



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA  
Facultad de Ciencias del Mar

**TESIS DOCTORAL**

**ESTUDIO DETALLADO DE LA DUNA COSTERA DE MASPALOMAS  
(GRAN CANARIA, ISLAS CANARIAS): INTERACCIÓN *TRAGANUM  
MOQUINII* - DINÁMICA SEDIMENTARIA EÓLICA EN UN ENTORNO  
INTERVENIDO. RECOMENDACIONES DE CARA A SU GESTIÓN**

**MANUEL VIERA PÉREZ**

Las Palmas de Gran Canaria

Junio 2015





**DA MARÍA ISABEL PADILLA LEÓN, SECRETARIA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR, ÓRGANO RESPONSABLE DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN GESTIÓN COSTERA, DE LA UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA.**

### CERTIFICA


Que el Consejo de Doctores del Programa de Doctorado en Gestión Costera, en su sesión de fecha 16 de julio de 2015, tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación, a la tesis doctoral titulada:

“ Estudio Detallado de la Duna Costera de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias): Interacción *TRAGANUMMOQUINII* - Dinámica Sedimentaria Eólica en un Entorno Intervenido. Recomendaciones de Cara a su Gestión. ”

presentada por el doctorando: **D. Manuel Viera Pérez**  
dirigida por el Doctor D. Luis Hernández Calvento

Y para que así conste, a efectos de lo previsto en el Artº 6 del Reglamento para la elaboración, tribunal defensa y evaluación de tesis doctorales de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, firmo el presente en Las Palmas de Gran Canaria, a 16 de julio de dos mil quince.

| | |

PÁGINA 1 / 1	ID. DOCUMENTO nMrS2Ch7AIG4.5PD55cEMg\$\$		
FIRMADO POR	FECHA FIRMA	ID. FIRMA	
43646105V ISABEL PADILLA LEÓN	20/07/2015 10:15:03	NDM3NDA=	



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA  
Facultad de Ciencias del Mar

**TESIS DOCTORAL**

**PROGRAMA DE DOCTORADO: GESTIÓN COSTERA**

**ESTUDIO DETALLADO DE LA DUNA COSTERA DE MASPALOMAS  
(GRAN CANARIA, ISLAS CANARIAS): INTERACCIÓN *TRAGANUM  
MOQUINII*-DINÁMICA SEDIMENTARIA EÓLICA EN UN ENTORNO  
INTERVENIDO. RECOMENDACIONES DE CARA A SU GESTIÓN.**

**Doctorando: Manuel Viera Pérez**

**Director: Luis F. Hernández Calvento**

**El Director**

**El Doctorando**

**Las Palmas de Gran Canaria, a    de junio de 2015**





*A mi MADRE por haber heredado de ella el amor por la Naturaleza.*

*A las generaciones futuras, pues serán las víctimas de decisiones irresponsables con el Medio Ambiente, ordenadas por una determinada clase dirigente, al no considerar las señales que envía la Naturaleza.*

Manuel Viera Pérez, 2015



## ÍNDICE

<b>0 PRESENTACIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>2 OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA</b>	<b>18</b>
<b>3 VEGETACIÓN</b>	<b>22</b>
<b>3.1 AUTOECOLOGÍA</b>	<b>22</b>
3.1.1 Estado vital	22
3.1.1.1 Estudio radiométrico	22
3.1.1.1.1 Metodología	23
3.1.1.1.2 Resultados	30
3.1.1.1.3 Discusión	49
3.1.2 Reproducción asexual	51
3.1.2.1 Enraizamiento	51
3.1.2.1.1 Ensayos previos	52
3.1.2.1.1.1 Ensayo previo nº 1	61
3.1.2.1.1.2 Ensayo previo nº 2	66
3.1.2.1.1.3 Ensayo previo nº 3	70
3.1.2.1.1.4 Ensayo previo nº 4	73
3.1.2.1.2 Ensayo final	75
3.1.2.1.2.1 Metodología	76
3.1.2.1.2.2 Resultados	79
3.1.2.1.2.3 Discusión	102
3.1.2.2 Crecimiento	103
3.1.2.2.1 Metodología	103
3.1.2.2.2 Resultados	104
3.1.2.2.3 Discusión	118
3.1.2.3 Límite de tolerancia a un medio salino	118
3.1.2.3.1 Metodología	120
3.1.2.3.2 Resultados	120
3.1.2.3.3 Discusión	122
3.1.3 Reproducción sexual	122
3.1.3.1 Estudio florístico	123
3.1.3.2 Estudio entomológico	135
<b>3.2 ECOLOGÍA</b>	<b>143</b>
3.2.1 Aspectos antrópicos	143
3.2.1.1 Contaminación lumínica	144

3.2.1.1.1	Ensayos	147
3.2.1.1.1.1	Primera fase	147
3.2.1.1.1.2	Segunda fase	151
3.2.1.1.1.3	Tercera fase	154
3.2.1.1.2	Discusión	161
3.2.2	Aspectos naturales	161
3.2.2.1	Reacción al enterramiento	161
3.2.2.1.1	Ensayos	167
3.2.2.1.1.1	Ensayo 1: edad de las plantas	167
3.2.2.1.1.2	Ensayo 2: luminosidad	169
3.2.2.1.1.3	Ensayo 3: humedad	171
3.2.2.1.1.4	Ensayo 4: temperatura	181
3.2.2.1.1.5	Ensayo 5: dominancia apical	184
3.2.2.1.1.6	Discusión sobre los ensayos 1-5	185
3.2.2.1.1.7	Ensayo 6: enterramiento progresivo absoluto.	187
3.2.2.1.1.8	Ensayo 7: enterramiento parcial.	189
3.2.2.1.1.9	Discusión sobre los ensayos 6 y 7.	190
3.2.2.1.2	Discusión	194

#### **4 DINÁMICA SEDIMENTARIA** **198**

##### **4.1 DINÁMICA EÓLICA** **199**

4.1.1	Análisis de datos de viento	201
4.1.1.1	La componente Oeste en Maspalomas	201
4.1.1.2	El viento en la playa del Inglés	209
4.1.1.3	Ensayos	217
4.1.1.3.1	Metodología	218
4.1.1.3.2	Resultados	229
4.1.2	Simulación de campos de viento	235
4.1.2.1	Discusión	243

##### **4.2 MORFOLOGÍA** **245**

4.2.1	Metodología	247
4.2.2	Parcela N° 1	254
4.2.2.1	Resultados	260
4.2.2.1.1	MDEs generados	261
4.2.2.1.2	Análisis de dinámica	283
4.2.2.1.3	Interacción <i>Traganum moquinii</i> -dinámica sedimentaria	295
4.2.2.1.4	Geoformas derivadas de la interacción	303
4.2.2.2	Discusión	310

4.2.3 Parcela N° 2 _____	311
4.2.3.1 Resultados _____	315
4.2.3.1.1 MDEs generados _____	316
4.2.3.1.2 Análisis de dinámica _____	342
4.2.3.1.3 Interacción <i>Traganum moquinii</i> -dinámica sedimentaria _____	351
4.2.3.1.4 Geoformas derivadas de la interacción _____	361
4.2.3.1.4.1 Distancias entre individuos de <i>Traganum moquinii</i> _____	373
4.2.3.2 Discusión _____	378

**5 DISCUSIÓN GENERAL, CONCLUSIONES,  
RECOMENDACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN \_\_\_\_ 385**

<b>5.1 DISCUSIÓN GENERAL _____</b>	<b>385</b>
<b>5.2 CONCLUSIONES _____</b>	<b>390</b>
<b>5.3 RECOMENDACIONES _____</b>	<b>395</b>
5.3.1 Protocolo para la reproducción asexual de <i>Traganum moquinii</i> _____	398
<b>5.4 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN _____</b>	<b>401</b>

**BIBLIOGRAFÍA \_\_\_\_\_ 402**

**6 ANEXOS \_\_\_\_\_ 417**

<b>6.1 ANEXO I: CÁLCULOS _____</b>	<b>417</b>
6.1.1 Estudio previo de incertidumbres _____	417
6.1.2 Distancia máxima de radiación _____	418
6.1.3 Comprobación de la planificación _____	422
6.1.4 Precisión del trabajo topográfico _____	427
<b>6.2 ANEXO II: NUBE DE PUNTOS, MDEs, PERFILES y GRIDS DE LA PARCELA 1 _____</b>	<b>432</b>
<b>6.3 ANEXO III: NUBE DE PUNTOS, MDEs, PERFILES Y GRIDS DE LA PARCELA 2 _____</b>	<b>491</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS \_\_\_\_\_ 552**

**ÍNDICE DE TABLAS \_\_\_\_\_ 570**

## 0 PRESENTACIÓN

Se presenta el trabajo de tesis para la obtención de grado de Doctor en el Programa de Doctorado “Gestión Costera”, desarrollado en la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, bajo la dirección del Dr. D. Luis Hernández Calvento, profesor titular de geografía Física del Departamento de Geografía de la mencionada Universidad.

Esta investigación se enmarca en la línea *sistemas de dunas litorales* del Grupo *Geografía Física y Medio Ambiente* del *Instituto de Oceanografía y Cambio Global* (IOCAG) de la ULPGC. Algunos trabajos anteriores, desarrollados en esta línea, llevaron a la identificación, en los sistemas arenosos de las islas Canarias, de una duna costera (*foredune*) de regiones áridas, que también se localiza en otros sistemas próximos, como los del sur de Marruecos, Mauritania o las islas de Cabo Verde (Hernández, 2006; Hernández Cordero, 2014; Alonso, et al 2011; Cabrera et al, 2013). Esta duna costera se caracteriza, principalmente, por presentar una alineación de dunas en montículo (en inglés *hummock dunes*), generada por la interposición de ejemplares vegetales arbustivos, aislados, en el transporte sedimentario eólico, desde la playa alta. La escasez de referencias bibliográficas sobre los procesos que se desarrollan a partir de esta interacción, llevó a plantear la necesidad de abordar trabajos específicos sobre estos aspectos, utilizando la duna costera de la playa del Inglés (Gran Canaria) como laboratorio de investigación. En este contexto, se plantea esta tesis doctoral que, desde una perspectiva experimental, permitiera abordar dos aspectos claves: por un lado, la ecología de los ejemplares aislados de *Traganum moquinii* (nombre común; balancón) que aparecen en la playa alta y, por otro, los procesos de interacción entre la vegetación y el transporte eólico en la duna costera, así como las geoformas resultantes.

Este trabajo pretende dar respuestas a algunas cuestiones que trascienden los aspectos eminentemente científicos, La relevancia social de esta investigación estriba en el hecho de que la gestión de estos espacios se ha visto condicionada por la inexistencia de conocimientos científicos sobre los aspectos mencionados. En este sentido, se ha comprobado que las actividades antrópicas en la playa alta y en la propia duna costera alteran la vegetación, y con ello la dinámica sedimentaria eólica (Ley et al., 2007), participando en procesos sinérgicos que, finalmente, terminan condicionando la

dinámica natural de todo el sistema de dunas (Hernández-Calvento et al, 2014). Sin embargo, las labores de gestión de este espacio se han limitado, básicamente, a trabajos de limpieza y retirada de estructuras cortaviento (goros), instalación de un cordón de protección, cuya ausencia de mantenimiento ha limitado su utilidad, así como a otros trabajos de escasa utilidad para la regeneración de la duna costera, como la instalación de captadores alineados o la plantación de ejemplares de vegetación, siguiendo en parte las recomendaciones planteadas en el manual de regeneración de dunas costeras de España (Ley et al., 2007). Este manual fue diseñado para la gestión de sistemas de dunas de regiones templadas, por lo que su aplicabilidad en las dunas costeras de Canarias es, cuando menos, limitada. Desde esta perspectiva, esta tesis realiza propuestas concretas de gestión, con base en los procesos que se caracterizan.

La tesis se estructura en cinco capítulos. En el primero de ellos se aborda el problema de investigación, considerando los antecedentes y el estado actual del tema en el espacio que nos ocupa. En el segundo capítulo se plantea los aspectos metodológicos, incluyendo los objetivos y la hipótesis. En los capítulos III y IV se desarrollan los resultados y discusiones de los diferentes experimentos llevados a cabo, relativos a la vegetación y la dinámica sedimentaria eólica, respectivamente. Finalmente se desarrolla un último capítulo en el que se abordan la discusión general, las conclusiones del trabajo, se establecen recomendaciones de cara a la gestión del sistema objeto de estudio, y se abordan futuras líneas de investigación. En este último capítulo se integra un protocolo para la reproducción asexual de *Traganum moquinii*. Al final del trabajo, tras las referencias bibliográficas, se añaden tres anexos: el primero relativo a cálculos para la realización de los MDEs y los otros dos relativos a las nubes de puntos, MDEs, perfiles y GRIDS obtenidos de cada parcela estudiada. Finalmente se añaden índices de figuras y de tablas.



## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar quiero mostrar mi agradecimiento de forma especial a dos personas. A mi esposa por el apoyo prestado desde aquel verano del 2001, en el cual tomé la decisión de retomar mis estudios, ha llovido mucho desde entonces y mucho esfuerzo de por medio. Pero en aquellos momentos en que pensaba tirar la toalla, ella estaba ahí para darme ánimos. Sobre todo hasta el momento en que decidí realizar la tesis. Básicamente porque durante el periodo que he desarrollado la misma, he disfrutado, a pesar que me pasaba días delante de la lupa microscópica, abriendo flores y buscando “bichitos”. Esa lupa que me había comprado casi veinte años atrás, porque era una gran ilusión. La otra persona es mi hija, que era pequeña cuando retomé esos momentos en los cuales pasaba largas noches en vela estudiando. Desde aquí, pedirle perdón por no haber pasado más tiempo jugando con ella, cuando lo demandaba. A ambas MUCHAS GRACIAS.*

*Una especial gratitud a mi amigo Carlos Cabrera, Ingeniero Técnica Agrícola del GOBCAN, por las cientos de horas que hemos pasado intentando comprender como funciona la naturaleza, y por toda la ayuda prestada en las diferentes tareas que he realizado durante todos los años que he estado desarrollando la tesis. Ya fuera haciendo un levantamiento topográfico, buscando insectos, preparando esquejes, comiendo bocadillos con infinitos granos de arena, y mil cosas más.*

### *Mis agradecimientos*

*A todos los compañeros de Ingeniería Técnica en Topografía, que me apoyaron durante los momentos en los que estaba atascado al inicio de mis estudios, especialmente a Margarita Jiménez, que tuvo mucha paciencia para explicarme aquel software CAD del año 2000.*

*A Moisés Martín, (Ingeniero en Geodesia, Cartografía y Topografía) por los conocimientos, que son muchos, transmitidos durante y después de su jornada laboral como profesor en la ULPGC.*

*Al Grupo de Investigación Geografía Física y Medio Ambiente por acogerme, y en especial a mi tutor de tesis Luis Hernández, por todo lo aprendido a su lado. Y agradecerle que nunca ha dejado de cogerme el teléfono en todo este tiempo.*

*A Natalia Cruz (Licenciada en Geografía), Abenchara Peña, Francisco Hernández (Ingenieros Técnico en Topografía), Rosa Díaz, y Noelia Ojeda (Graduados*

*en Ingeniería Geomática y Topografía), por la ayuda prestada en las sesiones de levantamientos topográficos, en la playa del Inglés.*

*A Josué Viera (Ingeniero en Telecomunicaciones) por sus aportaciones informáticas.*

*A Antonio Jiménez,(Ingeniero Técnico Agrícola), y a Amado Ramos empleado de la Concejalía de Playa del Municipio de San Bartolomé de Tirajana, por toda la ayuda prestada a nivel de logística para poder desarrollar los estudios en la playa del Inglés.*

*Al Cabildo Insular de Gran Canaria por los permisos concedidos para poder desarrollar esta tesis.*

*A la empresa ELMASA por permitir que hiciera uso de parte de sus instalaciones.*

*A todos los especialistas que han puesto su granito de arena, y en algunos casos un camión de arena, para que este documento saliera adelante, en especial a:*

*Dr. Jorge Cabrera, Dr. Antonio Domínguez y Dr. Eduardo Rodríguez. (Profesores y miembros del SIANI, de la ULPGC)*

*Los entomólogos; Dr. Pedro Oromí y Dr. Marcos Baez (profesores del Dept. Biología Animal, de la ULL). Dr. Xavier Belles (Director del Instituto de Biología Evolutiva de Barcelona, CSIC-UPF). Dr. Kazutaka Yamada (miembro del Tokushima Prefectural Museum, Japon). D. Juan Antonio Zaragoza y D. Manuel Baena.*

*Dra. Pilar García, Dra. Inmaculada Menéndez, Dr. José Mangas, y Dra. May Gómez (profesores de la Facultad de Ciencias del Mar, de la ULPGC).*

*Dr. Ángelo Santana (profesor y miembro del Instituto Universitario de Ciencias y Tecnologías Cibernética de la ULPGC).*

*Dr. Carlos Suárez (Consejería de Medio Ambiente del GOBCAN), Dr. Francisco Pérez (miembro del Dept. de Nutrición Vegetal del CEBAS-CSIC, Murcia), Luis Cuadra (Museo de Ciencias Naturales de Madrid) y Dr. Marcos Salas.*

*Los miembros de la Delegación de la AEMET en Las Palmas, especialmente a José Antonio Monreal.*

*MI AGRADECIMIENTO a TODOS ELLOS y a AQUELLAS PERSONAS que de alguna manera me ayudaron en la realización de esta tesis.*

## 1 INTRODUCCIÓN

Los campos de dunas litorales son sistemas particulares, situados en la transición entre ambientes continentales y marinos, por lo que presentan una gran dinámica y fragilidad (Bauer y Sherman, 1999; Nordstrom, 2000). Estos sistemas han sido utilizados por la sociedad humana con distintos propósitos, siendo su ocupación con fines agrícolas la principal actividad que se ha desarrollado en ellos, conjuntamente con la extracción de áridos. La tala de la vegetación localizada en estos espacios ha producido habitualmente su removilización, cuestión que ha conllevado, históricamente, el desarrollo de programas de estabilización, basados normalmente en la revegetación de estos sistemas, con el fin de evitar la llegada de las masas de arena a enclaves humanos próximos (Paskoff, 1998; Santana Cordero et al, 2015).

Desde mediados del siglo pasado se viene produciendo un proceso continuado de transformación de las áreas litorales a escala mundial, debido al asentamiento en ellas de poblaciones humanas. El desarrollo de nuevas infraestructuras y urbanizaciones destinadas a acoger viviendas de primera y segunda residencia, así como equipamientos turísticos, ha supuesto la desaparición de muchos de estos sistemas, o su modificación sustancial (Paskoff, 1998; Jackson y Nordstrom, 2011). Sin embargo, al mismo tiempo, se ha empezado a valorar estos sistemas conforme a los servicios que prestan, como defensa frente a las invasiones de agua marina o en el sostenimiento de las playas, lo que los convierte en enclaves estratégicos para la sociedad. Desde esta perspectiva, desde la década de los noventa del pasado siglo se ha producido un creciente interés científico por conocer los factores constitutivos de estos sistemas, así como sus procesos propios, con el fin de aportar soluciones a su conservación o regeneración, cuando ésta es precisa.

