



**UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y FACULTAD DE
CIENCIAS EXPERIMENTALES.
DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA
ÁREA DE EDAFOLOGÍA Y QUÍMICA AGRÍCOLA**

"TRABAJO DE INVESTIGACIÓN"

INFLUENCIA DE LA EROSIÓN EÓLICA EN SUELOS DE OLIVAR

**PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERO AGRÓNOMO**

Alumno: Pedro Gallardo Pérez

Directores:

CARLOS M. ASENSIO GRIMA

RAFAEL ALONSO BARRAU

Mayo, 2014

RESUMEN

La importancia ambiental y agrícola del Desierto de Tabernas (Almería) es más que conocida tanto por la aridez, como por la presencia de una agricultura que ha sabido adaptarse a las exigentes y variables condiciones climáticas que el desierto impone.

En las zonas de olivares ecológicos es donde nos centramos y en sus suelos, donde predominan partículas muy interesantes desde el punto de vista del intercambio catiónico, por su carácter coloidal, se producen reducciones en la productividad debido a la pérdida de la capa más superficial y fértil del suelo.

Por otro lado, la sequía que afecta a estos suelos da lugar a estructuras muy disgregadas que no son capaces de formar agregados, por lo que la presencia de viento fuerte provoca elevadas pérdidas de suelo. Todo ello, redundará en un posible perjuicio de la producción agrícola que verá mermada su rentabilidad económica por la reducción del suelo, lo que incidirá en la posterior aportación de nutrientes de forma obligada.

Conocidas las limitaciones y la características que presenta la zona, se busca evaluar la pérdida de materiales edáficos sobre las propiedades de los suelos agrícolas; a través de los resultados del tratamiento cualitativo y cuantitativo, se quiere evaluar las características más destacadas del material transportado y finalmente, observar la relación entre los cambios en las propiedades del suelo y sus efectos sobre las plantas en condiciones ambientales naturales, frente a otras sometidas a vientos forzados.

Para llegar a conocer lo anteriormente expuesto, se utilizan técnicas de laboratorio y además, se emplea un túnel de viento en proceso de patentar por investigadores de la Universidad de Almería. Este túnel de viento, presenta sensores (Cámara de Visión Industrial y Láser-scan) y placas adhesivas para la fijación de partículas en suspensión en un extremo del túnel. Todos estos componentes, no alteran el proceso erosivo natural y permiten a su vez la recogida simultánea de medidas; hecho no conseguido hasta hoy.

A mis padres, hermano y a mi Vanesilla.

AGRADECIMIENTOS.

Quiero expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que me han prestado su ayuda y colaboración durante estos años en la Universidad.

En primer lugar, quiero agradecer a D. Carlos M. Asensio Grima, por llevar a cabo la no fácil labor de director del trabajo, por la confianza puesta en mí, porque sin él, este trabajo no hubiera salido adelante. En definitiva, por el apoyo, cercanía, cariño y consejos que me ha dado en todo momento.

Mi agradecimiento a D. Rafael Alonso Barrau, por su permanente colaboración y disponibilidad. Por encontrar abiertas en todo momento las puertas de su casa, además de facilitar siempre el trabajo en su finca.

Agradecer también la inestimable ayuda del Dr. Rodríguez Caballero, Dr. Rodríguez Torreblanca y Dr. Torres Arriaza. También agradecer, a los grupos de investigación Propiedades y Funciones de suelos en ambientes semiáridos (RNM-378) y al grupo Economía y Agroalimentación (SEJ-527).

Mi mayor agradecimiento a mis padres y hermano que han sido las personas que mejor me han comprendido a lo largo de mis años en la Universidad, animándome en todo momento a seguir adelante. A ellos debo el que haya podido llegar hasta aquí.

A mi Vanesilla, por ayudarme en la realización de este proyecto y saber darme el empujón y aliento, justo cuando más lo he necesitado. Por ayudarme a afrontar y relativizar vicisitudes. También por enseñarme a saborear las alegrías, haciéndome ver que no podemos dejar de vivir en el presente.

A mi primo Manolillo, por contribuir a que los días en el campo, hayan sido más agradables, por acompañarme en esos largos paseos a caballo. En definitiva, por hacer mis fines de semana de “evasión” más agradables.

A mis compañeros de clase, por hacer más llevaderos los momentos de agobio a lo largo de los años de carrera y a mis amigos, a ellos también se lo agradezco, a Juan, Serafin, Isa, Anselmo, Adolfo, Victor, Manolo, Jesús, Carrillo, Juanma...

A todos ellos, mis más sincero agradecimiento.

*Que los días se van, río son. Ahora quiero sentir, caminar.
Ahora quiero pintar, percibir el color de esa flor que se marchitará.
Pinto, verdes parajes de belleza desolada, vivo lo efímero y su valor.
Bebo, apuro desperdicios de mi vida, me recojo en la templanza de la
tregua que me da la anestesia del recuerdo.*

Manolo García.

ÍNDICE

	Pág.
1. Interés, localización geográfica y objetivos.....	13
1.1. El viento como principal agente causal.....	15
1.2. La degradación del suelo por la erosión eólica.....	15
1.3. Localización geográfica.....	16
1.4. Objetivos.....	19
2. Revisión bibliográfica.....	21
2.1. Factores formadores.....	30
3. Material y métodos.....	39
3.1. Material.....	39
3.2. Métodos.....	49
4. Resultados.....	59
4.1. Caracterización de zonas específicas en la finca para la obtención de resultados.....	59
4.2. Resultados.....	62
4.2.1 Resultados cuantitativos.....	62
4.2.2 Resultados cualitativos.....	92
5. Discusión.....	97
5.1. Zona, suelos, factores formadores y túnel de viento.....	82
5.2. Resultados cuantitativos.....	99
5.3. Resultados cualitativos.....	107
6. Conclusiones.....	110
7. Bibliografía.....	114

ANEXOS.

Figuras.

	Pág.
1. Localización de la zona de estudio.....	17
2. Especificaciones técnicas del Láser - Scan utilizado.....	41
3. Características técnicas de la cámara <i>JAI-CM080</i>	43
4. Esquema de disposición del aparato. (Túnel).....	46
5. Impregnación de la superficie del suelo con látex RX-505.....	47
6. Dispositivo para el análisis cualitativo.....	48
7. Imagen de dos capas superpuestas antes y después de la aplicación de viento.....	51
8. Valores absolutos de las diferencias de alturas de dos capas en un suelo labrado...	51
9. Ecuación para el estudio de la microtopografía.....	53
10. Trabajo preliminar de análisis de imágenes con una de las zonas altas de muestreo.....	54
11. Trabajo preliminar para una foto del tipo 2.....	55
12. Diagrama textural del suelo B y las muestras recogidas en los colectores.....	66
13. Diagrama textural del suelo R y las muestras recogidas en los colectores.....	66
14. Diagrama textural del suelo RR y las muestras recogidas en los colectores.....	67
15. Análisis de la mineralogía para el suelo B y las muestras recogidas en los colectores.....	71
16. Análisis de la mineralogía para el suelo R y las muestras recogidas en los colectores.....	72
17. Análisis de la mineralogía para el suelo RR y las muestras recogidas en los colectores.....	73
18. Estadístico del Test de Friedman.....	75
19. Escaneo láser para el suelo B antes de labrar.....	78
20. Escaneo láser para el suelo B después de labrar.....	79

21.	Escaneo láser para el suelo R antes de labrar.....	80
22.	Escaneo láser para el suelo R después de labrar.....	81
23.	Escaneo láser para el suelo RR antes de labrar.....	82
24.	Escaneo láser para el suelo RR después de labrar.....	83
25.	Difractograma para el suelo B ₀	90
26.	Difractograma para el suelo R ₁₅	91
27.	Difractograma para el suelo RR ₇₀	91
28.	Visualización de la “rugosidad química y morfológica” de la superficie de la partícula usando un método indirecto de coloración.....	93
29.	Detalle de pre-procesamiento para una muestra de la placa intermedia.....	94
30.	Pre-procesamiento de una imagen de la muestra correspondiente a la placa más cercana al suelo.....	95

Fotografías

	Pág.
1. Vista aérea de la finca.....	18
2. Vista general de la finca "El vicario".....	18
3. Unidad cartográfica 11.....	22
4. Unidad cartográfica 12.....	23
5. Vista panorámica, unidad cartográfica 12.....	24
6. Túnel de viento portátil.....	27
7. Simulador de viento montado.....	28
8. Láser - Scan.....	40
9. Cámara de Visión Artificial <i>JAI-CM080</i>	43
10. Detalle del montaje instrumental previo. Láser-Scan.....	44
11. Detalle del montaje donde puede apreciarse la cámara, con el sistema óptico, y el sistema de iluminación.....	44
12. Montaje del túnel (en gabinete).....	45
13. Montaje del túnel (en gabinete).....	45
14. Túnel montado en gabinete.....	45
15. Experiencia en campo.....	46
16. Experiencia en campo.....	46
17. Modelo adaptado del colector BSNE de Fryrear.....	48
18. Vista general de la zona superior del túnel	49
19. Serie de imágenes obtenidas de la muestra a mayor altura del túnel.....	54
20. Serie de imágenes obtenidas de la muestra a mayor altura del túnel.....	54
21. Localización de las zonas de muestreo.....	60
22. Zonas de muestreo.....	60
23. Zona B.....	60
24. Zona R.....	61
25. Zona RR.....	61

Tablas

	Pág.
1. Comparación del escaneo de una muestra entre el modo High Definition (Hd) y Standard Definition (Sd).....	52
2. Diferencias entre modo Macro y Wide.....	52
3. Resultados del análisis granulométrico para los suelos al aire libre.....	63
4. Resultados del análisis granulométrico para las muestras de suelo recogidas en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura).....	64
5. Resumen de los resultados y denominación de la textura para los suelos al aire libre.....	65
6. Resultados y denominación de la textura de los suelos recogidos en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura).....	65
7. Resultados de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O para los suelos antes de la experimentación.....	68
8. Resultados de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O para las muestras recogidas en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura).....	68
9. Resultados de % C.O, % CO ₃ ⁼ y pF para los suelos antes de la experimentación	68
10. Resultados de % C.O y % CO ₃ ⁼ para las muestras recogidas en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura).....	69
11. Resultados de pH, D.A., C.E. y A.U. para los suelos antes de la experimentación	69
12. Resultados de la determinación de la mineralogía para los suelos al aire libre.....	70
13. Resultados de la determinación de la mineralogía para los suelos recogidos en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura).....	70
14. Tabla para el análisis estadístico ANOVA con medidas repetidas.....	76
15. Tabla para el análisis estadístico mediante test de Friedman.....	77
16. Distancias (mm) y desviación para el suelo B antes de labrar.....	78
17. Distancias (mm) y desviación para el suelo B después de labrar.....	79
18. Distancias (mm) y desviación para el suelo R antes de labrar.....	80
19. Distancias (mm) y desviación para el suelo R después de labrar.....	81
20. Distancias (mm) y desviación para el suelo RR antes de labrar.....	82

21.	Distancias (mm) y desviación para el suelo RR después de labrar.....	83
22.	Imágenes de los escaneos de los distintos tipos de suelo en visión real.....	85
23.	Imágenes de los modelos digitales del terreno (MDT) antes y después del soplado.....	85
24.	Mapas de la erosión por diferencia de los MDT antes y después del soplado.....	87
25.	Valores promediados de pérdida de suelo (mm) y rugosidad aleatoria en las distintas muestras.....	88

1. INTERÉS, LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y OBJETIVOS

1. INTERÉS, LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA 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, la pérdida de material de la superficie del suelo donde predominan partículas coloidales de gran interés en el intercambio catiónico, produce mermas en la productividad, si bien puede quedar compensada en parte por el depósito eólico en los plantones.

Para comprender mejor este proceso, que en concreto afecta a un área semiárida, es necesario explicar el efecto y las consecuencias de la erosión eólica en el conjunto de los campos agrícolas y, sobre todo, en las zonas agrícolas del sur, este y norte de Europa. De hecho, la erosión eólica en nuestras condiciones de suelo y clima, generalmente, ocurre muy lentamente, y su impacto sobre la calidad y productividad de los suelos no llega a detectarse hasta varios años después. Además, las prácticas de la agricultura convencional pueden enmascarar los efectos que tiene la erosión eólica sobre la productividad a largo plazo por el laboreo intenso y profundo del suelo, y por una mayor utilización de fertilizantes y otros insumos agrícolas (den Biggelaar et al., 2001).

Es cierto que en estos últimos años se ha avanzado en el conocimiento de la distribución de la erosión eólica en Europa, comprobándose que en determinadas áreas las tasas de erosión por viento son tan altas como las de la erosión hídrica. Ya se ha constatado, además, que en el caso concreto de EEUU, mientras el riesgo de erosión hídrica va disminuyendo, el de erosión eólica aumenta con el problema añadido de que los costes por daños y los costes de prevención son más elevados en este último caso (30% superiores) (Pimentel et al., 1995). Todo esto nos alerta de la necesidad de prevenir y combatir el problema y, para ello, es esencial un mayor conocimiento de los mecanismos de producción y emisión del polvo generado por las prácticas agrícolas.

Por otro lado, La susceptibilidad del suelo a la erosión eólica o erosionabilidad viene determinada por:

- La textura: Aunque resulte paradójico, por el tamaño de partículas, los suelos de textura gruesa (arenosos) son más erosionables por crear estructuras edáficas inestables (débiles uniones entre partículas y agregados), y por secarse más rápidamente tras la lluvia o riego.
- El contenido en materia orgánica: Por ser el factor responsable de la agregación y grado de humedad del suelo.
- Régimen de humedad: Que influye en la tasa de desecación del suelo y, por tanto, en la duración de la susceptibilidad a la erosión.

El clima y las condiciones de la superficie del suelo influyen en la capacidad erosiva del viento (erosividad eólica), condicionando la pérdida de productividad del suelo.

En función de los tres ítems anteriormente expuestos, podemos simplificar diciendo que la erosión eólica influye principalmente sobre los siguientes aspectos:

1. Pérdida de humedad o desecado del suelo.
2. Pérdida de nutrientes en el suelo.
3. Grado de erosión en función de cuanto haya sido compactado el suelo.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se pueden establecer multitud de medidas de gran interés en agronomía que reducen la erosión del suelo. Éstas pueden agruparse en medidas destinadas a reducir la erosividad del viento y medidas para disminuir la erosionabilidad de la superficie del suelo.

1.1 EL VIENTO COMO PRINCIPAL AGENTE CAUSAL.

Teniendo en cuenta los objetivos que se persiguen en este trabajo y la especial participación del viento como agente causante del deterioro del suelo de labor, se estima oportuno hacer una breve introducción de este fenómeno atmosférico para comprender mejor el texto expuesto.

Desde el punto de vista físico, el viento es un vector que posee intensidad (velocidad), dirección y sentido, que presenta pequeñas variaciones en el espacio y en el tiempo (OMN, 1990). A su vez, la intensidad del viento se debe a la desigualdad de la presión atmosférica reinante entre zonas de la superficie terrestre que presentan distintas temperaturas.

Según Morgan (1997) el factor principal en la erosión eólica es la velocidad del viento. Debido a la rugosidad del terreno, las piedras, la vegetación y otros obstáculos, la velocidad del viento es menor cerca de la superficie del suelo y aumenta con la altura (Udden, 1984).

1.2 LA DEGRADACIÓN DEL SUELO POR LA EROSIÓN EÓLICA.

La degradación podemos entenderla como la reducción o pérdida de la productividad y diversidad biológica o económica de las tierras de cultivo, las praderas, los pastizales y los bosques, disminuyendo su capacidad para mantener la vegetación natural, así como los cultivos hechos por el hombre.

Para FAO (1980), la degradación del suelo se define como *“el conjunto de procesos que rebajan la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cualitativa o cuantitativamente, bienes y servicios”*.

Esta pérdida de suelo fértil hace que la tierra disminuya su vocación agrícola y su uso por el hombre, desapareciendo una importante fuente de riqueza.

Es un proceso complejo en el que convergen multitud de factores ambientales que, junto a la acción antrópica, favorecen la pérdida o empobrecimiento del suelo agrícola o forestal y culminan con la desertificación del territorio.

En función a lo anterior, la degradación del suelo se debe en gran medida a la erosión eólica y, para entender mejor este fenómeno, mencionaremos algunas definiciones.

La Gran Enciclopedia Larousse de 1988 define la erosión del suelo como “*el acarreo de partículas de tierra por el agua o el viento*” (hídrica o eólica, respectivamente).

Según Kirkby (1993), la erosión eólica es el proceso por el cual el viento transporta el material superficial del suelo y las partículas desplazadas desgastan este material. Para Hudson (1982) supone la pérdida de suelo por la acción mecánica del viento.

Pero quizá, la que entendemos más completa se debe a Quirantes (1989) que dice textualmente: “La erosión eólica es el proceso natural mediante el cual el viento arranca y transporta partículas del suelo, desgastándolas, arrastrándolas y haciéndolas incidir sobre materiales y áreas”.

1.3 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

Respecto a la localización geográfica elegida para este Proyecto Final de Carrera, debemos comentar que se encuentra aproximadamente a 30 kilómetros al norte de la capital de la provincia de Almería (sureste de la Península Ibérica), concretamente en la Cuenca de Tabernas, (**Fig. 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 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 se ubica junto a la carretera N-340 a la altura aproximada del Km 474 (**Fotos Nº 1 y 2**), en la población de Tabernas ($37^{\circ} 03' 00'' N$, $22^{\circ} 23' 00'' W$, $400 m$), en Almería (España), y abarca unas 8 ha, aproximadamente.

La finca donde se encuentra la zona de estudio, es propiedad de la empresa olivarera “*Oro del Desierto*”, denominada “*El Vicario*”. Se encuentra ubicada en un valle al pie de la Sierra de los Filabres; en ella hay unos 25.000

olivos de distintas edades, diseminados en aproximadamente 100 ha rodeadas de monte y otros cultivos ecológicos como Stevia, almendro y vid.



Fig. Nº 1. Localización de la zona de estudio.

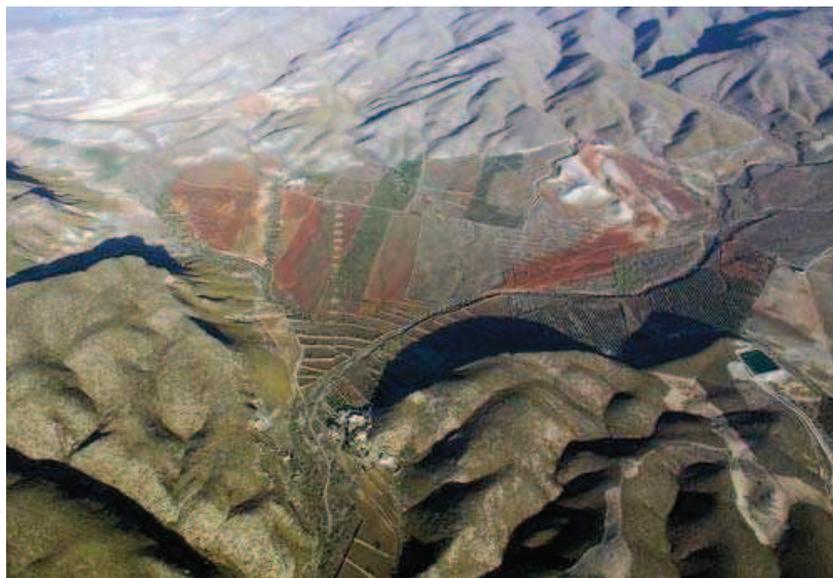


Foto. Nº 1. Vista aérea de la finca.



Foto. Nº 2. Vista general de la finca "El vicario".

En función de las líneas de trabajo previstas, así como las técnicas de estudio establecidas, los objetivos serán:

- 1- Analizar en detalle la pérdida de materiales edáficos sobre las propiedades de los suelos agrícolas.

- 2- A través de los resultados del tratamiento cualitativo y cuantitativo, evaluar las características más destacadas del material transportado.

- 3- Observar la relación entre los cambios en las propiedades del suelo y sus efectos sobre las plantas en condiciones ambientales naturales, frente a otras sometidas a vientos forzados.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La información que hace referencia a los estudios y antecedentes edáficos de la zona se basa, sobre todo, en mapas de suelos a gran escala o a estudios muy puntuales en zonas adyacentes o muy próximas a la finca donde se va a realizar el estudio.

Los mapas de suelos más actuales de la zona de estudio son el resultado de diversos estudios realizados a lo largo de muchos años. Estos 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 el “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 comunidad. 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. Todos ellos a gran escala y por tanto poco aplicables a una zona tan concreta.

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, incluyendo el de Tabernas

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) en 1987.

Apoyándonos en dicho LUCDEME, realizamos una revisión de las características macromorfológicas de la zona de estudio. Dicha zona se encuentra clasificada dentro del libro "Tabernas, hoja 1030" en las unidades cartográficas 11 y 12, que se explican a continuación con el matiz de referirse a un texto con más de veinte años de antigüedad, pero en algunos aspectos muy interesante, según dicen los autores (Pérez Pujalte et al., 1987).

- Unidad cartográfica 11: Regosoles calcáreos con Xerosoles háplicos.

Predominan margas, areniscas y conglomerados sobre pendientes comprendidas entre suavemente inclinado (2-6 %) y moderadamente escarpado (13-25 %), aunque predominan las primeras.

El área sobre las que se extienden es al Norte de Lucainena de las Torres y más al Norte, por Cuesta Blanca, Loma de la Cueva del Almendro y Campillo de Requena.

Se trata de suelos con una secuencia de horizontes AC y A/B/C, que por estar toda esta zona bajo un régimen de humedad arídico, se han clasificado estos suelos como Xerosoles, es decir, que no tienen agua utilizable por las plantas y que en su sección control hay periodos de noventa días consecutivos en que no hay humedad. Estos suelos tienen una profundidad de unos 80 cm y son poco pedregosos. Los Regosoles calcáreos presentan las características generales de los Regosoles de la zona, poco profundos, pedregosos y bajos contenidos en materia orgánica. Los Xerosoles háplicos presentan un horizonte B cámbico. Los tonos de superficie son rojizos.

