1980) definió la pérdida de suelo como “*el conjunto de procesos que rebajan la capacidad actual y potencial de suelo para producir cualitativa o cuantitativamente, bienes y servicios*”. Un suelo con riqueza nos referimos a un suelo fértil, y la erosión del viento hace que vaya cambiando su uso. Nuestra zona esta bastante afectada por este tipo de erosión. En almería, la mayor parte de la pérdida del suelo esta originada por el viento. Quirantes (1989) definió la erosión eólica como “*el proceso natural mediante el cual, el viento arranca y transporta partículas del suelo, desgastándolas, arrastrándolas y haciéndolas incidir sobre materiales y áreas*”. Antecedentes hablan de que en torno a cuarenta y dos millones de hectáreas están afectadas por este fenómeno en nuestro planeta.

Debemos tener en cuenta los problemas ocasionados por este fenómeno dividiéndolos en tres tipos:

- Superficiales: Es el efecto que más afecta a la vegetación cultivada sobretodo si esta recién plantado ya que tiene menos resistencia a las condiciones adversas, ya que la pérdida de material por la acción del viento puede dejar las raíces al aire.
- Edáficos: En cuanto a la edafología, al existir pérdida de material ocasiona un cambio en el suelo transformando o destruyendo la textura del mismo. La pérdida de arenas finas o las fracciones más pequeñas ocasiona que el suelo se vuelva más arenoso y dejando los más grandes en la zona. Al ser más grandes los fragmentos presentes en el suelo hay menos capacidad de retener el agua.
- Secundarios: Estos efectos son la suma de las consecuencias anteriores, ya que si transportamos materiales salinos a otra zona puede ocasionar problemas para cultivar.

Lo comentado anteriormente produce la pérdida continua de los recursos del suelo de acuerdo con (Quirantes, 1987). Una de las formas de reducir estos efectos es importante saber el proceso que los produce y cuantificarlo.

Habitualmente la erosión eólica tiene un comportamiento lineal que depende principalmente de la velocidad (Lyles et al., 1983). A pesar de esto la erosión se puede controlar de diferentes formas como la formación de una capa vegetal que sujete el suelo y también el tipo de suelo influye (Merrill et al., 1999), la cantidad de agua, la rugosidad (Asensio et al., 2019) del suelo y la cantidad de materia orgánica presente son otros factores fundamentales que lo condicionan (García-Moreno, 2006)

2.3. INTRODUCCIÓN

El medio ambiente está muy condicionado por el clima, la erosión que causa el viento es uno de los grandes problemas tanto sociales como económicos que tiene un gran efecto en la salud ya que es una fuente de contaminación importante, además de ser un problema para los cultivos (Novara et al., 2011; Sharifikia, 2013). No todas las zonas tienen el mismo efecto ante la erosión eólica y esta muy relacionado con el clima presente en dicha zona (Borrelli et al., 2016; Weber et al., 2017). Si unimos el problema del clima con suelos muy sueltos o con poca capa vegetal vamos a tener problemas más importantes en cuanto a productividad y todo lo que hemos comentado anteriormente.

Cuando nos encontramos con un área o semiárida con una pluviometría baja y un viento con gran intensidad son las condiciones ideales para que se mueva una gran cantidad de material (Burtiev et al., 2013), y nos acarree los problemas en los cultivos o en la salud humana (Yildiz et al., 2017), cuando nos encontramos con un suelo con poca retención de agua (Kravchenko et al., 2016) también agravamos todos los problemas. Por consiguiente es conveniente seguir estudiando la erosión eólica y sus efectos para que se modifiquen las políticas relacionadas y la toma de decisiones sean más efectivas (Panagos et al., 2012).

Uno de los factores más importante para controlar la erosión y reducir la erosión del suelo es la humedad ya que el umbral de velocidad aumenta y por esto aumenta la cohesión de las partículas (Sharratt et al., 2013). La versatilidad del tiempo y el umbral de velocidad tienen una influencia muy importante en la cantidad de material que será

transportado (de Oro y Buschiazzo, 2009).

Diversos estudios estudiaron la relación que existe entre la velocidad, la erosión, el tipo de suelo y la cantidad de vegetación presente sobretodo en regiones semiáridas Lozano et al. (2013) y Giménez et al. (2019). Cuando el viento está presente en una zona condiciona con gran intensidad la presencia de nutrientes en el suelo haciendo que se degraden así como también condiciona el secado del suelo (Molchanov et al., 2015), estos dos factores están relacionados con la compactación de la superficie. La mejor forma de proteger el suelo ante la erosión eólica es mediante cubiertas vegetales que disminuyen la velocidad del viento y retienen el material (Touré et al., 2011; Leenders et al., 2011; Asensio et al., 2015b). Como hemos comentado anteriormente, la cubierta vegetal protege con éxito reduciendo la velocidad del viento obligando al viento a moverse a través de las hojas más lentamente que en la parte más alta (Molina-Aiz et al., 2006). Si la erosión es demasiado grande puede cambiar propiedades propias del suelo y de lo cultivado en dicho suelo (Li et al., 2004; López et al., 2017).

Estudiando la forma de cultivar en las zona del mediterráneo Benhabib et al. (2014) se llegó a la conclusión de utilizar nuevas técnicas más sostenibles que mostraron un resultado positivo en cuanto al rendimiento del cultivo y la productividad. Diversos estudios Colazo y Buschiazzo (2010, 2015) y Zobeck et al. (2013) afirman que la fracción erosionable (FE) aumento debido al viento, y disminuyó la estabilidad del mismo y la cantidad de materia orgánica presente. Hay estudios Fryrear et al. (1994) que plantean usar la ecuación de regresión múltiple cuando calculamos la fracción erosionable si no tenemos un tamiz rotatorio

Cuando un suelo no está labrado, existe una capa vegetal natural y el suelo se encuentra con más agregados, estos condicionantes reducen la pérdida del suelo y aumentando la retención de material erosionado anteriormente (Touré et al., 2011; Asensio et al., 2015). Hay muchos factores que determinan el umbral de velocidad del viento uno de ellos es el clima e influye mucho en la cantidad de material perdido y de partículas arrastradas (De Oro y Buschiazzo, 2009; Borrelli et al., 2016). En zonas remotas que conservan mejor el medio, el sobrepastoreo o la deforestación originan que

la erosión sea más intensa por la pérdida de la capa vegetal (Weber et al., 2017).

Se han hecho estudios para simular la circulación de las partículas solapadas en un túnel de viento. El túnel de viento se ha ido modificando y mejorando a lo largo de los años y de los estudios. Hay muchos tipos de tuneles de viento, pero no todos se pueden utilizar en campo. La universidad de almeria patento uno de ellos que se puede usar tanto en estudios agrícolas como en campo abierto ya que posee un láser escáner (Giménez et al., 2019).

Hay muchos estudios para conseguir muestradores de sedimentos para poder contabilizar el material que el viento transporta (Goossens et al., 2000), los muestreadores más conocidos son Big Spring Number Eight (BSNE; Fryrear, 1986) y Modified Wilson and Cook (MWAC; Wilson y Cook, 1980) de acuerdo con Zobeck et al. (2003). El muestreador seleccionado para cada estudio depende de muchos factores como el tipo de estudio, el presupuesto disponible y la precisión necesaria. Diversos estudios han demostrado que para que las trampas sean eficaces depende principalmente del tamaño de los sedimentos y la velocidad de los mismos Feras et al. (2008) y (Shao et al., 1993). En cuanto a los colectores BSNE y MWAC de acuerdo con (Méndez et al., 2011). Goossens y Buck (2012) llegaron a la conclusión que cuanto más pequeño era el tamaño de la partícula más eficiente era, pero aumentaba la velocidad.

Para hacer un muestreo más real se colocan trampas con diferentes alturas y así podemos saber con más precisión el flujo vertical (Basaran et al., 2011). El polvo en suspensión es muy importante en el medio natural según Biolders et al. (2002) que estudiaron el comportamiento de los sedimentos con colectores BSNE en una zona arada.