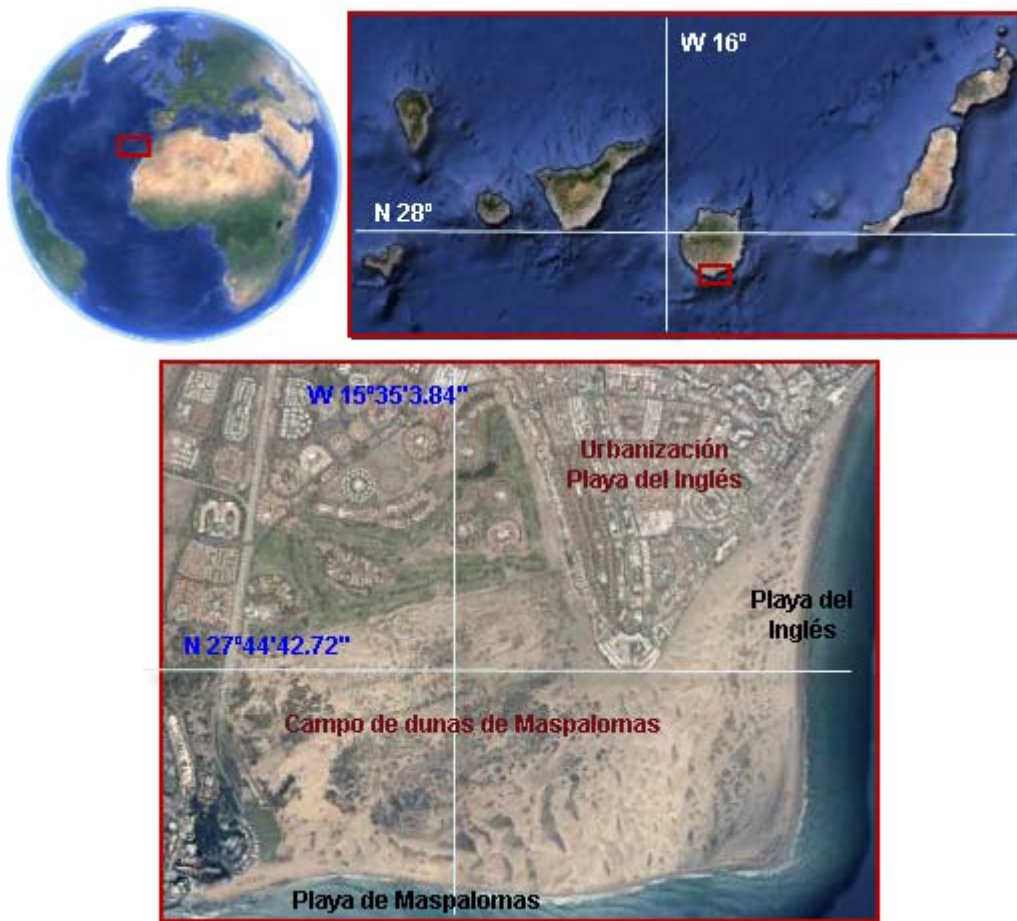
Especialmente importante para la protección de la costa es el papel que desempeña el conjunto de dunas localizado en contacto directo con la playa, que recibe el nombre de anteduna o duna costra (Vallejo, 2007) (en inglés *foredune*), cuya desaparición conlleva una pérdida importante de sedimentos en momentos de temporales marinos, retrocediendo la costa (Ley et al, 2007).

Las dunas costeras se forman en la playa seca, y por tanto, lejos de la influencia del oleaje. En este ambiente, las semillas tienen posibilidades de germinar si las condiciones climáticas lo permiten, desarrollando plantas que crecen en la arena y, al mismo tiempo, la fijan, por medio de la producción de raíces, rizomas o estolones. Conforme crecen, las plantas son capaces de interceptar más granos de arena, que se desplazan normalmente por saltación, creando montículos arenosos. Cuando la densidad vegetal es alta, estos montículos presentan coalescencia, para generar, finalmente, una duna costera continua, como sucede en la mayor parte de las costas arenosas de las regiones templadas y tropicales. Las especies de plantas que conforman la duna costera continua son, principalmente, las gramíneas *Ammophila arenaria* (barrón) y *Elymusfarctus* (grama de mar). Por el contrario, si la densidad vegetal es baja, no se forma un cordón linear continuo, sino un conjunto de dunas en montículos aislados [*hummock* o *nebkas* (Pye y Tsoar, 1990; Hesp, 1991)]. Estas características suelen estar asociadas a la existencia de un balance de arena positivo y una energía eólica moderada, con una cubierta vegetal escasa o inefectiva (Pye, 1990). Cuando se dan en las zonas templadas, las dunas en montículo han sido definidas como una fase erosiva del cordón de dunas típico de estos ambientes (Hesp, 1988). Sin embargo, pueden ser localizadas en regiones áridas (Hesp, 1988; McLachlan, 1990). Tal es el caso de las islas Canarias, donde las condiciones climáticas de sequedad a nivel costero sólo posibilitan la formación de dunas en montículos que se desarrollan asociadas, principalmente, al arbusto nanofanerófito *Traganum moquinii* (Ley et al, 2007; Alonso et al, 2011; Hernández, et al., 2008).

Se trata ésta de una especie escasamente estudiada, cuestión que tal vez se relacione con su presencia en ambientes hasta hace escaso tiempo considerados como “marginales”, atendiendo al desarrollo económico de las sociedades agrícolas, y a la lucha que tradicionalmente se ha entablado con las arenas móviles. De hecho, el hábitat de esta especie lo constituyen los arenales costeros, en los que ocupa la franja de la playa alta, si bien pueden encontrarse poblaciones o individuos de esta especie localizados a una cierta distancia de la costa, en cualquier caso no más allá de unos centenares de metros. Su distribución mundial

se ciñe a la costa noroeste de África, desde Marruecos hasta Mauritania, así como a los archipiélagos de Canarias y Cabo Verde (Hernández, A. et al., 2008). En Canarias aparece en las islas orientales, así como en Tenerife y La Gomera. Constituye, por tanto, la primera banda de vegetación existente en los principales sistemas de dunas de Canarias (Corralejo, en Fuerteventura, El Jable, en Lanzarote, los jables de La Graciosa y las dunas de Maspalomas, en Gran Canaria), pudiendo aparecer bien acompañado de un cortejo de especies de menor porte, o conformando un matorral monoespecífico, cuestión que parece relacionarse con la movilidad del sustrato. La relación vegetación-geomorfología en este ambiente ha dado lugar a la propuesta de un nuevo hábitat de interés comunitario (Hernández Cordero et al., 2015). En este hábitat se forman dunas libres transgresivas, que se adentran en tierra, generando campos de dunas.

Tal es el caso del campo de dunas transgresivo de Maspalomas, localizado en el vértice sur de la isla de Gran Canaria, T.M. de San Bartolomé de Tirajana (Fig. 1). Este sistema sedimentario eólico se localiza sobre una amplia llanura aluvial originada durante el Cuaternario, en la desembocadura del barranco de Fataga. Su basamento se compone de depósitos sedimentarios marinos y terrestres (Nadal & Guitián, 1983; Balcells et al., 1990; Hernández-Calvento, 2006). Las arenas acceden al campo de dunas por su playa oriental (playa del Inglés) y se desplazan en dirección NE-SW, a una velocidad media de 7,93 m/año, si bien se detectan áreas en las que las dunas se desplazan a más de 30 m/año (Pérez-Chacón et al., 2007), para volver a salir al mar por la playa de Maspalomas, al sur. Estas elevadas velocidades de transporte son posibles por las características climáticas de este sistema. Durante su recorrido se desarrollan una gran variedad de formas eólicas, siendo las principales dunas barjanas y cordones barjanoides y transversales (Hernández-Calvento, 2006).



**Figura 1:** Ubicación del campo de dunas de Maspalomas. Fuente: modificado de Google Earth

El clima es árido, siendo su tasa de precipitación media anual de 81 mm y su temperatura media anual de 21°C (Pérez-Chacón et al., 2007). No obstante, la existencia del depósito aluvial subyacente determina la existencia de un nivel freático cerca de la superficie, que en las depresiones interdunares y superficies de deflación es accesible para las plantas. La vegetación está formada por comunidades psamófilas, halófilas, xerófilas, higrófilas y, en las zonas más alteradas, ruderales (Hernández-Cordero, 2012).

Por lo que respecta de forma detallada a la zona de entrada de las arenas al sistema, la playa del Inglés, se trata de una playa ancha, de pendiente suave y estable desde el punto de vista sedimentario (Hernández Calvento et al., 2007). En la playa alta se localiza una comunidad arbustiva monoespecífica, de carácter abierto y escasa diversidad florística, integrada principalmente por el nanofanerófito *Traganum moquinii*. Esta especie es responsable de la formación de la duna costera en montículos (Hernández-Cordero et al., 2012), típica de los

arenales y campos de dunas litorales de Canarias y noroeste de África (Géhu & Biondi, 1998). En el caso de la playa del Inglés, se observa en este sistema una gradación de norte a sur en cuanto al tamaño de los ejemplares vegetales (de mayor altura en el norte), al grado de recubrimiento (mayor en el norte del sistema) y al número de ejemplares (Hernández, 2006), cuestión que se ha relacionado con una variación natural en el sistema, relativa a la disponibilidad de sedimentos (mayor cantidad de finos en el norte y más arenas móviles en el sur) y a la actividad de los usuarios de la playa, que generan impactos de mayor intensidad en el sur.

Por lo que respecta a estos impactos, desde los años sesenta del siglo pasado se ha producido un cambio sustancial en los usos del suelo en el entorno del campo de dunas, pasándose de un sistema tradicional-agrario a uno de servicios. Así, en los alrededores del campo de dunas se ha construido en los últimos cincuenta años un continuo urbano que ocupa una superficie de más de 700 ha, que da cabida a más de 95.000 plazas turísticas (ISTAC, 2012), considerándose por ello el mayor balneario en España (Domínguez-Mújica et al., 2011), y un centro turístico internacional. Anualmente es visitado por más de tres millones de personas al año, por lo que se ha convertido en el principal motor económico de la isla (Hernández-Calvento et al. 2003; Pérez-Chacón et al. 2007).

Los cambios en los usos del suelo en el entorno y por la acción de los usuarios de las playas, la alteración de la vegetación y la destrucción de la duna costera, entre otros, han producido un déficit sedimentario progresivo y la alteración de la dinámica sedimentaria eólica (Hernández Calvento, 2006; Pérez-Chacón et al., 2007; Ley et al., 2007; Cabrera et al. 2013). La mayor parte de estos problemas ambientales han sido generados por la urbanización de la terraza alta (o del Inglés), sobre la que se asienta desde la década de los setenta la urbanización del mismo nombre. Este hecho ha modificado sustancialmente la dinámica de los vientos efectivos, además de interrumpir el transporte natural de las arenas hacia el interior del sistema, provocando la paralización de ese sector interior del campo de dunas (Pérez-Chacón et al., 2007). A su vez, dicha transformación del flujo eólico, ha generado una aceleración del viento al sur del sistema, y con ello, a un aumento en las tasas de transporte eólico (Hernández Calvento et al., 2014). Este

hecho, unido a la cada vez más patente falta de sedimento, y a los impactos de los usuarios en el entorno, ha supuesto una transformación de la morfología eólica (Cabrera-Vega et al. 2013), con la aparición de superficies de deflación, donde aflora el material geológico subyacente (Hernández y Mangas, 2004).

El papel que juega *Traganum moquinii* en la formación de las dunas costeras de este sistema ha quedado demostrado mediante el estudio de la relación que se establece entre los ejemplares ubicados en la playa del Inglés y la dinámica eólica, al observarse que la influencia de estos ejemplares alcanza una distancia de 20 metros a sotavento de su ubicación (Alonso, I. et al., 2007). De igual forma se ha estudiado su dinámica temporal, observándose, mediante fotointerpretación comparada, un descenso en el número de ejemplares desde la década de los sesenta del pasado siglo. Esta dinámica se relaciona con factores geomorfológicos y humanos (Hernández, et al., 2008). También mediante análisis multitemporal se pudo comprobar la capacidad que tiene la especie para resistir, en principio, períodos de enterramiento (Hernández Cordero, 2012).

Finalmente se ha realizado un análisis descriptivo de esta duna costera, identificándose tres zonas (Cabrera et al, 2013): i) el área en contacto con la playa alta, con presencia de formas libres (pequeñas dunas de menos de 1 m de altura, como láminas de arena o pequeñas dunas barjanas y/o cordones barjanoides); ii) la duna costera, propiamente dicha, conformada por diferentes geoformas asociadas a los ejemplares vegetales de *Traganum moquinii* (con presencia de dunas en montículo y parabólicas); y, finalmente, iii) dunas barjanas y/o cordones barjanoides y superficies de deflación, a sotavento de las dunas costeras, que conforman el sistema de dunas transgresivo. La identificación en este esquema de dunas parabólicas (o lunetas), supone una novedad, pues estas dunas habían sido descritas, hasta ahora, únicamente para sistemas húmedos, en los que la parabolización es consecuencia de la generación de un lóbulo frontal en una cubeta de deflación (en inglés *blowout*). Cuando estas formas aparecen en la duna costera, suelen ser, por tanto, consecuencia de la ruptura de la continuidad longitudinal de las dunas costeras de regiones templadas o tropicales. En el caso que nos ocupa, sin embargo, todo parece indicar que estas dunas se forman de



manera natural, y que por ello son geformas constitutivas de las dunas costeras de regiones áridas.

En las últimas décadas se ha tomado conciencia, a nivel mundial, de que la degradación de los sistemas de dunas litorales supone la pérdida de ambientes naturales específicos (teniendo en cuenta especies, formas del relieve y paisaje que configuran estos sistemas), pero igualmente de que con ello se ponen en peligro bienes y servicios, entre los que cabe destacar la defensa frente a episodios catastróficos, como los relativos a la invasión del agua de mar (Ley et al., 2007). Por ello, en la actualidad, se considera que estos espacios deben ser conservados, cuestión que ha llevado al desarrollo de métodos y técnicas de regeneración (Jackson y Nordstrom, 2011; Martínez, Gallego y Hesp, 2013). En nuestro país el panorama no es diferente a lo que sucede en otras partes del mundo. Así, en la última década el Gobierno de España, ha emprendido la labor de protección activa, y recuperación, de muchos de estos sistemas, amparándose en el hecho de que las dunas litorales son Dominio Público Marítimo Terrestre (España. Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas). Para el desarrollo de los planes de recuperación, se ha procedido a la restauración, cuando ha sido requerida, de la duna costera, dado su papel estratégico.

El mantenimiento de estas dunas costeras, y con ello de la totalidad de los campos de dunas, dependen de distintos factores, entre los que podemos distinguir dos grupos básicos: los naturales, como la existencia de condiciones de humedad y vientos favorables, el mantenimiento de aporte de arenas, o la presencia de especies vegetales adaptadas a unas condiciones específicas; y antrópicos, como las actividades relacionadas con la limpieza de playas y otras desarrolladas por los usuarios. Conocer cómo funciona un sistema, debe estar en toda acción cuyo objetivo sea la restauración de la duna, cuestión que hoy en día se aborda a través de técnicas “blandas” que pasan por las siguientes pautas (Ley et al., 2007):

- Eliminación de las causas de alteración.
- Reconstrucción dunar.
- Revegetación.

- Instalación de sistemas de protección del espacio dunar.
- Desarrollo de sistemas de comunicación de actuaciones.
- Seguimiento durante las actuaciones de restauración.
- Seguimiento a medio plazo de la restauración.
- Mantenimiento durante los años posteriores.

La restauración de estos sistemas debe realizarse por medio de la plantación de especies adaptadas a las condiciones específicas que se den en el sistema objeto de las acciones, así como mediante la instalación de captadores. En el “Manual de restauración de dunas costeras de España” (Ley et al., 2007), que se menciona a lo largo de este trabajo, se establecen las pautas para proceder a realizar estas plantaciones en ambientes dunares de la España peninsular y las islas Baleares, en los que los sistemas de dunas presentan una cobertera vegetal ampliamente desarrollada, que abarca también a su duna costera. La instalación de captadores alineados, formados por varas, normalmente de mimbre, de densidad variable (normalmente entre el 40% y el 60%), suele ser una técnica habitual. Atendiendo a las condiciones particulares de aridez que presentan los campos de dunas de Canarias, así como a las características ambientales de las dunas costeras de las islas, estas técnicas no parece que sean las más adecuadas.

En esta línea, en algunos arenales de las islas Canarias se han realizado algunas experiencias de gestión en ámbitos costeros, en los que *Traganum moquinii* ha sido objeto de replantación. Especialmente de interés resulta una experiencia desarrollada por el órgano gestor de la Reserva Natural Especial (RNE) de las Dunas de Maspalomas, dependiente del Cabildo de Gran Canaria, en la playa alta del Inglés. Sin embargo, el seguimiento de tal experiencia se desarrolló por medio de un protocolo temporal muy restringido (poco más de un año). Resulta de interés, el hecho de que tal experiencia no resultó positiva, pues se realizaron revegetaciones en dos parcela, en una de ellas no sobrevivieron individuos y en la otra de 205 individuos sobrevivieron 10 (Cabildo de Gran Canaria, 2007). Un hecho semejante sucedió con otra acción, emprendida en paralelo, para la instalación de captadores de mimbre. La instalación de dos

conjuntos de captadores alineados en una zona alejada de la duna costera, imposibilitó comprender el papel que podrían haber jugado en la restauración de esta geoforma. La elección de las parcelas se debió, sobre todo, a la intención de facilitar el recubrimiento de arena de las llanuras de deflación que aparecen a sotavento de la duna costera de la playa del Inglés, y no tanto a la restauración de la propia duna costera. Sin embargo, en paralelo, se ubicaron captadores, con un diseño curvado, de doble línea, en algunos enclaves de la duna costera, demostrándose su eficacia, al menos de forma inicial, en la formación de dunas costeras y en la protección de ejemplares de *Traganum moquinii* (Fernández, E. et al, 2011).

Otra actuación de gestión, realizada igualmente por el Cabildo de Gran Canaria, en la duna costera de la playa del Inglés, consistió en aportar restos orgánicos, procedentes de arribazones de la fanerógamas marinas *Cymodocea nodosa*, con el fin de disuadir, por un lado, a los usuarios de la playa a utilizar *Traganum moquinii* para su descanso (dado el olor de los restos orgánicos en descomposición), y, por otro, aportar, en principio, materia orgánica a la especie formadora de la duna costera.

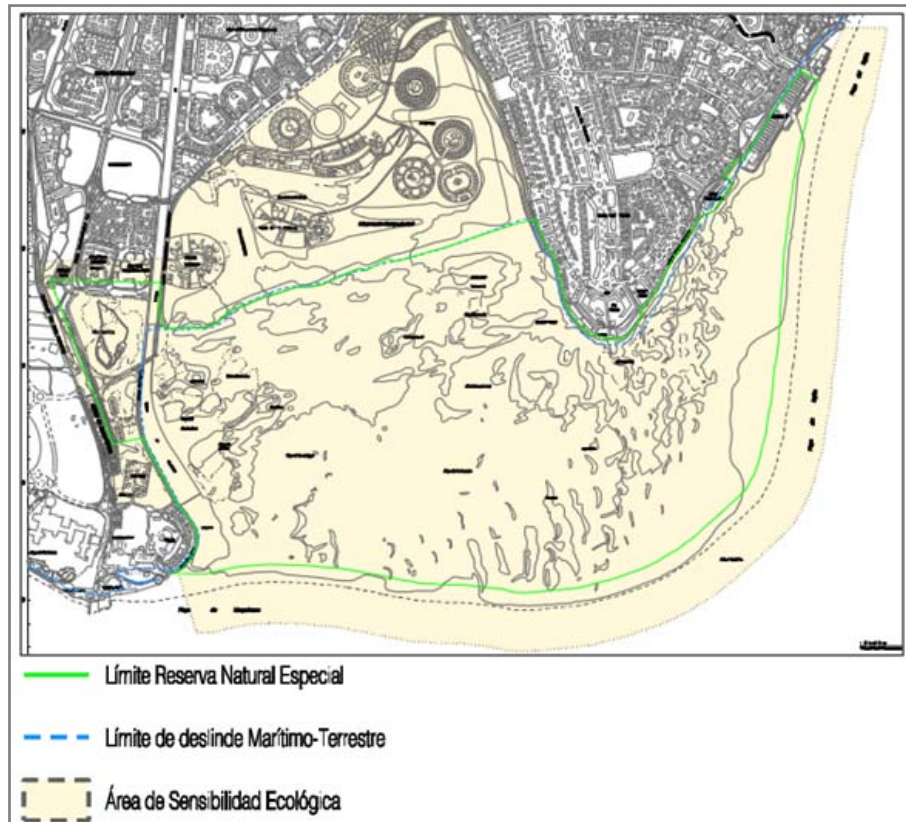
En definitiva, en la última década se han dado pasos adelante en el conocimiento de la duna costera de Canarias, como elemento clave a considerar en la gestión de las dunas costeras de regiones áridas. Sin embargo, también se han observado vacíos en el conocimiento que se tiene acerca de la regeneración de estos ambientes sedimentarios, pues no son de aplicación las técnicas que se implementan en otros sistemas de dunas, de regiones templadas y tropicales, para las que se han desarrollado protocolos de regeneración. Es por ello por lo que en el momento actual se hace necesario profundizar en el conocimiento de *Traganum moquinii*, como punto clave para proceder a una correcta restauración de la duna costera del sistema de Maspalomas, así como de otros sistemas de dunas de Canarias. Esta tarea se plantea que debe ser desarrollada con cierta urgencia, habida cuenta de los cambios que se pronostican en las costas de las islas como consecuencia del cambio climático, especialmente en relación con los eventos extremos (Moreno, J. M., 2005). Cabe esperar, según estos pronósticos, la pérdida de algunos sectores de playas en las islas, cuestión que supone un hecho de

preocupación, al considerar que el turismo de sol y playa resulta ser uno de los principales motores de la economía insular. Es en este contexto, en el que se espera que las dunas costeras jugarán un papel esencial en la protección de las playas, al constituir barreras naturales que impidan el acceso del agua del mar hacia el interior de los campos de dunas, al tiempo que funcionen como reservorio de arenas para las playas.