El uso es variable, hay zonas dedicadas a pastizales, almendros, cebada y trigo. Los pastizales son muy pobres, formados por gramíneas espontáneas de corta duración y escasa producción. (Foto Nº. 3)

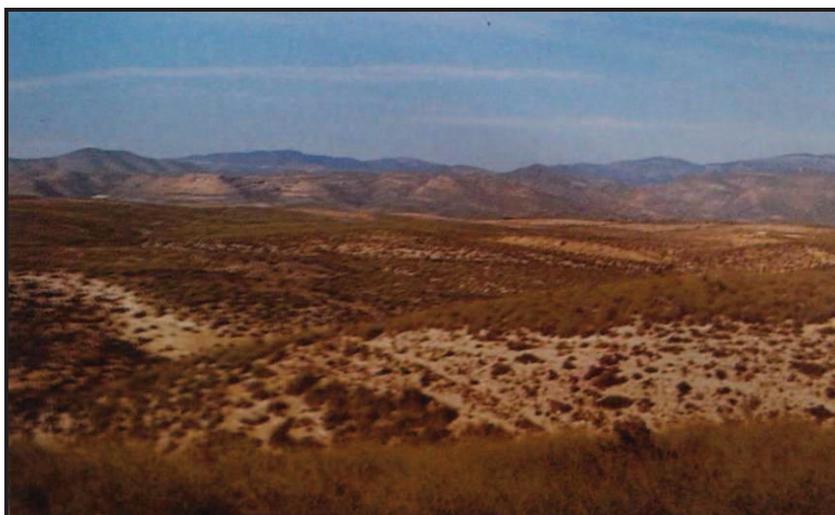


Foto. Nº 3. Unidad cartográfica 11, (LUCDEME, 1987)

- *Unidad cartográfica 12: Asociación de Regosoles calcáreos, Xerosoles cálcicos y Xerosoles lúvicos.*

Se forman sobre materiales Cuaternarios, principalmente formados por arcillas, arenas y conglomerados. Las pendientes son suaves (2-6 por 100). Los suelos AC y A/B/C pertenecen a Regosoles calcáreos, las zonas más erosionadas, y por tanto de mayor pendiente, tienen una profundidad de 25 a 30 cm.

Los Xerosoles, como queda indicado anteriormente, morfológicamente pertenecerían a los Cambisoles o incluso Luvisoles pero, por razón del clima, se han englobado como Xerosoles cálcicos y lúvicos pues presentan un horizonte cálcico y argílico, respectivamente. Son suelos profundos, 60 - 80 cm. e incluso 100 cm, sin pedregosidad y se desarrollan sobre superficies planas o casi planas.

Están dedicados a cebada y trigo, asociados con almendros y olivos. (Fotos Nº 4 y 5)



Foto. Nº 4. Unidad cartográfica 12, (LUCDEME, 1987)



Foto. Nº 5. Vista panorámica, unidad cartográfica 12, (LUCDEME, 1987)

Respecto a la erosión, ha sido un fenómeno muy estudiado desde tiempos bastante pretéritos, debido sobre todo al cambio en la orografía que produce el desplazamiento del material de suelo, como a las variaciones tan tangibles que produce en el medio ambiente y que tanto han llamado la atención a diversos investigadores.

A mediados del siglo XX, Ralph Bagnold, publicó su libro, "*La física de la arena soplada y las dunas del desierto*", (Bagnold, 1941). Este libro sentó las bases de la investigación científica en el transporte de suelo por el viento. Analizaba la formación y el movimiento de las dunas de arena en el desierto de Libia.

Con el paso de los años, esta línea de investigación se sigue desarrollando y aparecen otras publicaciones como "*Soil and Water conservation for production and environmental protection*", (Troeh et al, 1980). En ella se puede ver, la presencia del agua en sinergia con el viento, y cómo estos dos factores influyen en la producción de las zonas en estudio.

Cuatro años más tarde, aparece otra publicación que hace hincapié en las investigaciones que se vienen desarrollando a lo largo de los años; esta es "*Erosion, Transportation and Sedimentation performed by the atmosphere.*" (Udden, 1984). En dicha publicación se viene a corroborar lo expuesto en trabajos y estudios anteriores, así como el papel fundamental que la atmósfera juega en todo el fenómeno erosivo.

Posteriormente, siguen apareciendo publicaciones con el mismo carácter y es a mediados de los años noventa, cuando se publica "*Erosión y Conservación del suelo*", (Morgan, 1997). En este libro Morgan aúna y resume, con gran precisión y destreza, el proceso de erosión, y habla de cómo habría que enfocar la conservación del suelo, basándose principalmente en técnicas que reduzcan la erosión.

Un año más tarde se edita, desde la Universidad de Almería; "*Análisis de las direcciones de los vientos en Andalucía*", (Viedma, 1998).

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). Los primeros llegan 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: Calcisoles, Regosoles, Fluvisoles 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.

Al margen de los aspectos edáficos y erosivos en general, nos vamos a centrar en 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, pueden ocasionar graves problemas ambientales y agrícolas, como son, por ejemplo, las 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 la alteración de las propiedades del suelo, por depósitos eólicos forzados en ambientes semiáridos inherentes del suelo (Liu et al., 2003), la velocidad del viento (López et al., 2000) y la cobertura vegetal de la superficie. Esta forma de degradación erosiva del suelo afecta al contenido en carbono orgánico de éste o la dinámica del nitrógeno, 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.

En el tiempo presente, se sigue estudiando y evaluando la erosión eólica, por ello se han desarrollado técnicas artificiales de generación de viento.

Estas técnicas han permitido reducir los tiempos de estudio, debido a que no hay que esperar a que haya condiciones ambientales de viento para realizar los ensayos.

Se empezaron utilizando ventiladores con los que controlar la intensidad del viento, así como su dirección y sentido. Frente a ellos se situaban soportes a diferentes distancias para recoger el material transportado. En la actualidad, estos estudios han evolucionado, trabajándose ya con túneles de viento mucho más fiables, presentando tanto un flujo laminar como turbulento similar a las condiciones reales, y en los que se recoge el material transportado en recipientes herméticos para su posterior estudio. Así, Leys et al. (2002), evalúan el rango de Erosión Eólica basado en el efecto de los niveles de agregación en seco y el porcentaje de arcilla y, por otro lado, Saleh y Fryrear (1995) calculan el umbral de humedad con un túnel de viento de succión.

En las siguientes líneas, tratamos de explicar el recorrido histórico del uso de túneles de viento con un ejemplo de ellos como herramienta de estudio más evolucionada.

En el siguiente túnel (Foto N° 6), la corriente de viento generada por el ventilador ya no actuará directamente sobre la superficie de suelo, sino que lo hará a través de un túnel (Quirantes, 1989).



Foto. Nº 6. Túnel de viento portátil. (Quirantes, 1989)

El sistema de producción y encauzamiento del viento constaba de tres partes básicas: un generador, un ventilador y un regulador. Presentaba el inconveniente de tener un gran peso y volumen, lo que dificultaba su traslado y manipulación. Para los trabajos en campo se adaptó el ventilador y acondicionó al resto del sistema. Así, se le acopló a la salida del viento una tela semi-rígida que sirviese de conexión entre el ventilador y el túnel de viento. Al ventilador se le acopló un soporte con dos patas triangulares separadas de forma que permitiesen obtener la inclinación necesaria para adaptar el conjunto a las anomalías del terreno. El material de las paredes del túnel era de fibra de vidrio, unida a los arcos y al perfil en forma de T, fijado con tornillos pasantes.

Este túnel mostraba algunos inconvenientes:

- Los dos cuerpos eran independientes, lo que suponía un importante trastorno a la hora de su traslado.
- La parte final de la base del túnel estaba constituida por una chapa de 1mm de espesor, lo que permitía que el viento sólo actuase en la zona crítica. El problema surgía al observar el desplazamiento de partículas sobre esa base metálica, que no respetaba la rugosidad natural del suelo. Este sistema de recogida de muestras presentaba el importante déficit de ser únicamente capaz de recoger muestras en suspensión. Para ello, disponía de un sistema de aspiración, constituido por varias boquillas conectadas por medio de tubos a unos filtros, donde quedaban atrapadas. La erosión eólica no sólo genera partículas en suspensión, sino también partículas de arrastre (saltación y reptación), que no eran posibles de determinar con este método.

Otro simulador de viento, conocido y más reciente, es el utilizado por los investigadores alemanes Fister y Ries (2009), para estudiar la erosión eólica en la cuenca del Ebro (Foto N° 7).

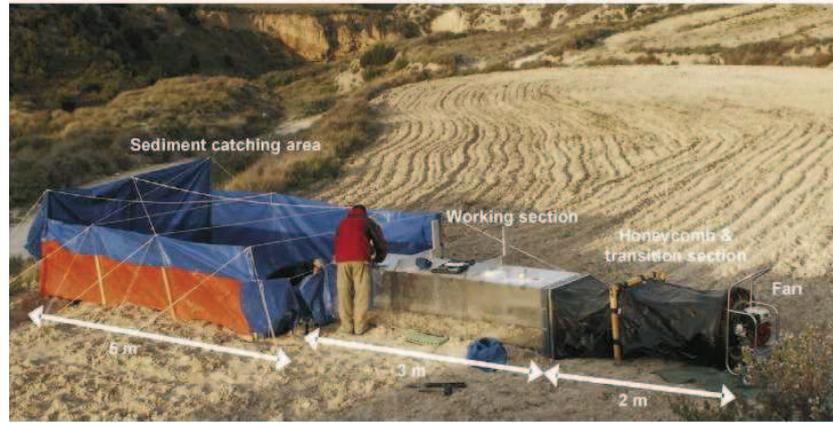


Foto. N° 7. Simulador de viento montado (Fister and Ries, 2009).

En este caso, para regular la velocidad del aire no se operaba variando la velocidad de funcionamiento del ventilador como era lo habitual, sino que se ajustaban las aspas del ventilador a diferentes ángulos.

El ventilador se conectaba con el túnel a través de una lona tensada de PVC. Este tramo, de 2m, tenía intercalado un componente denominado “panel de abeja” cuyo objetivo era corregir el flujo turbulento rotativo procedente del ventilador. La zona rígida del túnel (de 3 m de longitud y sección cuadrada de 70x70 cm), estaba constituida por tres cuerpos, de 1 metro cada uno, de aluminio y plexiglás, lo que le permitía ser plegado completamente, facilitando así su transporte.

El sedimento desprendido en la zona de pruebas era atrapado por el área de captura de sedimentos, hecha de lona comercial disponiendo de unas dimensiones de 3x5 m de base, una altura de 1m en los laterales y 1.5 m en la parte frontal al túnel. Esta zona de recogida de sedimentos presentaba un gran inconveniente: una gran cantidad de partículas de limo, arcilla y otros componentes del suelo no podían ser detectados; este simulador únicamente fue utilizado para realizar una estimación de las tasas de erosión eólica de elementos gruesos. Necesita una gran cantidad de mano de obra para la instalación y transporte, siendo éste su principal inconveniente, junto al deficitario sistema de recogida de muestras antes mencionado.

Existen otros túneles de pequeño tamaño (Guillette, 1978 y Leys, 2002), que son portátiles, pero presentan el inconveniente de no simular las condiciones naturales de forma fiable.

Analizada la situación actual en la que se encuentra el desarrollo de simuladores de viento en los estudios de erosión, es de destacar que cada uno de ellos presenta aspectos positivos y negativos.

Finalizamos este apartado, comentando que existe un túnel de viento para el estudio de la erosión eólica en proceso de patentar por la Universidad de Almería (Lozano et al., 2012), y que explicaremos detalladamente en el capítulo de material y métodos.

2.1 FACTORES FORMADORES

2.1.1 Geología

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. 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 metamorizados 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 fue 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, 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 moscovita, un 10% de paragonita, un 3% de esmectitas más cloritas, un 10% de cuarzos, un 20% de calcitas, un 2% de dolomita 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).

2.1.2 Clima

La aridez, tal y como se ha expuesto anteriormente, es la característica determinante en la zona de estudio, debiéndose esta 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 como 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 intra-anales 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 por 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).

2.1.3 Vegetación y Relieve

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-gadoreña, filábrica-nevadense y almeriense, semiárido-seca del lentisco (*Pistacia lentiscus*).
2. Geoserie edafohigrófila termomediterránea murciano-almeriense y mulullense basófila.
3. Complejo politeselar de vegetación edafoixerófila tabernense sobre margas subsalinas.
4. Complejo de vegetación edafoixerófila tabernense sobre yesos (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-desección.

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.

Son observables en el territorio árboles como *Pinus halepensis* y eucaliptales, cuyo origen está directamente relacionado con actividades antrópicas, pero que debido al clima del territorio, no han pasado de ser grupos de árboles dispersos de escaso porte. De igual origen 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 de estudio; 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 (Cantón et al., 2011).

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 MATERIAL

Para generar los mapas tridimensionales de suelo, que permiten observar las variaciones en el mismo antes y después de ser erosionado, se ha utilizado un *Láser - Scan*. Además se ha usado una *Cámara de Visión Artificial*, que capta imágenes de las partículas en una serie de placas con adhesivos colocadas al final del Túnel de viento.

A continuación se explican estos tres instrumentos.

Láser - Scan

Antes de centrarnos en el Láser - Scan que se ha adaptado al túnel de viento en proceso de patentar por la Universidad de Almería, se estima oportuno explicar brevemente el funcionamiento de la tecnología de escaneo láser, para así poder entender mejor la forma de aplicación que se hace en nuestros ensayos con el túnel de viento.

La tecnología de escaneo láser permite obtener modelos tridimensionales muy precisos de las "micro" estructuras que forman parte del suelo y que son objeto de estudio de la erosión eólica.

Estos modelos representan el estado real de las partículas en el momento de estudio, por lo que resultan muy útiles para la planificación de técnicas de estudio, simulación de erosión, etc. Los modelos pueden exportarse a programas de diseño tipo CAD (AutoCad, Microstation) o bien a archivos con formato *.pdf, para los que no se necesita formación específica.

Gracias al trabajo previo de la topografía, se pueden referir todos los elementos escaneados a un sistema de coordenadas común e integrado. De esta forma, se obtienen visualizadores panorámicos en entornos web que permiten moverse en el entorno real de la planta, identificar componentes, obtener coordenadas, medir distancias en tres dimensiones e identificar interferencias sin necesidad de estar físicamente en la zona de trabajo.

En las siguientes líneas se mostrarán las características del Láser - Scan utilizado.

El Láser - Scan utilizado ha sido el 2020 i (modelo comercial), de la firma empresarial "NextEngine", cuyas características técnicas se detallan a continuación.



Foto. Nº. 8. Láser - Scan, (<http://www.nextengine.com>, 2013)

ARCHITECTURE	
Measurement System	NextEngine proprietary MultiStripe Laser Triangulation (MLT) technology. Patents Pending.
Source	Twin arrays of four, Class 1M, 10 mW solid-state lasers with custom optics. 650 nm wavelength.
Sensor	Twin 3.0 Megapixel CMOS image sensors.
Photo Surface	Optically synchronous 7-color surface capture for precision-locked geometry correlation.
Photo Lighting	Built-in spatially diverse whitelight texture illuminators with tri-phosphor, wide color gamut.
AutoDrive™	High-precision rotary servo positioner, auto-incremented under scanner control. 20 lb capacity.
PartGripper™	Universal part holder to adjust height, angle, and orientation of capture. 10 lb capacity.
SOFTWARE	
ScanStudio HD™	Software to Scan, Align, Polish, and Fuse 3D Models. High-performance OpenGL 3D viewer.
SolidWorks Integration	Scan to SolidWorks (Office Premium 2007 + later). Click to toggle between scanning/design.
Native File Format	SolidWorks + NextEngine co-developed native format. No import or export needed.
Standalone Use	ScanStudio also works outside SolidWorks for creation of standard-format scan-output files.
Format Options	Scan data can be output as mesh file formats: STL, OBJ, VRML, XYZ, and PLY files.
File Size	20MB for typical model, based on 10 facet scans.
Modeling Tools	Assemble views into a model conveniently with built-in Smart Alignment and trim tools.
ScanStudio HD™	Points-to-Mesh solution. Drives scanner and builds 3D mesh models. Standard
ScanStudio HD PRO™	Delivers 2X scan speed, 4X raw point data, and offers Large Object (23" x 17") mode. \$995
ScanStudio CAD TOOLS™	Points-to-NURBS solution. Adds surfacing and spline output to speed CAD modeling. \$995
RapidWorks™	State-of-the-art Points-to-CAD engineering tool. Build solid models with feature trees. \$2,995
PERFORMANCE	
Object Size	No preset limit. Objects larger than field can be composite-captured with supplied software.
Field Size	5.1" x 3.8" (Macro) and 13.5" x 10.1" (Wide). ("Soda can" and "shoebox" sizes, respectively.)
Capture Density	Capture density on target surface is up to 160K points/in ² (Macro) and 22.5K points/in ² (Wide).
Texture Density	400 DPI on target surface in Macro Mode and 150 DPI in Wide Mode.
Dimensional Accuracy	±0.005" in Macro Mode and ±0.015" in Wide Mode.
Acquisition Speed	50,000 processed points/sec throughput. Typically 2 minutes per scan of each facet.
Typical Datasets	Typical small models are a quarter-million points, after oversampling and optimization.
Environmental	Desktop use under ordinary office lighting. No darkroom or special backgrounds required.
GENERAL	
Minimum Requirements	2GHz Dual Core, 2GB RAM, 256MB graphics, Windows XP / Vista 32-bit.
Recommended System	Quad Core, 4+ GB RAM, 512+ MB graphics, Windows 7 / 8 64-bit.
Interface	USB 2.0 high-speed interface. USB cable included.
Power	100 – 240 VAC built-in worldwide auto-switching power supply. AC cable included.
Eye Safe	Beam is about 1/1000th brightness of a laser pointer (but avoid looking into beam).
Tripod Mount	Stainless steel 1/4" 20-thread standard screw mount for tripod setups.
Size	Compact 8.8" x 3.6" (letter size) desktop footprint. 10.9" high. Approximately 7 lbs.

Fig. Nº. 2. Especificaciones técnicas del Láser - Scan utilizado. (<http://www.nextengine.com>, 201)

Cámara de Visión Artificial

Para poder comprender mejor el funcionamiento de la cámara de visión artificial empleada, así como la interpretación de las muestras que la cámara hace, es necesario explicar brevemente qué es la visión artificial o visión por computador (como también es conocida esta técnica), puesto que, hasta la fecha, la Universidad de Almería ha sido la única que ha incorporado este avance tecnológico tan preciso a un túnel de viento para el estudio de la erosión eólica.

La visión artificial es un subcampo de la inteligencia artificial, cuyo propósito es programar un ordenador para que "*entienda*" una escena o las características de una imagen. Los objetivos típicos de la visión artificial son:

- La detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes (por ejemplo, caras humanas).
- La evaluación de los resultados (por ejemplo, segmentación, registro).
- Registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto, es decir, hacer concordar un mismo objeto en diversas imágenes.
- Seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes.
- Mapeo de una escena para generar un modelo tridimensional de la escena; este modelo podría ser usado por un robot para navegar por la escena.
- Estimación de las posturas tridimensionales de seres vivos o inertes.
- Búsqueda de imágenes digitales por su contenido.

Después de esta breve introducción, nos centraremos en la cámara utilizada en este trabajo, así como el proceso de adaptación y ajuste que se hizo de la misma para poder ser acoplada al túnel de viento.

La cámara utilizada ha sido la JAI-CM080 (modelo comercial), que presenta una resolución de 1024 x 768 píxeles, con un objetivo macro de 25 mm y cuyas características técnicas se especifican a continuación.



Fig. Nº 3. Características técnicas de la cámara JAI-CM080, (<http://www.jai.com/en/products/cm-080ge>, 2013)



Foto. Nº 9. Cámara de Visión Artificial JAI-CM080.

A continuación, se muestra la secuencia de adaptación de la cámara al ensayo realizado para su utilización en el túnel de viento.

Inicialmente se hace un montaje instrumental con el objetivo de capturar imágenes de las muestras obtenidas (Fotos. N°. 10 y 11). Posteriormente, se le acopla a la cámara un tubo extensor y un anillo adaptador para focalizar el área de observación en zonas pequeñas de la muestra. La resolución así obtenida es de 256 píxeles por milímetro (se pueden resolver partículas de un tamaño equivalente a 1/128 mm).

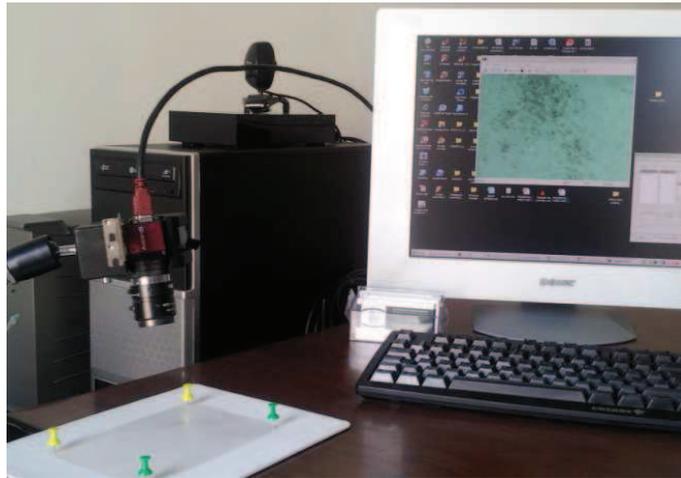


Foto. N° 10. Detalle del montaje instrumental previo.