Para las determinaciones de este trabajo hemos escogido un colector diseñado y patentado por investigadores de nuestra Universidad, al que llamaron Trampa Multidireccional (MDt). Hemos elegido éste, porque es el más económico y fácil de construir; además, captura material indistintamente de su dirección, altura o velocidad. Los colectores se han colocado en mástiles, a distintas alturas, para tener una visión más real de la erosión presente en las parcelas de estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Recogimos muestras de la superficie del suelo en los 5 primeros centímetros y las analizamos con 4 repeticiones de cada suelo diferente. Para determinar el tipo de textura de cada suelo se utilizó el método de la pipeta de Robinson. Para hacerlo con el carbono orgánico fue a través de la digestión húmeda de Walkley-Black. Para conocer la cantidad de carbonato fue a través de la prueba de volumetría de gas y la densidad aparente fue con unos cilindros con un volumen de 100 cm³ para poder referirse al volumen del mismo.

Con la ecuación (1) de Fryrear et al. (1994) se calculó la fracción erosionable del suelo:

$$FE = 29.09 + 0.31 \text{ arena} + 0.17 \text{ limo} + 0.33 \text{ arena /arcilla} - 2.59 \text{ materia orgánica} - 0.95 \text{ CaCO}_3 \quad (1)$$

En la ecuación anterior, las variables se expresan en tanto por ciento.

Para saber el comportamiento del viento y la erosión que producía, empleamos un túnel de viento que podemos ver más abajo en la figura 12. Este túnel tiene incorporado un láser 3D para captar todos los pequeños desniveles que pueden existir en el terreno y sabiendo la densidad del suelo que estamos estudiando sacar el volumen de material afectado por la erosión (Asensio et al., 2016 y 2019). En las siguientes imágenes, tanto la 12, 13, como la 14, podemos ver con detalle el túnel de viento utilizado



Figura 12. Túnel de viento desplegado en Anthrosol

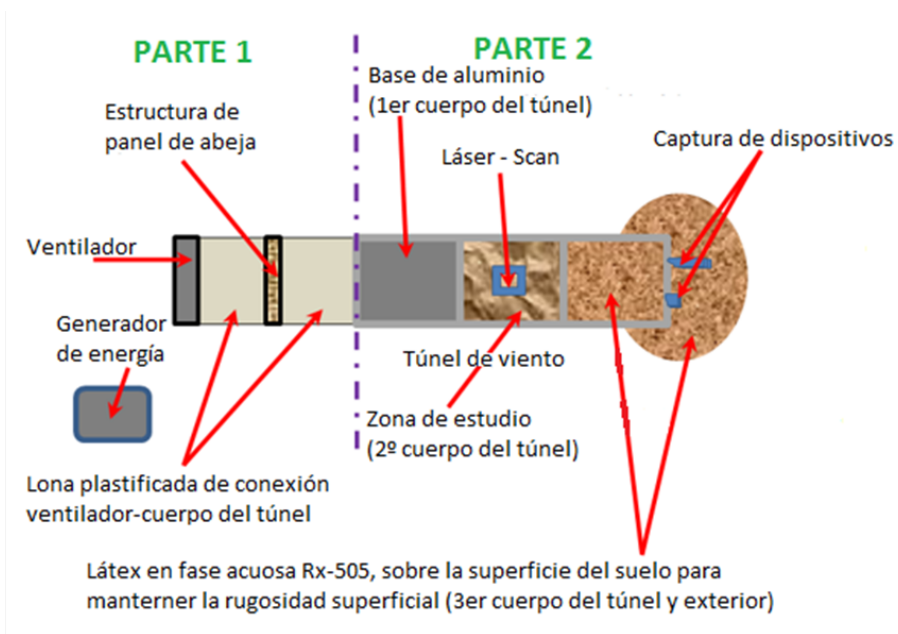


Figura 13. Esquema de la disposición de componentes del túnel de viento

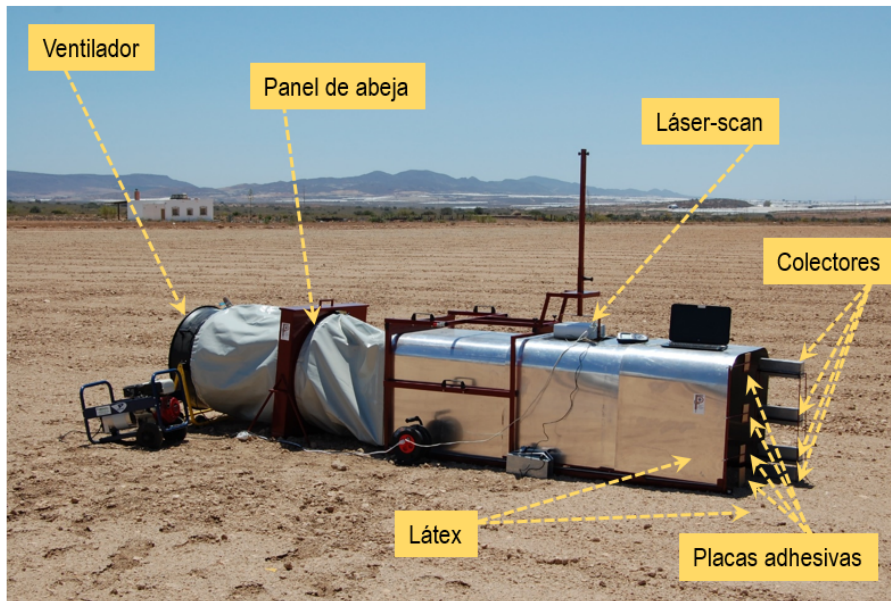


Figura 14. Principales componentes del túnel de viento

De acuerdo con los estudios de Fister y Ries (2009), las pruebas realizadas con el aparato que hemos explicado anteriormente se hicieron en un tiempo determinado de 10 minutos, con una velocidad de $7,6 \text{ m s}^{-1}$, controlada a 70 cm. Durante todas las pruebas la capa superficial del suelo se analizó previa y posteriormente de hacer el experimento. El escaneo del suelo genera nubes de puntos, con las que podemos formar modelos digitales de la superficie (DSM, figura 15). Para estimar la cantidad de suelo erosionada, se emplea un mapa de erosión resultante de las diferencias entre DSMs antes y después del soplado (Fig. 16). Por último, para saber la masa real de suelo que se ha perdido, se debe conocer la densidad aparente del suelo, de acuerdo con Asensio et al., (2016).

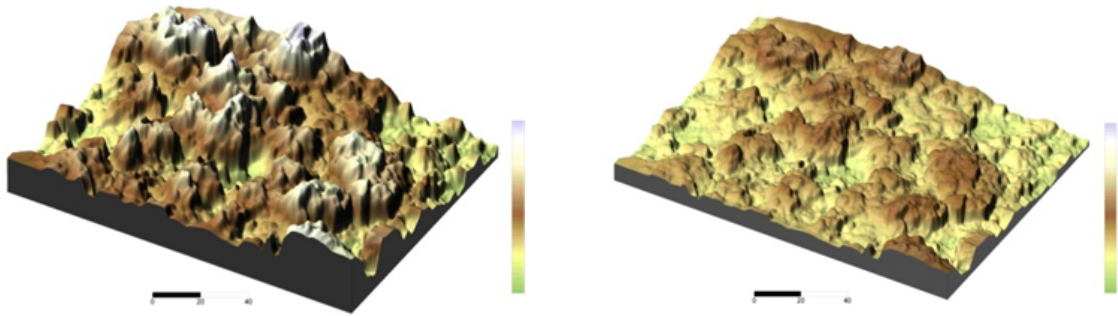


Figura 15. Ejemplo de DSMs del suelo antes y después del soplado

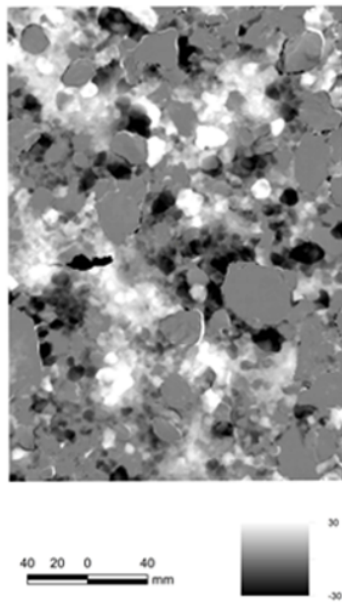


Figura 16. Ejemplo de mapa de erosión

Este aparato aun siendo un experimento es adecuado para estudiar el efecto de un viento con una velocidad que no varia sobre el terreno. Esta configuración es especialmente útil para comparar ubicaciones porque la velocidad del flujo de aire es un parámetro constante que se puede reproducir de manera confiable. Seleccionamos cuatro sitios Anthrosols diferentes para garantizar que los datos recopilados reflejaran la variabilidad natural de los sitios estudiados.