Desde el punto de vista legal, este trabajo pretende aportar conocimientos claves para la correcta protección de la duna costera de la playa del Inglés, y con ello, de todo el sistema de dunas de Maspalomas. Así, el Decreto Legislativo 1/2000, de 8 de mayo, por el que se aprueba el Texto Refundido de las Leyes de Ordenación del Territorio de Canarias y de Espacios Naturales considera las Reservas Naturales como áreas de Sensibilidad Ecológica, a efectos de lo previsto en la legislación de impacto ecológico. En esta línea, se establece, en el caso de la RNE de las Dunas de Maspalomas, que *“A efectos de controlar mejor las acciones que puedan repercutir negativamente sobre la Reserva, se prolonga el Área de sensibilidad Ecológica sobre los terrenos y faja de mar contiguos a la Reserva.”* (Figura 2)

Así mismo en el artículo 4 del Plan Director (Orden, B.O.C. 51), se recoge lo siguiente:

*“Este Plan Director considera como finalidad de protección para la RNE de las Dunas de Maspalomas “el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales ligados al ecosistema dunar y a la zona lacustre de la charca de Maspalomas, la integridad de su flora y fauna asociada así como la belleza escénica del peculiar paisaje que conforma”*



**Figura 2:** Delimitaciones legales en la RNE Dunas de Maspalomas. Fuente: modificado de anexo cartográfico C-7, D.L. 1/2000, Gobierno de Canarias.

En el apartado titulado “Restauración de la población de balancones en la RNE de las Dunas de Maspalomas” del Programa Anual de Trabajo 2008, sobre la RNE de las dunas de Maspalomas, elaborado por el Cabildo de Gran Canaria, se mencionan una serie de necesidades para acometer en este ambiente, así como algunas razones que llevan a estas necesidades, como son las siguientes:

- Que siendo uno de los ecosistemas más frágiles y con mayor relevancia social y económica, su conservación no ha ido pareja con su relevancia.
- Que el uso de los balancones como lugar de micción y defecación, la construcción de goros cortavientos, y el uso de los balancones como cortavientos, han provocado roturas de las plantas y rebrotes.

Con la finalidad de proteger los individuos de *Traganum moquinii*, se proponen una serie de actuaciones, como las siguientes:

- El cerramiento de los pasos entre plantas.
- El acordonamiento y la señalización de un sector de la población de balcones, mediante puntales de maderas y cuerdas.

Sin embargo, en la actualidad la degradación de este ambiente de duna costera sigue adelante, pues las medidas tomadas o bien no han sido efectivas (tal y como se comentó anteriormente en relación a la colocación de captadores en zonas internas, a sotavento de la duna costera), o no se ha presupuestado el mantenimiento de estas medidas, por lo que las protecciones de que gozaban, basadas en un vallado blando (con postes y cuerdas), han dejado de ser efectivas. A su vez, la falta de vigilancia posibilita que los usuarios de la playa continúen accediendo a este ambiente, degradando la duna costera, y con ello poniendo en riesgo el sostenimiento de la totalidad del campo de dunas de Maspalomas.

Con el objetivo de tener un mayor conocimiento de *Traganum moquinii.*, así como del hábitat en el cual se desarrolla la población de la playa del Inglés, se parte, en esta tesis, de realizar un proceso de observación y análisis previo. Dicho proceso se inicia a principios del año 2010, con una serie de visitas a campo. En las mismas se detectan una serie de hechos y circunstancias, de las que emanarían preguntas que, finalmente, se trasladarían a unas propuestas de ensayos y estudios particulares, los cuales se han desarrollado a lo largo de los últimos cinco años. Durante ese periodo el proceso de observación ha sido constante, lo que ha permitido, en algunos casos, rediseñar algunos de los ensayos que inicialmente se plantearon. Entre esas observaciones realizadas primeramente en el campo, destacan las siguientes:

- El hecho que los individuos de *Traganum moquinii.*, que están ubicados en las cercanías del centro comercial Anexo II, en la playa del Inglés, presenten un crecimiento exuberante, en relación con el resto de individuos, y direccional hacia las farolas que dan luminosidad al paseo de dicho centro, estando dichas farolas encendidas, normalmente, desde el ocaso solar hasta las 01 h., aproximadamente, del día siguiente.

- La existencia de muy pocas plántulas desarrollándose en las zonas de deflación situadas a sotavento de la duna costera, en los sectores centro y norte de la playa del Inglés, frente a lo que sucede en el sur.
- El desarrollo de actividades humanas en torno a estas plantas, como allanamiento y pisoteo continuado por parte de determinados usuarios de la playa del Inglés, que utilizan los individuos de *Traganum moquinii* como parapetos.

Considerando todo anterior, esta tesis se plantea dar respuesta a las siguientes preguntas: 1) ¿Cómo es la ecología de *Traganum moquinii*? Y, conociéndola, ¿Podemos definir un protocolo de reproducción de ejemplares de esta especie en condiciones óptimas para ser plantadas, con el fin de regenerar una duna costera en los sistemas de dunas de Canarias? En esta primera pregunta cabe incluir otras preguntas, complementarias, sobre el estado en que se encuentra la población de *Traganum moquinii* en la actualidad, respecto a las consecuencias que sobre ellos puedan tener determinados factores externos, como si la iluminación artificial del centro comercial Anexo II supone una afección a las plantas de esta especie, de modo que condicione su ciclo biológico allí donde le afecta más intensamente, o si el pisoteo de algunos usuarios de las playas puede estar afectando a la ecología de *Traganum moquinii*. Y 2) ¿Cómo se produce la interacción entre la dinámica sedimentaria eólica y los ejemplares de *Traganum moquinii* en estos espacios, que dan lugar a la duna costera, considerando desde el contacto de las formas libres con los ejemplares vegetales, hasta la formación de dunas barjanas, a sotavento de la duna costera, propiamente dicha?

## 2 OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA

Con el fin de dar respuesta a esas preguntas, se plantea, como **objetivo principal de esta tesis conocer el estado de la población de *Traganum moquinii* en la playa del Inglés, sus posibilidades de reproducción y el papel que tiene esta especie en la formación de la duna costera.** Ello implica por un lado, dar respuestas a las cuestiones relacionadas directa o indirectamente con la ecología y la autoecología de *Traganum moquinii*. Sus **objetivos específicos** son los siguientes:

- Analizar el estado vital de los individuos, mediante un estudio radiométrico.
- Elaborar un protocolo para reproducir asexualmente la especie.
- Abordar un estudio sobre la reproducción sexual.
- Abordar un estudio de las consecuencias de las afecciones de la iluminación artificial sobre los individuos de *Traganum moquinii* próximos al centro comercial Anexo II.
- Conocer los factores que producen una reacción de crecimiento vegetativo por parte de *Traganum moquinii* al enterramiento.

Por otro lado, implica tratar de conocer en mayor profundidad cómo se produce la interacción de los ejemplares de *Traganum moquinii* y la dinámica sedimentaria eólica, y con ello cómo se forma la duna costera. Sus **objetivos específicos** son los siguientes:

- Analizar, de forma multiescalar, la dinámica eólica en la playa del Inglés.
- Abordar un estudio detallado de dinámica morfológica de la duna costera. Este estudio debe incluir los siguientes análisis parciales:
  - Seguimiento de la interacción de un individuo de *Traganum moquinii* en la dinámica sedimentaria;



- Seguimiento de la interacción de dos individuos de *Traganum moquinii* en la dinámica sedimentaria.

Como **hipótesis de partida** se plantea la siguiente: la interacción de los ejemplares de *Traganum moquinii* en la dinámica sedimentaria eólica de la duna costera de la playa del Inglés genera procesos propios, que se ven condicionados en su desarrollo por agentes naturales y antrópicos.

Con el fin de dar respuesta a estos objetivos y esta hipótesis, se planteó un diseño metodológico cuya base fuera la experimentación (figura 3). Dos son los campos fundamentales que se abordan: por un lado, el de la vegetación, y por otro el de la dinámica sedimentaria eólica. Por lo que respecta a la primera, los trabajos se centran en la especie *Traganum moquinii*. Es necesario estudiarla, con el fin de conocer sus posibilidades de regeneración, cuestión clave en la gestión de la duna costera. En cuanto a la dinámica sedimentaria eólica, los trabajos se centran en la duna costera de la playa del Inglés. En este campo, cobran también importancia los ejemplares de *Traganum moquinii*, aunque como obstáculos, que conforman la propia duna costera, y forman dunas móviles transgresivas.

Para abordar el campo de la vegetación, se construyen, a su vez, dos bloques esenciales: por un lado el de la auto-ecología de *Traganum moquinii*, que comprende, a su vez, tres aspectos: por un lado el estado vital de las plantas, que se aborda mediante estudio radiométrico; por otro lado la reproducción asexual, que integra análisis de enraizamiento, crecimiento y resistencia a la salinidad, estos dos últimos derivados del de enraizamiento; y, por último, la reproducción sexual, que integra dos estudios: uno florístico y otro, derivado de éste, entomófilo. La inexistencia de referencias bibliográficas relativas a la reproducción asexual obligó a abordar estudios en dos etapas: en una primera, se llevaron a cabo ensayos previos, basados en experiencias del doctorando con otras especies, ayudado por algunos expertos asesores. Esta etapa fue necesaria de cara a fijar los aspectos claves a desarrollar en una segunda etapa, en la que los ensayos se consideraron definitivos.

El otro bloque que desarrolla el campo de la vegetación es el de la ecología de *Traganum moquinii*. Se aborda este campo a través de dos aspectos, como son procesos antrópicos (la contaminación lumínica) y los naturales (reacción al enterramiento).

En cuanto al campo de la dinámica sedimentaria eólica, se abordaron dos bloques fundamentales: por un lado el estudio del viento, que se desarrolla desde una perspectiva multiescalar (insular-parcela experimental), y que conlleva el desarrollo de un modelo eólico a escala de parcela; y por otro lado la morfología, que se aborda mediante el seguimiento de dos parcelas experimentales, la primera de ellas, localizada a sotavento de la duna costera, que estudia la interacción de un ejemplar de *Traganum moquinii* en la dinámica sedimentaria, y la segunda ubicada en la propia duna costera, que estudia la interacción de dos ejemplares vegetales en la dinámica sedimentaria.

Cada uno de los estudios que conforman esta tesis se presenta a continuación, siguiendo el mismo orden presentado en el esquema metodológico. Los aspectos específicos de metodología, como materiales utilizados o análisis realizados, se integran en cada uno de los estudios, de forma independiente. Les sigue, en cada caso, la presentación de los resultados, su discusión y las conclusiones parciales, que se derivan de cada uno de ellos.

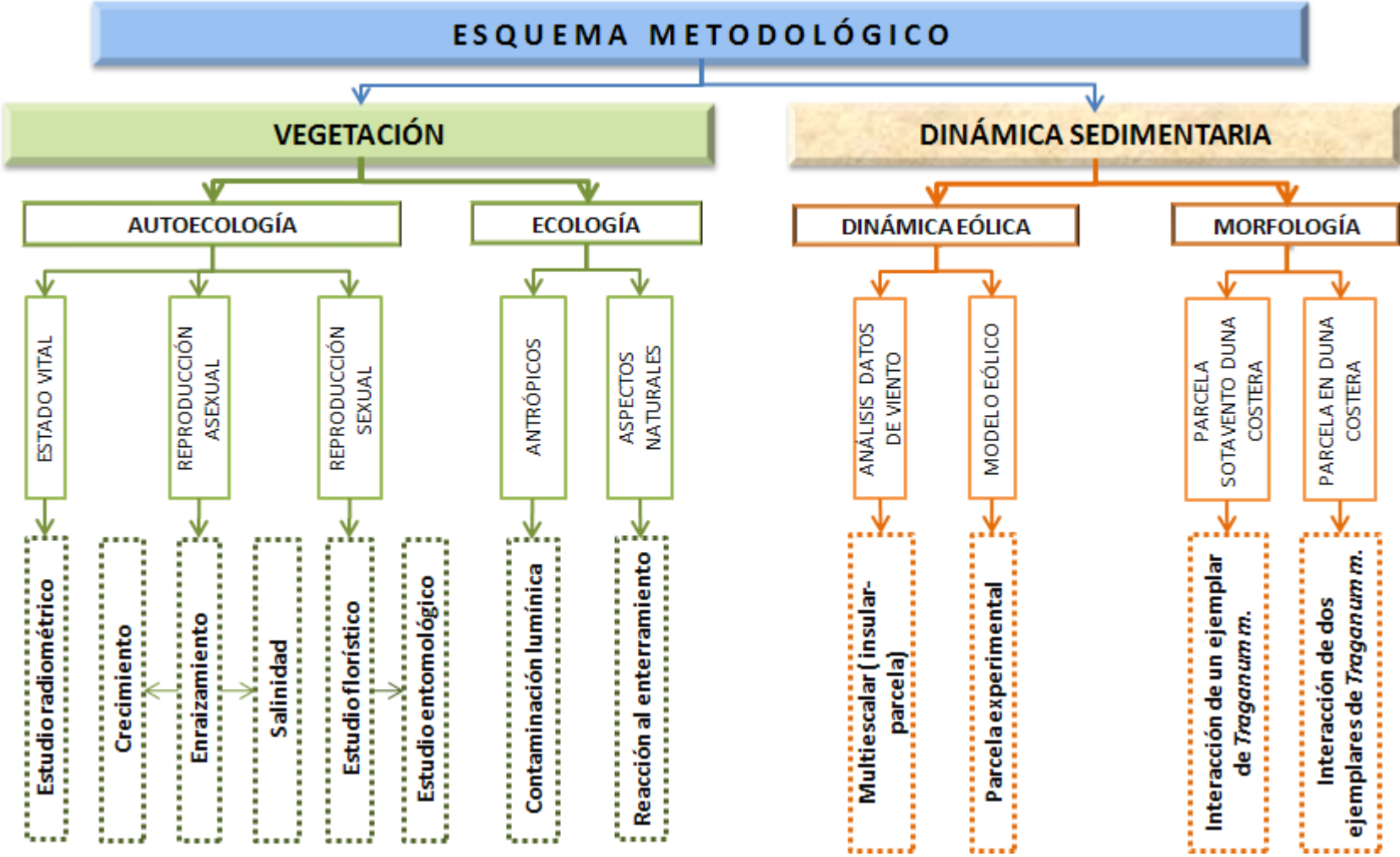


Figura 3: Esquema metodológico

### 3 VEGETACIÓN

Se presenta a continuación los estudios realizados en torno a la vegetación de la duna costera de la playa del Inglés, comenzando por los realizados en relación a la autoecología, para, a continuación, seguir por los estudios de ecología de *Traganum moquinii*.

#### 3.1 AUTOECOLOGÍA

Los estudios de autoecología de *Traganum moquinii* en la duna costera de la playa del Inglés se han desarrollado en tres aspectos: los relativos al estado vital de las plantas, los relativos a la reproducción asexual y los de reproducción sexual. Se presentan los métodos y los resultados en los siguientes apartados.

##### 3.1.1 Estado vital

Para el estudio del estado vital de los ejemplares de *Traganum moquinii* en la duna costera de la playa del Inglés se han desarrollado a través de un estudio radiométrico, que se presenta a continuación.

##### 3.1.1.1 Estudio radiométrico

Se inicia este estudio con el fin de medir la reflectividad de distintos ejemplares de *Traganum moquinii* en la playa del Inglés, para determinar las variaciones espaciales que presentan, ya que estas medidas se relacionan con parámetros vitales de las plantas (Chuvienco, 2006). Este estudio se desarrolla en dos líneas: por una parte, se pretende conocer la firma espectral de dicha especie en diferentes condiciones fisiológicas, y con los dos tipos de sustratos que se encuentran principalmente en la parte oriental del campo de dunas móvil (arena seca y arena húmeda cubierta por una lámina de sal), con la finalidad de tenerlas como referencias, ya que pudiera haber inferencia de la reflectividad de los mismos con la que corresponde a los individuos de *Traganum moquinii*; por otra parte se pretende medir de forma cuantitativa el vigor de dicha especie mediante índices de vegetación.



**Figura 4:** Sustrato de arena húmeda con lámina de sal, en las zonas de deflación de la playa del Inglés.

#### 3.1.1.1.1 Metodología

Para abordar este trabajo se ha hecho uso de un radiómetro multiespectral, CROPSCAN-MSR5, del Departamento de Geografía de la ULPGC, que permite observar al mismo tiempo la radiación directa y la reflejada, en las siguientes longitudes de onda: azul (0,45-0,52  $\mu\text{m}$ ), verde(0,52-0,60  $\mu\text{m}$ ), rojo (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ), infrarrojo cercano(0,76-0,90  $\mu\text{m}$ ), e infrarrojo medio(1,55-1,75  $\mu\text{m}$ ). Las medidas fueron tomadas durante el mes de mayo de 2011.

Para determinar la firma espectral de *Traganum moquinii* e eligieron en total 40 individuos, que fueron seleccionados mediante el análisis visual, en el campo, de diferentes zonas y en diferentes estadios. Estos últimos fueron: buen estado vegetativo, envejecidos, florecidos y muertos, se seleccionaron 10 ejemplares de cada tipo. En condiciones de follaje muy poco denso, se consideró no realizar tomas, aunque el ejemplar estuviera en buen estado fisiológico, pues la luz radiada por el suelo sería captada por el dispositivo, conjuntamente con la radiada desde la planta, en una proporción mayor, imposibilitando el estudio del estado de la vegetación.



**Figura 5:** Parte de un ejemplar de *Traganum moquinii* no óptimo para realizar un estudio radiométrico, dada su escasa cubierta vegetal, tras un proceso de enterramiento.

Se realizaron las medias aritméticas entre los valores de lecturas obtenidas, para posteriormente obtener firmas espectrales tipo.



**Figura 6:** Toma de lectura radiométrica a la cobertura vegetal de un ejemplar de *Traganum moquinii* con el radiómetro CROPSCAN-MSR5 en la playa del Inglés.

Para entender los datos que se obtuvieron, conviene conocer previamente algunos principios que permiten relacionar el estado vital de las plantas con su firma espectral. Así, debido al efecto absorbente de los pigmentos de las hojas, principalmente de la clorofila, xantofila y caroteno, se produce una reflectividad baja en la zona visible del espectro (Gates et al., 1965).

Estos pigmentos absorben en la región del espectro situado en torno a los 445 nm, si bien la clorofila presenta una segunda región de absorción próxima a 645 nm. Entre ambas franjas del espectro aparece una banda intermedia alrededor de los 550 nm en la cual el efecto absorbente es menor. Por este motivo aparece un pico en la reflectividad que coincide con la región de la luz verde del espectro visible, y causa el color que percibimos de la vegetación vigorosa (Chuvieco, 2006).