Finalmente se ilumina la muestra, utilizando un sistema de fluorescencia de luz blanca equilibrada a 9700 °K, con una frecuencia de refresco de 25 Khz.

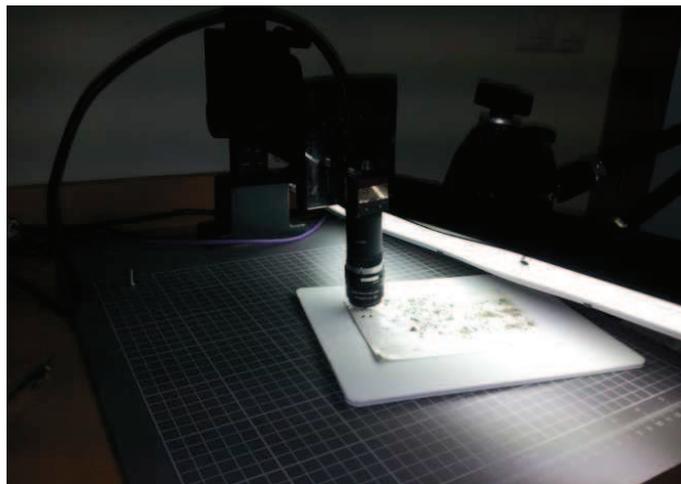


Foto. N° 11. Detalle del montaje donde puede apreciarse la cámara con el sistema óptico y el sistema de iluminación.

Túnel de viento.

Se ha utilizado un túnel de viento diseñado, y en proceso de patentar, por tres investigadores de la Universidad de Almería y un Ingeniero Técnico Industrial. A continuación, se detalla su funcionamiento y puesta en campo para el estudio (Fotos. Nº. 12, 13 y 14).

Debido a la gran cantidad de elementos que conforman el túnel y a las dimensiones de alguno de ellos, es necesario utilizar un vehículo de gran volumen de carga para su transporte, como una furgoneta. Una vez en el campo, se procede a su montaje, el cual es bastante rápido debido a la ligereza y sencillez de todos sus elementos, aunque el volumen que alcanza el túnel una vez montado completamente pueden llevar a pensar lo contrario. (Fotos. Nº. 15 y 16).



Fotos. Nº 12 y 13. Montaje del túnel (en gabinete).



Foto. Nº 14. Túnel montado en gabinete.



Fotos. Nº 15 y 16. Experiencia en campo.

A continuación, se explicarán brevemente las diferentes zonas que componen el túnel a partir de la instalación de sus elementos.

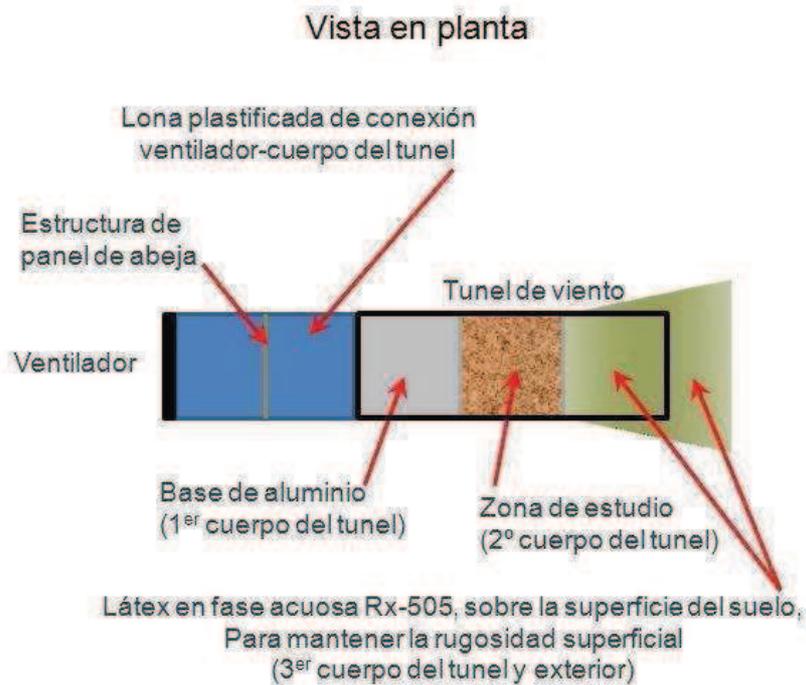


Fig. Nº. 4. Esquema de disposición del aparato. (Lozano et al., 2013)

En primer lugar, un generador de combustión proporciona la energía necesaria para todo el aparataje, y un ventilador genera una corriente de aire que entra en una estructura “tubular” desplegable, consiguiendo un flujo de aire similar al de una corriente natural (en el que se conjugan régimen laminar y turbulento). Posteriormente, por medio de una estructura intermedia en “panal de abeja”, se monitoriza la velocidad generada como variable.

Después, se llega al propio cuerpo del túnel donde, en su primera parte, lleva una placa metálica sobre el suelo para que el viento no actúe.

Su segunda parte es la zona de estudio. En esta se encuentra el Láser - Scan, que se introduce y se ajusta en altura mediante un sistema elevador y, además, hay un anemómetro y un higrómetro para medir las variables viento y humedad en tiempo real y en campo.

En su tercer parte, es donde se aplica en superficie, junto con la parte externa del túnel, un látex en fase acuosa para fijar las partículas y evitar que estas se muevan de forma aleatoria. Respecto a la colocación de los sensores y las placas de recogida de muestras, no alteran el proceso erosivo natural (Fig. Nº. 5).

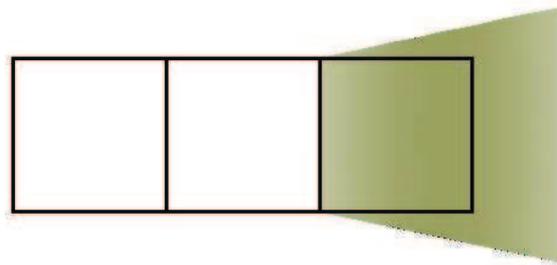


Fig. Nº. 5. Impregnación de la superficie del suelo con látex RX-505.
(Lozano et al., 2013)

En el extremo final, hay unas placas adhesivas dispuestas verticalmente para que en ellas queden retenidas las partículas en suspensión que haya en las distintas alturas. (Fig. Nº. 6) Así, las alturas medias de análisis de partículas desplazadas serán:

- 0 cm → partículas desplazadas por reptación.
- 15 cm → partículas desplazadas por saltación.
- 40 cm → partículas desplazadas por saltación + suspensión.
- 70 cm → partículas desplazadas por suspensión.

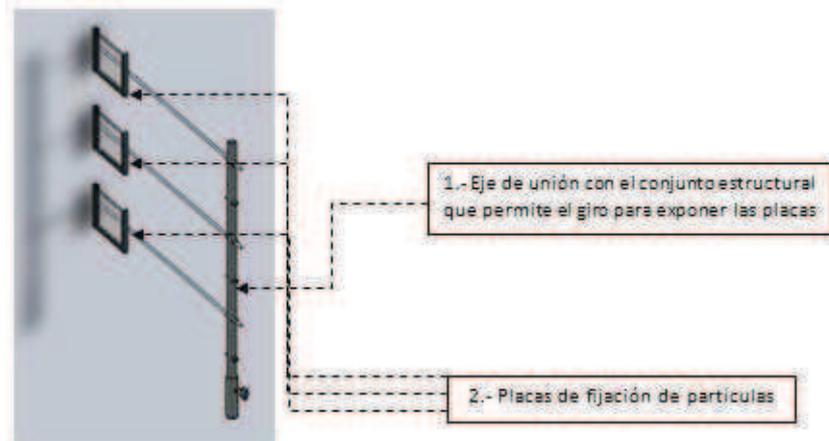


Fig. Nº. 6. Dispositivo para el análisis cualitativo. (Lozano et al. 2013)

Por último, se colocan, justo al final del túnel, unos colectores de partículas movilizadas con recepción a cuatro alturas diferentes (Modelo BSNE de Fryrear modificado). (Fig. Nº. 7)



Foto. Nº. 17. Modelo adaptado del colector BSNE de Fryrear. (Asensio et al., 2013)

Completan todo el sistema una serie de elementos imprescindibles para llevar a cabo el estudio. Son un regulador de frecuencia (para controlar el flujo de aire) y un ordenador portátil conectado al anemómetro, higrómetro y al Láser-Scan. Gracias a todos ellos se consigue simultaneidad en las medidas, no conseguida hasta hoy día.



Foto. Nº. 18. Vista general de la zona superior del túnel.

3.2 MÉTODOS

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 de 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 los datos geológicos se obtuvieron del Mapa Geológico a escala 1:50.000 del I.G.M.E. (1982).

Por otro lado, para el estudio de la erosión eólica, se generarán unas condiciones de viento forzado constantes mediante el uso de un túnel de viento diseñado para tal estudio, que compararemos con los datos registrados de viento natural. El muestreo del suelo se realizará antes y tras iniciar los ensayos, procurando siempre tomar dichas muestras en la zona más próxima al centro de las calles del olivar.

Aparte de la recogida directa de suelo sobre el terreno, otra forma de muestreo será utilizando unos colectores del tipo BSNE de Fryrear, adaptados para una dirección predominante del viento, coincidente con las calles de los olivos, donde se recogerán muestras de polvo desplazado a diferentes alturas siempre manteniendo la verticalidad entre colectores. Con esta técnica, se pretende ver los cambios influenciados por las variaciones del régimen eólico y los provocados por el material depositado.

3.2.1 Adaptación del Láser - Scan al Túnel de Viento.

Para poder acoplar el láser al túnel, se tuvieron que hacer ensayos de adaptación del mismo. Mostraremos algunos de los resultados obtenidos en la fase de adaptación, los cuales sirvieron para perfeccionar la metodología a seguir. (Asensio et al., 2013).

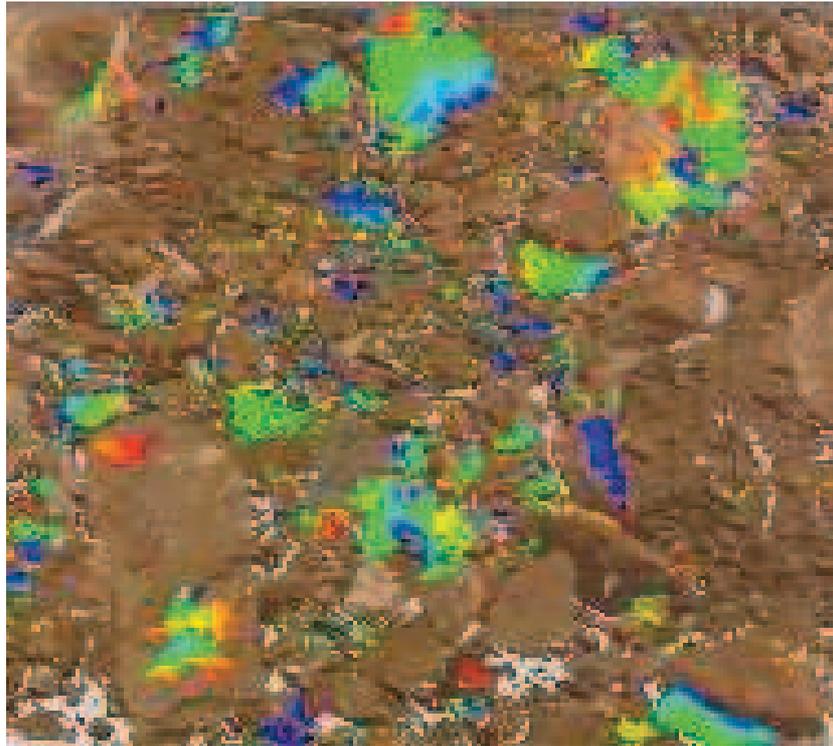


Fig. N°. 7. Imagen de dos capas superpuestas antes y después de la aplicación de viento.

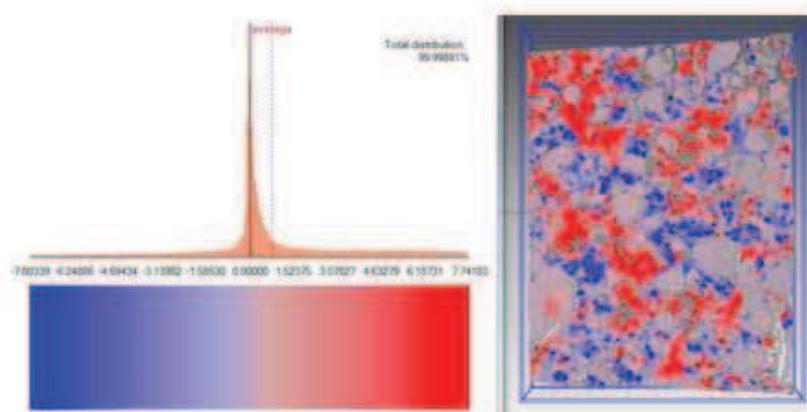


Fig. N°. 8. Valores absolutos de las diferencias de alturas de dos capas en un suelo labrado.

Escaneos del terreno y evaluación de la erosión eólica

Para estimar la erosión eólica en cada una de las superficies, se realizaron dos escaneos mediante el láser-scan, anteriormente mencionado, uno antes y otro después de la simulación.

Este dispositivo ha demostrado su aplicabilidad a la obtención del micro relieve de suelos agrícolas (Aguilar *et al.*, 2009) y naturales (Pérez Maturana, 2012), obteniendo precisiones cercanas a 0,4 mm. Los escaneos se realizaron en modo de máxima resolución al objeto de considerar un tamaño de muestra suficiente para representar la parcela (modo High Definition-Wide) (Tabla N°. 1 y 2). Cada escaneo abarca una superficie de 120 cm² (12 X 10), con una densidad de puntos capturados de 400 puntos por pulgada y una precisión nominal de 0,127 mm. No se optó por realizar varios escaneos, con el fin de evitar el error que se genera tras la alineación de las diferentes nubes de puntos, ya que como hemos dicho anteriormente, buscamos la máxima precisión posible.

Muestra en seco	Nº puntos	Triángulos
Standard Definition	42.705	80.905
High Definition	303.622	583.360

Tabla N°. 1. Comparación del escaneo de una muestra entre el modo High Definition (Hd) y Standard Definition (Sd)

Modo	Macro	Wide
Resolución (pulgadas)	0,005	0,016
Rango de distancia (mm)	130-230	380-560
Rango de distancia (pulgadas)	5-9	15-22
Distancia ideal (mm)	165	460
Distancia ideal (pulgadas)	6,5	17
Uso	Capturar objetos hasta el mínimo detalle.	Formato destinado a la colocación de objetos más grandes del tamaño de una caja de zapatos

Tabla N°. 2. Diferencias entre modo Macro y Wide.

Una vez obtenidas las dos nubes de puntos, se generaron dos modelos digitales del terreno (MDT) con un tamaño de celda de 0.1 x 0.1 cm cada uno. El primero de ellos se generó a partir de los puntos obtenidos antes de simular el evento de viento (MDT₀), mientras que el segundo se generó a partir de la nube de puntos que se obtuvo tras la simulación del evento de viento (MDT₁). El volumen de suelo erosionado por la acción del viento se calculó como la diferencia entre los dos modelos digitales del terreno. Estos cálculos se realizaron utilizando el software Arcgis 10.0.

Estudio de la microtopografía

A partir de las nubes de puntos obtenidas en cada una de las parcelas, se realizó un estudio de la microtopografía de cada una de las parcelas, antes y después de la simulación de viento, con el objetivo de evaluar cómo afecta a la erosión eólica, y analizar su dinámica tras los eventos de viento. Para este estudio se utilizó índices ampliamente mostrados en bibliografía: la rugosidad aleatoria (RR), definida como la desviación estándar de los puntos dentro de la parcela una vez eliminados el efecto de la pendiente y el labrado (Allmaras et al., 1966) (Fig. N° 9).

$$RR = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{i=N} (z-\mu)^2 \right) / (1-N)}$$

Fig. N°. 9. Ecuación para el estudio de la microtopografía. (Allmaras et al., 1966)

Siendo "N" el número de puntos dentro de la parcela, z la altura de cada punto una vez eliminado el efecto de la pendiente y μ el valor promedio de todos los puntos una vez eliminado el efecto de la pendiente.

3.2.2 Adaptación de la Cámara de Visión Artificial al Túnel de Viento

Seguidamente, se muestran algunas de las imágenes y figuras obtenidas durante los ensayos de adaptación de la cámara. Comprobaciones.

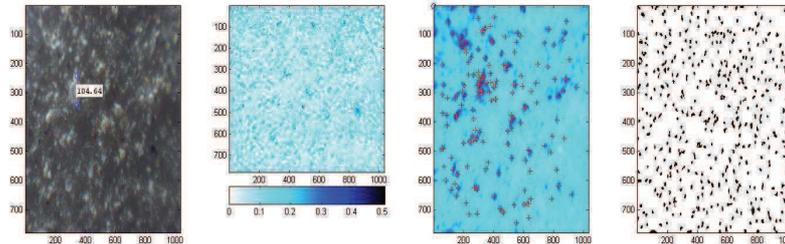
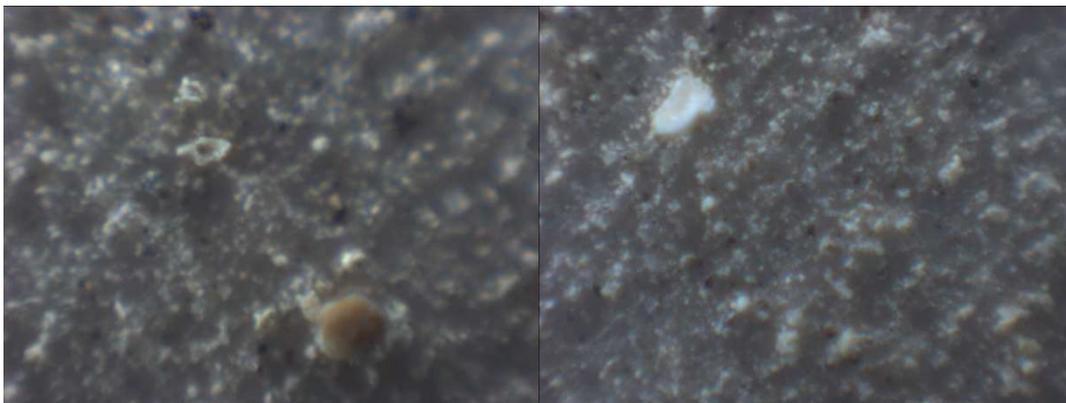


Fig. Nº 10. Trabajo preliminar de análisis de imágenes con una de las zonas altas de muestreo, (Asensio et al., 2013).

En la Fig. Nº 10, se aprecia de izquierda a derecha: la imagen original, con una medición in situ del material más grande adherido; un análisis de color usando una transformación HSV para cuantificar la cantidad de material coloreado (de tono rojizo en la muestra) con una escala inferior, el percentil 70 de 0,09 (lo que indica que el material adherido es muy claro o muy poco); un análisis de objetos con 176 elementos significativos en la muestra; y, finalmente, un conteo de partículas adheridas en la imagen más a la derecha.



Fotos. Nº 19 y 20. Serie de imágenes obtenidas de la muestra a mayor altura del túnel. Se observa una densidad de material que ronda el 50% de la muestra y pocas partículas de tamaño medio (1 o 2 por muestra).

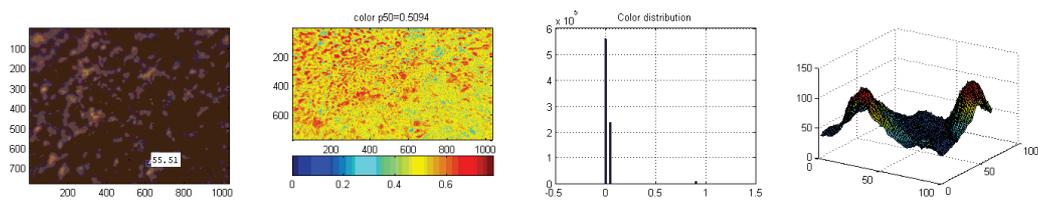


Fig. N° 11. Trabajo preliminar para una foto del tipo 2.

En la Fig. N°. 11, a la izquierda, la imagen original, con un proceso de medición del tamaño de las partículas. (Cada punto equivale a 1/256 mm. o 4 micras). La siguiente imagen es la distribución del color de la muestra. El diagrama de barras es una cuantificación del color de la muestra, desde el rojo al azul morado. Por último, un corte de la imagen para observar la rugosidad o la forma de uno de los granos de material pegados.

3.2.3 Métodos de laboratorio

Los procedimientos que se adoptaron para obtener los valores de las diferentes características del suelo que nos interesaban para la erosión eólica 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, siguiendo 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 NH_3 obtenido después de digestiones Kjeldahl (Bremner, 1965).

Fósforo asimilable:

El fosfato disponible del suelo (P_2O_5) se calculó por colorimetría (Watanabe y Olsen, 1965).

Potasio asimilable:

Se ha determinado el potasio por fotometría de llama, previa extracción en una solución de acetato amónico 1N a pH 7.

Las cantidades extraídas por los cultivos son muy variables, dependiendo entre otros factores del rendimiento esperado. Una vez calculadas las necesidades del cultivo para un suelo de fertilidad media, se multiplican estas necesidades por un factor de corrección que tiene en cuenta el tipo de suelo y los diferentes sistemas de cultivo. (Ministerio de Agricultura, 1982).

pH:

Se determinó sobre una suspensión de tierra fina en agua y en KCl, en relación 1:1, con ayuda de un pHmetro con electrodo de vidrio.