Por otro lado, en nuestro estudio también utilizamos un colector BSNE (Fryrear, 1986) fabricado en acero galvanizado. Estos colectores constan de dos partes: la bandeja inferior para la toma de muestras y la segunda fija en la parte superior, pero con la parte superior e inferior de malla de 0,3 y 1 mm de diámetro, ambas trapezoidales (Imagen. 17). La tela pasa por un agujero rectangular de 2 cm de ancho x 5 cm de alto por debajo de la malla superior. A medida que el flujo de aire que transporta el material ingresa al colector, la velocidad del viento disminuye de acuerdo con el trapecioide del colector, y cuando golpea la superficie opuesta, el polvo cae a través de la malla inferior hacia el tanque del colector y el aire escapa por la parte superior. . malla. La malla inferior retarda el sedimento del material en 1 mm, de modo que el polvo más fino no se pierde y el material resultante no se daña más. Cada captador está montado sobre un mástil, a diferentes alturas, al que se le acopla una veleta.

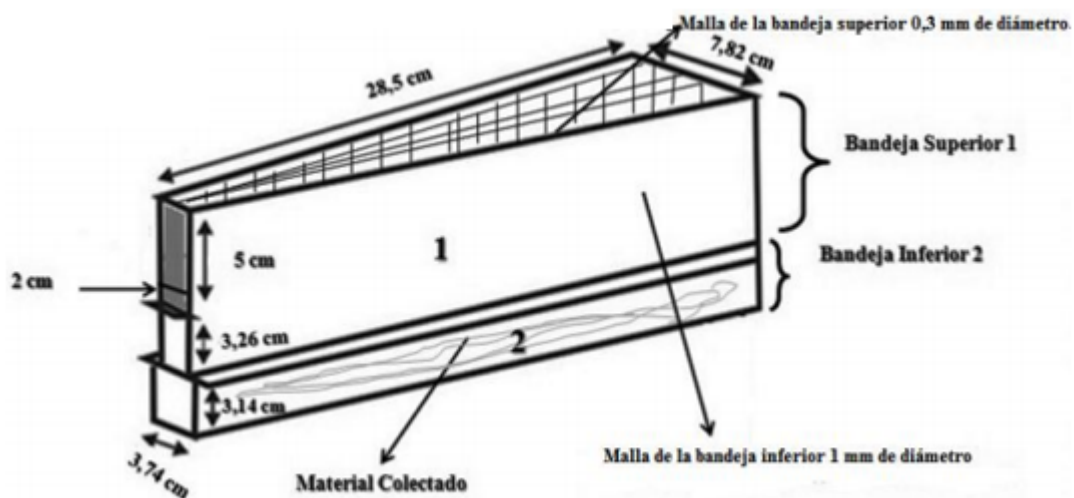


Figura 17. Imagen esquemática de un colector BSNE

Además del colector BSNE, también utilizamos un colector propio patentado por la Universidad de Almería (Asensio et al., 2015a) y fabricado con una impresora 3D industrial a partir de politereftalato de etileno modificado con glicol (PETg) (termoplástico). PETg es un material duradero, pensado para situaciones de estrés mecánico; es duro y flexible. El aire portador ingresa al colector a través de una abertura

rectangular que mide 2x5 cm, y las ranuras portadoras ubicadas en él cambian su movimiento. El material está incrustado en una estructura toroidal extraíble en la base.

El objetivo de este nuevo instrumento es recoger las partículas sólidas de todas las direcciones del viento. Tiene diversos compartimentos en el que se depositan los sedimentos dependiendo de la dirección del viento.

De las figuras 18 a 22 se ve la vista del colector que hemos utilizado en nuestro trabajo. Podemos ver las tres vistas, alzado, planta y perfil.

Ahora voy a describir cada una de las partes del colector:

- Cámara de separación: lugar donde las partículas sólidas se separan del aire (1).
- Hendidura de entrada: La encontramos en el plano vertical (2)
- Hendidura de salida: Se encuentra en el lado opuesto a la entrada (3)
- Hendidura de descarga: En la parte más baja (4)
- Aleta: al lado de la cámara de separación (6)
- Mástil vertical: La parte articulada cerca de la cámara de separación (7)
- Depósito (12)
- Compartimentos: 8 huecos (13)
- Tapadera (14)