La baja absorptividad de las clorofilas y la propia estructura celular interna de la hoja genera una elevada reflectividad en el infrarrojo cercano (Gates et al, 1965; Horler et al, 1983). Por ello las hojas sanas tienen una alta reflectividad en el verde, y muy especialmente en el infrarrojo cercano. Por el contrario, presentan una baja reflectividad en las bandas restantes del visible (azul y rojo), indicando un buen estado vital. A la inversa, una alta reflectividad en el azul y el rojo, y baja en el verde y en el infrarrojo cercano supondría un estado de menor vitalidad del ejemplar objeto de estudio.

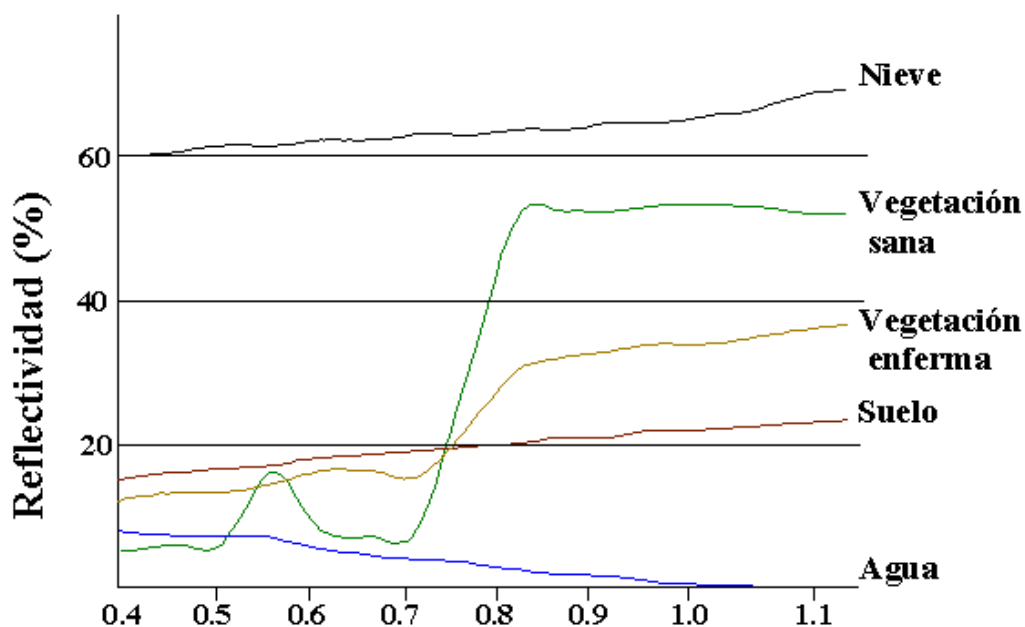
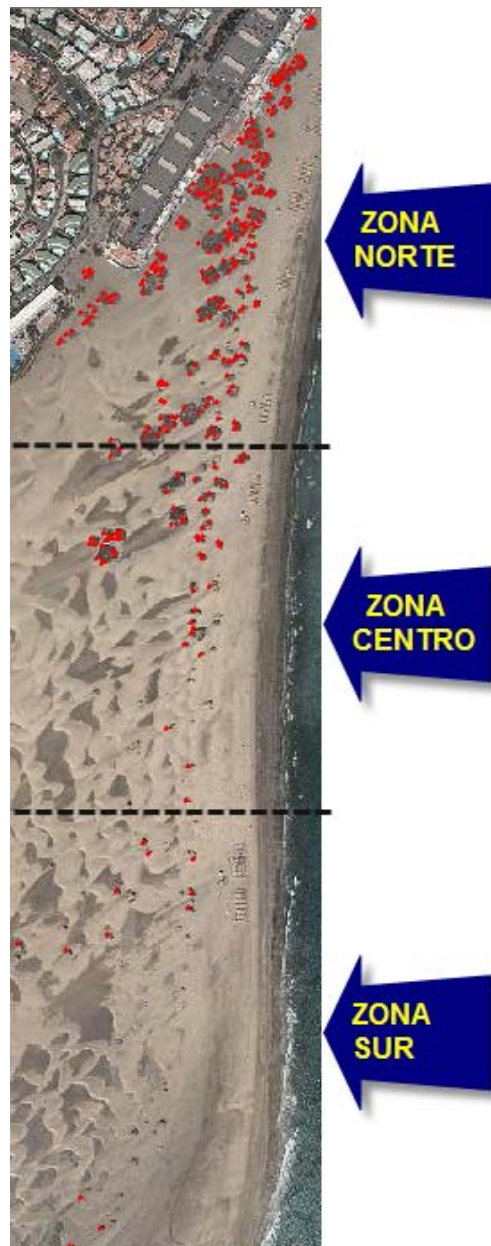


Figura 7: Firmas espectrales típicas de distintas cubiertas. Fuente: modificado de Chuvieco, 2006.

Para la toma de datos para el estudio de la vitalidad de *Traganum moquinii*, mediante índices de vegetación, se dividió el área objeto de estudios en tres zonas, referenciadas como *Norte*, *Centro* y *Sur*. Dependiendo de la superficie que ocuparan los ejemplares de *Traganum moquinii*, se tomaron diversos puntos, pudiendo oscilar desde 1 hasta 15 por individuo, realizándose una réplica de cada toma. En total se realizaron tomas en 313 puntos diferentes.

En la figura 8 se aprecian las ubicaciones donde se realizaron las diferentes tomas.



**Figura 8:** Ubicación de los puntos de tomas de datos y distribución de los mismos por zonas.



En los trabajos de teledetección que tienen como objetivo la caracterización del estado de la vegetación, suele ser habitual el empleo de los denominados índices de vegetación. Éstos se desprenden del cociente entre las bandas del rojo y del infrarrojo cercano, principalmente, aunque también se utiliza el infrarrojo medio. En nuestro caso, a partir de los datos obtenidos en campo se procedió a obtener diferentes índices de vegetación de cada ejemplar de *Traganum moquinii* estudiado. Para ello se ha realizado las medias de los diferentes valores, en caso de que hubiera varios.

Uno de los índices de vegetación implementado es el denominado Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, más conocido por sus siglas en inglés: NVDI.

$$NVDI = \frac{\rho_{i,jIRC} - \rho_{i,jR}}{\rho_{i,jIRC} + \rho_{i,jR}}$$

Este se ha empleado profusamente para estimar parámetros de la cubierta vegetal, lo que le confiere un papel protagonista de cara a la evaluación ambiental (Chuvieco, 2006). Dado que pueden existir valores iguales para cubiertas densas y con poca vitalidad, como cubiertas con alta vitalidad pero poco densas, se propone incluir en la ecuación del NVDI un parámetro que ajusta el índice de reflectividad promedio de fondo (Huete, 1988), obteniéndose el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo, conocido por sus siglas en inglés, como SAVI, de interés por su aplicación en zonas áridas.

$$SAVI = \frac{\rho_{i,jIRC} - \rho_{i,jR}}{\rho_{i,jIRC} + \rho_{i,jR} + L} (1 + L)$$

Según Huete (1988), el valor de L oscila entre 0 y 1, siendo inversamente proporcional a la densidad de cobertura. Es recomendable aplicar un valor de 1 para densidades bajas, 0,5 para medias, y 0,25 para densidades altas.

Para el caso que nos ocupa se considera que unos valores, a priori, óptimos para L del índice SAVI serían L= 0.75 para los ejemplares de *Traganum moquinii* que están más ubicados al sur de la playa del Inglés, L= 0,5 para aquellos ubicados en el centro y L= 0,25 para los que se encuentran al norte.

El desconocimiento del grado de cobertura supone un inconveniente para optimizar el valor de  $L$ , a menos que se desarrolle una función iterativa (Qi, 1994). Según este autor y otros colaboradores, el uso de una constante  $L=0,5$  da como resultado una pérdida en las respuestas dinámica de vegetación, ya que la  $L=0,5$  es generalmente más grande que los valores de reflectancia, por lo que desarrollaron una función que no requiere conocimiento previo de la densidad de la vegetación, con lo que consigue encontrar un  $L$  autoajutable, mediante un proceso iterativo, para aumentar la sensibilidad de la vegetación SAVI, al aumentar el rango dinámico y reducir aún más los efectos de la línea de suelo, obteniendo un SAVI modificado (MSAVI), con una relación superior entre la señal de la vegetación y el ruido del suelo.

Para ello se parte de:

$$MSAVI_0 = \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R + L_0} (1 + L_0)$$

siendo

$$L_1 = 1 - MSAVI_0$$

$$MSAVI_1 = \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R + 1 - MSAVI_0} (2 - MSAVI_0)$$

Continuando el proceso se obtiene

$$L_n = 1 - MSAVI_{n-1}$$

$$MSAVI_n = \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R + 1 - MSAVI_{n-1}} (2 - MSAVI_{n-1})$$

Con este procedimiento, se realizarán  $n$  iteraciones hasta que

$$MSAVI_n = MSAVI_{n-1}$$

Por lo que

$$MSAVI_N = \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R + 1 - MSAVI_N} (2 - MSAVI_N)$$

Una de las dos soluciones para la ecuación anterior con valores entre 0 y 1

$$MSAVI_N = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2}$$

donde  $b = -(2\rho_{IRC} + 1)$  y  $c = 2(\rho_{IRC} - \rho_R)$ , por lo tanto con una función inductiva de L

$$L = 1 - MSAVI_2$$

El resultado de MSAVI por inducción,  $MSAVI_2$ , se convierte en

$$MSAVI_2 = \frac{2\rho_{IRC} + 1 - \sqrt{(2\rho_{IRC} + 1)^2 - 8(\rho_{IRC} - \rho_R)}}{2}$$

Otro de los índices empleados para el estudio de las cubiertas vegetales, aunque en menor medida, es el índice de contenido en agua, Índice Infrarrojo de Diferencia Normalizada, en inglés NDII (Hunt y Rock, 1989)

$$NDII = \frac{\rho_{IRC} - \rho_{SWIR}}{\rho_{IRC} + \rho_{SWIR}}$$

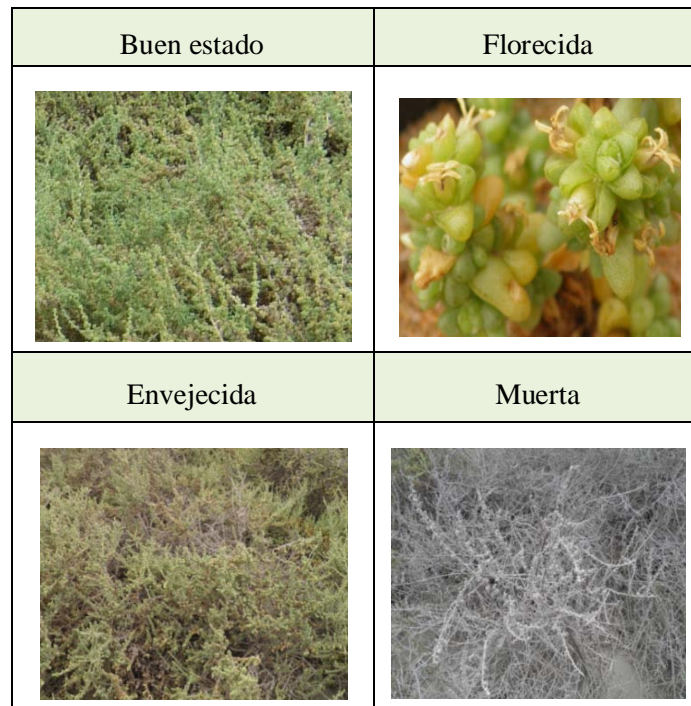
El contenido en agua en los vegetales, no es solo determinante para un buen desarrollo fisiológico, sino para identificar si el individuo está o no, en un estado de estrés hídrico. Se parte, en este caso de la base de que la absorción del agua se identifican en el del infrarrojo medio, SWIR, de modo que a menor contenido de agua en el vegetal, mayores la reflectividad en dicha longitud de onda.

Una vez calculados los índices de vegetación NVDI, SAVI, NDII y MSAVI para cada uno de los puntos de la muestra, los valores obtenidos se introducen en un software SIG, con el objeto de representarlos espacialmente. Para la categorización de los valores se siguió el criterio de dividir la diferencia entre el valor mínimo y el máximo en cinco clases diferentes, asignándosele la gama del rojo a los valores que representan menor vigor vegetativo y la del verde al mayor.

Con el software R, se analiza la correlación entre los valores de los diferentes índices de vegetación, tanto a nivel global como a nivel sectorial. De este modo se puede evaluar, con los datos resultantes del índice SAVI Vs MSAVI, si los valores asignados originalmente a L en el índice SAVI, dependiendo de la zona estudiada, fueron los más adecuados.

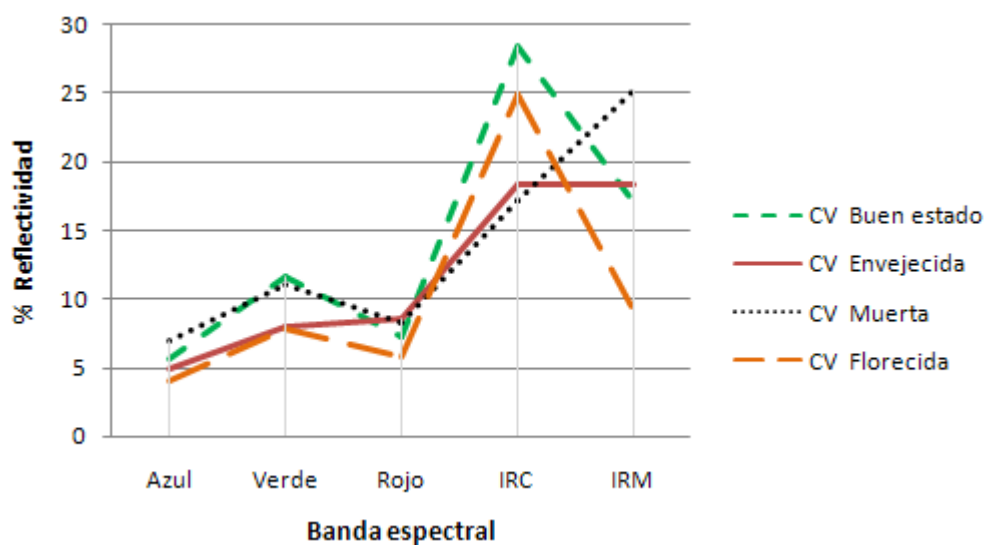
### 3.1.1.1.2 Resultados

En la ilustración inferior se muestra los diferentes estadios de cubiertas vegetales, que fueron objeto de estudio, para determinar sus firmas espectrales.



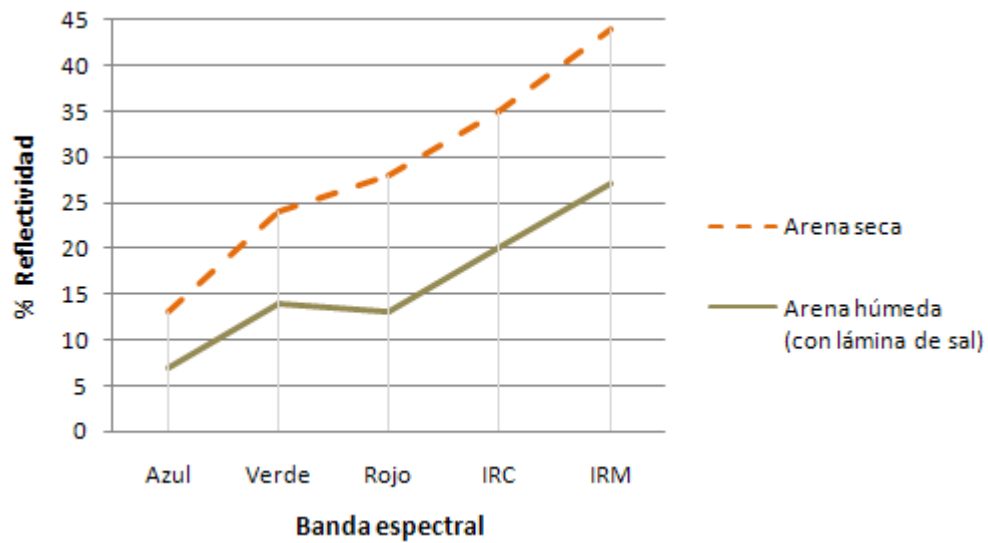
**Tabla 1:** Imágenes de cubiertas vegetales de *Traganum moquinii* en diferentes estadios.

Los gráficos de reflectividad obtenidos, dependiendo del estado de la cubierta vegetal, se muestra en la figura 9.



**Figura 9:** Firmas espectrales de diferentes estadios de *Traganum moquinii*.

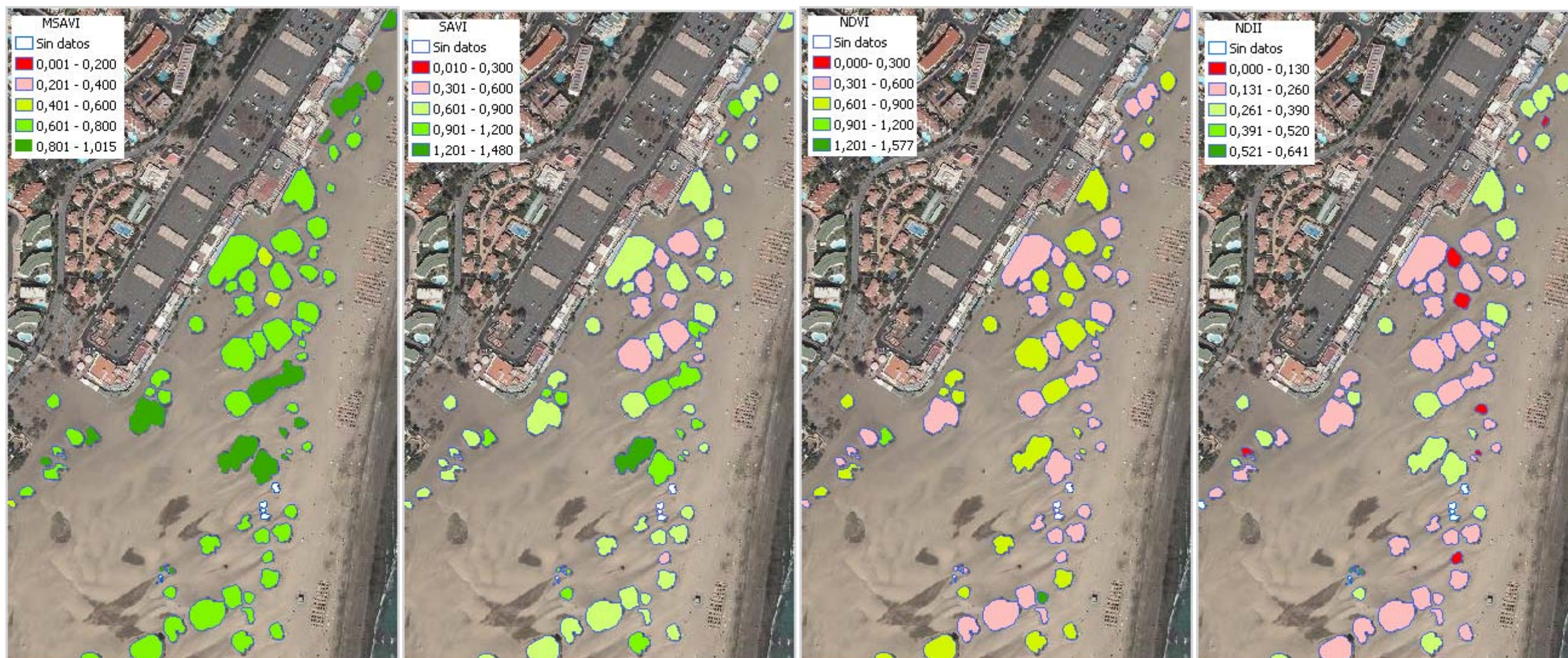
Los gráficos de reflectividad obtenidos de las superficies se muestran en la figura 10.