Densidad aparente:

Para el cálculo de la densidad aparente, se ha empleado la ecuación de regresión múltiple, obtenida por Santos (1979), y que se presenta a continuación:

$$\text{D.A.} = 1.5454 + 0.0015 \times (\% \text{ arena}) - 0.0022 \times (\% \text{ arcilla}) - 0.1219 \times (\% \text{ carbono orgánico})$$

Agua utilizable por las plantas:

Se calcula a partir de los pF a 1/3 y a 15 atmósferas la densidad aparente y la profundidad del horizonte en cuestión. Para ello se emplea la fórmula de Henin y cols (1972).

$$Au = pF_{1/3 \text{ atm}} - pF_{15 \text{ atm}} \times D.A. \times \text{prof (dm)}$$

Conductividad del extracto de saturación:

La pasta del suelo mojado se preparó siguiendo las indicaciones de Allison (1973). La conductividad de los extractos se midió con el conductímetro "Solubridge" Beckman, provisto de célula de conductividad G-0.5 x 2.

Difractometría de Rayos X:

La composición mineralógica del suelo ha sido determinada con el programa XRD y, la evaluación de los datos, a través del programa EVA perteneciente al paquete de programas DIFFRACT. EVALUATION 6.1.

El equipo de difracción de rayos X usado ha sido el D8 ADVANCE modelo DAVINCI.

4. RESULTADOS

4. RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DE ZONAS ESPECÍFICAS EN LA FINCA PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS.

Como se ha venido hablando en capítulos anteriores, las muestras se han recogido de tres zonas bien diferenciadas de la finca, las cuales han sido clasificadas en este trabajo por el color del suelo que presentan, propiedad física del suelo de enorme valor para el diagnóstico y referente en la clasificación de los suelos. Éstas son Rojo, Rosa y Blanco, de aquí en adelante RR, R y B. Esta denominación se ha escogido para tener mayor comodidad a la hora de trabajar con los datos, así como para dar mayor claridad al conjunto del trabajo y poder hacer una interpretación más sencilla de los resultados y sus posibles comparaciones. (Fotos. N° 21 y 22). De acuerdo con F.A.O. (2007), estos suelos se clasifican como:

- **B:** Calcisol gypsi-aridico
- **R:** Cambisol hapli-calcárico
- **RR:** Luvisol hapli-crómico
-



Foto. N° 21. Localización de las zonas de muestreo. (Google Maps, 2013)



Foto. N° 22. Zonas de muestreo. (Google Maps, 2013)

A continuación, se muestran las fotos N° 23, 24 y 25 donde se observa el montaje del túnel de viento en cada una de las zonas de muestreo.



Foto. N° 23. Túnel en la zona B.



Foto. Nº 24. Túnel en la zona R.



Foto. Nº 25. Túnel en la zona RR.

4.2 RESULTADOS.

Como ya sabemos, el túnel de viento presenta tres sensores de toma de datos: estos son el Láser-Scan, la Cámara de Visión Artificial y el Colector de partículas en suspensión (BSNE de Fryrear), por lo que tendremos tres tipos de resultados que se mostrarán en este capítulo.

Se han realizado difractogramas de Rayos X, hechos a las distintas muestras recogidas en los colectores. También se muestran los mapas de relieve, generados gracias al Láser-Scan, y los resultados obtenidos en la Cámara de Visión Artificial, procedentes de las placas situadas de forma normal al sentido del viento.

A continuación, se presentan los resultados clasificados, primero, en resultados cuantitativos y, seguidamente, en cualitativos. Con esto, se pretende dar una visión general de todos los resultados obtenidos en función de la metodología empleada, pues la instrumentación utilizada es numerosa y de uso muy específico. Se presentan asimismo los estudios estadísticos con respecto a los análisis realizados en laboratorio.

4.2.1. Resultados cuantitativos.

Son los obtenidos a través de los análisis de laboratorio con su estadística, Láser-Scan y difracción de Rayos X.

Resultados analíticos de laboratorio.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO										
ORDEN	% GRAVA	% Ar MG (2-1 mm)	% Ar G (1-0.5 mm)	% Ar M (0.5-0.25 mm)	% Ar F (0.25-0.1 mm)	% Ar MF (0.1-0.05 mm)	% Limo grueso (0.05-0.02 mm)	% Limo fino (0.02-0.002 mm)	% Arcilla (< 0.002 mm)	SUMA
B-st	36.9	0.0	5.2	5.5	1.9	10.7	34.7	18.3	23.7	100
R-st	47.7	0.0	8.2	7.6	8.9	20.2	28.4	7.9	18.8	100
RR-st	42.6	0.0	5.5	6.2	8.9	25.9	26.7	6.3	20.4	100

Tabla Nº. 3. Resultados del análisis granulométrico para los suelos antes de la experimentación.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO										
ORDEN	% GRAVA	% Ar MG (2-1 mm)	% Ar G (1-0.5 mm)	% Ar M (0.5-0.25 mm)	% Ar F (0.25-0.1 mm)	% Ar MF (0.1-0.05 mm)	% Limo grueso (0.05-0.02 mm)	% Limo fino (0.02-0.002 mm)	% Arcilla (< 0.002 mm)	SUMA
B0	-	0.0	1.2	1.8	2.3	12.4	29.2	25.2	27.9	100
B15	-	0.0	0.1	0.3	1.8	16.6	39.5	16.3	25.5	100
B40	-	0.0	0.1	0.3	0.3	12.4	41.5	17.7	27.7	100
B70	-	0.0	0.0	0.2	0.2	6.8	45.0	20.4	27.4	100
R0	-	0.0	5.5	6.6	8.0	21.3	23.8	12.3	22.5	100
R15	-	0.0	0.2	0.5	6.8	28.2	32.2	9.1	23.1	100
R40	-	0.0	0.0	0.2	0.3	18.2	42.4	13.7	25.2	100
R70	-	0.0	0.1	0.3	0.2	18.5	43.2	7.1	30.7	100
RR0	-	0.0	5.2	10.4	10.5	19.9	25.1	6.5	22.4	100
RR15	-	0.0	0.0	0.2	9.7	32.5	30.4	5.2	22.0	100
RR40	-	0.0	0.1	0.2	0.2	25.2	39.8	8.4	26.0	100
RR70	-	0.0	0.0	0.2	0.3	13.1	46.6	13.2	26.5	100

Tabla N°. 4. Resultados del análisis granulométrico para las muestras recogidas en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura).

DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA					
ORDEN	% UNIFIED	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura
B-st	82.2	23.4	52.9	23.7	Franco-limosa
R-st	60.8	44.8	36.4	18.8	Franca
RR-st	60.6	46.6	33.0	20.4	Franca

Tabla N°. 5. Resumen de los resultados y denominación de la textura para los suelos al antes de la experimentación.

DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA					
ORDEN	% UNIFIED	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura
B0	88.7	17.7	54.4	27.9	Franco-arcillo-limosa
B15	89.4	18.7	55.8	25.5	Franco-limosa
B40	95.3	13.1	59.2	27.7	Franco-arcillo-limosa
B70	99.0	7.3	65.3	27.4	Franco-limosa
R0	64.5	41.4	36.1	22.5	Franca
R15	73.2	35.6	41.3	23.1	Franca
R40	91.7	18.7	56.1	25.2	Franco-limosa
R70	98.5	19.1	50.3	30.7	Franco-arcillo-limosa
RR0	59.5	46.0	31.6	22.4	Franca
RR15	66.6	42.4	35.5	22.0	Franca
RR40	88.9	25.8	48.2	26.0	Franca
RR70	98.9	13.7	59.8	26.5	Franco-limosa

Tabla N°. 6. Resultados y denominación de la textura de las muestras recogidas en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura).

Diagramas texturales para los distintos tipos de suelo (B, R y RR)

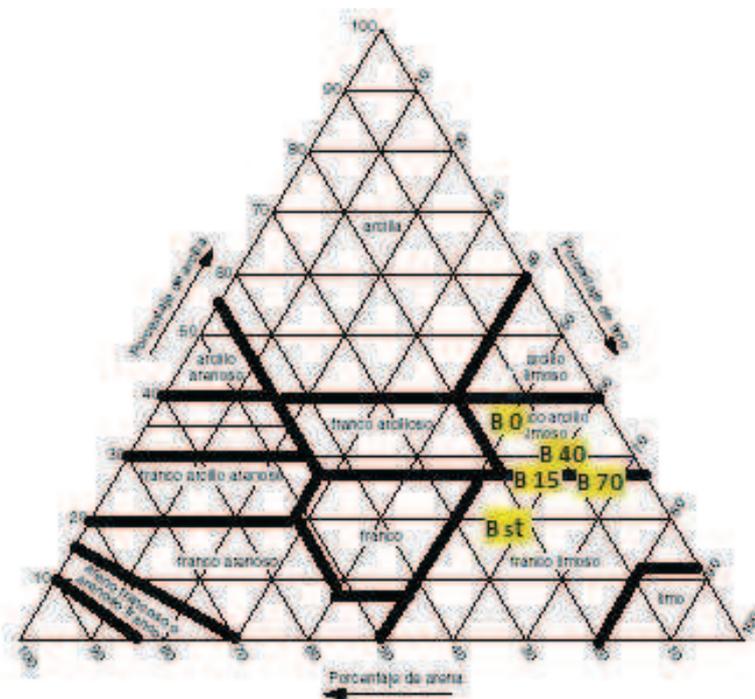


Fig. Nº 12. Diagrama textural del suelo B y las muestras recogidas en los colectores.

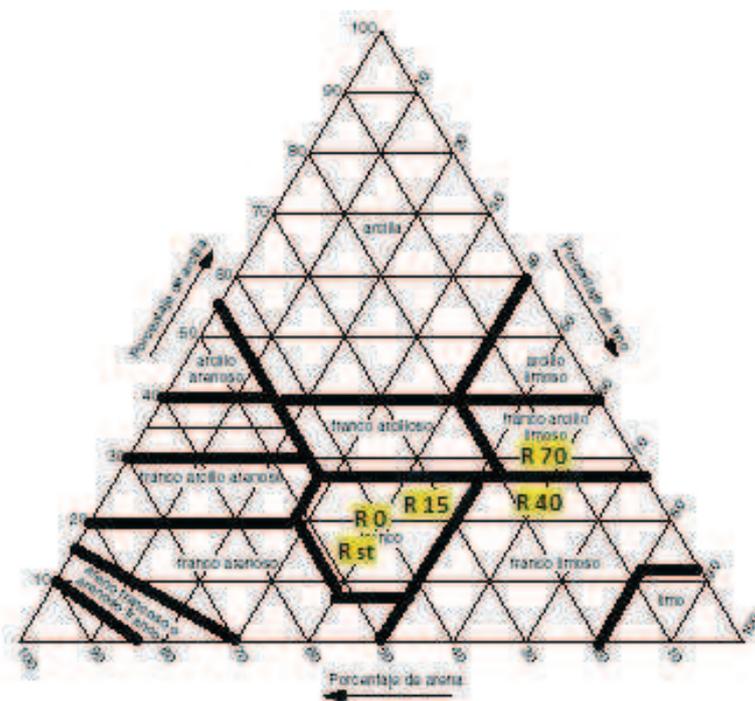


Fig. Nº 13. Diagrama textural del suelo R y las muestras recogidas en los colectores.

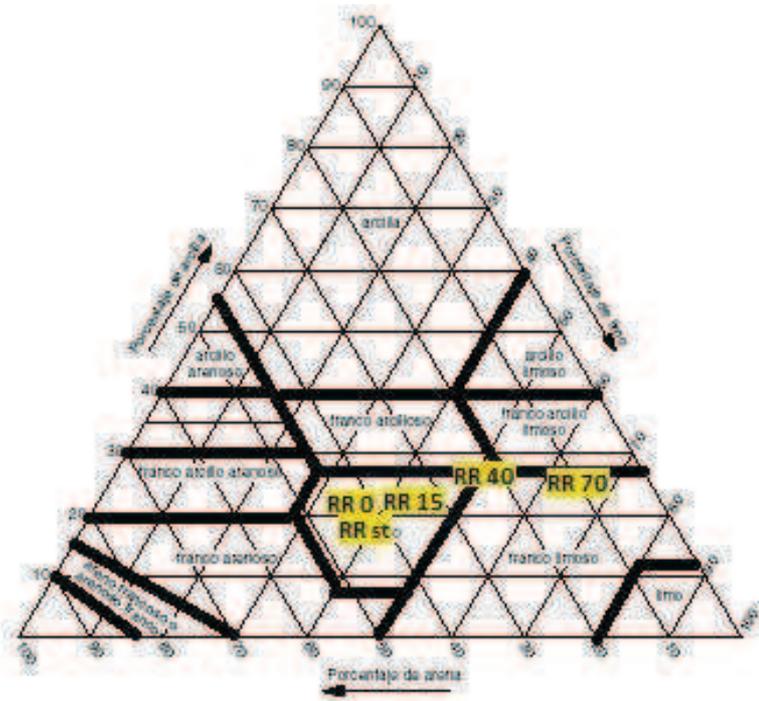


Fig. N° 14. Diagrama textural del suelo RR y las muestras recogidas en los colectores.

ORDEN	% N	P ₂ O ₅ asimilable (mg/100 g)	K ₂ O asimilable (mg/100 g)
B-st	0.036	4	28
R-st	0.273	2	75
RR-st	0.195	5	16

Tabla N°. 7. Resultados de N, P₂O₅ y K₂O para los suelos antes de la experimentación.

ORDEN	% N	P ₂ O ₅ asimilable (mg/100 g)	K ₂ O asimilable (mg/100 g)
B0	0.130	4	29
B15	0.227	6	48
B40	0.041	5	42
B70	0.171	5	42
R0	0.276	2	16
R15	0.181	2	20
R40	0.189	2	21
R70	0.165	2	55
RR0	0.251	6	25
RR15	0.206	6	28
RR40	0.381	4	16
RR70	0.268	8	3

Tabla N°. 8. Resultados de N, P₂O₅ y K₂O para las muestras recogidas en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura).

ORDEN	% C. O. total	% CO ₃	pF	
			% H 33 kPa	% H 1500 kPa
B-st	1.04	36	29.163	13.416
R-st	1.82	20	15.450	8.112
RR-st	2.84	2	13.068	6.966

Tabla N°. 9. Resultados de % C.O, % CO₃⁻ y pF para los suelos antes de la experimentación.

ORDEN	% C. O. total	% CO ₃
B0	1.18	33
B15	1.21	16
B40	1.04	25
B70	1.15	25
R0	1.72	21
R15	1.76	19
R40	2.23	27
R70	2.06	22
RR0	1.46	7
RR15	1.61	2
RR40	1.89	4
RR70	2.09	4

Tabla N°. 10. Resultados de % C.O y % CO₃⁼ para las muestras recogidas en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura).

ORDEN	pH		Densidad Aparente (g · cm ⁻³)	Conductividad Ext. Sat (dS · m ⁻¹)	Agua Útil (mm)
	H ₂ O	KCl			
B-st	7.78	7.57	1.40	5.55	33.1
R-st	8.28	7.60	1.35	1.47	14.9
RR-st	8.17	7.63	1.22	4.76	11.1

Tabla N°. 11. Resultados de pH, D.A., C.E. y A.U. para los suelos antes de la experimentación.

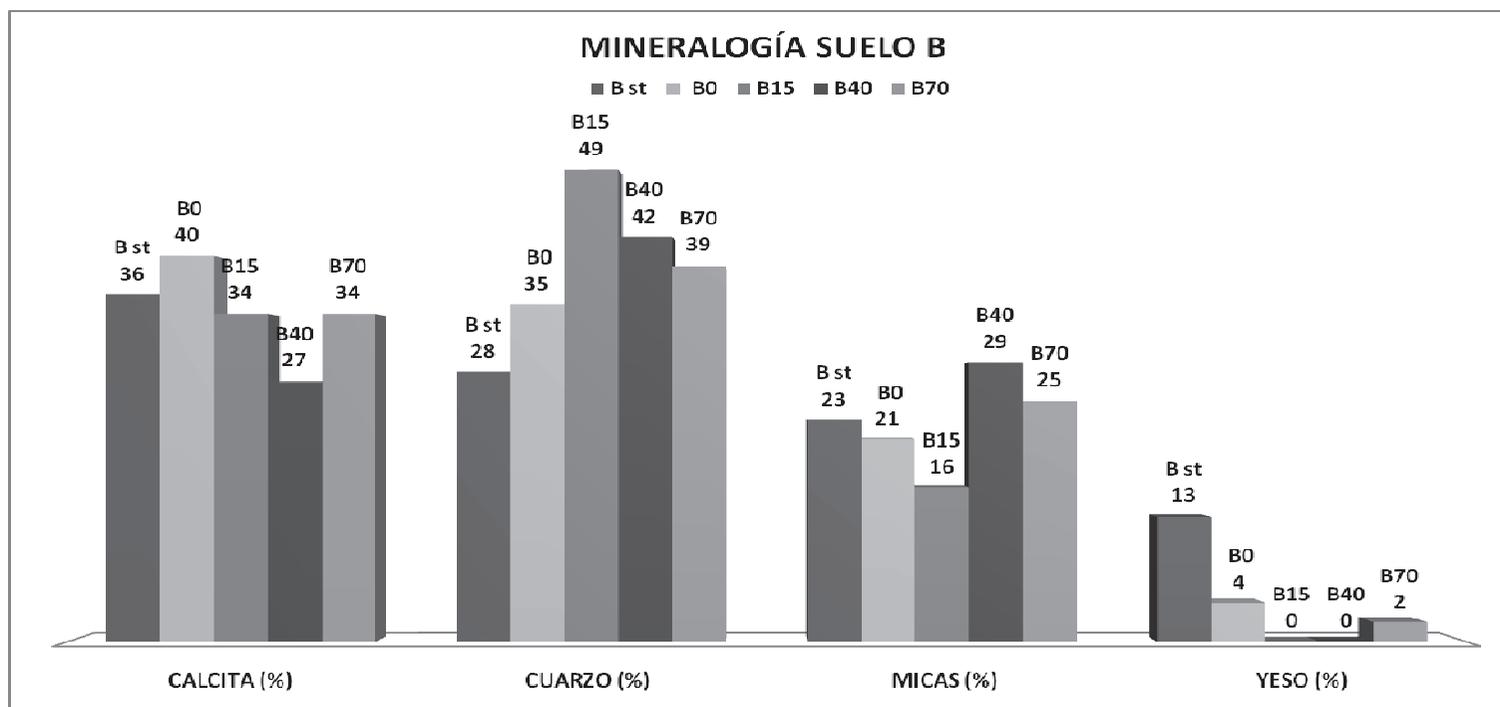
MINERALOGÍA				
ORDEN	CALCITA (%)	CUARZO (%)	MICAS (%)	YESO (%)
B-st	36	28	23	13
R-st	35	50	14	0
RR-st	0	69	21	0

Tabla N°. 12. Resultados de la determinación de la mineralogía para los suelos antes de la experimentación.

MINERALOGÍA				
ORDEN	CALCITA (%)	CUARZO (%)	MICAS (%)	YESO (%)
B0	40	35	21	4
B15	34	49	16	0
B40	27	42	29	0
B70	34	39	25	2
R0	32	49	18	0
R15	26	57	18	0
R40	34	51	14	0
R70	44	43	13	0
RR0	0	84	15	0
RR15	0	83	16	0
RR40	0	86	14	0
RR70	0	76	24	0

Tabla N°. 13. Resultados de la determinación de la mineralogía para las muestras recogidas en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura).

En función de los resultados anteriormente expuestos, se presentan a continuación los resultados graficados del análisis mineralógico para los tres tipos de suelos (B, R y RR).

Gráficas para la representación de la mineralogía.**Fig. N° 15.** Análisis de la mineralogía para el suelo B y las muestras recogidas en los colectores.

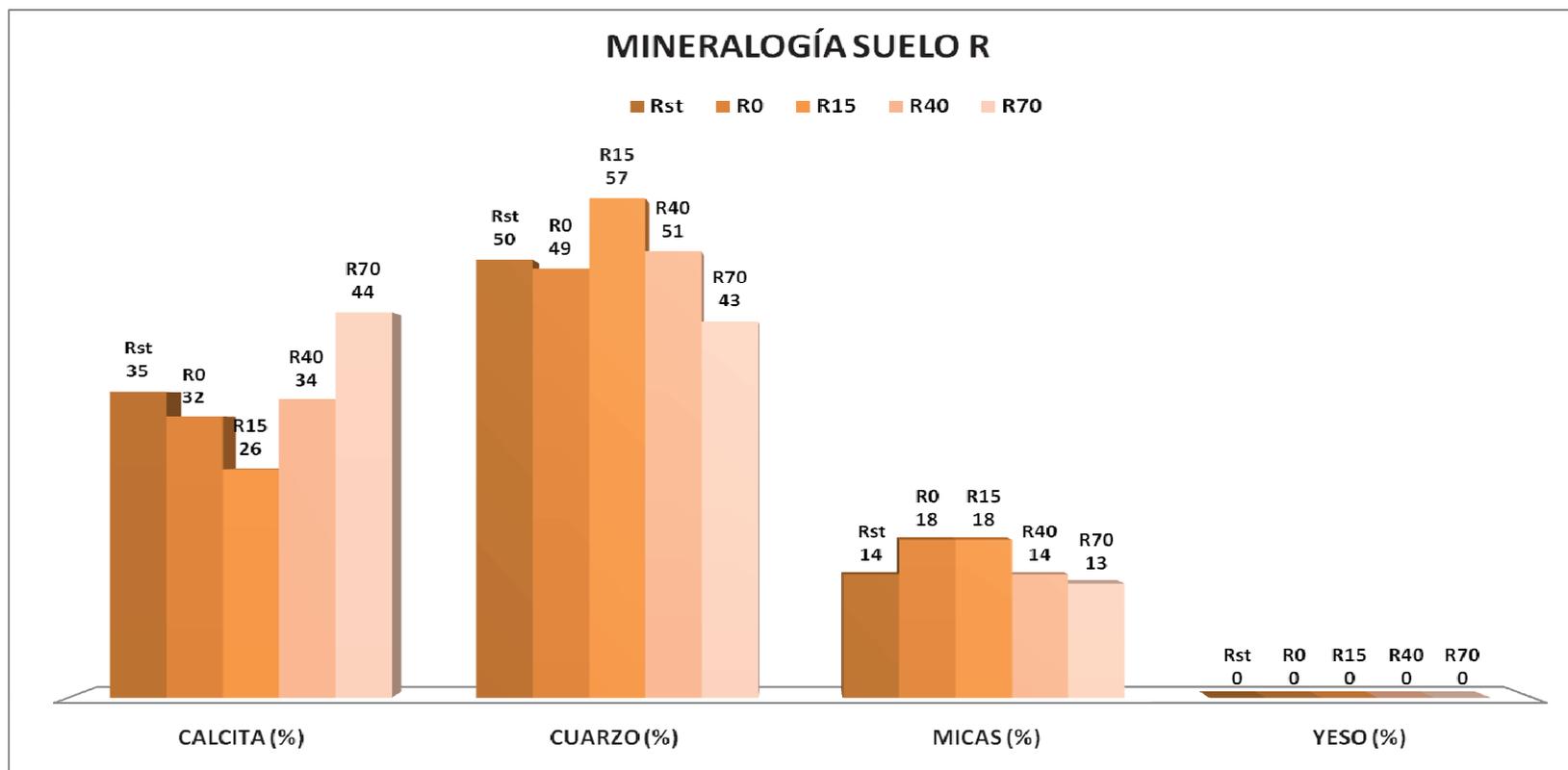


Fig. N° 16. Análisis de la mineralogía para el suelo R y las muestras recogidas en los colectores.