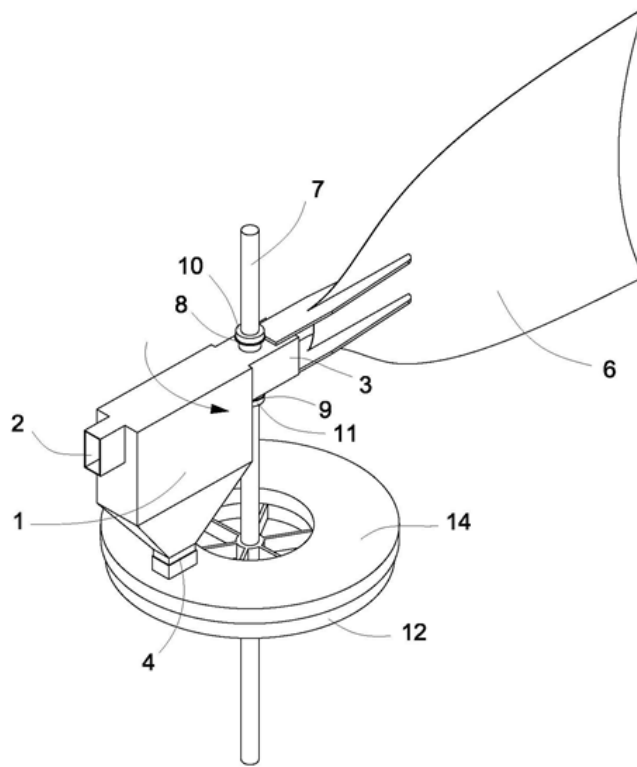


Figura 18. Vista en perspectiva del colector multidireccional

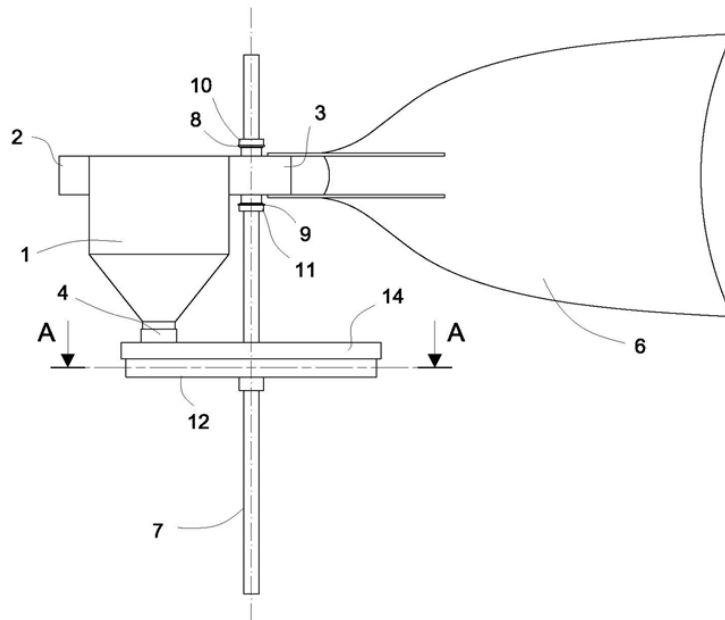


Figura 19. Vista en alzado del colector

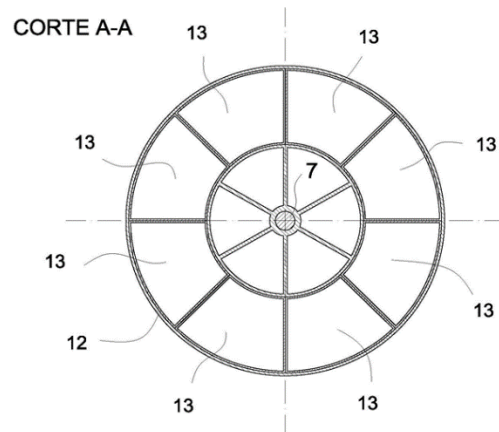


Figura 20. Corte de la Figura 21, tomado a lo largo de la línea A-A

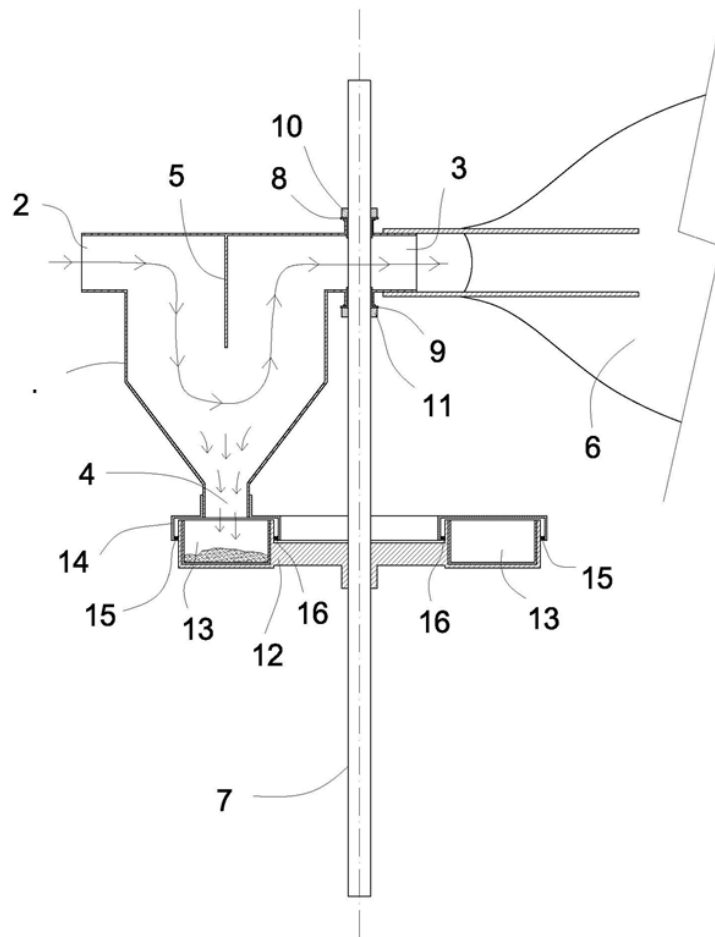


Figura 21. Vista en sección según el plano de simetría del colector

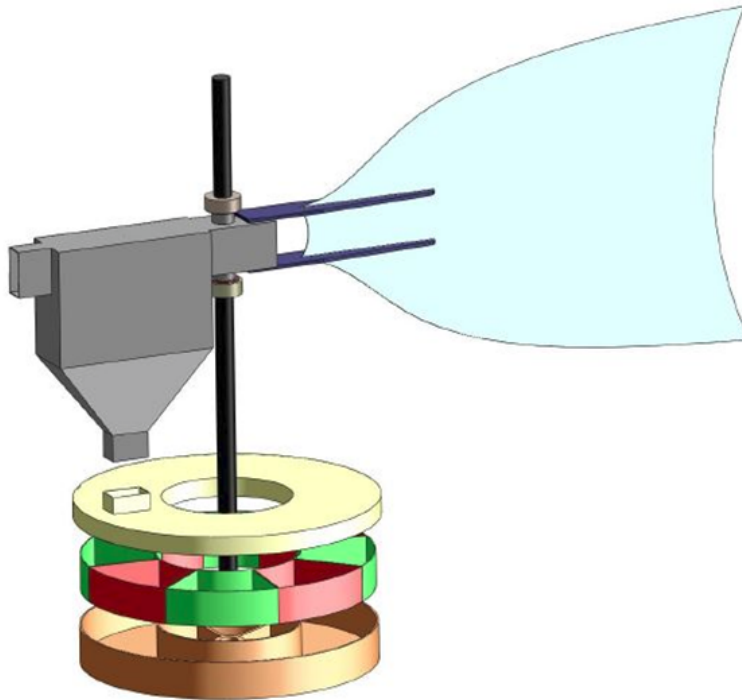


Figura 22. Vista del colector desplegado

Instalamos un conjunto (9 trampas) de mástiles con ambas trampas, tanto BSNE como MDt con una altura de 0,35, 0,70, 1,05 y 1,40 m, de forma que sus bocanadas estuvieran siempre en la dirección del viento principal.

En cuanto a la eficacia que tienen las trampas BSNE según que Fryrear et al. (1994) y Goossens et al. (2018) es del 65 %, porcentaje muy alto y se considera un buen colector de sedimento y el MDt tiene una mayor eficacia en la recolección de material mucho más fino, con un 74% de eficiencia (Asensio et al., 2015a). La disposición de los mástiles giratorios esta hecha para disminuir el riesgo de turbulencias, con una separación de 50 m. Los ensayos se hicieron durante 24 h continuas y, después de este periodo, se recogieron las muestras y analizaron los sedimentos.

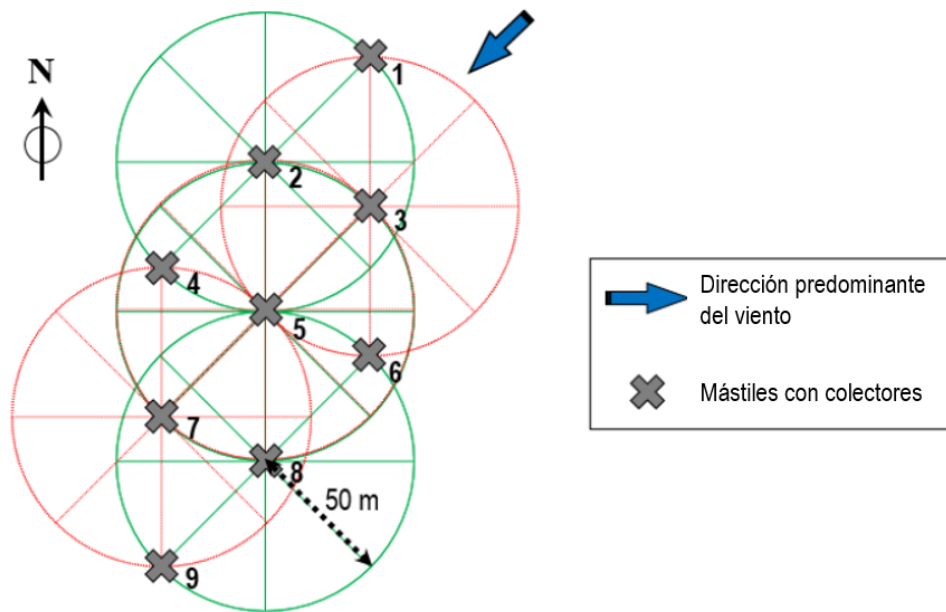


Figura 23. Distribución de mástiles y dirección predominante del viento

Los receptores BSNE y MDt están montados en mástiles a diferentes alturas, a partir de 0,35 m (Fig. 24), así que algunos datos debemos medirlos experimentalmente como la diferencia en la cantidad de lixiviación. Esto se ha conseguido con un modelo matemático que estipula la cantidad de acumulación de manera simulada en el terreno (Basaran et al., 2011).