**Figura 10:** Firmas espectrales de los dos sustratos analizados en la playa del Inglés.

En las figuras 11, 12 y 13 se muestran los resultados obtenidos de los diferentes individuos de *Traganum moquinii*, después de incorporar los mismos en el SIG.

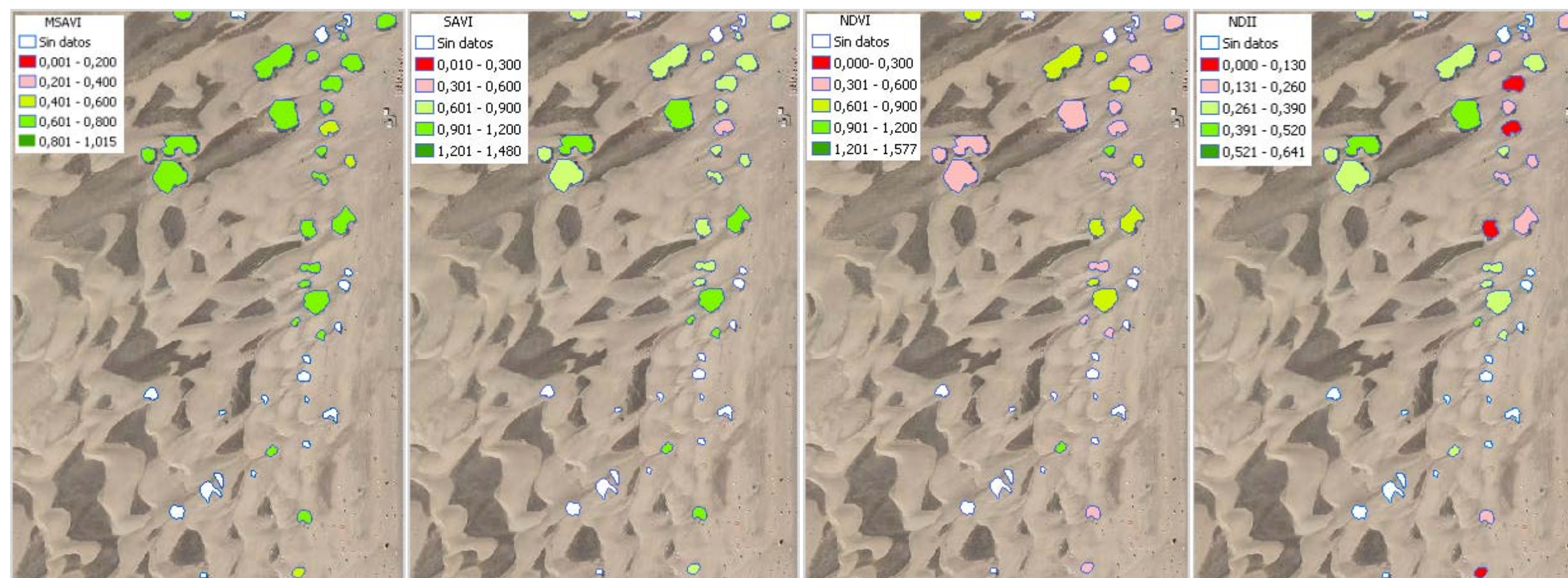




**Figura 11:** Representación gráfica con los valores de MSAVI, SAVI, NDVI, NDII de los ejemplares de *Traganum moquinii* de la zona Norte. (E: 1/4500).

Se puede apreciar que el índice NDII es el más restrictivo en la zona Norte, pues categoriza, de forma general, a los individuos en peores estados vegetativos. En cambio el MSAVI asigna, de forma general, una mayor vitalidad. En líneas generales la categorización del MSAVI coincide con la realidad. Se aprecia una moderada desviación de los valores de L asignados originalmente en el SAVI.

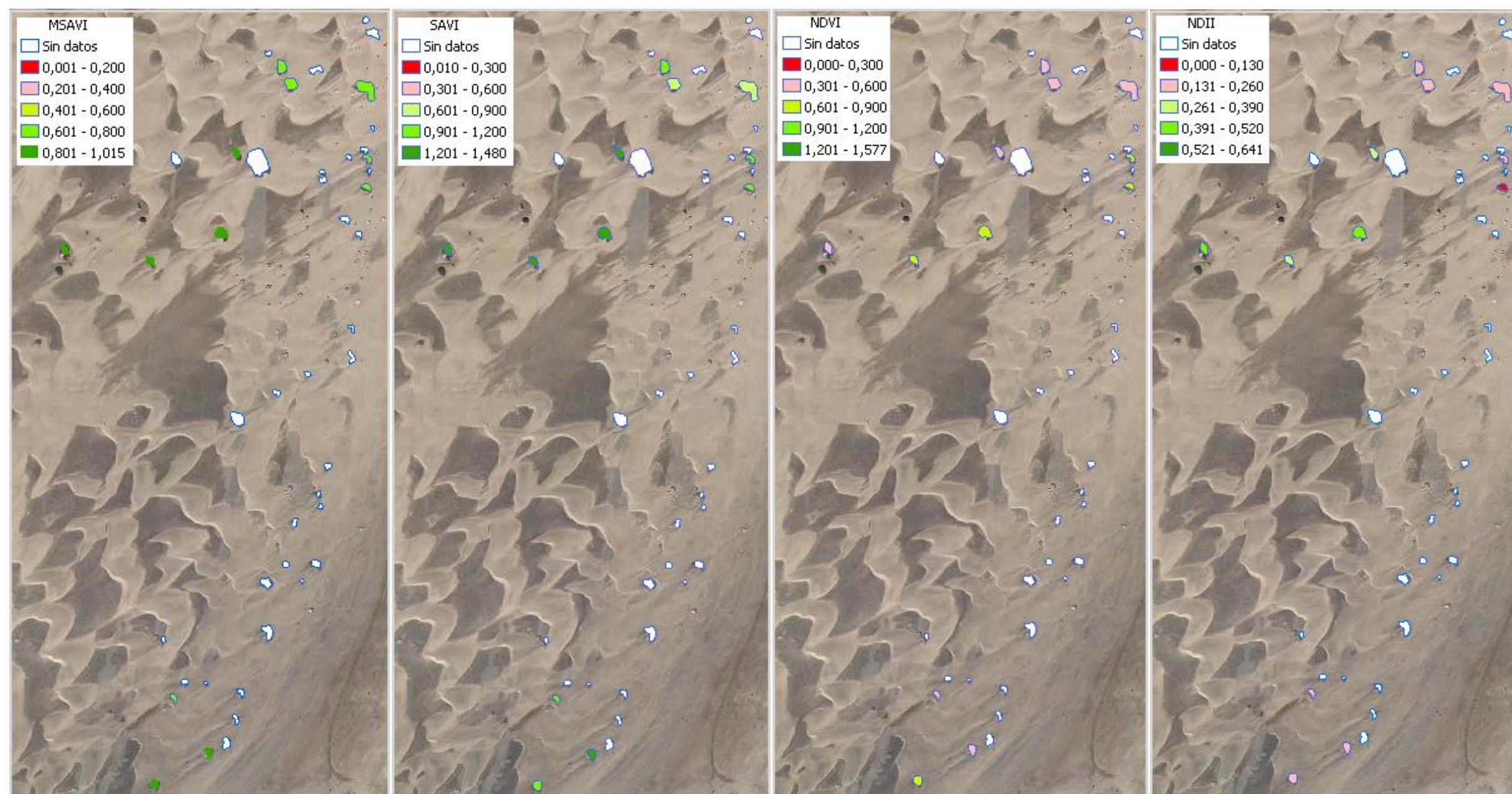




**Figura 12:** Representación gráfica con los valores de MSAVI, SAVI, NDVI, NDII de los ejemplares de *Traganum moquinii* de la zona *Centro*. (E: 1/4500).

En la zona *Centro* también el índice NDII es el más restrictivo, mientras que MSAVI categoriza a los individuos en mejor estado. Se aprecia una leve desviación en los valores asignados originalmente a L en el índice SAVI. En líneas generales la categorización del MSAVI sigue coincidiendo con la realidad.





**Figura 13:** Representación gráfica con los valores de MSAVI, SAVI, NDVI, NDII de los ejemplares de *Traganum moquinii* de la zona Sur.(E: 1/4000).

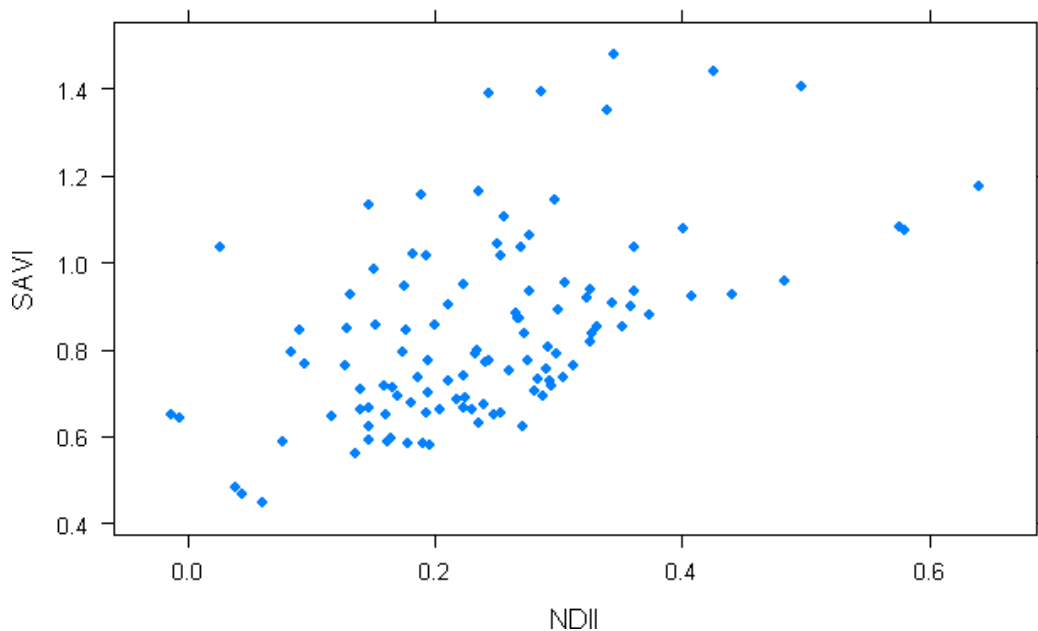
En la zona *Sur* se puede apreciar que las categorizaciones del NDII y del NDVI son muy parecidas. De igual forma lo son las de SAVI y MSAVI, denotando que el valor que se asignó a L, originalmente, en el índice SAVI fue bastante ajustado.



Del análisis del test de correlación de Pearson realizado en R, como hipótesis alternativa de verdadera correlación, cuando no es igual a cero, y con un intervalo de confianza del 95 %, se extrae lo siguiente:

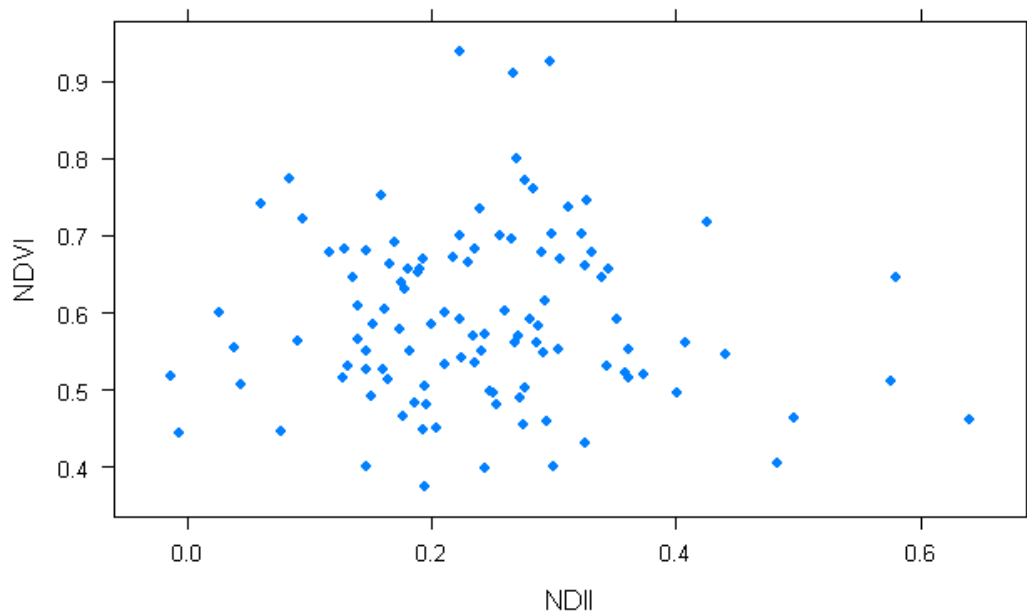
### Correlaciones entre índices a nivel global

En la figura 14 se aprecia una media correlación significativa en NDII vs SAVI, ( $r: 0,5815186$ ;  $p: 2,194e-11$ ).



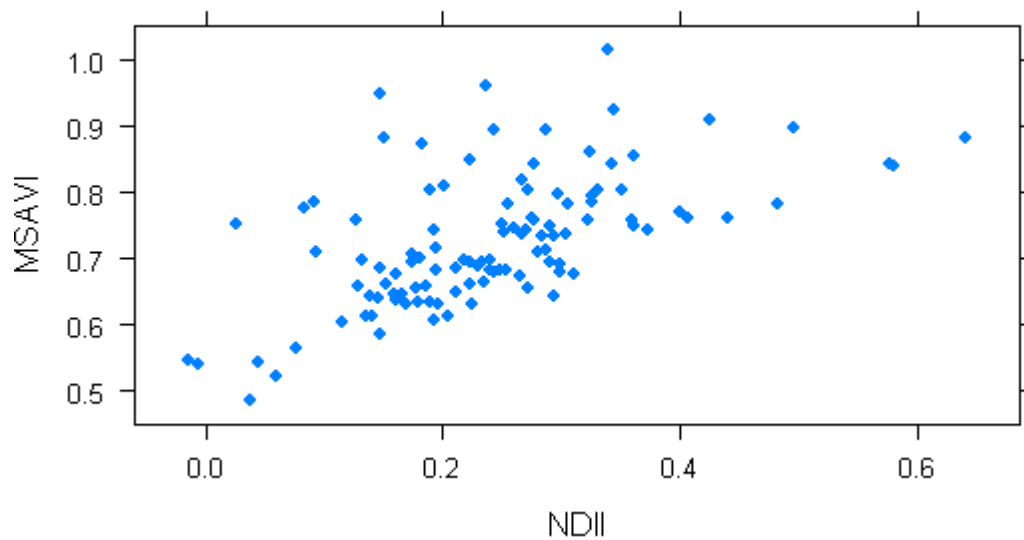
**Figura 14:** Diagrama de dispersión entre los índices NDII y SAVI.

En la figura 15 se aprecia una baja correlación no significativa en NDII vs NDVI, ( $r: -0,04033571$ ;  $p: 0,6742$ )



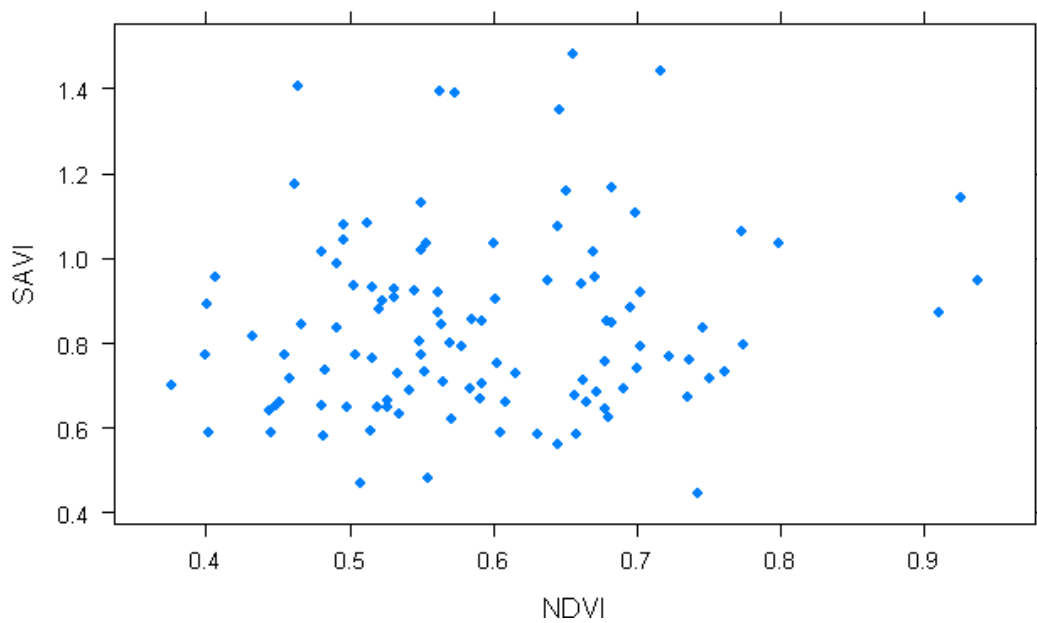
**Figura 15:** Diagrama de dispersión entre los índices NDII y NDVI.

En la figura 16 se aprecia una media correlación significativa en NDII vs MSAVI, ( $r: 0,5815186$ ;  $p: 2,194e-11$ )



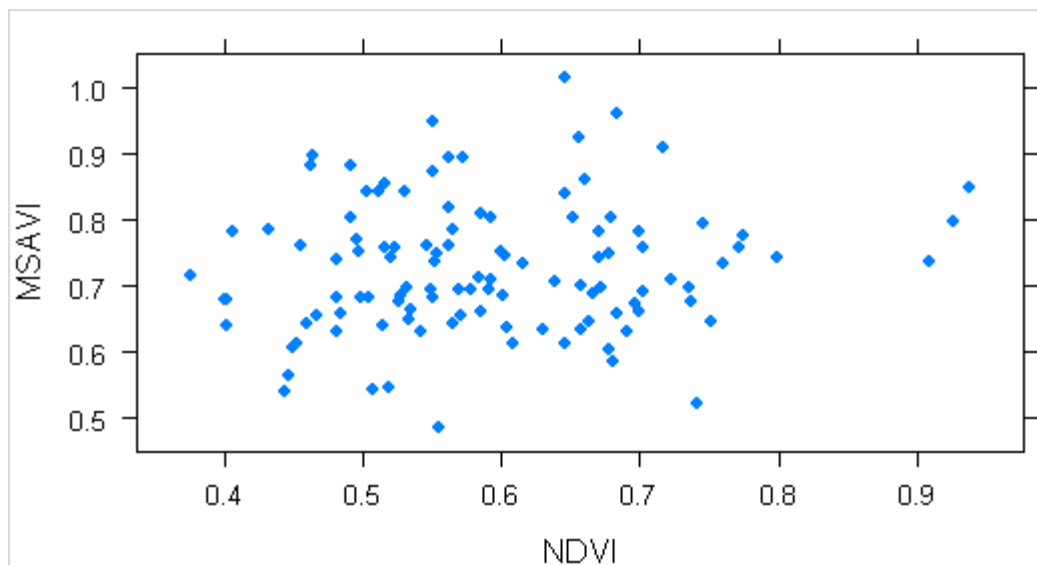
**Figura 16:** Diagrama de dispersión entre los índices NDII y MSAVI.