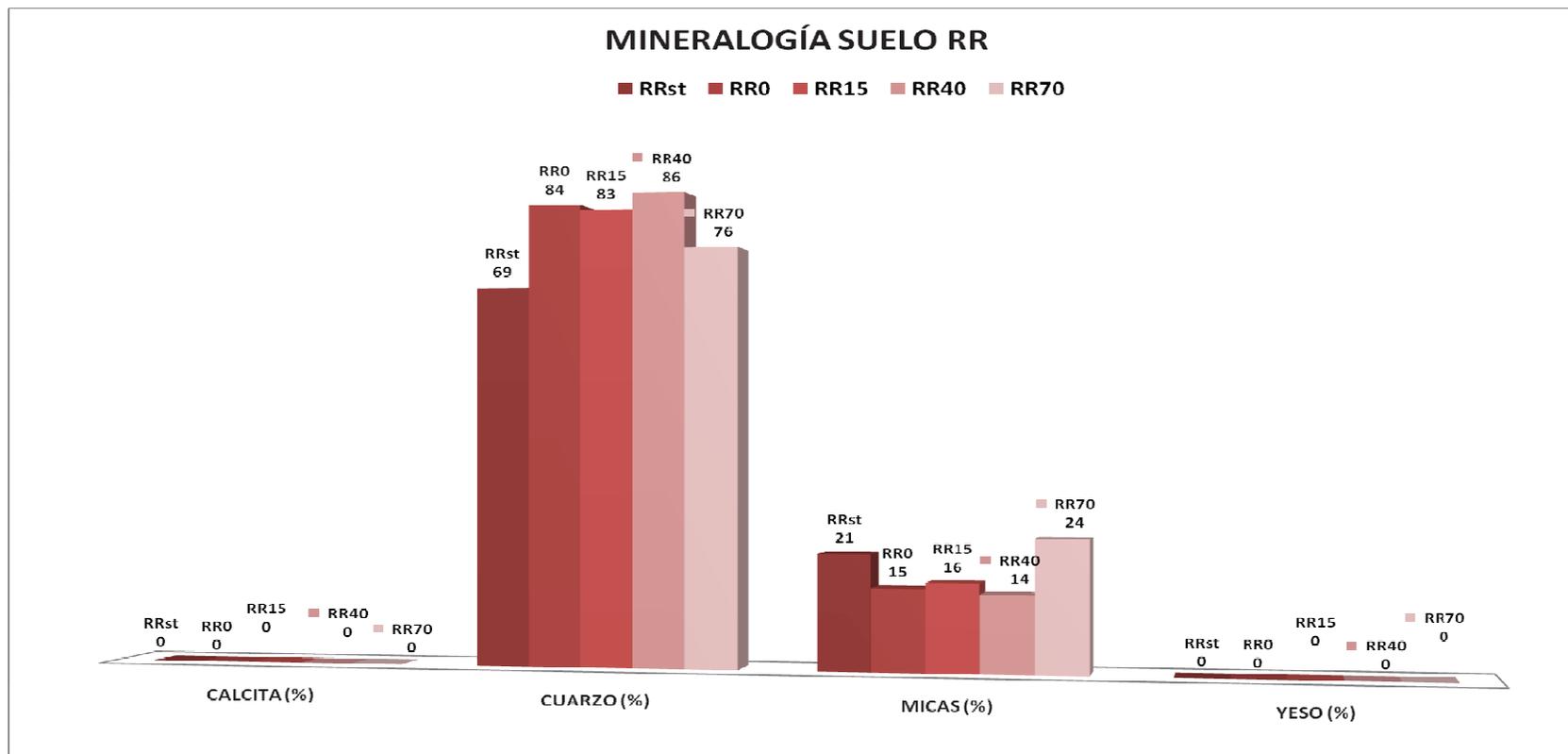


Fig. N° 17. Análisis de la mineralogía para el suelo RR y las muestras recogidas en los colectores.

Análisis estadístico realizado a los datos de laboratorio. Test de Friedman.

A continuación, se detalla el análisis estadístico de los datos anteriormente presentados.

En la mayoría de los trabajos de investigación, se hace un análisis de datos fundamentados en la estadística paramétrica. En estos estudios, se conocen un número finito de parámetros a valorar y, con facilidad, se puede observar que se ajustan a una determinada distribución de datos (por ejemplo una distribución "*normal*"), pero se desconoce cuál es la media y la desviación de dicha media, por tanto la media y la desviación típica son los dos parámetros que hay que determinar.

En nuestro caso, desconocemos totalmente que distribución siguen nuestros datos, entonces deberemos aplicar un test no paramétrico que nos ayude a conocer la distribución de los datos. El test elegido en este trabajo ha sido el de Friedman.

La prueba de Friedman es equivalente a la prueba ANOVA para medidas repetidas en la versión no paramétrica. En ésta, se seleccionan "*n*" grupos de "*k*" elementos, de forma que los elementos de cada grupo sean lo más parecido posible entre sí. El método consiste en ordenar los datos por filas o bloques, reemplazándolos por su orden relativo.

Finalmente, para resolver dicha prueba se han de plantear dos hipótesis: la primera, es plantear que no existen diferencias entre los grupos y, la segunda, es que existen diferencias entre ellos. Por ello, se aplica el estadístico de la prueba (Fig. N° 18) y se determina el índice de significancia del rango de datos estudiado.

Estadístico de Prueba

$$X^2_r = \frac{12}{H K (K + 1)} \Sigma R_c^2 - 3H (K + 1)$$

En la expresión anterior:

- X^2_r = estadístico calculado del análisis de varianza por rangos de Friedman.
- H = representa el número de elementos o de bloques (numero de hileras)
- K = el número de variables relacionadas
- ΣR_c^2 = es la suma de rangos por columnas al cuadrado.

Fig. N° 18. Estadístico del Test de Friedman. (Friedman, 2006)

A continuación, se presentan los resultados del análisis estadístico realizado a los resultados analíticos obtenidos en laboratorio, así como a la mineralogía presentada obtenida a partir de los difractogramas de rayos X.

Normalidad de los datos:

No hay motivos para rechazar la normalidad, salvo quizás en el caso del yeso (P-valor = 0.05).

Antes de aplicar el test de Friedman, se utilizo el test ANOVA por dos vías, las cuales se presentan a continuación.

- **ANOVA 1-via (túnel):** no procede, porque las observaciones no son independientes, puesto que varias de ellas están hecha sobre las mismas unidades experimentales (suelo) y, además, estas no son homogéneas (hay tres tipos).
- **ANOVA 2-via (túnel/muestras sin túnel):** tampoco procede, ya que seguimos sin tener independencia entre las observaciones; tenemos medidas repetidas sobre la misma unidad experimental.

ANOVA con medidas repetidas: Procede.

- ✓ Factor intra-sujetos: Túnel
- ✓ (Efecto inter-sujetos= tipo de suelo)

Resultados (esfericidad asumida)

Variable	Efecto túnel (GreenHouse-Geisser)	Efecto túnel (GreenHouse Huynh-Feldt)	Efecto Suelo
CO	No signif.	No signif.	0.026
K ₂ O	No signif.	No signif.	0.026
CO ₃ ⁼	No signif.	No signif.	No signif.
N	No signif.	No signif.	0.040
Ar GR	0.023	0.001	0.039
Ar Me	0.088	0.062	0.039
Ar Fi	0.107	0.071	No signif.
Ar MF	0.086	0.023	0.034
Li Gr	0.012	0.000	0.002
Li Fi	No signif.	No signif.	0.073
Unified	0.067	0.048	0.004
Arena %	0.035	0.001	0.042
Limo %	0.037	0.005	0.011
Arcilla %	0.100	0.047	0.001
P ₂ O ₅	No signif.	No signif.	0.066
Calcita	No signif.	No signif.	No signif.
Cuarzo	0.108	0.040	0.044
Micas	No signif.	No signif.	0.013
Yeso	No signif.	No signif.	No signif.

Tabla. N° 14. Tabla para el análisis estadístico ANOVA con medidas repetidas.

Test de Friedman.

Variable: Túnel. Los datos han sido apareados según el tipo de muestra de suelo.

Resultados:

Variable	Efecto túnel
CO	No signif.
K ₂ O	No signif.
CO ₃ =	No signif.
N %	No signif.
Ar GR	0.034
Ar Me	0.034
Ar Fi	0.038
Ar MF	0.066
Li Gr	0.017
Li Fi	No signif.
Unified	0.022
Arena %	0.027
Limo %	0.027
Arcilla %	0.066
P ₂ O ₅	No signif.
Calcita	No signif.
Cuarzo	No signif.
Micas	No signif.
Yeso	No signif.

Tabla N° 15. Tabla para el análisis estadístico mediante test de Friedman.

Resultados del Láser-Scan

En este apartado se muestran los resultados de escaneos láser de los tres tipos de suelo estudiados (B, R y RR). Estos escaneos se han realizado antes y después de labrar cada uno de los tres tipos de suelos con viento natural B ($2.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), R ($5.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y RR ($3.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Suelo "B" sometido a un viento natural de $2.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ antes de labrar.

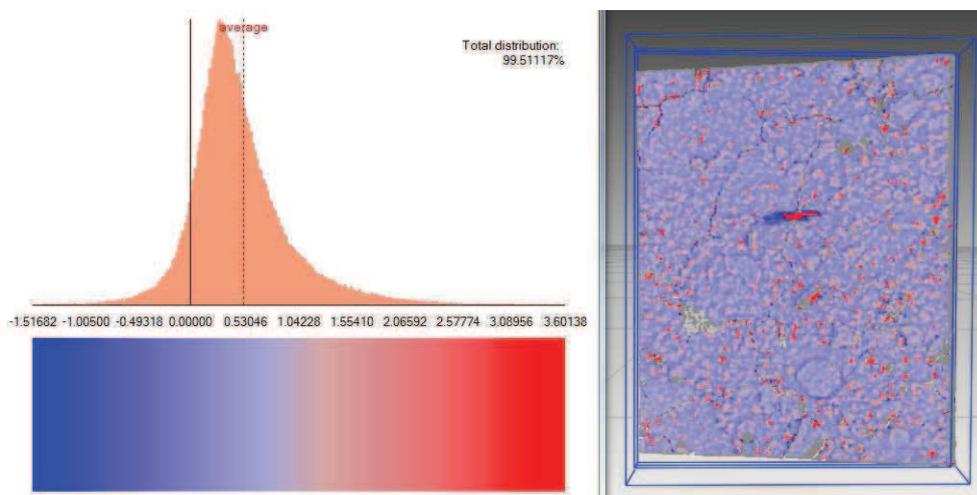


Fig. Nº 19. Escaneo láser para el suelo B antes de labrar.

Distancia máxima	Distancia mínima	Distancia media	Desviación estándar
3.60138	-1.51682	0.51649	0.57402

Tabla Nº. 16. Distancias (mm) y desviación para el suelo B antes de labrar.

Suelo "B" sometido a un viento natural de $2.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ después de labrar.

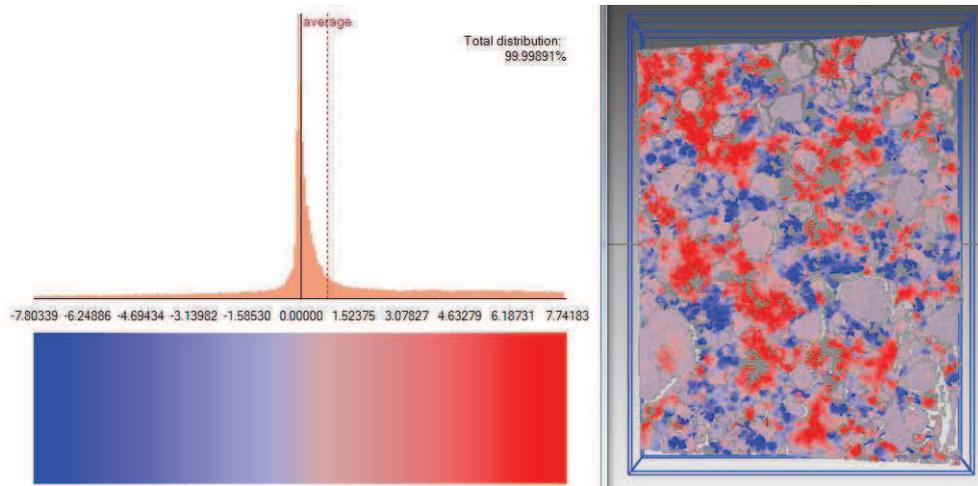


Fig. N° 20. Escaneo láser para el suelo B después de labrar.

Distancia máxima	Distancia mínima	Distancia media	Desviación estándar
7.74183	-7.80339	0.76436	2.92722

Tabla N° 17. Distancias (mm) y desviación para el suelo B después de labrar.

Suelo "R" sometido a un viento natural de $5.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ antes de labrar.

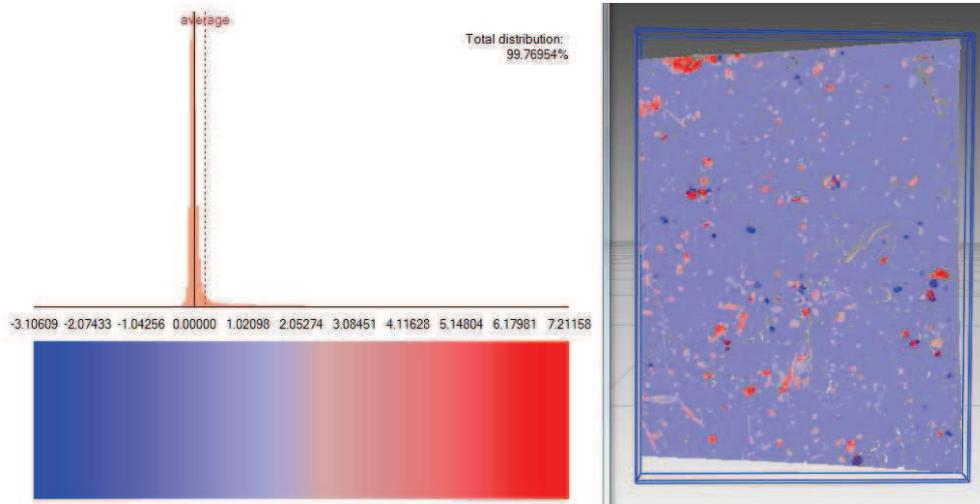


Fig. Nº 21. Escaneo láser para el suelo R antes de labrar.

Distancia máxima	Distancia mínima	Distancia media	Desviación estándar
7.21158	-3.10609	0.19450	0.73565

Tabla Nº. 18. Distancias (mm) y desviación para el suelo R antes de labrar.

Suelo "R" sometido a un viento natural de $5.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ después de labrar.

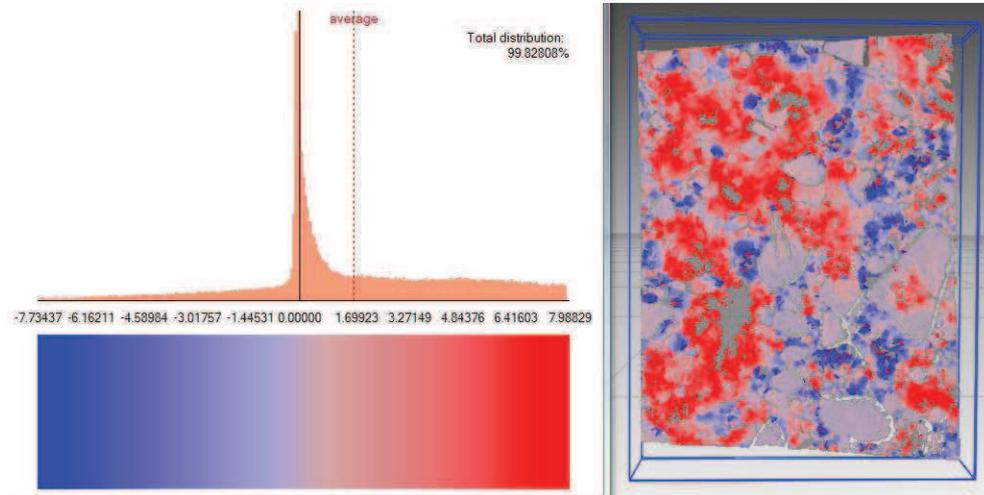


Fig. N° 22. Escaneo láser para el suelo R después de labrar.

Distancia máxima	Distancia mínima	Distancia media	Desviación estándar
7.98829	-7.73437	1.60400	3.18419

Tabla N° 19. Distancias (mm) y desviación para el suelo R después de labrar.

Suelo "RR" sometido a un viento natural de $3.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ antes de labrar.

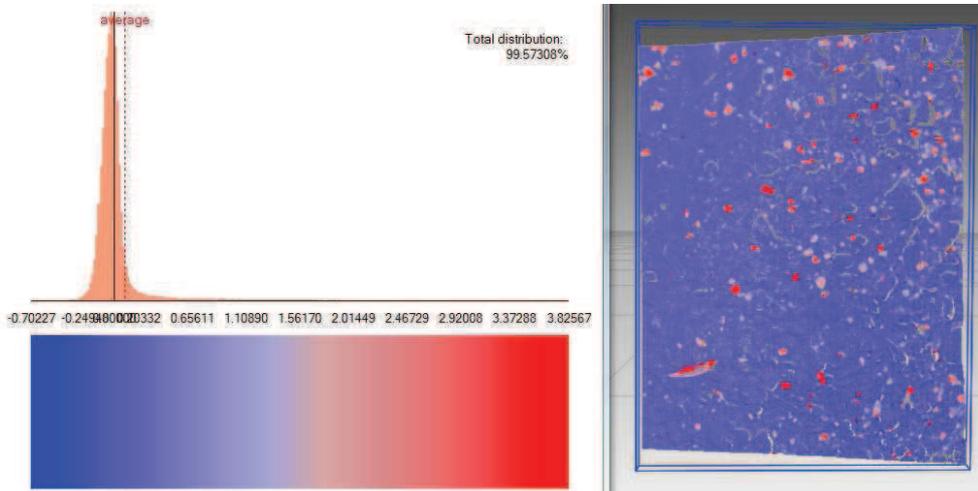


Fig. Nº 23. Escaneo láser para el suelo RR antes de labrar.

Distancia máxima	Distancia mínima	Distancia media	Desviación estándar
3.82567	-0.70227	0.08952	0.45674

Tabla Nº. 20. Distancias (mm) y desviación para el suelo RR antes de labrar.

Suelo "RR" sometido a un viento natural de $3.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ después de labrar.

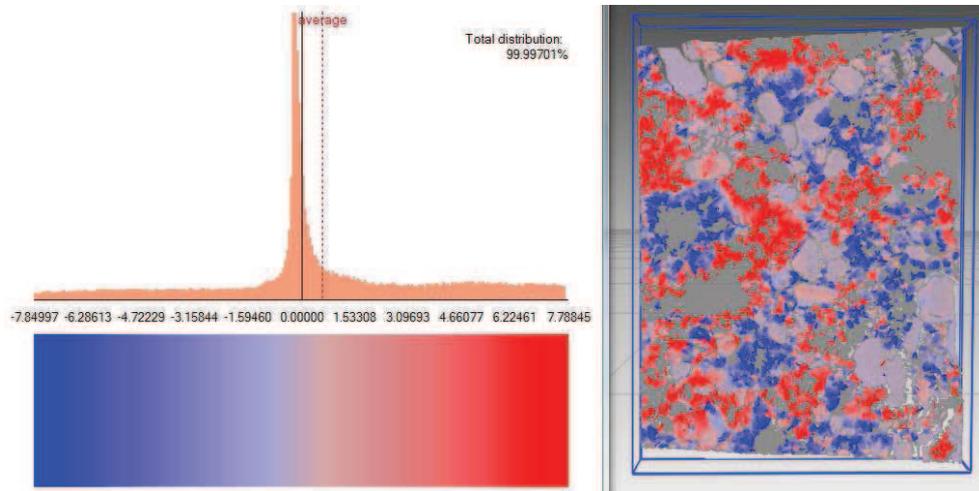


Fig. N° 24. Escaneo láser para el suelo RR después de labrar.

Distancia máxima	Distancia mínima	Distancia media	Desviación estándar
7.78845	-7.84997	0.60776	3.46008

Tabla N°. 21. Distancias (mm) y desviación para el suelo RR después de labrar.