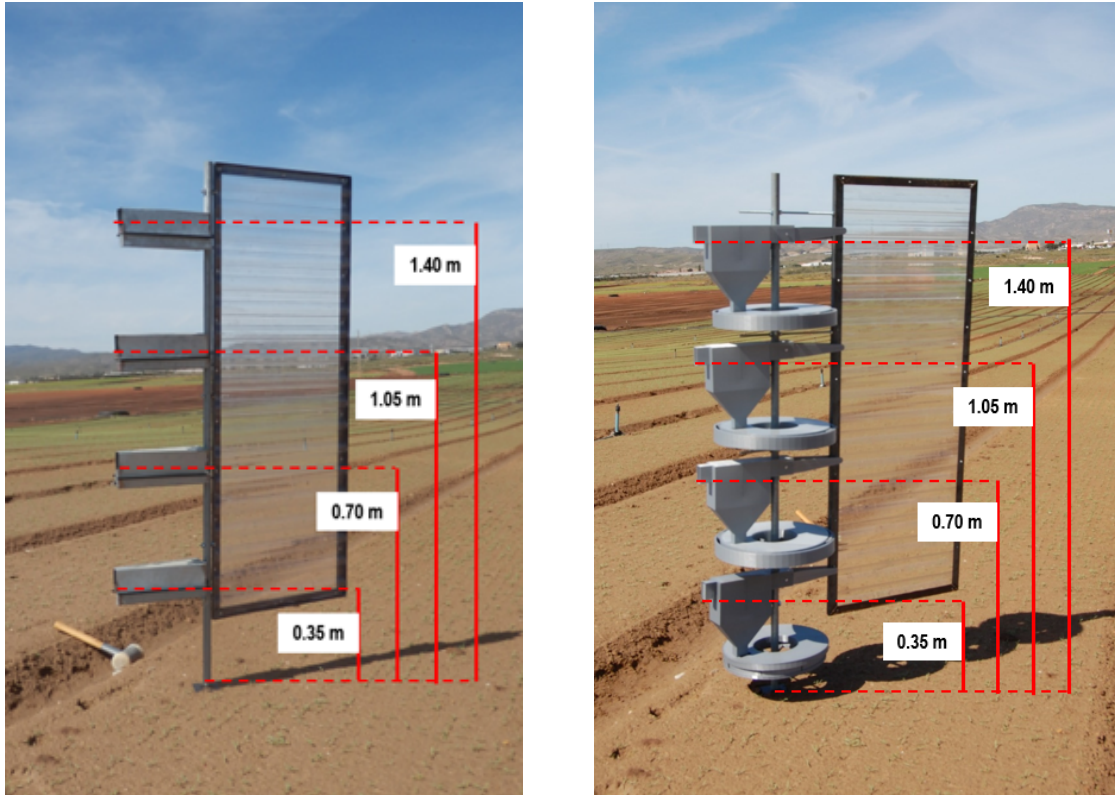


Figura 24. Disposición de los colectores BSNE y MDt en los mástiles

La descarga de sedimento (q_z , kg m^{-2}) a cada altura de trampa (z , m) se determina a partir de la ecuación (1):

$$q_z = \frac{m}{A} \quad (1)$$

donde:

m – peso de sedimento (kg) captado por cada colector a una altura dada,

A – área de entrada (m^2) del colector.

Entonces, en la Ecuación (2), el flujo de sedimentos se predijo ($q_{z.exp}$, kg m^{-2}) mediante una ecuación exponencial para cada cantidad monitorizada:

$$q_{z.exp} = q_0 \cdot e^{-\alpha z} \quad (2)$$

donde:

q_0 – cantidad de sedimento monitorizado en $z = 0$ (kg m^{-2}),

α – factor de pendiente de la ecuación de regresión exponencial (m).

A continuación, se determinó la tasa de transporte de sedimentos (Q_r , kg m⁻¹) integrando la $q_{z.exp}$ (kg·m⁻¹) pronosticada por medio de la Ecuación (3):

$$Q_r = \int_0^h q_{z.exp} dz \quad (3)$$

donde:

h – altura máxima registrada de transporte de partículas (m).

El transporte de masa total (Q_t , kg) se calculó mediante la Ecuación (4):

$$Q_t = \left(\frac{Q_r}{\eta}\right)L \quad (4)$$

donde:

η – eficiencia de la trampa,

L – ancho de parcela.

El volumen de suelo erosionado se calcula con la diferencia de volumen en todos los puntos de muestreo que se encuentran a barlovento y a sotavento de la dirección más habitual del viento. Cuando esta diferencia sale negativa es porque nos encontramos con pérdida de material.

Hicimos un ensayo rango de Wilcoxon no paramétrica para ver si la cantidad de sedimento recogido a la misma altura por los receptores BSNE y MDt es diferente. Los resultados se ven en gráficas de caja que muestran las grandes diferencias (valor de $p < 0.05$) entre todos los conectores sobretodo los que están a pares.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La causa principal para que exista degradación en un suelo es la erosión eólica como hemos comentado a lo largo de todo este trabajo, por consiguiente, es necesario estudiarlo con mucha insistencia para poder ayudar a combatirlo mediante nuevas políticas (Panagos et al., 2012; Borrelli et al., 2016).

Diversos estudios (Lozano et al., 2013; Asensio et al., 2015b) recomiendan que la densidad aparente se disminuya cuando enriquecemos el suelo de alguna forma como por ejemplo añadiendo materia orgánica y aumenta por acumulación de diferentes materiales con textura fina lo que condiciona la formación de alguna costra en el suelo.

En la tabla 1 se muestran las características del suelo registradas para el área de estudio Anthrosol. Recolectamos cuatro muestras de suelo replicadas. Las rocas en superficie son muy bajas, con un contenido medio de grava del 6,1%.

Tabla 1. Características analíticas de los Anthrosoles

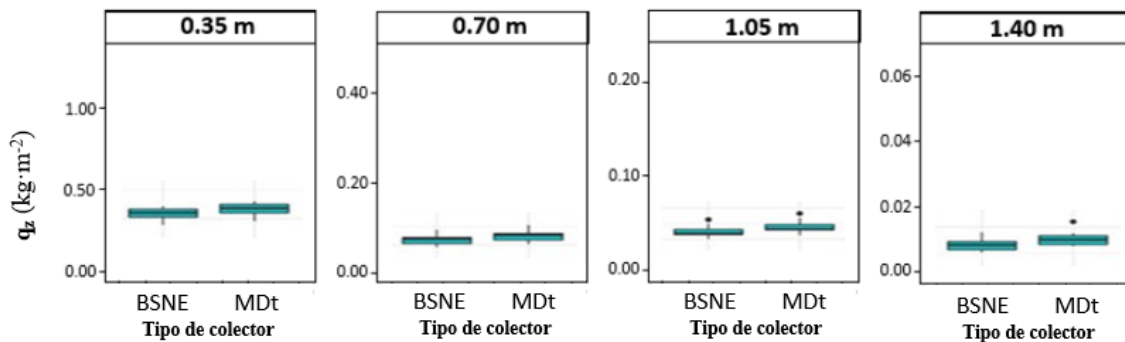
Muestra	Arena					Limo		Arcilla	C.O.	CO ₃ ⁼
	Muy gruesa	Gruesa	Media	Fina	Muy fina	Grueso	Fino			
	(%)									
AT	5.2 ± 0.3	10.8 ± 0.7	22.3 ± 2.1	28.0 ± 2.4	19.7 ± 1.7	1.7 ± 0.2	4.1 ± 0.5	8.2 ± 0.7	1.82 ± 0.17	26 ± 4

Usando el túnel de viento que hemos expuesto antes hemos podido saber las pérdidas y la cantidad de material transportado mediante el escáner laser del túnel de viento. La fracción erosionable del suelo debido a la cantidad del viento se ha generado de forma artificial y lo podemos ver en la siguiente tabla (tabla 2)

Tabla 2. Fracción Erosionable por el viento y repeticiones de soplado con el túnel

Muestra	FE (%)	Pérdida [Laser-scan] (mm)					Densidad aparente ($t\ m^{-3}$)	Erosión [Túnel] ($t\ ha^{-1}$)
		A	B	C	D	Media		
AT	30.79	0.87	0.96	0.82	1.02	0.92	1.24	11.41

El Anthrosol se seleccionó de huertas con cultivos intensivos, con poca cantidad de limo y arcilla. Las medidas se tomaron inmediatamente después del laboreo. Las metodologías adoptadas que utilizan colectores BSNE y MDt han permitido realizar estudios detallados de la erosión eólica. El flujo de sedimentos se midió en nueve mástiles con dos colectores, cada uno con una altura de medición diferente. En la figura 25 compara los ambos tipos de colectores por pares. El diagrama de caja muestra que existe una diferencia significativa (valor $p < 0,05$) entre los pares de embalses.