En la figura 17 se aprecia una baja correlación no significativa en NDVI vs SAVI, ( $r: 0,1261038$ ;  $p: 0,1872$ )



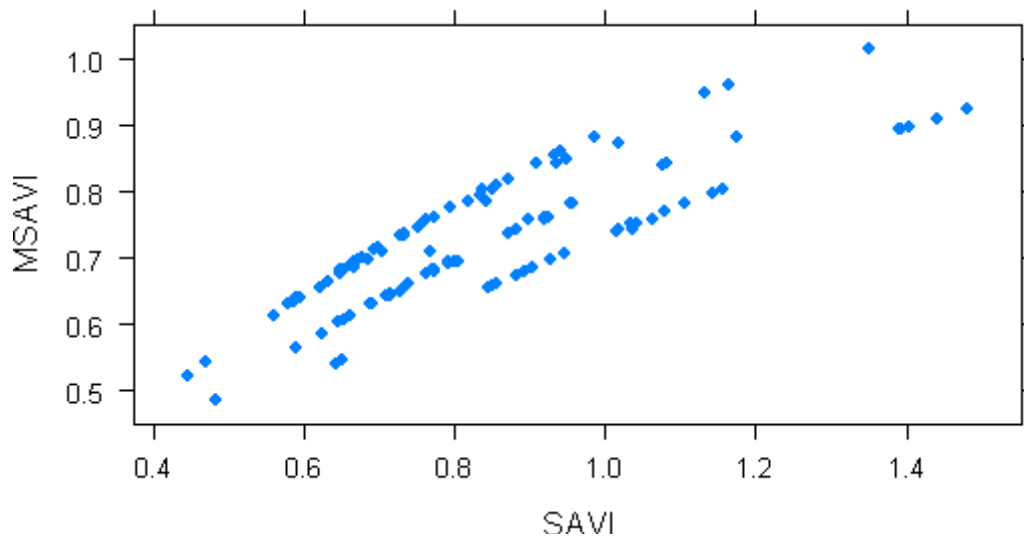
**Figura 17:** Diagrama de dispersión entre los índice NDVI y SAVI.

En la figura 18 se aprecia una baja correlación no significativa en NDVI vs MSAVI, ( $r: 0,1182012$ ;  $p: 0,2166$ )



**Figura 18:** Diagrama de dispersión entre los índices NDVI y MSAVI.

En la figura 19 se aprecia una alta correlación significativa en SAVI vs MSAVI, ( $r: 0,8426098$ ;  $p: 2,2e-16$ ), claramente diferenciada en los valores correspondientes a cada zona.



**Figura 19:** Diagrama de dispersión entre el los índices SAVI y MSAVI.

Un resumen de los resultados de las diferentes correlaciones de Pearson se muestra en la tabla 2.

Índices	r	p-valor	t	df	Intervalo
MSAVI-SAVI	0.8426098	< 2.2e-16	16.3356	109	0.7784827 ; 0.8893280
MSAVI-NDII	0.5815186	2.194e-11	7,4628	109	0.4431602 ; 0.6928165
SAVI-NDII	0.5295231	2.293e-09	6,517	109	0.3807056 ; 0.6516032
SAVI-NDVI	0.1261038	0.1872	1,3272	109	-0.06174025 ; 0.30532024
MSAVI-NDVI	0.1182012	0.2166	1.2428	109	-0.06972794 ; 0.29802799
NDVI-NDII	-0.04033571	0.6742	-0,4215	109	-0.2250367 ; 0.1471636

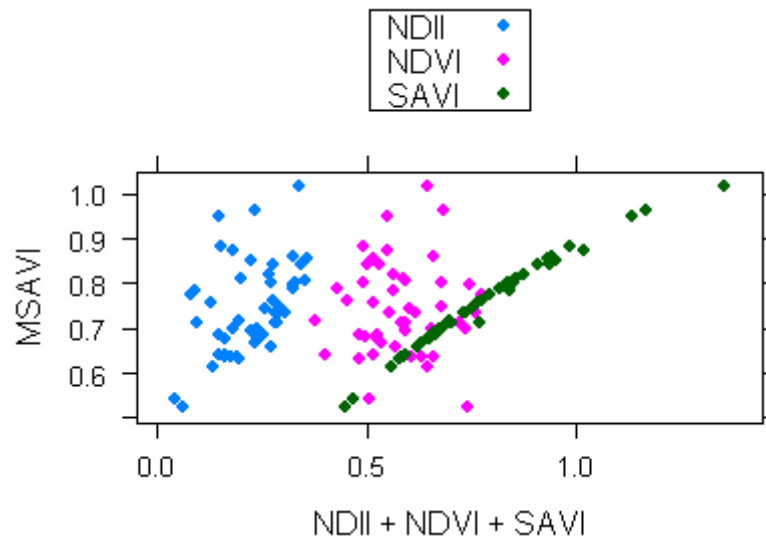
**Tabla 2:** Resultados de la correlación de Pearson del análisis global

### Correlaciones entre índices por zonas

Al representar las correlaciones, se ha introducido más de un índice en las gráficas de dispersión.

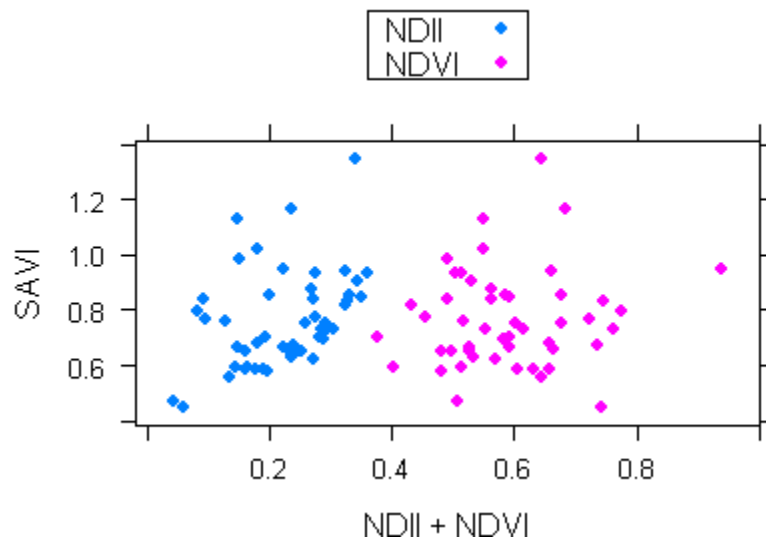
**Zona Norte**

En la figura 20 se aprecia una alta correlación muy significativa en MSAVI vs SAVI ( $r: 0,9877416$ ;  $p:< 2.2e-16$ ), una media correlación significativa en MSAVI vs NDII ( $r: 0,4522638$ ;  $p: 0,001104$ ) y una baja correlación no significativa en MSAVI vs NDVI ( $r: 0.08709174$ ;  $p: = 0.5518$ ).



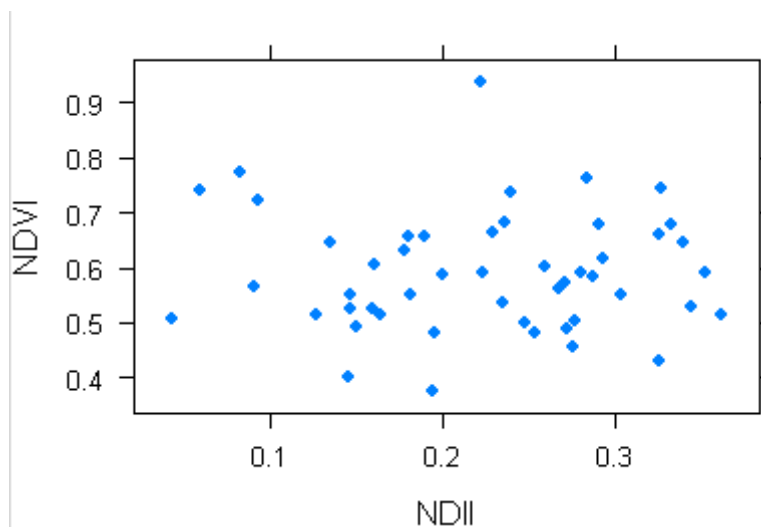
**Figura 20:** Diagrama de dispersión entre los índices MSAVI vs (NDII; NDVI; SAVI).

En la figura 21 se aprecia una media correlación significativa en SAVI vs NDII ( $r: 0,4067692$ ;  $p: 0,003374$ ) y una baja correlación no significativa en SAVI vs NDVI ( $r: 0,09538345$ ;  $p: 0.51$ ).



**Figura 21:** Diagrama de dispersión entre los índices SAVI vs (NDII; NDVI).

En la figura 22 se aprecia una baja correlación significativa en NDVI Vs NDII, ( $r: -0,03134994$ ;  $p: 0,003374$ )



**Figura 22:** Diagrama de dispersión entre los índices NDVI y NDII.

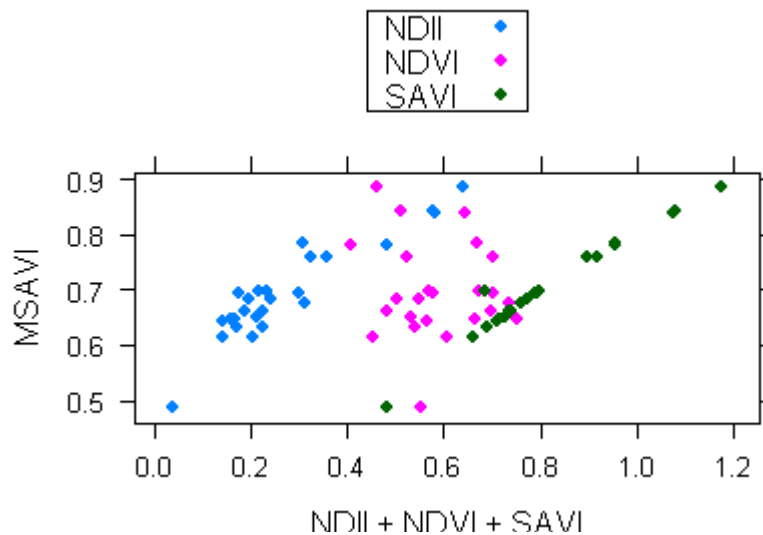
En la tabla 3 se muestra un resumen de los resultados de las diferentes correlaciones de Pearson en la zona *Norte*.

Índices	r	p-valor	t	df	Intervalo
MSAVI-SAVI	0.9877416	< 2.2e-16	43,3806	47	0.9782549 ; 0.9931040
MSAVI-NDII	0,4522638	= 0,001104	3,4764	47	0.1959926 ; 0.6507068
SAVI-NDII	0.4067692	= 0.003374	3.0849	48	0.1448183 ; 0.6154353
SAVI-NDVI	0.09538345	= 0.51	0.6639	48	-0.1879544 ; 0.3640653
MSAVI-NDVI	0.08709174	= 0.5518	0.5993	47	-0.1989778 ; 0.3594846
NDVI-NDII	-0.03134994	= 0.8289	-0.2173	48	-0.3070186 ; 0.2491721

**Tabla 3:** Resultados de la correlación de Pearson correspondiente a la zona *Norte*.

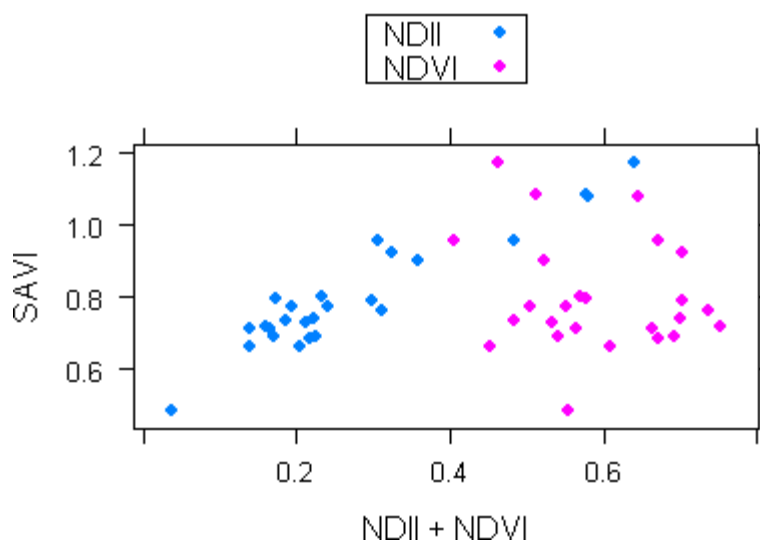
**Zona Centro**

En la figura 23 se aprecia una alta correlación muy significativa en MSAVI Vs SAVI ( $r: 0,9830248$ ;  $p: < 2.2e-16$ ), una alta correlación significativa en MSAVI Vs NDII ( $r: 0,9237842$ ;  $p: 4,5622e-12$ ) y una baja correlación no significativa en MSAVI Vs NDVI ( $r: -0,140343$ ;  $p: 0,5034$ ).



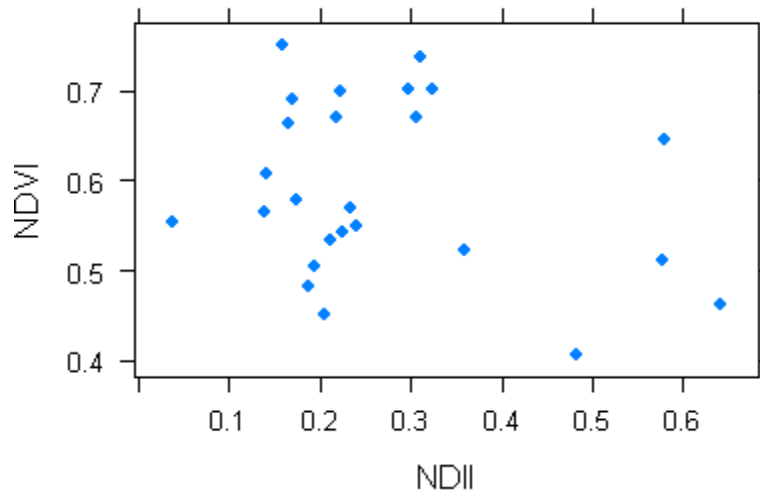
**Figura 23:** Diagrama de dispersión entre los índice MSAVI vs (NDII; NDVI; SAVI).

En la figura 24 se aprecia una alta correlación significativa en SAVI vs NDII ( $r: 0,9412675$ ;  $p: 2,486e-12$ ) y una baja correlación no significativa en SAVI vs NDVI ( $r: -0,1859995$ ;  $p: 0,3734$ ).



**Figura 24:** Diagrama de dispersión entre los índices SAVI vs (NDII; NDVI).

En la figura 25 se aprecia una baja correlación no significativa en NDVI vs NDII, ( $r: -0,2385512$ ;  $p: 0,2508$ ).



**Figura 25:** Diagrama de dispersión entre los índices NDVI y NDII.

En la tabla 4 un resumen de los resultados de las diferentes correlaciones de Pearson en la zona *Centro*.

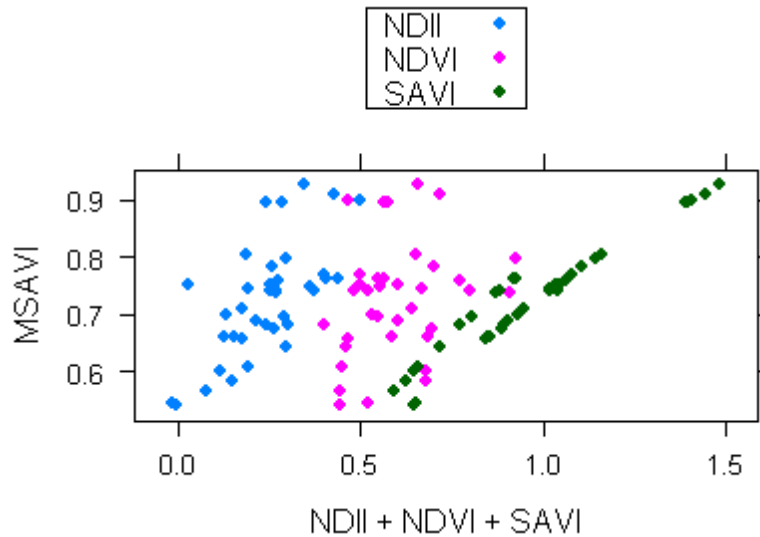
Índices	r	p-valor	t	df	Intervalo
MSAVI-SAVI	0.9830248	< 2.2e-16	25.6955	23	0.9612761 0.9926047
SAVI-NDII	0.9412675	2.486e-12	3.0849	23	0.8695389 ; 0.9741054
MSAVI-NDII	0.9237842	4.562e-11	11,57	23	0.8325454 0.9662271
NDVI-NDII	-0.2385512	0.2508	-1.1781	23	-0.5790970 0.1728747
SAVI-NDVI	-0.1859995	0.3734	-0.9079	23	-0.5413447 0.2257206
MSAVI-NDVI	-0.140343	0.5034	0.5993	23	-0.5073399 0.2697464

**Tabla 4:** Resultados de la correlación de Pearson, correspondiente a la zona Centro.

### Zona Sur

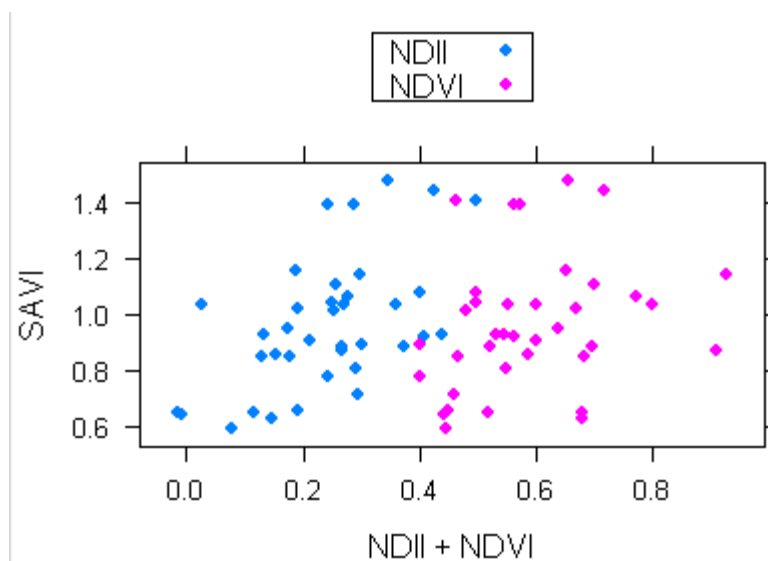


En la figura 26 se aprecia una alta correlación muy significativa en MSAVI vs SAVI ( $r: 0,9687592$ ;  $p: < 2.2e-16$ ), una media correlación significativa en MSAVI vs NDII ( $r: 0,6790313$ ;  $p: 3,835e-06$ ) y una baja correlación no significativa en MSAVI vs NDVI ( $r: 0,2745575$ ;  $p: 0,1001$ ).



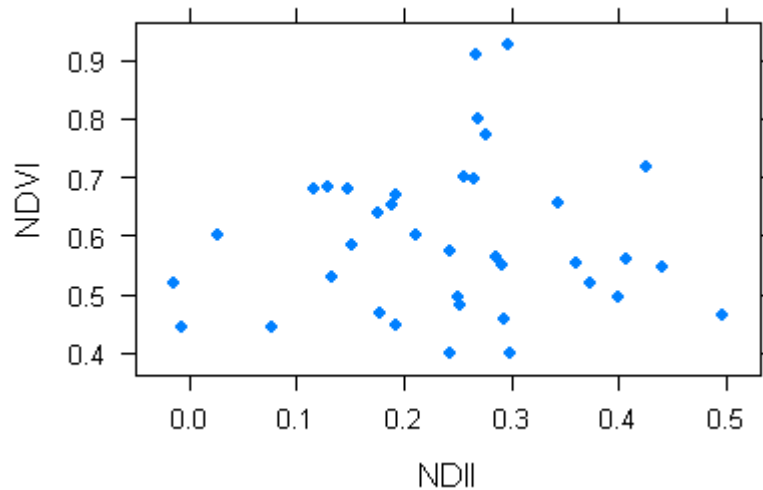
**Figura 26:** Diagrama de dispersión entre los índices MSAVI vs (NDII; NDVI; SAVI).

En la figura 27 se aprecia una media correlación significativa en SAVI vs NDII ( $r: 0,5606077$ ;  $p: 0,0003076$ ) y una baja correlación no significativa en SAVI vs NDVI ( $r: 0,2626098$ ;  $p: 0,1164$ ).



**Figura 27:** Diagrama de dispersión entre el índice SAVI vs (NDII; NDVI).

En la figura 28 se aprecia una baja correlación no significativa en NDVI Vs NDII ( $r: -0,05682974$ ;  $p: 0,7383$ ).