Les corresponden unas pérdidas erosivas de material del suelo de:

B: Pérdida láser-scan \rightarrow 0.25 mm

$$\checkmark \text{ Densidad aparente } \rightarrow 1.40 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$0.25 \text{ mm}^3 \cdot \text{mm}^{-2} = 0.25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} = 2.5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$2.5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \times 1.40 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3} = \mathbf{3.5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}}$$

(en un episodio de viento natural de $2.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ tras labranza).

R: Pérdida láser-scan \rightarrow 1.41 mm

$$\checkmark \text{ Densidad aparente } \rightarrow 1.35 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$1.41 \text{ mm}^3 \cdot \text{mm}^{-2} = 1.41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} = 14.1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$14.1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \times 1.35 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3} = \mathbf{19.0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}}$$

(en un episodio de viento natural de $5.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ tras labranza).

RR: Pérdida láser-scan \rightarrow 0.52 mm

$$\checkmark \text{ Densidad aparente } \rightarrow 1.22 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$0.52 \text{ mm}^3 \cdot \text{mm}^{-2} = 0.52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} = 5.2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$$

$$5.2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \times 1.22 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3} = \mathbf{6.3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}}$$

(en un episodio de viento natural de $3.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ tras labranza).

No obstante, habría que tener en cuenta las deposiciones junto al modelo de pérdida, con lo que el balance erosivo quedaría más suavizado.

Por otro lado, en los últimos 10 años, el máximo valor de velocidad media diaria del viento fue de $7.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($27,36 \text{ Km} \cdot \text{h}^{-1}$), valor que adoptamos como estándar de aplicación con el túnel de viento. El tiempo de exposición fue de 5 minutos, siguiendo los criterios de Quirantes (1989).

Mapas tridimensionales para erosión del suelo.

A continuación, se muestra la erosión eólica a partir de mapas tridimensionales de suelo generados con el Láser-Scan. (Tablas N°. 22 y 23).

	B	R	RR
Encostrado Previo (visión)			
Encostrado Soplado (visión)			
Labrado Previo (visión)			
Labrado Soplado (visión)			

Tabla N°. 22. Imágenes de los escaneos de los distintos tipos de suelo en visión real.

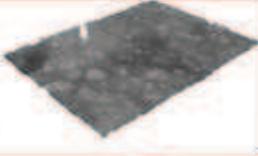
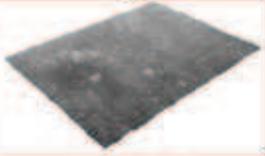
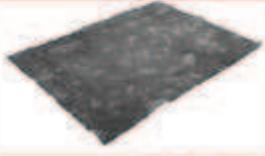
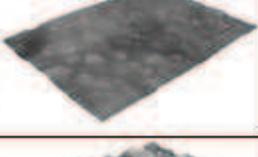
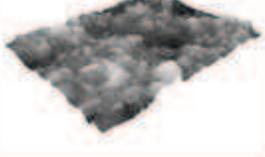
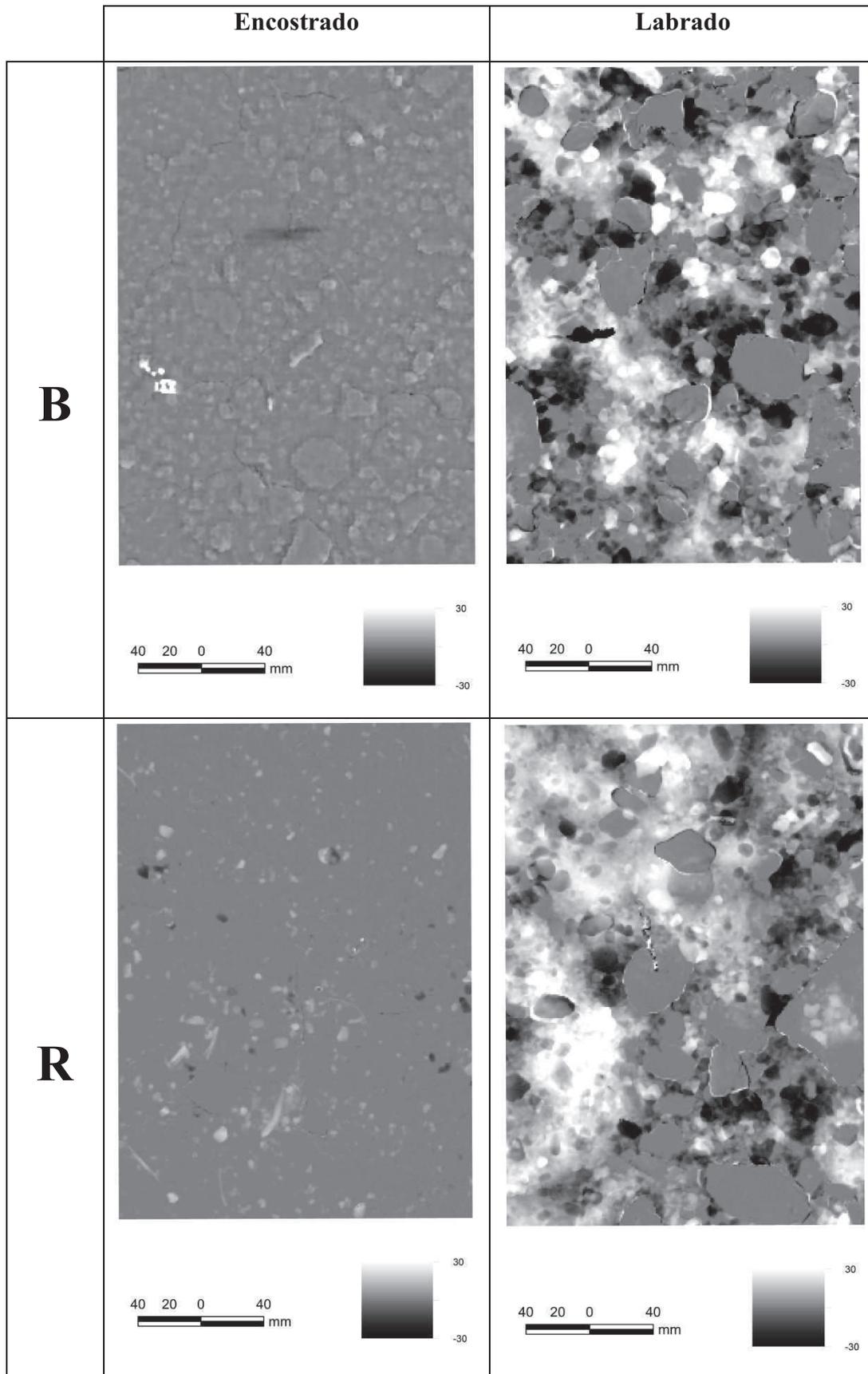
	B	R	RR
Encostrado Previo (MDT)			
Encostrado Soplado (MDT)			
Labrado previo (MDT)			
Labrado Soplado (MDT)			

Tabla N°. 23. Imágenes de los modelos digitales del terreno (MDT) antes y después del soplado.



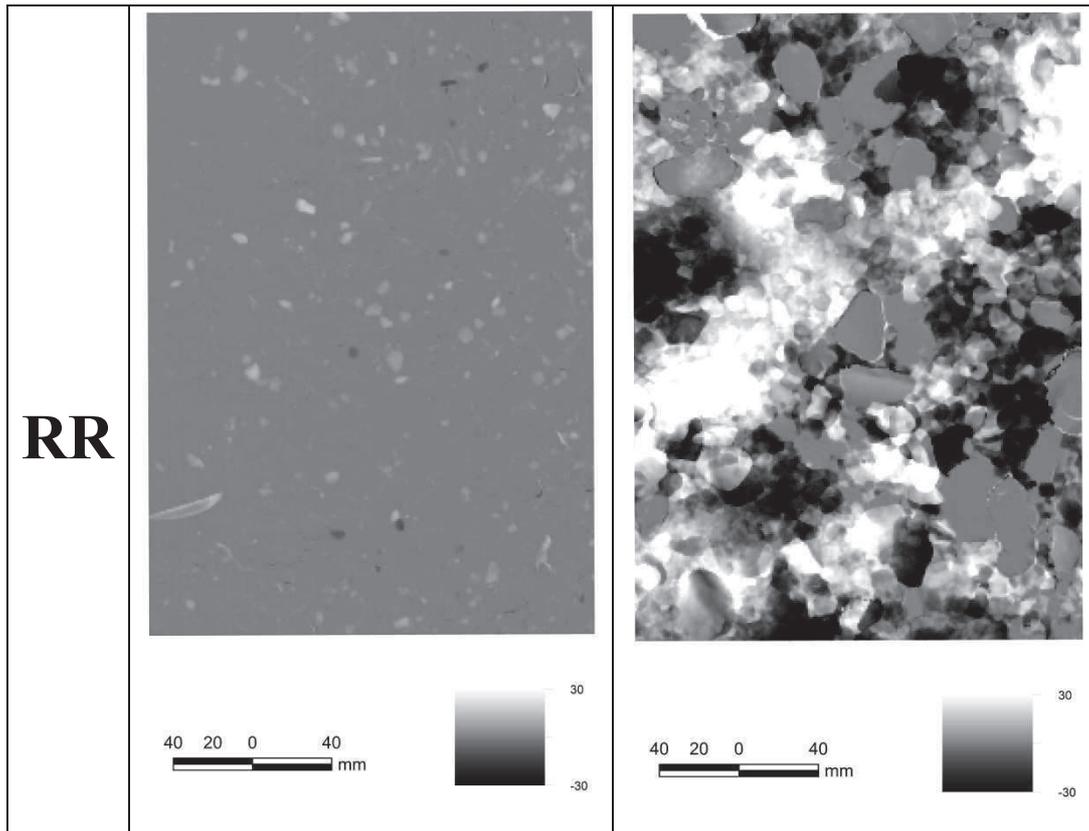


Tabla N°. 24. Mapas de la erosión por diferencia de los MDT antes y después del soplado.

Rugosidad de los distintos suelos

	EROSIÓN			RR
B	Encostrado	0,54	sin	2,6
			con	2,36
	Labrado	1,06	sin	7,81
			con	7,28
R	Encostrado	0,25	sin	3,54
			con	3,51
	Labrado	1,83	sin	7,47
			con	6,51
RR	Encostrado	0,09	sin	2,45
			con	2,43
	Labrado	1,39	sin	7,52
			con	6,18

Tabla N°. 25. Valores promediados de pérdida de suelo (mm) y rugosidad aleatoria en las distintas muestras.

Así, y teniendo sólo en cuenta el modelo de pérdida (no modelo de deposición), los resultados para las tres tipologías de suelos soplados, con igual intensidad de viento generada de forma artificial en el túnel, serán:

B: Pérdida láser-scan \rightarrow 0.52 mm

✓ Densidad aparente $\rightarrow 1.40 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$
 $0.52 \text{ mm}^3 \cdot \text{mm}^{-2} = 0.52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} = 5.2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$

$$5.2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \times 1.40 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3} = \mathbf{7.3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}}$$

(en un soplado con el túnel tras labranza)

R: Pérdida láser-scan \rightarrow 1.58 mm

✓ Densidad aparente $\rightarrow 1.35 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$
 $1.58 \text{ mm}^3 \cdot \text{mm}^{-2} = 1.58 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} = 15.8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$

$$15.8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \times 1.35 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3} = \mathbf{21.3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}}$$

(en un soplado con el túnel tras labranza)

RR: Pérdida láser-scan \rightarrow 1.30 mm

✓ Densidad aparente $\rightarrow 1.22 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$
 $1.30 \text{ mm}^3 \cdot \text{mm}^{-2} = 1.30 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} = 13.0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$

$$13.0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \times 1.22 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3} = \mathbf{15.9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}}$$

(en un soplado con el túnel tras labranza)

Resultados de la difracción de Rayos X

Las muestras, finamente molidas procedentes de los colectores, se introdujeron en el difractómetro de Rayos-X y, el análisis de los resultados, se realizó con el programa XRD para su posterior evaluación. Mostramos un ejemplo de cada tipología de suelos a diferentes alturas de muestreo, radiados con $\text{Cu}_{K\alpha}$ ($\lambda=1,54 \text{ \AA}$).

A continuación, a modo de resumen, se presentan tres difractogramas representativos del total de muestras recogidas en los colectores. (Fig. N°. 25, 26 y 27)

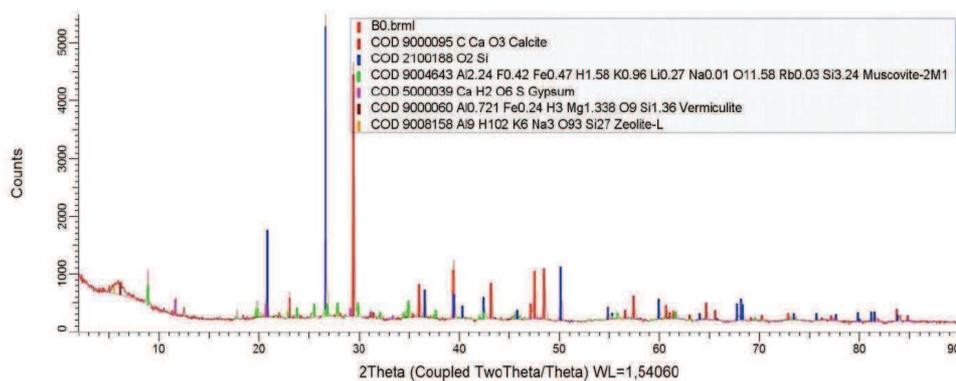


Fig. N° 25. Difractograma para el suelo B₀.

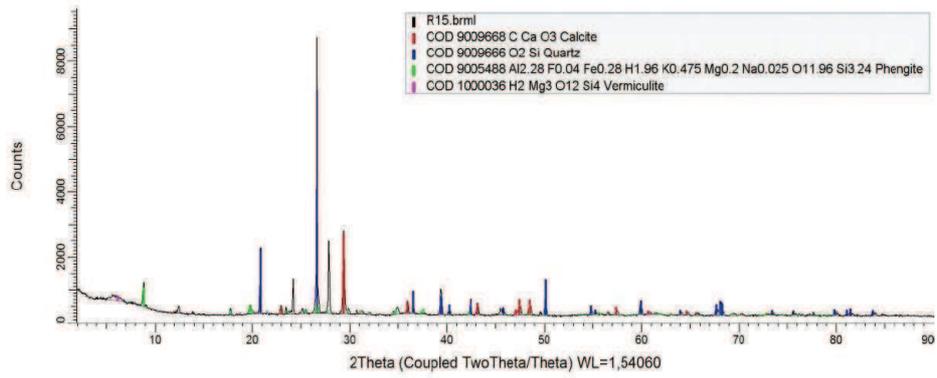


Fig. N° 26. Difractograma para el suelo R₁₅.

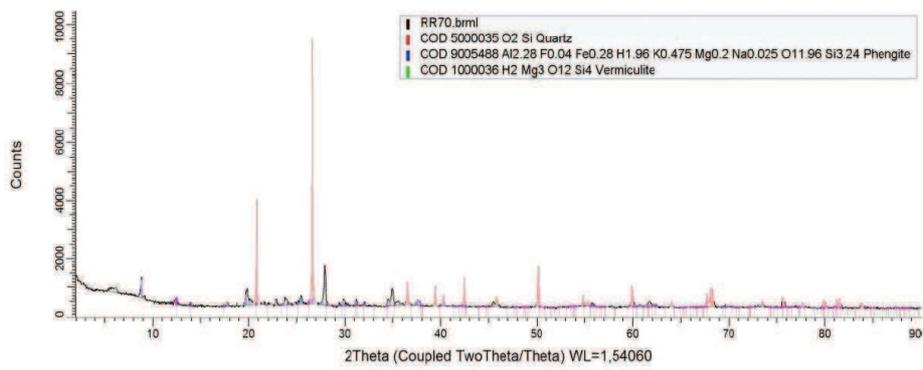


Fig. N° 27. Difractograma para el suelo RR₇₀.

4.2.2 Resultados cualitativos

Estudio de las partículas fijadas a las placas adhesivas.

En esta fase, hemos hecho un balance de las posibilidades del tratamiento de imágenes en el estudio de detalle de las partículas adheridas a las placas. Las técnicas de procesamiento de imágenes han sido usadas de manera intensiva y extensiva en multitud de aplicaciones en las que se requiere un análisis minucioso de las muestras, modificando las características de presentación visual del sujeto a analizar.

En una primera aproximación, para determinar las características y la aplicabilidad del montaje, se han capturado una serie de imágenes de muestras de referencia para demostrar la capacidad del sistema en los siguientes ámbitos:

- Estudios de colorimetría: estudio cuantitativo de color de las partículas adheridas, cambiando el modelo de color y usando la componente H del modelo HSV.
- Medición sobre imagen de partículas adheridas.
- Conteo de partículas.
- Análisis de rugosidad de partículas aisladas.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del estudio sobre las placas.

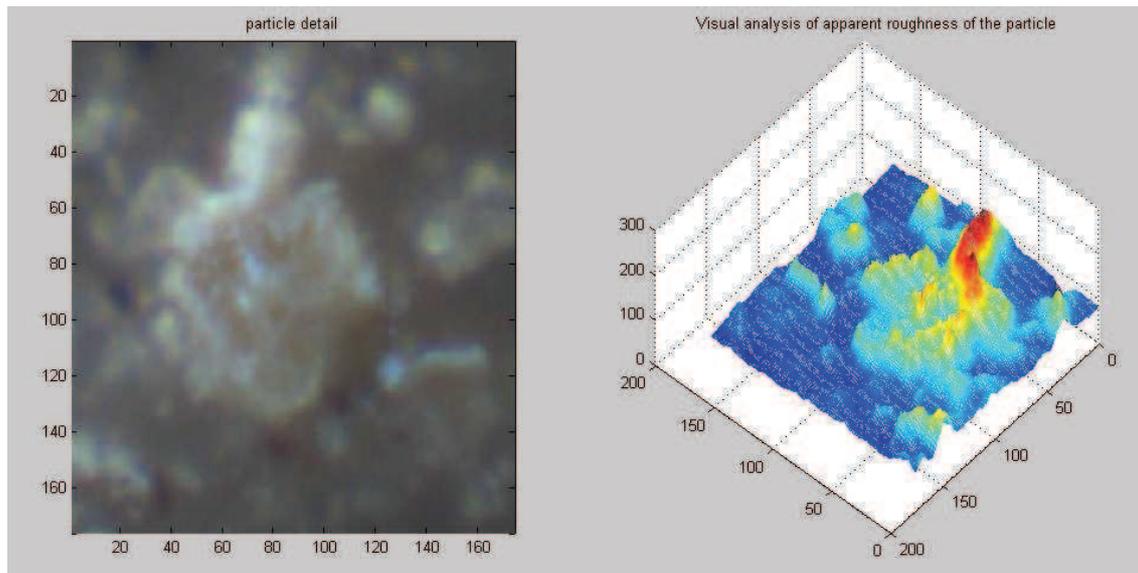


Fig. N° 28. Visualización de la “rugosidad química y morfológica” de la superficie de la partícula usando un método indirecto de coloración. (Asensio et al., 2013)

En la figura 28, se usa el canal verde del modelo RGB para poner de manifiesto detalles en su superficie. Este método permite localizar partículas de material en forma de agregados.

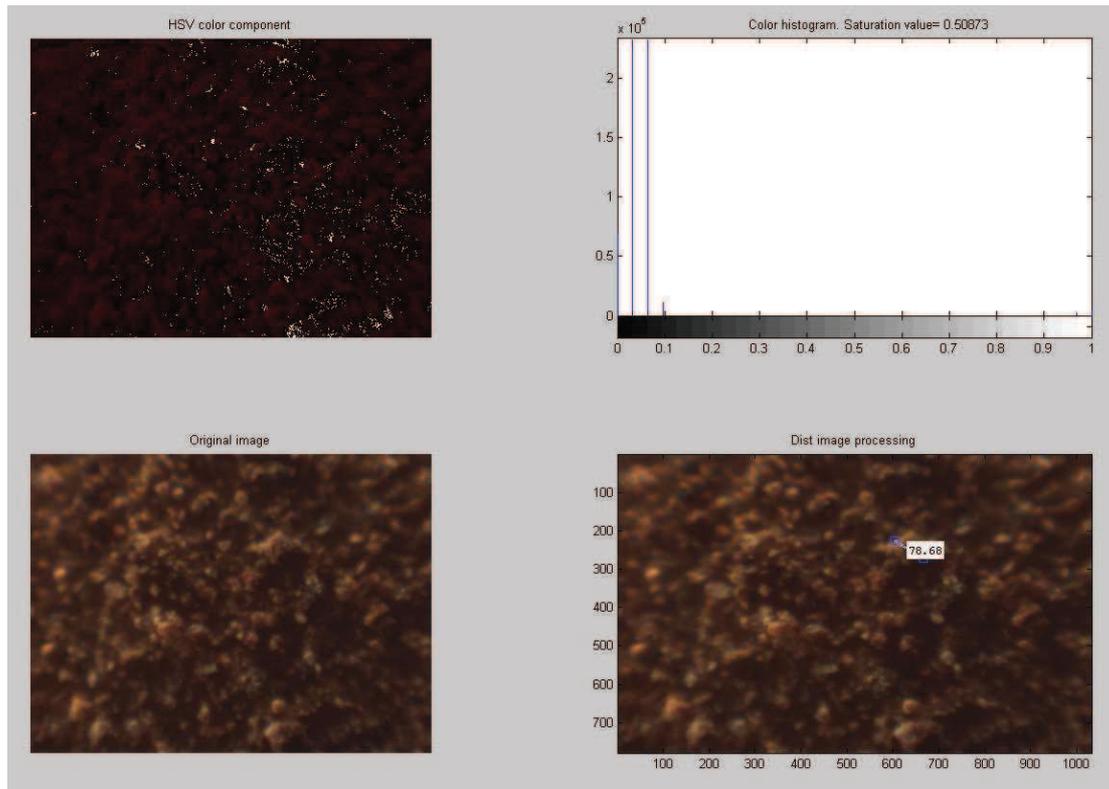


Fig. N° 29. Detalle de pre-procesamiento para una muestra de la placa intermedia.