**Figura 25.** Comparativa de los pares de colectores (BSNE y MDt) en los mástiles a las diferentes alturas

En las tablas que vemos a continuación (tabla 3 y 4) podemos ver los resultados obtenidos de la cantidad de sedimentos de todos los ensayos realizados. Las diferencias que encontramos en cuanto a material obtenido es estadísticamente revelador y en todos los ensayos los colectores MDt capturan más cantidad de material que el otro tipo de colector utilizados que son los BSNE.

Tabla 3. Flujo de sedimentos captados en los colectores BSNE a las diferentes alturas, en los 9 mástiles empleados

z (m)	q _z [BSNE] (kg m ⁻²)								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
0.35	0.3178	0.3343	0.2916	0.3107	0.3044	0.2927	0.3317	0.2539	0.3477
0.70	0.0829	0.0876	0.0826	0.0653	0.0776	0.0706	0.0988	0.0731	0.0804
1.05	0.0034	0.0041	0.0032	0.0027	0.0032	0.0031	0.0044	0.0031	0.0032
1.40	0.0092	0.0094	0.0092	0.0066	0.0074	0.0069	0.0115	0.0074	0.0077

Tabla 4. Flujo de sedimentos captados en los colectores MDt a las diferentes alturas, en los 9 mástiles empleados

z (m)	q _z [MDt] (kg m ⁻²)								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
0.35	0.2865	0.3498	0.2940	0.3768	0.3288	0.3300	0.3735	0.3585	0.3915
0.70	0.0861	0.0768	0.0735	0.1023	0.0969	0.0828	0.1161	0.0972	0.0939
1.05	0.0390	0.0339	0.0474	0.0507	0.0396	0.0387	0.0549	0.0417	0.0396
1.40	0.0102	0.0096	0.0084	0.0132	0.0123	0.0096	0.0165	0.0123	0.0105

La figura 26 indica el mayor volumen de material captado procedente de la dirección predominante del viento (NE).

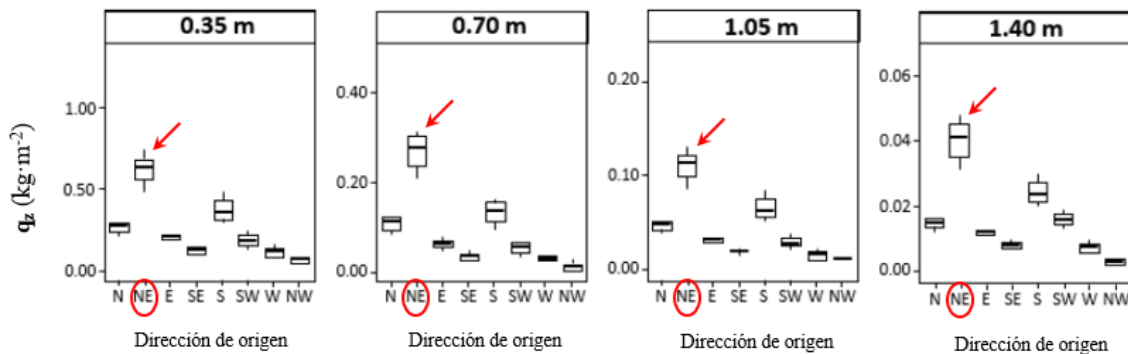


Figura 26. Flujo de sedimentos en las diferentes cápsulas orientadas de los colectores MDt

En la tabla 5 se ven los caudales de material recogido registrados en cada mástil utilizando colectores BSNE y MDt. La tabla 6 muestra el torque utilizado para establecer un balance calculado de las tasas de flujo de sedimentos para nueve mástiles que utilizan dos tipos de colectores de antrosol. La tabla 7 muestra de forma evidente el desgaste de material por viento en el balance de estos Antrosoles.

Tabla 5. Tasa de transporte de sedimentos en los 9 mástiles, con ambos tipos de colectores

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Q_r [BSNE] (kg m⁻¹)								
0.2406	0.2582	0.2236	0.2314	0.2398	0.2274	0.2565	0.2021	0.2676
Q_r [MDt] (kg m⁻¹)								
0.2662	0.2955	0.2709	0.3367	0.2964	0.2952	0.3371	0.3178	0.3465

Tabla 6. Diferencias en la tasa de sedimentos captados por mástiles (barlovento – sotavento)

Desde NE	M1-M2	M2-M4	M3-M5	M5-M7	M6-M8	M8-M9

Tabla 7. Balance en la tasa de sedimentos

Balance de Q_r (kg m ⁻¹)	
BSNE	MDt
-0.011	-0.031

Después de estudiar las tasas de tiro de la madera y resolver su equilibrio, los resultados mostraron que el material se había perdido. A pesar de que este dispositivo es un diseño cerrado y no puede detectar depósitos contra el viento, la evaluación del túnel de viento confirma esta pérdida. Finalmente, la tabla 8 muestra los resultados de la transferencia de masa total.

Tabla 8. Transporte masivo total en los Anthrosoles

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	Media
Q_t [BSNE] (kg)									
18.51	19.86	17.20	17.80	18.45	17.49	19.73	15.54	20.58	18.35
Q_t [MDt] (kg)									
17.99	19.97	18.30	22.75	20.02	19.94	22.77	21.47	23.41	20.74

A diferencia de los sensores, los túneles de viento pueden proporcionar rápidamente datos precisos y repetibles principalmente sobre los procesos del viento en la superficie. Además, una comparación de la transferencia de masa total calculada por el sensor con la erosión eólica determinada por el túnel de viento muestra una alta correlación lineal ($R^2 = 0,933$ para los datos del sensor del túnel y BSNE, $R^2 = 0,978$ para los datos del BSNE). , túnel sobre colector MDT).

El cultivo da como resultado una descomposición parcial de las costras y los agregados, lo que origina una proporción relativamente alta de matriz no adherente de las partes más finas que son más fácilmente arrastradas por el viento. El contenido moderado de materia orgánica y la reducción mecánica en el tamaño de los agregados debido a la labranza pueden reducir la estabilidad de los agregados y reducir los sedimentos erosionados por el viento en la superficie, especialmente con vientos fuertes y condiciones de suelo seco, lo que puede aumentar aún más la cantidad. Una sequía prolongada ha agravado la situación. La erosión eólica plantea una grave amenaza para el manejo del suelo, ya que da como resultado la clasificación de los materiales del suelo que consisten principalmente en la eliminación gradual del suelo de partículas ricas en nutrientes, limos y arcillas.

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

1^a. Un túnel de viento es un dispositivo cerrado en el que no hay entrada de depósitos de barrovento. Se utiliza principalmente para evaluar la erosionabilidad eólica del suelo, más que la erosión global, aunque los resultados obtenidos mantienen una correlación muy estrecha con los datos de los colectores de partículas.

2^a. Los nuevos colectores multidireccionales MDt, de diseño propio, son muy económicos, fabricándose fácilmente con una impresora industrial 3D. Presentan mayor eficiencia frente a los clásicos colectores BSNE de Fryrear.

3^a. Los mástiles que portan los colectores se distribuyen manteniendo 50 m de distancia entre sí. Se trata de dispositivos únicos para evaluar las partículas capturadas, transportadas por el viento, en relación con su dirección de origen. Sin embargo, requieren un tiempo de evaluación más largo que el túnel de viento. Por ello, la elección de uno u otro método depende de la precisión, la financiación y el tiempo de ejecución requerido para cada experimento. Estos nuevos colectores constituyen un dispositivo con muy buen potencial, que debe seguir probándose.

BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aimar S., Méndez M. and Buschiazzo D., 2011.** Condiciones climáticas y predicción de la erosión eólica potencial con el modelo EWEQ en dos suelos loésicos. *Ciencias del Suelo*, 29: 253-264.
- Asensio C., López J. and Lozano F.J., 2015a.** Multidirectional collector of particles carried by the wind. *Spanish office of the patents and brand. Ref. ES2470090 B1.*
- Asensio C., Lozano F.J., Ortega E. and Kikvidze Z., 2015b.** Study on the effectiveness of an agricultural technique based on aeolian deposition, in a semiarid environment. *Environ. Eng. Manag. J.*, 14: 1143-1150.
<https://doi.org/10.30638/eemj.2015.125>.
- Asensio C., Lozano F.J., Gallardo P. and 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.
<https://doi.org/10.5194/se-7-1233-2016>.
- Asensio C., Weber J., Lozano F.J. and Mielnik L., 2019.** Laser-scanner use into a wind tunnel to quantify soil erosion. *Int. Agrophys.*, 33: 227-232.
<https://doi.org/10.31545/intagr/109424>.
- Bagnold R., 1941.** La física de la arena soplada y las dunas del desierto. *Ciencia Ergo Sum*. México.
- Basaran M., Erpul G., Uzun O. and Gabriels D., 2011.** Comparative efficiency testing for a newly designed cyclone type sediment trap for wind erosion measurements. *Geomorphology*, 130: 343-351.

[https://doi.org/10.1016/j. geomorph.2011.04.016](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.04.016).

Benhabib O., Yazar A., Qadir M., Lourenço E. and Jacobse S.E., 2014.

How can we improve Mediterranean cropping systems? *Journal of Agronomy and Crop Science* 200: 325-332.

Bielders C.L., Rajot J.L. and Amadou M., 2002. Transport of soil and nutrients by

wind in bush fallow land and tradition-ally managed cultivated fields in the Sahel. *Geoderma*, 109: 19-39.

[https://doi.org/10.1016/s0016-7061\(02\)00138-6](https://doi.org/10.1016/s0016-7061(02)00138-6).

Borrelli P., Panagos P., Ballabio C., Lugato E., Weynantgs M. and Montanarella L.,

2016. Towards a Pan-European assessment of land susceptibility to wind erosion. *Land. Degrad. Dev.*, 27: 1093-1105.

<https://doi.org/10.1002/ldr.2318>.

Burtiev R., Greenwell F. and Kolivenko V., 2013. Time series analysis of wind speed

and temperature in Tiraspol, Moldova. *Environ. Eng. Manag. J.*, 12: 23-33.

<https://doi.org/10.30638/eemj.2013.004>.

Colazo J.C. and Buschiazzo D.E., 2010. Soil dry aggregate stability and wind

erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159: 228-236.

[https://doi.org/10.1016/j. geoderma.2010.07.016](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.07.016).

Colazo J.C. and Buschiazzo D.E., 2015. The impact of agriculture on soil texture

due to wind erosion. *Land. Degrad. Dev.*, 26: 62-70.

<https://doi.org/10.1002/ldr.2297>.

De Oro L.A. and Buschiazzo D.E., 2009. Threshold wind velocity as an index of soil

susceptibility to wind erosion under variable climatic conditions. *Land. Degrad. Dev.*, 20: 14-21.

<https://doi.org/10.1002/ldr.863>.

FAO-UNESCO, 1999. Mapa Mundial de Suelos a escala 1:5.000.000. Leyenda Revisada. Roma.

Feras Y., Erpul G., Bogman P., Cornelis W.M. and Gabriels D., 2008. Determination of efficiency of Vasaline slide and Wilson and Cook sediment traps by wind tunnel experiments. *Environ. Geology*, 55: 741-757.

<https://doi.org/10.1007/s00254-007-1027-9>.

Fister W. and Ries J.B., 2009. Wind erosion in the central Ebro basin under changing land use management. Field experiments with a portable wind tunnel. *J. Arid Environ.*, 73 (11): 996-1004.

<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.05.006>.

Fryrear D.W., 1986. A field dust sampler. *J. Soil Water Conserv.* 41: 117-120.

Fryrear D.W., Krammes C.A., Williamson D.L. and Zobeck T.M., 1994. Computing the wind erodible fraction of soils. *J. Soil Water Conserv.*, 49: 183-188.

Gallardo P., Salazar J., Lozano F.J., Navarro M.C. and Asensio C., 2016. Economic impact of nutrient losses from wind erosion of cereal soils in Southeast Spain. *Int. J. Environ. Res.*, 10: 333-340.

García-Moreno R., 2006. Desarrollo de una metodología para la medición de la rugosidad superficial del suelo. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Madrid.

Giménez A., Lozano F.J., Torres J.A. and Asensio C., 2019. Automated system for soil wind erosion studies. *Comput. Electron. Agr.*, 164: 104889.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104889>.

Goossens D. and Buck B.J., 2012. Can BSNE (Big Spring Number Eight) samplers be used to measure PM10, respirable dust, PM2.5 and PM1.0? *Aeolian Research*, 5: 43-49.

<https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2012.03.002>.

Goossens D., Nolet C., Etyemezian V., Duarte-Campos L., Bakker G. and Riksen M., 2018. Field testing, comparison, and discussion of five aeolian sand transport measuring devices operating on different measuring principles. *Aeolian Research*, 32: 1-13.

<https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2018.01.001>.

Goossens D., Offer Z. and London G., 2000. Wind tunnel and field calibration of five aeolian sand traps. *Geomorphology*, 35: 233-252.

[https://doi.org/10.1016/s0169-555x\(00\)00041-6](https://doi.org/10.1016/s0169-555x(00)00041-6).

IUSS Working Group WRB, 2015. 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.

Kravchenko Y.S., Chen Q., Liu X., Herbert S.J. and Zhang X., 2016. Conservation practices and management in Ukrainian mollisols. *J. Agric. Sci. Technol.*, 16: 1455-1466.

Leenders J.K., Sterk G. and Van Boxel J.H., 2011. Modelling windblown sediment transport around single vegetation elements. *Earth Surf. Process. Landf.*, 36: 1218-1229.

<https://doi.org/10.1002/esp.2147>.

Li F.R., Zhao L.Y. and 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 Till. Res.*, 75: 121-130.

<https://doi.org/10.1016/j.still.2003.08.001>.

- Lozano F.J., Soriano M., Martínez S. and Asensio C., 2013.** The influence of blowing soil trapped by shrubs on fertility in Tabernas district (SE Spain). *Land. Degrad. Dev.*, 24: 575-581.
<https://doi.org/10.1002/ldr.2186>.
- López A., Valera D.L, Molina-Aiz F.D., Lozano F.J. and Asensio C., 2017.** Sonic anemometry and sediment traps to evaluate the effectiveness of windbreaks in preventing winderosion. *Scientia Agricola*, 74: 425-435.
<https://doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0148>.
- Lyles L.L., Hagen L.J. and Skidmore E.L., 1983.** Soil Conservation: Principles of wind erosion. Dryland Agriculture.
- Martín Penela, J.A; Rodríguez Fernández, J.; Barragán Bazán, G.; Pascual, A. and Guerra-Mechan, A., 1997.** El registro sedimentario de las cuencas neógenas de la provincia de Almería. Recursos Naturales y Medio Ambiente en el Sureste Peninsular. pp.169-183.
- McTainsh G. and Strong C., 2007.** The role of aeolian dust in ecosystems. *Geomorphology*, 89: 39-54.
- Méndez M.J., Funk R. and Buschiazzo D.E., 2011.** Field winderosion measurements with Big Spring Number Eight (BSNE) and Modified Wilson and Cook (MWAC) samplers. *Geomorphology*, 129(1-2): 43-48.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.01.011>.
- Merrill S., Black A.L. and Halvorson A., 1999.** Soil-inherent wind erodibility: Progress and prospects. Wind Erosion Int. Conf./Workshop Proc USDA-ARS. Manhattan.

Molchanov E.N., Savin I.Yu., Yakovlev A.S., Bulgakov D.S. and Makarov O.A., 2015. National approaches to evaluation of the degree of soil degradation. *Eurasian Soil Science*, 48: 1268-1277.