**Figura 28:** Diagrama de dispersión entre los índices NDVI y NDII.

En la tabla 5 se muestra un resumen de los resultados de las diferentes correlaciones de Pearson en la zona *Sur*.

Índices	r	p-valor	t	df	Intervalo
MSAVI-SAVI	0.9687592	< 2.2e-16	23.1096	35	0.9397126 0.9839271
MSAVI-NDII	0.6790313	3.835e-06	5.4722	35	0.4551550 0.8221595
SAVI-NDII	0.5606077	0.0003076	4.0052	35	0.2891036 0.7486384
MSAVI-NDVI	0.2745575	0.1001	1.6892	35	-0.05429134 0.54967628
SAVI-NDVI	0.2626098	0.1164	1.6101	35	-0.06712054 0.54062655
NDVI-NDII	0.05682974	0.7383	0.3368	35	-0.2722016 0.3739626

**Tabla 5:** Resultados de la correlación de Pearson correspondiente a la zona *Sur*

### 3.1.1.1.3 Discusión

Se parte de la máxima de que los individuos vegetales en un medio no antropizado, xerófito con cubierta arenosa, y con numerosos eventos eólicos, tienen normalmente su superficie foliar cubierta de partículas muy finas. Tal circunstancia no favorece el proceso de fotosíntesis de los vegetales, repercutiendo en su estado fisiológico. Ello conlleva una disminución en la producción de cloroplastos, y por extensión un aumento en la absorción en la longitud de onda del verde, dando como resultado posible, ante lecturas radiométricas valores del rojo y del IRC más elevados, y como consecuencia de ello, peores valores en NDVI, SAVI y MSAVI. Este hecho se observa en la zona norte de la playa del Inglés, dada la alta antropización, debido a que los ejemplares vegetales están más expuestos no solo al tránsito de personas, sino también a las actuaciones de las maquinarias pesadas asignadas a la limpieza de la playa, por lo que esto podría ser la causa de que los valores del NDVI, obtenidos en este estudio, tengan correlaciones muy bajas en relación con los otros índices.

Se puede observar del análisis espacial, que el índice de vegetación NDII es el más restrictivo de los cuatro índices calculados. Quizás en un medio arenoso con una pluviometría muy baja, como es el caso de la dunas de Maspalomas, carente de agua en superficie, el índice NDII, a priori, podría ser más fiable por dos razones: i) al no haber agua en la superficie del suelo la única agua detectada por los sensores sería la proveniente del follaje de la especie estudiada, en este caso *Traganum moquinii*, y ii) en líneas generales, las especies adaptadas a estos medios minimizan su pérdida hídrica, pues su sistema radicular de *Traganum moquinii* se desarrolla principalmente en la zona húmeda, por succión capilar desde el nivel freático, a no ser que los ejemplares estén envejecidos. Sin embargo el concepto de envejecido de un ejemplar vegetal en este sistema, se funde con la reacción de la planta ante el enterramiento (pérdida de hojas por falta del proceso fotosintético). Este proceso de enterramiento se puede producir en condiciones normales, en un periodo de tiempo muy corto (días), por lo que no es correcto desde el punto de vista fisiológico aplicar este término, pues una planta que puede tener una longevidad de decenas de años, no envejece en un mes, en el más estricto significado de envejecimiento. Independientemente, el hecho de sufrir un

enterramiento no solo pone al individuo en situación de estrés, y su reacción se confunde con los típicos síntomas de envejecimiento, aparte de que oculta parte del follaje que podría mostrar un mayor nivel de vitalidad. Tal es así, que si el enterramiento se produce en determinadas condiciones de forma y duración, la planta reacciona positivamente (véase apartado 3.2.2.1). Por ello se puede encontrar una situación de semienterramiento de un individuo, y a su vez en un estado vigoroso de las partes no enterradas.

Por lo anterior, se deduce que las interpretaciones de los valores del NDII, deben ir acompañadas de un conocimiento elevado de la fisiología de la planta objeto de estudio para que sean verdaderamente fiables. En el caso del que nos ocupa, todavía requiere un mayor conocimiento, pues se trata de una planta que está supeditada a muchas variables, por lo que es más complicado determinar su estado con exactitud.

El hecho que las ramas de *Traganum moquinii*, cuando están en su etapa de máximo crecimiento tengan una tonalidad rosada, produce una mayor reflectividad en la banda del rojo, por lo que el valor del índice de vegetación disminuye. Por ello los índices NDVI, SAVI y MSAVI mostrarían un peor estado vegetativo. Debería de ser objeto de futuros estudios el determinar si el tono rosado es motivado por diversas sustancias, como pudieran ser auxinas, motivadoras de crecimiento, o por una posible acumulación de antocianinas, sustancia que infiere a los vegetales un tono rojizo, y entre otras funciones, la de proteger al vegetal de los rayos UV.

Del estudio de correlación a nivel general se concluye que existen correlaciones positivas y significativamente distintas de cero en MSAVI vs SAVI, MSAVI vs NDII y SAVI vs NDII. Destacando la de MSAVI vs SAVI con una correlación positiva de 0,843 y un p-valor de 2,2e-16. Por lo que entre ambas variables existe una alta asociación lineal, de modo que a mayor valor de SAVI, mayor valor de MSAVI. Asimismo se aprecia que los peores valores de las correlaciones y con valores de p-valor distintos de cero no significativos, son aquellos en los que interviene el NDVI, por lo que no existen asociaciones lineales entre dicho índice y los otros.

En relación al aspecto estudiado de si los valores de L en el SAVI fueron los más idóneos, se puede apreciar en el análisis por zonas, que los diferentes valores de las correlaciones entre MSAVI vs SAVI son muchos más altos que entre los otros índices en las zonas norte y sur. Destaca el valor de la correlación en la zona norte con un 0.9877416 y un p-valor de 2,2e-16. Sin embargo dichas diferencias se atenúan en la zona centro con los valores en los que interviene el NDII, excepto cuando se correlaciona con el NDVI. Partiendo de la base que los valores aportados por el MSAVI son objetivos, pues no intervienen los criterios humanos, y dada la alta correlación y significativamente distintos de cero en MSAVI vs SAVI, del análisis se deduce que los valores asignados a L en el SAVI fueron adecuados, y no tenían sesgos.

### **3.1.2 Reproducción asexual**

Se presenta a continuación los estudios realizados sobre reproducción asexual. Comienza el trabajo con un estudio sobre enraizamiento del que derivan otros dos estudios: uno relativo al crecimiento de *Traganum moquinii* y otro dedicado al límite de tolerancia de la especie a un medio salino.

#### **3.1.2.1 Enraizamiento**

Como se ha mencionado anteriormente, uno de los objetivos de este trabajo, es definir el protocolo más adecuado para obtener plántulas nuevas de *Traganum moquinii* mediante propagación vegetativa, partiendo de la totipotencialidad de los tejidos vegetales, asegurando, con ello que las plántulas tengan las mismas características genéticas que la planta madre. Este proceso de propagación vegetativa se ha decidido realizar en 3 etapas perfectamente diferenciadas: en las dos primeras se han realizados diversos ensayos, imbricados en sus diferentes avances, a medida que se iban identificando las variables que pudieran inferir de forma positiva en este proceso de propagación. Con ello se pretendía determinar más adecuadamente los pasos a seguir en la tercera etapa, en la que se ha

realizado un ensayo para evaluar la evolución del crecimiento de los esquejes, una vez hayan enraizados.

Una vez realizado los diferentes ensayos, se define un protocolo para abordar la propagación vegetativa, con los mayores éxitos y condiciones fisiológicas posibles de los nuevos individuos.

### **3.1.2.1.1 Ensayos previos**

Dado que no existe literatura científica, asociada a la reproducción vegetativa del *Traganum moquinii*, se ha partido desde cero, por lo que en esta fase se han realizado diferentes ensayos, que tenían la función de identificar, en algunos casos, y verificar, en otros, los diferentes parámetros que deberían conformar el protocolo más adecuado que se debería seguir, para que los esquejes de *Traganum moquinii* no solo enraícen, sino que lo hagan con el mayor porcentaje de éxito posible, y en las mejores condiciones.

Parte de las diferentes metodologías seguidas en esta etapa se han basado en el método heurístico de ensayo y error.

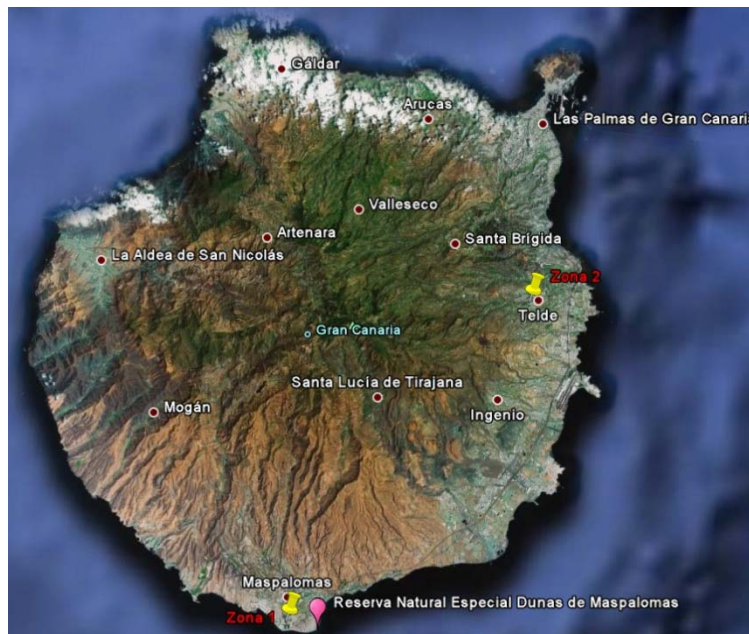
Las diferentes incógnitas que se pretendían identificar, de cara a la reproducción, fueron las siguientes.

- El sustrato más idóneo.
- Las partes de la planta más óptima.
- El estado de crecimiento del material vegetal.
- la necesidad o no, del uso de fitohormonas.
- El método de irrigación.
- El periodo del año más adecuado.
- La temperatura del habitáculo.
- El contenedor más apropiado.
- La longitud idónea de los esquejes

Los resultados de los distintos experimentos, de esta fase, han sido analizados mediante estadística descriptiva.

### Localización de las zonas de ensayos

Los diferentes experimentos se realizaron en dos zonas, en las instalaciones de la empresa EMALSA., en el municipio de San Bartolomé de Tirajana, próximas a la RNE de las Dunas de Maspalomas (Zona 1) y en el municipio de Telde, en una parcela ubicada a una altitud de 200 metros sobre el NMM (Zona 2).



**Figura 29:** Ubicación geográfica de las zonas utilizadas para los ensayos. Fuente: Google Earth.

### Materiales

#### Sustratos

Se utilizaron cinco tipos de sustratos: arena de la playa del Inglés, arena de África (cuarcífera), tierra vegetal, perlita y turba.

La arena de la playa del Inglés se utilizó principalmente por ser el originario del entorno en el cual se desarrollan los ejemplares de *Traganum moquinii*, para

poder realizar las pequeñas extracciones necesarias por los diferentes ensayos, se solicitaron los correspondientes permisos oficiales al Cabildo de Gran Canaria.

Ante el hecho de que está restringido realizar extracciones de esta arena, se pensó en utilizar igualmente otro sedimento de textura arenosa, el cual se pudiera conseguir con facilidad, y sin necesidad de alterar las condiciones naturales de esta Reserva. Tal fue el caso de la elección de la arena de África. Dicho sedimento se encuentra disponible fácilmente a nivel comercial, por ser utilizado como componente en la actividad de la construcción, siendo su origen, canteras ubicadas al este del África Sahariana.

En el caso de la tierra vegetal, se eligió una, cuya estructura granulométrica a priori, presentara un perfil lo suficientemente arenoso como para que no aportara un excesivo contenido en arcilla, pues ésta, facilita el encharcamiento, por lo que podría perjudicar el enraizamiento de los esquejes.

A los sustratos mencionados anteriormente se les realizaron un análisis físico y químico, en las instalaciones de la Granja Experimental que posee el Cabildo Insular de Gran Canaria. Las determinaciones y resultados se muestran en la tabla 6.



Nombre determinación	Tierra vegetal	Arena playa del Inglés	Arena África
pH 1:2:5 en agua	8.21	10.02	9.21
Conductividad	0.85 dS/m	1.04 dS/m	0.23 dS/m
Caliza (Calcímetro Bernard)	1.10 %	43.5 %	41.6 %
Materia Orgánica (Combustión seca)	0.23 %	0.28 %	1.01 %
Nitrógeno total (Combustión seca)	<0.02 %	<0.02 %	<0.02 %
Relación C/N (Calculado)	6.7	>100	>100
Nitratos (Extr. sulfato cálcico + SFA)	45 mg/kg	<10 mg/kg	<10 mg/kg
Fósforo asimilable (Olsen)	7 mg/kg	<2 mg/kg	2 mg/kg
<b>Bases de Cambio: meq/100g</b>			
Potasio de cambio	2.3	0.3	0.3
Calcio de cambio (Ac. Na si caliza)	23.8	2.4	4.0
Magnesio de cambio (Ac. Na si)	4.2	0.5	0.4
Sodio de cambio	3.2	3.2	0.4
<b>Microelementos: mg/kg</b>			
Boro (Ext. Agua caliente + ICP-OES)	0.89	6.2	0.23
Cobre (Ext. DTPA+ICP-OES)	0.87	0.09	0.09
Hierro ((Ext. DTPA+ICP-OES)	6.20	2.20	1.80
Manganeso ((Ext. DTPA+ICP-OES)	0.87	0.90	0.40
Cinc ((Ext. DTPA+ICP-OES)	0.42	0.17	0.19
<b>Análisis Granulométrico –</b>			
Arena	70.4 %	93.7 %	93.7 %
Limo	16.7 %	6.3 %	5 %
Arcilla	12.9 %	<1 %	1.3 %
Textura	Areno-	Arenosa	Arenosa

**Tabla 6:** Análisis químico y físico de sustratos. Fuente: Cabildo de Gran Canaria.

También se eligió la perlita como sustrato de enraizamiento por tener dos cualidades importantes a destacar, como son su capacidad higroscópica y su baja densidad, por lo que permite un fácil manejo de los posibles contenedores.

Entre los materiales inorgánicos, la perlita permite una buena respuesta por parte de los cultivos, debido a su alta eficiencia en el uso del agua (Martín- Closas y Recasens, 2001). Presenta una red de poros internos que pueden estar conectados con el exterior o ser cerrados. Estos últimos no conforman la porosidad efectiva, ya que las raíces no tienen acceso a ellos (Ansorena Miner, 1994). Este producto se ha conseguido en el mercado comercial con el nombre Agra-perlite, cuyo fabricante es Pull Rhenen.

Especificaciones de la perlita según el fabricante:

- Inorgánico, inerte y estéril.
- Libre de gérmenes patógenos, semillas, insectos y nematodos.
- Densidad baja, buenas propiedades capilares, buen drenaje, color blanco y grano redondo
- Ph entre 6,5 y 7,5.
- CE; < 0,2.
- Volumen de poro;  $\pm 96\%$ .
- Densidad;  $\pm 95 \text{ kg-m}^3$

Por último, se hizo uso de turba, debido a sus características físicas y químicas, que la hacen en un material muy empleado a nivel comercial, como parte de los sustratos para reproducciones vegetativas.

En la tabla 7 se muestra la composición de la turba utilizada, según el proveedor, Shijiazhuang Pinquan Minerals Trade co, ltd.

Compuesto	Contenido (%)
SiO <sub>2</sub>	70-75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12-15
Na <sub>2</sub> O	3-4
K <sub>2</sub> O	3-5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5-2
MgO	0,2-0,7
CaO	0,5-1,5
Pérdida por ignición	3-5

**Tabla 7:** Composición de la turba utilizada, según fabricante.

Especificaciones de la turba utilizada:

- Materia orgánica 50%.
- NPK 7%.
- Ácidos húmicos, 30-40%.
- Humedad 20-25%
- Valor PH 5-7.
- Valor EC 0,65-0,87 (ds/m).

#### Material vegetal

Se utilizaron esquejes de la población de *Traganum moquinii* existente en la playa del Inglés, dentro de la RNE de las Dunas de Maspalomas. Para poder realizar la extracción de muestras necesarias, se solicitaron los correspondientes permisos al Cabildo de Gran Canaria.

Se seleccionaron los esquejes de las zonas intermedias de las ramas, y de la zona apical, seleccionándose uno u otro dependiendo del ensayo. La longitud de los esquejes utilizados para los diferentes ensayos fueron; 7 cm, 15 cm, 25 cm y/o 35 cm. Por su parte inferior los esquejes se deben de limpiar de hojas, por dos motivos: i) para no aportar restos orgánicos al sustrato, evitándose en la medida de

lo posible el desarrollo de hongos, y ii) disminuir la pérdida hídrica por la superficie foliar, compensando la falta de absorción de agua, al carecer de raíces. Se realizó dicha tarea de limpieza, al considerarse de vital importancia, en todos los ensayos.

Otro de los parámetros que intervinieron en el momento de la selección del material vegetal, dependiendo del tipo de ensayo a realizar, fue la fase de crecimiento en que se encontraba la rama en el momento de su elección, pues se pueden identificar tres: alto, medio, o nulo.

En la figura 30 se pueden apreciar los estados en que se han seleccionado los esquejes, estando el esqueje referenciado como (1) en un crecimiento alto, pues se ha observado que una característica en esta especie cuando se encuentra en dicho estadio, es el aumento de las distancias entre nudos, alrededor de un 1 cm y un tono rosado en la zona de la yema terminal. Estando en dicho estado, necesita una elevada cantidad, de agua y de nutrientes, pues el hecho de crecer 0,6 cm diario (véase apartado 4.2.2.1.3), y el estar en su tasa de crecimiento más elevada durante su ciclo anual, así lo exige. El esqueje referenciado como (2) está en un estado de crecimiento medio, por lo que las necesidades hídricas y nutritivas son menores, observándose que las distancias entre nudos es de aproximadamente 0,5 cm. Finalmente el esqueje referenciado como (3), está en un estado de crecimiento nulo, de modo que las distancias entre nudos es mínimo, alrededor de 0,2 cm.



**Figura 30:** Esquejes en diferentes estados de crecimiento, sobre GRID de 0,5 cm.

### Materiales varios

Los contenedores empleados durante los diversos ensayos fueron los siguientes:

- Macetas de plástico de 8 cm de diámetro por 7 cm de alto.
- Bolsas de polietileno de 20 cm de diámetro por 40 cm de alto, existentes en el mercado. Estas bolsas fueron adaptadas, de forma que fueron cosidas a lo largo y divididas en dos mitades, con lo que se obtuvieron dos contenedores estrechos cada vez. Con ello la cantidad de sustrato se minimiza, y se obtiene una longitud que, a priori, parece idónea. Esta idoneidad viene determinada por las

observaciones realizadas en el campo: *Traganum moquinii* emite largas raíces que obtienen el agua necesaria para vivir de la humedad que asciende por capilaridad desde la capa freática, llegando esta humedad en dunas relativamente estables, aunque dependiendo de la zona que se trate, a profundidades de entre 20 cm y 40 cm. Por ello se entiende que cuando los ejemplares sean trasplantados, deberían alcanzar la zona húmeda rápidamente.



**Figura 31:** Contenedores de polietileno ubicados en bandejas impermeabilizadas.

- Se observó que cuando se introducían los contenedores en un recipiente con 5 cm de agua, quedaban dos zonas perfectamente definidas: hasta 10 cm por encima del nivel del agua, el sustrato quedaba saturado, debido a la alta tensión superficial, pero a partir de esos 10 cm, existe una zona de 25 cm húmeda sin saturación.
- Bandejas de 100 cm por 50 cm de ancho y 7 cm de alto, impermeabilizadas para la irrigación por capilaridad.
- Burras de madera de 70 cm de alto, para apoyar las bandejas.
- Plástico transparente para cubierta de invernadero y malla que reduce un 60 % la intensidad lumínica

Se construyó un pequeño invernadero, para realizar los ensayos en los que se consideraba que se debía elevar la temperatura.