En la figura 29, se aprecia una mayor densidad de partículas, una coloración muy marcada y un tipo de partícula de tamaño mayor a la figura anterior.

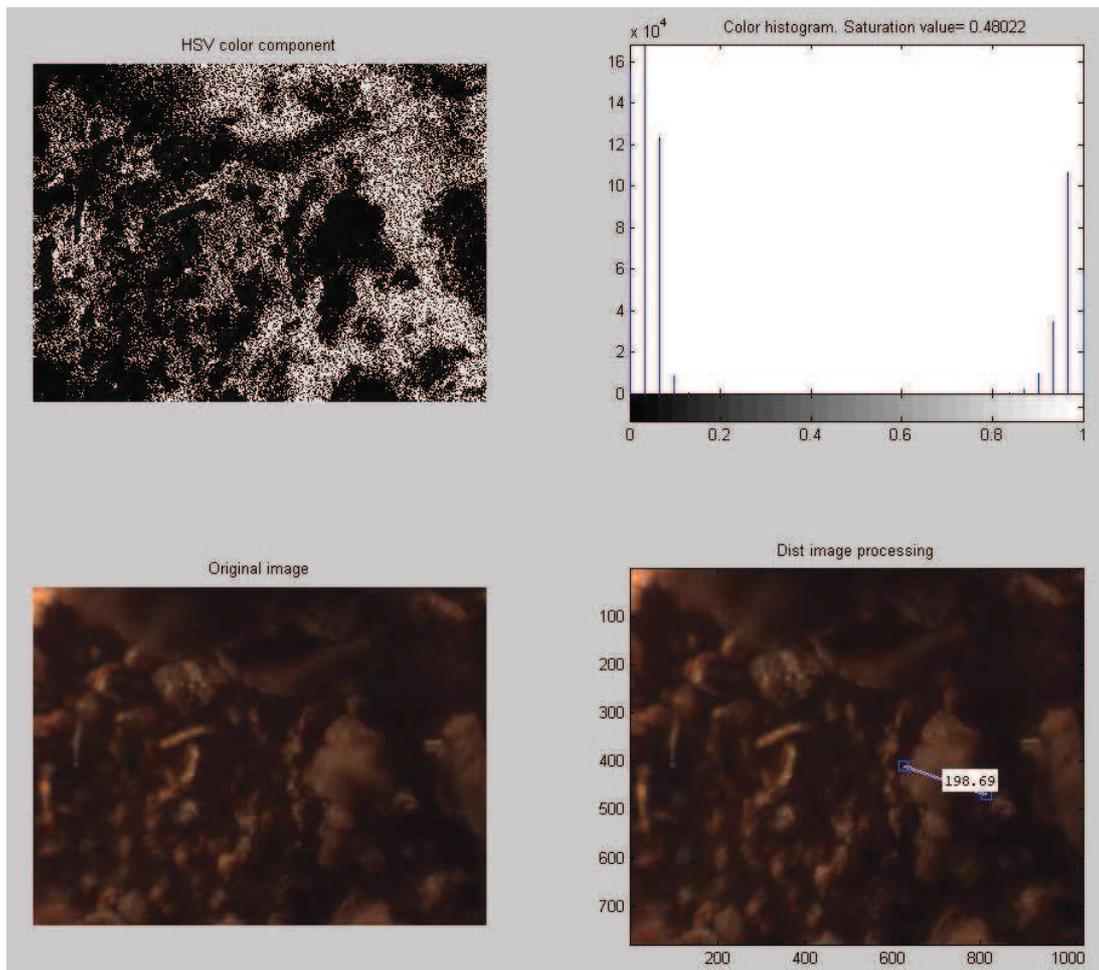


Fig. N° 30. Pre-procesamiento de una imagen de la muestra correspondiente a la placa más cercana al suelo.

En la figura 30, se aprecian partículas de mayor tamaño que en la figura anterior, residuos vegetales, así como, en el análisis de color, dos grupos de materiales con colorimetría distinta.

5. DISCUSIÓN

5. DISCUSIÓN.

5.1 ZONA, SUELOS, FACTORES FORMADORES Y TÚNEL DE VIENTO.

La importancia ambiental y agrícola del Desierto de Tabernas (Almería) es más que conocida tanto por la aridez, como por la presencia de una agricultura que ha sabido adaptarse a las exigentes y variables condiciones climáticas que el desierto impone.

En las zonas de olivares ecológicos es donde nos centramos y en sus suelos, donde predominan partículas muy interesantes. Desde el punto de vista del intercambio catiónico, por su carácter coloidal, se producen reducciones en la productividad debido a la pérdida de la capa más superficial y fértil del suelo.

Por otro lado, la sequía que afecta a estos suelos da lugar a estructuras muy disgregadas que no son capaces de formar agregados, por lo que la presencia de viento fuerte provoca elevadas pérdidas de suelo. Todo ello, redundará en un posible perjuicio de la producción agrícola que verá mermada su rentabilidad económica por la reducción del suelo, lo que incidirá en la posterior aportación de nutrientes de forma obligada.

Respecto a los factores formadores, la zona de estudio en la que nos situamos, presenta una geomorfología joven en la que abundan materiales blandos, donde predominan margas que contactan con evaporitas. Esta geología que afecta al relieve, ha sido moldeada a lo largo de los años por la presencia de lluvias torrenciales y eventuales. Tormentas que desplazan gran cantidad de sedimentos en muy poco tiempo y que dan lugar a cauces encajados entre elevados taludes, para finalmente terminar formando cárcavas que modelan el paisaje.

El relieve es acaravado sobre margas de yesos. Por otro lado, a lo largo de las cárcavas encontramos gran cantidad de materiales sedimentarios que han sido arrastrados por las lluvias. Sedimentos que sirven de hábitats para muchas especies tras su deposición. También encontramos zonas de montaña, que se corresponden con las estribaciones de las sierras colindantes.

El clima predominante en la zona se define como semi-árido mediterráneo, siendo la zona de estudio una de las más secas de Europa; esto lleva a que la tesela sea la comunidad vegetal más predominante y que caracteriza el paisaje. Abundan las plantas xerófilas y aquellas que gustan de

climas cálidos durante la mayor parte del año. Es decir, vemos una estepa con una enorme biodiversidad, que da lugar a gran cantidad de biomasa. Ésta es la vegetación natural de la zona en su conjunto, pero nuestra elección ha sido un olivar ecológico enclavado en una llanura donde la vegetación, anteriormente mencionada, circunda los olivos de la zona escogida, para llevar a cabo el estudio.

Respecto a los suelos escogidos y muestras representativas debemos indicar que, en la finca sobre la que se ha llevado a cabo el estudio, hemos elegido tres zonas de trabajo bien diferenciadas por la tonalidad que presentan los suelos. Son roja (RR), rosa (R) y blanca (B). Definimos estas a continuación:

Son suelos de la siguiente tipología: Calcisol gypsi-aridico (en adelante B), Cambisol hapli-calcárico (en adelante R) y Luvisol hapli-crómico (en adelante RR). Estos suelos son los más representativos de las tipologías presentes, según la evolución y formación del suelo.

Por otro lado, el simulador de viento (Túnel) diseñado cumple todos los objetivos que se han presentado en capítulos anteriores. El túnel se adapta perfectamente al esquema de la figura Nº. 4 (página 46)

En el prototipo propuesto, un ventilador genera una corriente de aire que entra en una estructura “tubular” desplegable, consiguiendo un flujo de aire similar al de una corriente natural por medio de una estructura intermedia en “panal de abeja”. Se monitoriza la velocidad generada como variable. La estructura, que es telescópica, se divide en 3 módulos y, se han colocado unas bisagras, que permiten transformarlo en un cubo de reducidas dimensiones al plegarlo. Para completar el conjunto telescópico, se ha diseñado un sistema que permite a las paredes adaptarse a esta estructura, utilizando patines que deslizan sobre un raíl.

El análisis de las muestras se realiza con 2 sensores electrónicos y elementos auxiliares de recogida:

1. Un Láser-Scan, que permite la generación de mapas tridimensionales del suelo, antes y después de ser erosionado.
2. Una Cámara de Visión Industrial, que capta imágenes de las partículas fijadas en una serie de placas con adhesivos, colocadas al final del Túnel.
3. Colectores de partículas movilizadas, con recepción a cuatro alturas diferentes (Modelo BSNE de Fryrear, modificado).

Respecto a la colocación de los sensores y las placas de recogida de muestras, no alteran el proceso erosivo natural.

Completan todo el sistema una serie de elementos imprescindibles para llevar a cabo el estudio, un ventilador y un regulador de frecuencia. También, un anemómetro e higrómetro para medir las variables climáticas in situ y, por último, un ordenador portátil conectado a estos dos últimos y al Láser-Scan. Gracias a todos ellos, se consigue simultaneidad en las medidas, no conseguida hasta hoy día.

5.2 RESULTADOS CUANTITATIVOS.

A través de los análisis de laboratorio con su estadística, imágenes derivadas del Láser-Scan y difractometría de Rayos X (mineralogía), podemos considerar lo siguiente:

Los resultados del análisis granulométrico para los suelos al aire libre, (Tabla N^o. 3) nos indican que para los tres tipos de suelos no se ha obtenido fracción de Arena Muy Gruesa, puesto que es la fracción de suelo que mayor tamaño presenta y, por lo tanto, más pesada y difícil de mover. También se puede observar que, en proporción a los otros dos suelos, el suelo R es el que más cantidad presenta de arena gruesa y media; por otro lado, el suelo B es el que menor cantidad presenta de las fracciones anteriormente mencionadas.

El suelo B es el que mayor cantidad presenta tanto de limo grueso como de limo fino y, el suelo RR, es el que tiene menor cantidad. Por último, cabe indicar que el suelo R es el menos arcilloso, siendo el B el que más cantidad de arcilla presenta.

Finalmente, cuando observamos la suma de arena muy fina, apreciamos que esta decrece desde el suelo B al RR, y justo lo contrario ocurre con el limo grueso. También observamos para la arcilla, que los tres tipos de suelos presentan valores medios altos.

Cuando hablamos del análisis granulométrico para las muestras recogidas en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura) (Tabla N^o. 4), podemos concluir que al igual que en el caso anterior, ninguno de las muestras presenta arena muy gruesa. Por otro lado, se observa como a ras de suelo es donde más cantidad de arena gruesa hay, para los tres tipos de suelos. Lógico, si pensamos que predomina el movimiento de reptación. También podemos ver como para las muestras B y RR, en las muestras B70 y RR70, es donde no hay arena gruesa, no siendo esto así para el suelo R, el cual presenta la menor

cantidad de arena gruesa en la muestra R40. Esta misma tendencia se manifiesta para la arena media.

Para la arena fina, se observa claramente para los tres tipos de muestras que, a medida que aumenta la altura, la cantidad de arena recogida disminuye, siendo los suelos B los que contienen menor cantidad de arena fina. Justo el proceso inverso ocurre para el limo grueso, siendo siempre el colector ubicado a 70 cm de altura el que mayor cantidad de este limo recoge.

En el limo fino, no se observa una tendencia lógica, pero se puede observar como para las muestras B, el colector a altura 0 cm, es el que mayor cantidad de limo recoge; mientras que para las muestras R, es el R40 el que mayor cantidad de limo presenta; y para las muestras RR, es el RR70 el que mayor cantidad de limo fino presenta.

Finalmente, en cuanto a la arcilla, se puede ver que para las muestras R y RR, a medida que aumenta la altura, la cantidad de arcilla recogida es mayor, resultado lógico si tenemos en cuenta su escaso tamaño y por tanto su desplazamiento por suspensión; mientras que para el suelo B, la mayor cantidad de arcilla se obtiene a 0 cm de altura y la menor cantidad a 15 cm de altura.

Como vemos, en las Tablas N° 5 y 6, las texturas predominantes en el total de las muestras son siempre francas, y gran parte de ellas franco-limosas, siendo solo tres muestras del total franco-arcillo-limosas. También en función del tipo de suelo, el suelo B es el que más cantidad de limo presenta independientemente de la altura del colector, seguido por el R y el más franco es el RR.

Respecto a la mineralogía para los suelos al aire libre, las Tablas N° 7 y 8 nos indican lo siguiente: la muestra B es la que mayor cantidad de calcita presenta, y el suelo RR no contiene calcita, justo lo contrario ocurre con el cuarzo. Sin embargo, para las micas, el suelo B es el que mayor cantidad contiene, y el R el que menos. Por último, yeso solo contiene el suelo B.

La mineralogía para las muestras recogidas en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura), según la tabla número 6, nos indica que, con respecto a la calcita y para las muestras B, donde más cantidad hay en el colector a 0 cm de altura y donde menos presencia de calcita hay es a 40 cm de altura, mientras que para las muestras R, donde más calcita aparece es a 70 cm de altura y donde menos a 15 cm de altura. El suelo RR no contiene nada de calcita en ninguna de sus muestras.

Para el cuarzo, se observa que, tanto para las muestras B y R, la mayor cantidad de cuarzo se presenta en los colectores ubicados a 15 cm de altura,

mientras que para las muestras RR, la mayor cantidad de cuarzo se ha encontrado a 40 cm de altura. Con respecto a las muestras RR, vemos que tienen gran cantidad de cuarzo, por encima del 75 % de cuarzo.

En cuanto a las micas, tampoco se ha observado ninguna tendencia destacable. Si bien, para las muestras B, los que mayor cantidad de micas presentan se encuentran en el colector a 40 cm de altura, y los que menor cantidad contienen se encuentran a 15 cm de altura. Para las muestras R, tanto a 0 como a 15 cm de altura, se observa la misma cantidad de micas y, a 70 cm de altura, es cuando menos cantidad de micas se obtiene. Por último, para las muestras RR, donde mayor cantidad de micas hay es en el colector ubicado a 70 cm de altura y, donde menos, en el de 40 cm de altura.

Para los yesos, tanto los suelos RR como R no contienen yeso y, para las muestras B, solo contienen yeso las recogidas a 0 y 70 cm de altura.

Para los resultados de N, P_2O_5 y K_2O en los suelos al aire libre (Tabla N° 9), en Nitrógeno, el suelo R es el que mayor cantidad presenta, y el que menos el B. Cabe indicar que el suelo R presenta un valor elevado de este componente. Para el P_2O_5 , el suelo que presenta más cantidad es el RR y el que menos el R, siendo valores muy bajos de este compuesto para todos los suelos. Finalmente, para el K_2O asimilable, el suelo que más contiene es el R y el que menos el RR.

En los resultados de N, P_2O_5 y K_2O , para las muestras recogidas en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura) (Tabla N° 10), el Nitrógeno, en las muestras B, donde mayor cantidad hay es en el colector ubicado a 15 cm de altura, y donde menos en el que se encuentra a 40 cm de altura. Para las muestras R, donde mayor cantidad hay es en el colector ubicado a 0 cm de altura, y donde menos en el que se encuentra a 70 cm de altura. Finalmente, para las muestras RR, donde mayor cantidad hay es en el colector ubicado a 40 cm de altura, y donde menos cantidad se observa es en el que se encuentra a 15 cm de altura. Para este elemento, se puede afirmar que las muestras RR presentan valores elevados y las R valores medios-altos, en cuanto a su contenido.

Para el P_2O_5 asimilable, en las muestras B, donde mayor cantidad hay es en el colector ubicado a 15 cm de altura, y donde menos en el que se encuentra a 0 cm de altura. Seguidamente, podemos observar para las muestras R, que todas las muestras presentan la misma cantidad del elemento en cuestión. Para las muestras RR, donde mayor cantidad hay es en el colector ubicado a 70 cm de altura, y donde menos cantidad se observa es en el que se encuentra a 40 cm de altura. Siendo para todas las muestras valores muy bajos de P_2O_5 asimilable, suponiendo la misma cantidad en las dos primeras alturas

respecto a las dos más altas (12 mg/100 mg). Es muy destacable el escaso contenido en P_2O_5 , tanto en el análisis previo como en el posterior a la utilización del túnel. Podría comprenderse que este elemento se encuentra asociado a la materia orgánica formando una molécula compleja de mayor tamaño, pero también puede estar precipitado como mineral apatito [$Ca_3(PO_4)_2$].

Para finalizar, el K_2O asimilable, en las muestras B, donde mayor cantidad hay es en el colector ubicado a 15 cm de altura, y donde menos en el que se encuentra a 0 cm de altura. Seguidamente, podemos observar para las muestras R, que a medida que aumenta la altura del colector, la cantidad recolectada de este compuesto es mayor y, además, la concentración de este componente en las muestras es baja. Para las muestras RR, donde mayor cantidad hay es en el colector ubicado a 15 cm de altura, y donde menos cantidad se observa es en el que se encuentra a 70 cm de altura.

En los resultados de % C.O, % CO_3^- y pF en los suelos (Tabla N° 11), el % de C.O. del suelo RR es el mayor, mientras que el que menos cantidad tiene es el B. Para el CO_3^- , el suelo B es el que mayor cantidad presenta, mientras que el que menos cantidad tiene es el suelo RR. Finalmente, para el pF, a una presión de 33 kPa, el suelo B es el que mayor cantidad de agua es capaz de retener, y el RR es el que menos cantidad de agua retiene. Exactamente lo mismo ocurre para una presión de 1500 kPa (Punto de Marchitez Permanente).

Para los Resultados de % C.O, % CO_3^- y pF en las muestras recogidas en los colectores (a 0, 15, 40 y 70 cm de altura) (Tabla N°12), en el % de C.O., para las muestras B, el colector que mayor cantidad contiene es el ubicado a 15 cm de altura, y el que menos cantidad presenta es el situado a 40 cm de altura. Para las muestras R, el colector que mayor cantidad contiene es el ubicado a 40 cm de altura, y el que menos cantidad presenta es el situado a nivel de suelo. Finalmente, para las muestras RR, se observa que a medida que aumenta la distancia al suelo de los colectores, la cantidad de C.O. recogida aumenta. Lógico, teniendo en cuenta lo liviano de los agregados de materia orgánica.

En el % CO_3^- , para las muestras B, el colector que mayor cantidad contiene es el ubicado a ras de suelo, y el que menos cantidad presenta es el situado a 15 cm de altura. Para las muestras R, el colector que mayor cantidad contiene es el ubicado a 40 cm del suelo, y el que menos cantidad presenta es el situado a 15 cm de altura. Por último, para las muestras RR, se mantiene la trayectoria indicada anteriormente en el sentido de ser muy escasa su presencia.

Respecto al pH (Tabla N° 13), se observa que el suelo B, es el que presenta un valor más neutro, mientras que el suelo R, es el que presenta un valor más básico.

Para la densidad aparente, el suelo RR es el que más baja densidad presenta, siendo el que mayor densidad tiene el suelo B. Siempre dentro de valores normales en todos los casos.

El suelo que mayor conductividad tiene es el B, siendo el que menor conductividad tiene el R.

Por último, con respecto al agua útil, el suelo RR es el que presenta un valor más bajo, y el que presenta un valor más alto es el B.

Discusión del análisis estadístico de los datos.

Como era de esperar, los valores significativos están relacionados con parámetros texturales, fundamentalmente arena y limo grueso. Fracciones más finas no son significativas por su tendencia a la agregación.

El estudio estadístico (Fig. N° 18) se ha realizado para obtener una visión global de las relaciones existentes entre los datos analíticos obtenidos, el tipo de suelo de que se trate y el efecto de vientos forzados (túnel).

Así, se establece en primer lugar, un estudio de normalidad de los datos que ofrece valores válidos para todos, salvo el caso del yeso que lógicamente sucede al estar sólo presente de forma mayoritaria en el Calcisol.

Posteriormente, se planteó realizar un análisis de la varianza de una vía (túnel) y de dos vías, entendiéndose por tales la combinación de muestras sometidas al túnel junto con las que no lo habían sido. Dada la falta de homogeneidad y el número de medidas repetidas en una misma unidad experimental, se concluyó que no hay independencia entre las observaciones, por lo que se optó por realizar un análisis ANOVA con medidas repetidas, en el que se utilizaría como factor intra-sujetos el túnel y como factor inter-sujetos el tipo de suelos.

Como resultado, obtuvimos diferencias significativas una vez asumida la esfericidad en el efecto túnel, para arena muy fina y limo grueso, de acuerdo con el método de Huynh-Feldt. (Tabla N° 14).

Cuando se tiene en cuenta el efecto del tipo de suelo, aparecen además de las anteriores, diferencias significativas en los macronutrientes (C.O., N, P₂O₅ y K₂O), así como en los contenidos en cuarzo y micas.

Si nos centramos en el test de Friedman (Tabla N° 15), vemos diferencias significativas frente al efecto túnel, en arenas y limo grueso, que lógicamente son refrendadas por esas mismas diferencias en la fracción UNIFIED.

Resultados del Láser-Scan

Suelo "B" sometido a un viento natural de 2.8 m·s⁻¹ antes de labrar.

Como se observa en la (Fig. N°. 19), la pérdida de suelo no ha sido muy notoria, encontrando solo pequeñas zonas muy dispersas en las que se ha arrastrado material. Por lo tanto, en este escaneo, se ha obtenido una distancia máxima que corresponde al arrastre de material de 3,6 mm, mientras que en otras zonas, el material arrastrado previamente, ha sido depositado obteniendo así distancias de 1,5 mm. Finalmente, la distancia media de arrastre, y posterior deposición, ha sido de 0,5 mm.

Suelo "B" sometido a un viento natural de 2.8 m·s⁻¹ después de labrar.

En la (Fig. N°. 20), ya se puede observar que la pérdida de suelo ha sido muy abundante, obteniendo grandes zonas (en rojo en el escaneo) en las que ha desaparecido material. Este material, posteriormente ha sido depositado en zonas muy diseminadas (en azul en el escaneo). Además, se puede observar, que las zonas de deposición del material arrastrado son adyacentes a las zonas en las que ha disminuido la capa de suelo.