<https://doi.org/10.1134/s1064229315110113>.

Molina-Aiz F.D., Valera D.L., Álvarez A.J. and Madueño A., 2006. A wind tunnel study of airflow through horticultural crops: determination of the drag coefficient. *Biosystems Eng.*, 93: 447-457.

<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.01.016>.

Morgan R., 1997. Erosión y conservación de suelos. ISBN: 9788471146793. Mundi-Prensa S.A.

Novara A., Gristina L., Saladino S.S., Santoro A. and Cerdà A., 2011. Soil erosion assessment on tillage and alternative soil managements in a Sicilian vineyard. *Soil Till. Res.*, 117: 140-147.

<https://doi.org/10.1016/j.still.2011.09.007>.

Panagos P., Van Liedekerke M., Jones A. and Montanarella L. 2012. European Soil Data Centre: response to European policy support and public data requirements. *Land Use Policy*, 29: 329-338.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.07.003>.

Pointing S.B. and Belnap J., 2012. Microbial colonization and controls in gryland systems. *Nature Reviews, Microbiology*, 10, 551-562.

Quirantes J., 1987. Erosión eólica. Valoración Experimental. *Papeles de Geografía*, 12: 11-18.

Quirantes J., Cuadros S. and Franeia, J.R., 1989. Simulador eólico portable para estudios cualitativos de erosión eólica. Congreso Forestal Español, 1993.

Rubio J., De Pablos C. and Montañés, J., 2005. Plan del sector hortícola de Almería. Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía.

Ruiz Castellano J. P., 2008. Principales unidades del relieve almeriense. Ed. Rosa Castejón y Josep Pons. Universitat de Barcelona.
<http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/33490/6/06.%20ALMERIA%20Informaciones%20generales.pdf>

Shao Y., McTainsh G.H., Leys J.F. and Raupach M.R., 1993. Efficiencies of sediments samplers for wind erosion measurement. *Australian J. Soil Res.*, 31: 519-532.
<https://doi.org/10.1071/sr9930519>.

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.
<https://doi.org/10.1007/s11069-012-0353-8>.

Sharratt B.S., Vaddella V.K. and Feng G., 2013. Threshold friction velocity influenced by wetness of soils within the Columbia Plateau. *Aeolian Res.*, 9: 175-182.
<https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.01.002>.

Simón M., Asensio C., Cantón Y., García I., Gil C., Gómez F., De Haro S., Lozano F.J., Del Moral F., Ortega R., Oyonarte C., Pardo M., Salvador M., Sánchez J.A., Sánchez S. and Soriano M. (2005). Factores Formadores y Suelos de Almería. Ed. Simón Torres. Universidad de Almería.

Touré A.A., Rajot J.L., Garba Z., Marticorena B., Petit C. and Sebag D., 2011. Impact of very low crop residues cover on wind erosion in the Sahel. *Catena*, 85: 205-214.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.002>.

Troeh F., Hobbs A. and Donahue, R., 1980. Soil and Water conservation for productivity and environmental protection. ISBN: 978-0130968074.

Udden J., 1984. Erosion, Transportation and Sedimentation performed by the atmosphere. *J. Geol.*, 2: 318-331.

Van Den Biggelaar A.H., Lopuhaa C., Van Ree R., Van Der Zee Js., Jans J., Hoek A., Migombet B., Borrmann S., Luckner D., Kreamsner P.G. and Yazdanbakhsh M., 2001. The prevalence of parasite infestation and house dust mite sensitization in Gabonese schoolchildren. *Int Arch Allergy Immunol* 126: 231-238.

Viedma M., 1998. Análisis de los vientos de Andalucía. *Nimbus*, 1: 153-168.

Weber J., Kocowicz A., Debicka M. and Jamroz E., 2017. Changes in soil morphology of Podzols affected by alkaline fly ash blown out from the dumping site of an electric power plant. *J. Soil Sediments*, 17: 1852-1861.
<https://doi.org/10.1007/s11368-016-1599-7>.

Wilson S.J. and Cook R.U., 1980. Wind erosion. In: Soil Erosion (Eds M.J. Kirkby, R.P.C. Morgan). Wiley, Chichester, 217-251.

Yildiz S., Enç V., Kara M., Tabak Y. and Acet E., 2017. Assessment of the potential risks of airborne microbial contamination in solid recovered fuel plants: A case study in Istanbul. *Environ. Eng. Manag. J.*, 16: 1415-1421.
<https://doi.org/10.30638/eemj.2017.154>.

Zobeck T.M., Baddock M., Van Pelt R.S., Tatarko J. and Acosta-Martínez V., 2013. Soil property effects on wind erosion of organic soils. *Aeolian Research* 10: 43-51.

<https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2012.10.005>.

Zobeck T.M., Sterk G., Funk R., Rajot J.L., Stout J.E. and Van Pelt R.S., 2003.

Measurement and data analysis methods for field-scale wind erosion studies and model validation. *Earth Surf. Process. Landf.*, 28: 1163-1188. <https://doi.org/10.1002/esp.1033>.

FASES DE LA REALIZACIÓN Y CRONOGRAMA

7. FASES DE LA REALIZACIÓN Y CRONOGRAMA

El proyecto se ha desarrollado en varias fases:

- a. Estudio del medio y antecedentes
- b. Instalación de colectores en el Anthrosol y muestreo
- c. Analítica en laboratorio
- d. Discusión de resultados y obtención de conclusiones
- e. Redacción de la memoria.

Actividad	2021	2022
	efmamjjasond	efmamjjasond
Estudio del medio y antecedentes		
Instalación de colectores en el Fluvisol y muestreo		
Analítica en laboratorio		
Discusión de resultados y obtención de conclusiones		
Redacción de la memoria		

Figura 27. Cronograma de trabajo

Una de las principales formas de degradación en los ecosistemas mediterráneos es la erosión del suelo. La erosión eólica de Anthrosoles toma protagonismo en las zonas áridas y semiáridas como consecuencia de sus características climáticas, junto con los relieves llanos y abiertos, y la existencia de suelos sin estructura. El movimiento de las partículas del suelo, por el viento, se puede medir utilizando diferentes dispositivos. Estimamos la pérdida de suelo utilizando un túnel de viento, de diseño propio, con un escáner láser incorporado, y luego comparamos los resultados con los registros de colectores de partículas transportadas por el viento, a diferentes alturas. Los colectores pueden diferenciar entre la pérdida total y la deposición de partículas, hecho que no se puede detectar, a mayor escala, en el túnel. Probamos un nuevo tipo de colector de partículas transportadas por el viento (trampas multidireccionales, MDt) en las inmediaciones de Carboneras (Almería), para analizar el movimiento de partículas en la zona. Los colectores MDt son fáciles de fabricar a partir de filamentos termoplásticos con una impresora industrial 3D, mostrándose muy eficientes. Después de analizar las tasas de transporte de sedimentos y su equilibrio, encontramos que los sedimentos podían estar depositándose, en lugar de perderse, dependiendo de su dirección de origen. En ocasiones, los sedimentos aumentan la agregación y disminuyen la erosionabilidad eólica del suelo.

One of the main forms of degradation in Mediterranean ecosystems is soil erosion. Wind erosion of Anthrosoles takes center stage in arid and semi-arid zones as a consequence of their climatic characteristics, together with flat and open reliefs, and the existence of soils without structure. The movement of soil particles, by the wind, can be measured using different devices. We estimated soil loss using a self-designed wind tunnel with a built-in laser scanner, and then compared the results with records from windborne particulate collectors at different heights. The collectors can differentiate between the total loss and the deposition of particles, a fact that cannot be detected, on a larger scale, in the tunnel. We tested a new type of windborne particle collector (multidirectional traps, MDt) in the vicinity of Carboneras (Almería), to analyze the movement of particles in the area. MDt collectors are easy to manufacture from thermoplastic filaments with an industrial 3D printer, showing themselves to be very efficient. After analyzing sediment transport rates and equilibrium, we found that sediments could be being deposited, rather than lost, depending on their direction of origin. Sometimes, sediments increase aggregation and decrease wind erodibility of the soil.