Con respecto al suelo antes de labrar, se observa cómo, tanto las distancias máximas como las mínimas, han aumentado ostensiblemente, aumentando en más de 4 mm, lo que indica la elevada movilidad del suelo que se ha producido. Se ha obtenido una distancia media de 0,76 mm, por lo tanto la diferencia entre el suelo antes y después de labrar ha sido de 0,25 mm.

Suelo "R" sometido a un viento natural de $5.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ antes de labrar.

En este suelo (Fig. N°. 21), se observa como se ha desplazado material de zonas muy diseminadas a lo largo del escaneo. Estas zonas no han sido muy grandes, por lo que las deposiciones posteriores tampoco lo han sido. Si bien la distancia máxima ha sido elevada, siendo ésta 7,2 mm y la mínima 3,10 mm, pero como las zonas erosionadas no han sido muy abundantes y, además han estado muy diseminadas, se ha obtenido una distancia media bastante reducida. Esta es 0,19 mm.

Suelo "R" sometido a un viento natural de $5.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ después de labrar.

En este escaneo (Fig. N°. 22), se observan claramente grandes zonas "rojas" que indican que se ha perdido gran cantidad de suelo. Además, estas zonas están dispersas a lo largo de toda la zona de escaneo. Como consecuencia de esto, también se han obtenido grandes zonas "azules" limítrofes a las zonas anteriores, sobre las que se ha depositado material. Este fenómeno, queda corroborado, por las elevadas distancias máximas y mínimas obtenidas, siendo éstas 7,99 y 7,73 mm, respectivamente. La distancia media obtenida ha sido de 1,60 mm.

Suelo "RR" sometido a un viento natural de $3.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ antes de labrar.

En este suelo (Fig. N°. 23), observamos como se ha desplazado material de zonas muy dispersas a lo largo del escaneo. Estas zonas, no han sido muy grandes, por lo que las deposiciones posteriores tampoco son elevadas. La distancia máxima no ha sido elevada, siendo ésta 3,82 mm y la mínima 0,70 mm y, como las zonas erosionadas no han sido muy abundantes y, además han estado muy diseminadas, se ha obtenido una distancia media bastante reducida. Esta es 0,09 mm.

Suelo "RR" sometido a un viento natural de $3.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ después de labrar.

Para este escaneo (Fig. N°. 24), se observan claramente grandes zonas "rojas" que indican que se ha perdido gran cantidad de suelo. Zonas que están dispersas a lo largo de toda la zona de escaneo. Por ello, también se han obtenido grandes zonas "azules", anexas a las zonas anteriores, sobre las que se ha depositado material. Este hecho da lugar a elevadas distancias máximas y mínimas, siendo éstas 7,78 y 7,84 mm, respectivamente. La distancia media obtenida ha sido de 0,60 mm.

Comparativa entre los distintos suelos escaneados.

Suelo "B" frente a suelo "R".

Ambos suelos presentan elevada erosión en el suelo y las diferencias, antes y después del labrado, son notables. Pero se puede apreciar que, el suelo R con respecto al B, presenta zonas erosionadas más grandes y concentradas, mientras que para el suelo B, las zonas erosionadas son más pequeñas y la deposición del material está algo más diseminada, puesto que la movilidad del suelo ha sido más elevada.

Suelo "B" frente a suelo "RR".

Observamos que el proceso erosivo que ha sufrido el suelo "RR", frente al "B", ha sido más acentuado, queda corroborado en las diferencias que presentan ambos suelos en sus escaneos antes y después de labrar.

Suelo "R" frente a suelo "RR".

No han sido muy grandes las diferencias erosivas entre estos dos suelos, de hecho tanto la distancia máxima como la mínima han estado muy próximas entre sí, si comparamos los datos de ambos suelos. El suelo "R" ha sufrido un poco más de erosión, hecho que queda corroborado en que su distancia media es un punto superior a la del suelo "RR".

Mapas tridimensionales para la erosión del suelo, aplicando viento con túnel.

Nuestros resultados muestran una gran variabilidad en la erosión eólica entre tipos de suelo y tratamientos. Los suelos no encostrados presentaron las mayores tasas de erosión eólica, con valores comprendidos entre 1.06 y 1.83 mm. Mientras que los suelos encostrados presentaron valores más bajos de erosión en todos los casos (Tablas N° 22, 23 y 24).

Además, los valores de erosión eólica fueron muy diferentes según el tipo de suelo. Así, podemos observar como los mayores valores de erosión eólica sobre superficie encostrada se observaron en el suelo B (0.54 mm), caracterizado por tratarse de un Calcisol arídi-gípsico (WRB, 2007), seguido del suelo R (0.25 mm), Cambisol calcari-háplico (WRB, 2007).

El suelo RR, Luvisol cromi-háplico (WRB, 2007), presentó valores mucho más reducidos de erosión eólica (0.09 mm). Las superficies sin costra física, presentaron un patrón diferente. Así, podemos observar los valores más elevados de erosión eólica en el suelo R (1.83 mm), seguidos del suelo RR (1.39 mm). Mientras que los menores valores se observaron en el suelo B (1.06 mm).

Rugosidad de los distintos suelos.

La rugosidad aleatoria de los suelos encostrados fue menor que la rugosidad de los suelos sin costra física (Tabla. N° 25), aunque se observaron diferencias según el tipo de suelo. Así, podemos ver como el suelo encostrado con mayor rugosidad fue el suelo R (3.54), seguido del suelo B (2.60), mientras que el suelo RR presentó los valores más bajos (2.45). Los suelos labrados presentaron un patrón diferente. Podemos ver cómo el suelo más rugoso fue el suelo B (7.81), seguido del suelo RR (7.52), mientras que el suelo R presentó los valores más bajos (7.47).

Estos valores de rugosidad se vieron reducidos tras la exposición a un evento de viento, especialmente en los suelos labrados. En estos suelos se observó una disminución importante de RR, sobre todo en los suelos RR (1.34) y R (0.96), mientras que en el suelo B el valor fue algo menor (0.53).

En los suelos encostrados casi no cambió la rugosidad después de simular un evento de viento, salvo en el suelo B donde se vio una pequeña disminución de (0.24).

5.3 RESULTADOS CUALITATIVOS.

En el estudio de las partículas fijadas a las placas adhesivas, se comprueba el movimiento de material del suelo por efecto del viento, tanto en forma de partículas individuales como en pequeños agregados.

En este estudio preliminar, nos limitamos a ver la densidad de partículas y la morfología de las mismas, así como la presencia de pequeños restos vegetales en los distintos tipos de suelos ensayados. Observamos una mayor agregación en el suelo RR y menos acumulación de residuos vegetales en el suelo B.

La mayor densidad de partículas fijadas a las placas adhesivas, se da en el suelo R, tratándose fundamentalmente de granos minerales con una configuración claramente angular.

Esto puede tener una importante incidencia en el efecto de ruptura y creación de daños en los tejidos por parte de partículas que inciden sobre la

vegetación al ser transportadas por el viento, y que puede conducir al desarrollo de enfermedades a partir de las heridas tisulares originadas, con la consecuente pérdida de productividad.

6. CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES.

1.- En las zona de olivares ecológicos del Desierto de Tabernas (Almería) se producen mermas en la productividad debido a la pérdida de materiales de la capa superficial del suelo, por efecto del viento. Esta pérdida se debe en gran medida a la fuerte sequía que afecta a los suelos. Como consecuencia, se produce una reducción de la rentabilidad económica, requiriéndose aportación de nutrientes de forma obligada.

2.- En relación a los suelos escogidos en las tres zonas de la finca elegida, podemos decir que pertenecen a las siguientes tipologías, de acuerdo con WRB (2007):

- B: Calcisol gypsi-árido.
- R: Cambisol hapli-calcárico.
- RR: Luvisol hapli-crómico.

Son los suelos más representativos de las tipologías presentes, según la evolución y formación del suelo.

3.- Al utilizar el túnel de viento, se ha conseguido generar un flujo de aire monitorizado y muy similar al de una corriente de aire natural. En él, la velocidad del viento es la variable independiente con la que trabajamos. Los sensores y elementos auxiliares del túnel no alteran el proceso erosivo natural y, además, permiten simultaneidad en todas las medidas, hecho no conseguido hasta hoy.

4.- Tras los análisis de laboratorio y el posterior análisis estadístico de datos, se puede concluir que sólo se han obtenido valores significativos en los parámetros texturales, fundamentalmente arena y limo grueso. Fracciones más finas no son significativas por su tendencia a la agregación. Cuando se tiene en cuenta el efecto del tipo de suelo, aparecen diferencias significativas en los macronutrientes (C.O., N, P₂O₅ y K₂O), así como en el contenido de cuarzo y micas.

5.- Los resultados del Láser-scan muestran que, el suelo R, con respecto al B, presenta zonas erosionadas más grandes y concentradas, mientras que para el suelo B, la deposición del material está algo más diseminada debido a que la movilidad del suelo ha sido más elevada. Por otro lado, cuando confrontamos el suelo B con el RR, se concluye que el proceso erosivo que ha sufrido el primero frente al segundo ha sido más acentuado. Por último, comparando el suelo R con el RR, se observa que no hay diferencias erosivas muy grandes entre ambos suelos.

6.- Los mapas tridimensionales para la erosión del suelo, generados con el túnel de viento, han puesto de manifiesto que los suelos no encostrados presentan las mayores tasas de erosión eólica. Los suelos encostrados presentan valores más bajos de erosión en todos los casos. Los mayores valores de erosión eólica sobre superficie encostrada se dan en el suelo B y los menores en el RR. Por otro lado, la superficie sin costra física presenta un patrón muy diferente, dándose las mayores tasas de erosión en el suelo R y las menores en el B.

7.- Tras el estudio de las placas adhesivas, podemos concluir que el viento mueve tanto partículas individuales como pequeños agregados, observando también restos vegetales adheridos a las placas. Hay una mayor agregación en el suelo RR y menor acumulación de restos vegetales en el B.

La mayor densidad de partículas fijadas a las placas adhesivas se dan en el suelo R, encontrando sobre todo granos minerales con una configuración muy angulosa. Estos granos son arrastrados por el viento y, posteriormente, inciden sobre las plantas, provocándole heridas tisulares a partir de las cuales se pueden desarrollar multitud de enfermedades, con la consecuente pérdida de productividad.

7. BIBLIOGRAFÍA

7. BIBLIOGRAFÍA

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

ALLISON, L. (1973). Oversaturation. Method for preparing saturation extract for salinity appraisal. *Soil Sci.* 116. p. 65-69.

ALLMARAS, R. R., BURWELL, R. E., LARSON, W. E., y HOLT, R. F., (1966). Total porosity and random roughness of the interrow zone as influenced by tillage. *USDA Conservation Research Report*, 7. 22 pp.

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

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

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

CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; DE VENTE J.; BOIX-FAYOS, C.; CALVO-CASES, A.; ASENSIO, C.; y PUIGDEFÁBREGAS, J. (2011). "A review of runoff and soil erosion across scales in semiarid south-eastern Spain". *Journal of Arid Environments* 75(2011) 1254-1261.

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

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

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

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

DAVID PIMENTEL, C. HARVEY, P. RESOSUDARMO, K. SINCLAIR, D. KURZ, M. MCNAIR, S. CRIST, L. SHPRITZ, L. FITTON, R. SAFFOURI, R. BLAIR. (1995). Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. Science.

F.A.O. (1995, 2003). "The Digitized Soil Map of the World and Derived Soil Properties.(version 3.5)". FAO Land and Water Digital Media Series 1. FAO, Rome.

F.A.O. (2007). "Base referencial mundial del recurso suelo", FAO, Rome, 95 p.

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

FISTER, W., ISERLOH, T., RIES, J.B. & SCHMIDT, R.-G. (2009). A portable wind and rainfall simulator for in situ soil erosion measurements. Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-10566, 2009. EGU General Assembly 2009.

FREDERICK. R. TROEH ET AL. (1980). Soil and Water Conservation for Production and Environmental Protection. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

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

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

GILLETTE, D. A. (1978). Tests with a portable wind tunnel for determining wind erosion threshold velocities. Atmospheric Environment 12:2309-2313.

HENIN, S.; GRAS, S. Y MONNIER, G. (1972).- "El perfil cultural". Ed. Mundi-Prensa. 341pp. Madrid.

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

KIRKBY, M.J. Y R.P.C. MORGAN. (1984). Erosión del suelo. John Wiley & **LIU, J., et al.** (2011). Effects of carbon dioxide enrichment and nitrogen addition on inorganic carbon leaching in subtropical model forest ecosystems. *Ecosystems* 14: 683-697.

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

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

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

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

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

LÓPEZ BERMUDEZ, F. y ALBALADEJO, J. (1990). "Degradación y regeneración del suelo en condiciones ambientales mediterráneas". Albaladejo, Stoching y Días (eds). C.S.I.C. (235).

LÓPEZ, M.V., GRACIA, R., ARRÚE, J.L. (2000). Effects of reduced tillage on soil surface properties affecting wind erosion in semiarid fallow lands of Central Aragón. *European Journal of Agronomy*, 12: 191-199.

LOZANO, F. J.; GIMÉNEZ, A.; ASENSIO, C.; PÉREZ, J.C. (2012). Túnel de Viento para el Estudio de la Erosión Eólica. Patente P201201028. OEPM.

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

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

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

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

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

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

PUGNAIRE, F.I., LUQUE, M., ARMAS, C. Y GUTIÉRREZ, L. (2004b). Factors affecting secondary succession in a semi-arid Mediterranean shrubland. *Journal of Ecology* (en prensa).

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

QUIRANTES, J., CUADROS, S. & FRANEIA, J.R. (1989). Simulador eólico portable para estudios cualitativos de erosión eólica. *Congreso forestal español*, 1993

RALPH BAGNOLD. (1941). *La física de la arena soplada y las dunas del desierto.* Ciencia Ergo Sum. México.

SHARMA K, UTTAM KUMAR MANDAL, SRINIVAS K, VITTAL K, BISWAPATI MANDAL, KUSUMA GRACE J, RAMESH V. (2005). Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol. *Soil Till. Res.*, 83:246-259

VAN DEN BIGGELAAR AH, LOPUHAA C, VAN REE R, VAN DER ZEE JS, JANS J, HOEK A, MIGOMBET B, BORRMANN S, LUCKNER D, KREMSNER PG, 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*, N° 1. Pag 153 168.

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

WEIJERMARS. R., ROEP. TH. B., VAN DEN EECKHOU. B., POSTMA G. AND KLCVERLAAN K. (1985). Uplift history of a Betic fold nappe inferred from Neogene-Quaternary sedimentation and tectonics (in the Sierra Alhamilla and Almeria. Sorbas and Tabernas Basins of the Betic Cordilleras, SE Spain). *Geol en Mijnhov.* 64, 397-411.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS QUE NO APARECEN EN EL TEXTO.

AGUILAR, J.; FERNANDEZ, J.; RODRIGUEZ, T.; SANCHEZ, J.A. Y FERNANDEZ, E. (1990). "Mapa de suelos de las hojas 1059 (El Cabo de Gata) y 1060 (El Pozo de Los Frailes)". E.1.100.000. Proyecto LUCDEME. Revisatlas. Madrid.

AGUILAR, J.; FERNANDEZ, J.; SANCHEZ, J.A.; DE HARO, S. Y FERNANDEZ, E. (1989). "Mapa de suelos de la hoja 1046 (Carboneras)". E.1:100.000. Proyecto LUCDEME. Revista-atlas. Madrid.

ANDRADE, M. (1995). "Revista de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo (SECS)". Volumen I. Dic. pp.:9-16.

B.O.E. (1989). Real Decreto 27 de octubre 1989, mm. 1317/1989 del M.O.P.U. (nº 264). Metrología. Unidades legales de medida. pp.: 7082-7090.

BLAZQUEZ RODRIGUEZ, R. ET AL. (1997). "Revista de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo (SECS)". Vol. II. Sept. pp.: 59-68.

BOIX-FAYOS, C.; MARTÍNEZ-MENA, M.; CALVO-CASES, A.; CASTILLO, V. y ALBALADEJO, J. (2005). "Concise review of interrill erosion studies in SE Spain (Alicante and Murcia): Erosion rates and progress of knowledge from the 1980s". Land Degradation & Development 16 (6), 517-528.

C. K. WENTWORTH. (1922). "A scale of grade and class terms for clastic sediments", J. Geology V. 30, 377-392.

COBERTERA LAGUNA, E. (1993). "Edafología aplicada". pp.:142-150.

CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE (1996). "Plan de Ordenación y Gestión de los Recursos Naturales y Plan Rector de Uso y Gestión del Parque". Junta de Andalucía. Sevilla.

COSTA VILAMAJO, J. (1993). "Hoja divulgadora M.A.P.A." Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. 40pp.

F.A.O. (1977). "Guía para la descripción de perfiles de suelos". pp.: 70. Roma. Italia.

FRYREAR, D.W. (1986). A field dust sampler. *J. Soil and Water Conserv.* 41: 117- 120.

GARCIA RASO, J. E. (1992). "Fauna y Flora marinas del Parque Natural de Cabo de Gata- Níjar". Junta de Andalucía. 288pp.

GARCIA ROSSELL, L. Y NAVARRO FLORES, A. (1997). "Recursos Naturales y Medio Ambiente en el Sureste Peninsular". Instituto de Estudios Almerienses. Ayuntamiento de Cuevas de Almanzora. 554 pp.

GAUCHER, G. (1971). *El suelo y sus características agronómicas*. Ed. Omega. Barcelona.

GILLETTE, D. A., J. ADAMS, D. MUHS AND R. KIHLE. (1982). Threshold friction velocities and rupture of moduli for crusted desert soils for input of soil particles into the air. *J. of Geophysical Res.* 87:9003-9015.

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

ICONA (1988). "Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo". Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 39 p.

INSTITUTO CARTOGRÁFICO DE ANDALUCÍA. (1995). "Parque Natural Cabo de Gata-Níjar. Mapa guía". Escala 1:50.000. 1995

JUNTA DE ANDALUCÍA. (2004). Modelo de elevación del terreno de Andalucía a 25m de resolución.

JUNTA DE ANDALUCÍA. (2008). Plan de Ordenación de Recursos Naturales: Parque Natural Cabo de Gata-Níjar a escala de detalle, 2008 (D. 37/2008). Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

LÓPEZ BERMÚDEZ, F y ALBALADEJO, J. (1989). Degradación de zonas áridas en el entorno mediterráneo. Monografías de la Dirección General de Medio Ambiente. M.O.P.U.

LOZANO, F. J. (1986). "Estudio edáfico del sector comprendido entre la Sierra de las Güájaras y el Río Albuñuelas. Balance de erosión hídrica". Tesis de Licenciatura, Universidad de Granada. 241p.

LOZANO, F. J.; ASENSIO, C. M.; ORTEGA, E. Y SIERRA, C. (1997). "Evaluación de la erosión hídrica en el Parque Natural Cabo de Gata-Níjar, Almería". Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo n° 2. pp.: 143-151.

LOZANO, F.J. (1992). "Estudio edáfico de la hoja de Baza (1994). Balance de Erosión y Degradación." Serv. De Publ. De la U. De Granada.

MARTINEZ VILLAR, E. ET AL. (1997).- "Revista de Edafología". Vol. II (3-1). Sep. pp.:153-159.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACION (1982). "Mapa de cultivos y aprovechamientos de la provincia de Almería". 1:200.000. Excm. Diputación de Almería.

MOREIRA, J.M. (1991). "Capacidad de uso y erosión de suelos. Una aproximación a la evaluación de tierras en Andalucía". Junta de Andalucía. A.M.A. Sevilla. 446p.

MOTA POVEDA, J.F; CUETO ROMERO, M; MENDOZA FERNÁNDEZ, A; GUIRADO ROMERO. J.S; MENDOZA CASTELLÓN, R.M.; MORENO LAMPREAVE, D. Y SCHWARZER, H. (2011). "Patrimonio vegetal de Cabo de Gata".

MOTA, J. F.; CABELLO, J.; GOMEZ, F. Y PEÑAS, J. (1997).- "Mapa de series de vegetación de la provincia de Almería". Instituto de Estudios Almerienses. Almería.

PEREZ PUJALTE, A. Y OYONARTE, C. (1989a). "Mapa de suelos de la hoja 1045 (Almería)". E. 1:100.000. Proyecto LUCDEME. Revisatlas. Madrid.

PEREZ PUJALTE, A. Y OYONARTE, C. (1989b). "Mapa de suelos de la hoja 1031 (Sorbas)". E. 1:100.000. Proyecto LUCDEME. Revisatlas. Madrid.

PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C. (1994). "Edafología para la agricultura y el medio ambiente". Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

SANCHEZ GARRIDO, J.A. (1992). "Las tierras de la hoja de Carboneras (1.046)". Tesis doctoral . Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada.

SOIL TAXONOMY (2007). Keys to soil Taxonomy:2007.

SOIL TAXONOMY (2011). Keys to Soil Taxonomy: 2010, 11th edition. Sons. Ltd., 286 p

XU, G., GHEN, M. AND WU, G. (1979). On an extraordinary heavy sandstorm on April 22nd in Gansu (in Chinese, English summary), *Acta Meteorologica Sinica*, **37**, 26-35.

DIRECCIONES WEB CONSULTADAS:

CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y MEDIO AMBIENTE.

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>

DEPÓSITO DE DOCUMENTOS FAO.

<http://www.fao.org/docrep/V0265S/V0265S00.htm>

PROYECTO LUCDEME.

<http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/lucha-contrala-desertificacion/proyecto-lucdeme/>.

UN CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION.

<http://www.unccd.int/en/programmes/Pages/home.aspx>

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE.

<http://www.md.nrcs.usda.gov/technical/agronomy/rusle.html>