**Figura 32:** Invernadero construido para la realización de los experimentos.

Se construyó una pequeña estructura con el fin de extender la malla con la finalidad de poner a los esquejes ubicados bajo su penumbra, con el fin de que estuvieran a una temperatura inferior a la del entorno.

La toma de las temperaturas se realizó de manera constante con un intervalo de 10 minutos entre registro, mediante un dispositivo electrónico, lo que permitía realizar las medidas mediante un sensor y guardar la información en una memoria digital, para su posterior tratamiento.

La aplicación de auxinas al extremo cortado de los tallos jóvenes estimula la intensidad de formación de raíces y aumenta el número de éstas (Devlin, 1980). Por lo general concentraciones relativamente bajas de auxinas estimulan el crecimiento, mientras que las muy altas lo inhiben, por lo que la concentración óptima depende de la especie y del tipo de tejido (Hartmann y Kester, 1999). Se determinó aplicar a determinados esquejes, hormonas de enraizamiento, concretamente un producto existente en el mercado especializado (INABARPLANT II), compuesto con auxinas, ácido indolbutírico (AIB) enriquecido al 0,2%, ácido naftilacético (ANA) enriquecido al 0,2% y el fungicida Ziram al 4%.

#### **3.1.2.1.1.1 Ensayo previo nº 1**

En un primer ensayo, se pretendió determinar, el tipo de sustrato, la parte de la planta, y si el hecho de usar hormonas o no mejoraba los resultados de enraizamientos.

El ensayo se desarrolló en la zona referenciada como zona 1. El mismo se estableció en primavera de 2010 en un habitáculo con una cubierta de malla, la cual reducía la intensidad lumínica aproximadamente un 50 %.

Para la realización del primer ensayo, se realizan doce experimentos diferentes, combinándose las diferentes variables, dependiendo del porcentaje en la mezcla realizada para la preparación del sustrato, del uso o no de hormona vegetal y de la zona elegida para obtener el esqueje. En cada experimento se utilizaron 100 esquejes, por lo que se plantaron 1200 esquejes. Se utilizaron esquejes con una longitud de 7 cm.

En la siguiente tabla se muestra las diferentes combinaciones realizadas en cada experimento.

Nº de Experimento	Arena (%)	Turba (%)	Con AIB	Sin AIB	Yema terminal	Zona intermedia
1	50	50	X		X	
2	50	50	X			X
3	50	50		X	X	
4	50	50		X		X
5	75	25	X		X	
6	75	25	X			X
7	75	25		X	X	
8	75	25		X		X
9	100	0	X		X	
10	100	0	X			X
11	100	0		X	X	
12	100	0		X		X

**Tabla 8:** Experimentos en el ensayo previo nº 1



### **Materiales y técnica de propagación**

El sustrato empleado para la plantación de los esquejes, fue una mezcla compuesta de turba y arena de la playa del Inglés. Para ello, se procedió a recoger pequeñas muestras de la zona intermareal, con el fin de evitar arena que pudiera estar contaminada de restos orgánicos, depositados por usuarios de la playa, o por acción de gatos, ya que se observan una alta densidad en la zona próxima al centro comercial que linda con la Reserva Natural.

Para la preparación del material vegetal se seleccionaron al 50 % esquejes de las zonas intermedias de las ramas, y 50% de la zona apical. El material vegetal se obtuvo de plantas que tenían una actividad vegetativa media..

El 50% de los esquejes empleados se espolvoreó con hormonas de enraizamiento.



**Figura 33:** Esquejes preparados para la plantación.

Los esquejes se plantaron en macetas de 8 cm de diámetro y 7 cm de alto, poniéndose dos esquejes por maceta.

Se decidió aportar agua a los esquejes mediante un único riego al día con agua dulce por aspersion.



**Figura 34:** Riego de los esquejes, mediante aspersión, en instalaciones de ELMASA.

## Resultados

De las observaciones realizadas durante el ensayo, se observó que a los 20 días de iniciado el mismo, el 100 % de los esquejes continuaban hidratados, y testeado de manera aleatoria, se confirmó la inexistencia de raíces. En cambio a los treinta días de la plantación, se pudo confirmar la existencia de raíces en los nudos de algunos esquejes, con varios centímetros de largo.



**Figura 35:** Raíces brotando, en los nudos de un esqueje con AIB, a los 30 días de plantado en sustrato de 100 % arena.

A los 60 días se procedió al recuento de esquejes enraizados, obteniéndose los siguientes resultados (tabla 9).

Nº de Experimento	Arena (%)	Turba (%)	Con AIB	Sin AIB	Yema terminal	Zonaintermedia	Nº de esquejes enraizados
1	50	50	X		X		81
2	50	50	X			X	78
3	50	50		X	X		59
4	50	50		X		X	42
5	75	25	X		X		82
6	75	25	X			X	75
7	75	25		X	X		58
8	75	25		X		X	62
9	100	0	X		X		83
10	100	0	X			X	85
11	100	0		X	X		71
12	100	0		X		X	67

**Tabla 9:** Números de esquejes enraizados en cada experimento, del ensayo previo nº 1.

A los noventa días de iniciado el ensayo se consideró necesario realizar el trasplante a otro recipiente de mayor tamaño, pues las raíces de los esquejes habían alcanzado una longitud tal que sobresalían por la parte inferior de los recipientes en, decenas de centímetros.



**Figura 36:** Esqueje con raíz, a los 90 días de enraizado

### Discusiones preliminares

Durante el desarrollo del ensayo se pudo observar que el método implementado era mejorable, detectándose varios defectos: el hecho de que puede haber contenedores que reciban más agua que otros; , mala praxis, por parte de las

personas encargadas de realizar el riego, con pérdida de sustrato, en los contenedores compuestos por un 75 % y 100% de arena, y movimientos de los esquejes durante el proceso, principalmente al dirigir la manguera de riego hacia el contenedor, o por un exceso de presión de agua en el momento del riego.

Analizándose los diferentes resultados obtenidos, se observa lo siguiente:

- En los experimentos en los que no se aplicó AIB, se obtuvieron los porcentajes de 59, 42, 58, 62, 71 y 67, es decir los porcentajes de éxito más bajos, tal es así, que en el mejor de los casos fue un 8 puntos peor que el más bajo de los porcentajes de los éxitos con AIB, siendo el resto de los porcentajes de éxitos con AIB, superiores en un 11% al mejor de los sin AIB.
- Que la media de los números de esquejes enraizados obtenidos de la zona de yema terminal con AIB no supera en 3 puntos a la media de los números de esquejes enraizados obtenidos de la zona intermedia con AIB.
- Que la media de los esquejes enraizados y a los que se le aplicó AIB puestos en un sustrato al 50% de arena y turba es de 79.5 puntos, siendo muy parecida a los de la mezcla de 75% de arena y 25 % de turba, que fue de 78.5 puntos. Por el contrario la media más alta se encuentra en los esquejes ubicados en el sustrato con arena al 100%, que fue de 84 puntos.
- Que los contenedores utilizados no son los más adecuados, ya que es necesario un cambio de contenedor más amplio, dado el rápido crecimiento del sistema radicular de los esquejes enraizados.

#### **3.1.2.1.1.2 Ensayo previo nº 2**

Se realiza un segundo ensayo para comprobar los siguientes parámetros: verificar si al modificar el método de riego se beneficia o se perjudica el enraizamiento; si influye la época de obtención de las plantas; identificar los

rangos de los valores de temperatura idónea; y seguir analizando diferentes sustratos.

El ensayo se realiza en la zona 2. Se comenzó el 16 de enero, al haber temperaturas más bajas, con el fin de verificar si en dicha época del año los esquejes son capaces de emitir raíces.

Se realizó la prueba en dos condiciones diferentes. La primera bajo una cubierta de malla, la cual provoca una reducción del 60 % de la intensidad lumínica, y bajo una cubierta combinada de plástico y malla, con el fin de elevar la temperatura, provocando dicha combinación una reducción de la intensidad lumínica del 75 %. Se diseñó el habitáculo para que el gradiente entre la temperatura externa y la interna fuera como máximo de 10°C, para evitar la posibilidad de que las plantas sufrieran un golpe de calor.

### **Materiales y técnica de propagación**

En este ensayo se sustituye la arena de la playa del Inglés por arena de África.

Se prepararon un total de 80 esquejes, 10 esquejes en cada experimento. Se limpiaron los esquejes y se les aplicó a todos, hormona de enraizamiento. El 50% de los esquejes se introdujeron en un sustrato de arena y el otro 50% en sustrato de tierra vegetal. La mitad de los esquejes procedían de zonas intermedias y la otra de yemas terminales, con una longitud de 7 cm. Todos los esquejes fueron plantados directamente en contenedores de 40 cm de largo con la intención de evitar un segundo trasplante, práctica que produce pérdidas de raicillas, provocando un estrés al esqueje enraizado y por extensión un retraso en la obtención de plantas adultas.

El método de irrigación empleado fue el de capilaridad para asegurar que todos los contenedores recibían el mismo aporte hídrico y a su vez eliminar la posibilidad de una mala praxis, como había sucedido en el sistema empleado en el ensayo n° 1, por lo que se ubicaron los contenedores en bandejas

impermeabilizadas. Se aportó agua en las mismas, hasta alcanzar una altura aproximada de 5 cm, manteniéndose durante todo el ensayo esa altura.

El material vegetal se obtuvo de plantas que tenían una actividad vegetativa media.

En la tabla 10 se muestra las diferentes combinaciones realizadas en cada experimento.

Nº de Experimento	Arena de África	Tierra Vegetal	Yema terminal	Zona intermedia	Cubierta plástico	Cubiert a malla
1	X		X		X	
2	X		X			X
3	X			X	X	
4	X			X		X
5		X	X		X	
6		X	X			X
7		X		X	X	
8		X		X		X

Tabla 10: Diferentes tratamientos empleados en el ensayo previo nº 2

## Resultados

Pasados treinta días desde la plantación se pudo observar que determinados esquejes, que estaban bajo cubierta de plástico, sufrían una pequeña deshidratación, pero pasado el periodo crítico (un mes) durante el cual los esquejes forman raíces, los esquejes más deshidratados iniciaron su recuperación.



Figura 37: Esquejes, a los 30 días de plantados, bajo cubierta de malla.

Pasados 45 días de la plantación se obtuvieron los siguientes resultados.

Nº de Experimento	Arena de África	Tierra Vegetal	Yema terminal	Zona intermedia	Cubierta plástico	Cubierta malla	Nº de esquejes enraizados
1	X		X		X		10
2	X		X			X	10
3	X			X	X		10
4	X			X		X	10
5		X	X		X		9
6		X	X			X	10
7		X		X	X		10
8		X		X		X	10

Tabla 11: Número de esquejes enraizados en cada experimento, del ensayo previo nº 2.

Una vez realizadas las mediciones de las temperaturas, se procedió al tratamiento de los datos obtenidos de los sensores. La temperatura media bajo la cubierta de plástico fue de 21,34 °C y de 18,81°C bajo malla. El criterio seguido fue el de no introducir en el análisis los valores de las temperaturas que correspondían al rango que iba de las 18 horas a las 9 horas, como consecuencia que se producía un fenómeno de inversión térmica en el habitáculo con cubierta de plástico. Al desvirtuar dichos valores las medias obtenidas, se considera que los valores más importantes son los tomados en las horas de mayor radiación.

### **Discusiones preliminares**

Analizándose los diferentes resultados en relación al tipo de experimentos, se observa lo siguiente:

- Que en todos experimentos se han obtenido un éxito del 100%, a excepción de los esquejes plantados en tierra vegetal que procedían de las yemas terminales, que fue de un 90 % de enraizamiento.
- Que las temperaturas en las que se desarrollaron los diferentes experimentos están dentro del rango de los valores ideales para obtener enraizamientos.
- Que el sistema de irrigación es el ideal, pues los diferentes contenedores recibían el mismo aporte hídrico, y se ha evitado malas praxis, pues la aportación de agua se ha realizado directa a la bandeja, evitándose pérdida de sustrato y movimientos de los esquejes. A su vez se minimizaba la posibilidad de que de manera puntual se produjera una falta de riego durante el tiempo que duró el ensayo, asegurándose con este método la continuidad del mismo.
- Que el sistema radicular se desarrollaba en la zona externa del sustrato. Probablemente dicho comportamiento se deba a dos razones principales: i) en su estado natural las raíces tienden a crecer horizontalmente; y ii) que se desarrollan en zonas bien aireadas. Lógicamente en los recipientes no pueden crecer horizontalmente, dada su forma, y llegado el instante en que tropieza con las paredes del envase se desvían hacia abajo, siendo dicha zona casualmente la más oxigenada al haber cámaras de aire entre el sustrato y el plástico.

#### **3.1.2.1.1.3 Ensayo previo nº 3**

Se inicia el ensayo con el fin de intentar determinar los valores de temperatura idóneos, y la longitud idónea de los esquejes para obtener plántulas nuevas. También se consideraron nuevos tipos de sustratos.



El ensayo se realizó en la zona 2, y se inició a mediados de junio.

### **Materiales y técnica de propagación**

Se prepararon un total de 240 esquejes, a los que se les realizó limpieza y aplicación de hormona de enraizamiento.

En este ensayo se utilizan los siguientes sustratos; arena de la playa del Inglés, arena de África, perlita y tierra vegetal.

El ensayo consistió en plantar 10 esquejes, de 15cm, 25cm y 35cm de longitud en cada tipo de sustrato y en dos situaciones; bajo malla, y bajo una combinación de plástico y malla.

Se emplearon esquejes con yemas terminales exclusivamente. Los esquejes se encuentran en un estado de crecimiento medio a excepción del 30 % de los esquejes de 35 cm, con el fin de analizar el comportamiento en otro estado vegetativo. Todos los esquejes se plantaron en contenedores de 40 cm y el método de irrigación fue el de capilaridad.

### **Resultados**

Después de 45 días, se analizaron las medidas de las temperaturas tomadas. La media, bajo la cubierta de plástico, fue de 30,1 °C, aunque se ha destacar que hubo picos en los valores que alcanzaron los 40 °C. Bajo malla la media fue de 25,1°C.

La cantidad de esquejes enraizados a los 45 días de iniciado el ensayo, se muestran en la tabla 12.

Nº de Experimento	Longitud de esqueje (cm)	Cubierta plástico	Cubierta malla	Tierra Vegetal	Arena Playa del Inglés	Perlita	Arena África
1	15	X		7	7	8	10
2	15		X	10	9	10	10
3	25	X		1	2	2	0
4	25		X	9	9	10	10
5	35	X		1	1	0	0
6	35		X	2	5	5	7

**Tabla 12:** Número de esquejes enraizados transcurridos 45 días desde el inicio del ensayo.

Los esquejes de 35 cm que enraizaron, pertenecen al grupo de los esquejes con un crecimiento vegetativo medio. Los mismos se encuentran en un estado muy poco vigorosos, al contrario que los esquejes de 25 cm.



**Figura 38:** Esquejes de *Traganum moquinii* bajo cubierta de malla.

### Discusiones preliminares

Una vez analizados los resultados destacan las siguientes observaciones:

- Con temperaturas medias de 25°C, se obtuvieron los mejores resultados, siendo los esquejes de 25 cm y 35 cm con las temperaturas más elevadas, los que más fracasos tuvieron.
- Los esquejes con crecimiento vegetativo alto de 35 cm, tuvieron un fracaso del 100%.
- Dentro de los experimentos que tuvieron mayor número de esquejes enraizados, destaca el sustrato de arena de África, seguida de la perlita.

#### **3.1.2.1.1.4 Ensayo previo nº 4**

Se inicia el ensayo con el objetivo de intentar determinar, si el estado vegetativo de crecimiento alto y nulo en esquejes de 35 cm en el momento de la selección, son determinantes.

El ensayo se realiza en la parcela 2 y se inicia a finales de agosto.

#### **Materiales y técnica de propagación**

Se prepararon un total de 160 esquejes, los cuales se limpiaron y se aplicaron hormona de enraizamiento.

Se emplearon esquejes con yemas terminales exclusivamente. Todos se plantaron en contenedores de 40 cm. El método de irrigación fue el de capilaridad.

En este ensayo se utilizan los sustratos; arena de la playa del Inglés, arena de África, perlita, y tierra vegetal.

El ensayo consistió en plantar 10 esquejes de 35cm de longitud, en un estado de crecimiento alto, en cada tipo de sustrato y en dos situaciones, bajo malla, y una combinación de plástico y malla. También se plantaron 10 esquejes de 35 cm, en estado de crecimiento nulo, en cada tipo de sustrato y en dos situaciones, bajo malla, y bajo una combinación de plástico y malla.

## Resultados

Después de 45 días se analizaron las medidas de las temperaturas, la media bajo la cubierta de plástico fue de 31,3 °C, aunque se ha de destacar que hubo picos en los valores que alcanzaron los 45 °C. Bajo malla la media fue de 26,7°C.

Durante el ensayo se observó que los esquejes con un alto crecimiento vegetativo sufrían una deshidratación muy fuerte desde el primer día en la zona apical.



**Figura 39:** Esqueje con un alto crecimiento vegetativo en fase de deshidratación

La cantidad de esquejes enraizados a los 45 días de iniciado el ensayo, se muestran en la tabla 13.

Nº de Experimento	C.V. Alto	C.V. Nulo	Cubierta plástico	Cubierta malla	Tierra Vegetal	Arena Playa del Inglés	Perlita	Arena África
1	X		X		0	0	0	0
2	X			X	1	2	1	2
3		X	X		0	0	1	1
4		X		X	3	3	3	4

**Tabla 13:** Número de esquejes enraizados en cada experimento, del ensayo previo nº 4.

### Discusiones preliminares

Una vez analizados los resultados se ha destacar las siguientes observaciones:

- Que con temperaturas medias de 26,7°C el porcentaje mayor de enraizamiento de esquejes de 35 cm, con un 40 %, se obtuvieron con esquejes con un crecimiento vegetativo nulo.
- Que los esquejes de 35 cm con temperaturas de 31.3 °C, con picos de 45°C, con independencia del sustrato, tuvieron un fracaso absoluto de enraizamiento.
- Que en el experimento con mayor porcentaje de éxito, se empleó como sustrato, arena de África.
- Que los esquejes de 35 cm, sufren una alta deshidratación, probablemente por la gran cantidad de pérdida de agua por transpiración, al disponer de mayor superficie foliar, por lo que no son los más adecuados para utilizar.

#### 3.1.2.1.2 Ensayo final

Una vez analizadas las conclusiones de los diferentes ensayos previos, se decidió iniciar la segunda fase, en la cual se realizara un único ensayo, del cual se obtendría los parámetros para poder desarrollar, con las máximas garantías de

éxito, la reproducción vegetativa de *Traganum moquinii*, y la obtención de plántulas nuevas en las mejores condiciones, y así poder determinar el protocolo a aplicar en una posible regeneración.

En esta fase se pretende determinar de forma definitiva las variables temperatura, fase de crecimiento y longitud idónea de los esquejes.

#### **3.1.2.1.2.1 Metodología**

##### **Diseño experimental**

El ensayo fue planteado con un diseño estadístico completamente aleatorizado, el de bloques completos al azar, con tres tratamientos, cinco repeticiones y veinte esquejes por bloque.

##### **Recolección de esquejes**

Partiendo de los datos de campo (véase apartado 3.1.3.1), se decidió realizar la recolección a principios del mes de junio, pues es el periodo en el que los individuos, de forma genérica, está en la etapa de transición entre la floración y la etapa de crecimiento, y así poder conseguir el material vegetal necesario, en un periodo donde las temperaturas no son tan elevadas.

Los esquejes se obtuvieron de diferentes individuos, seleccionándose los mismos entre plantas madres que estuvieran en perfectas condiciones fisiológicas, dándose prioridad a aquellas que estuvieran turgente, y con el color verde característico de la especie, evitándose siempre aquellas ramas que estuvieran en proceso de floración. Las longitudes de los esquejes seleccionados fue de 15, 25 y 35 cm.

El estado vegetativo de los esquejes, debía de ser perfectamente identificado entre bajo o nulo, medio y alto (Fig. 30).

##### **Ubicación y duración del ensayo**

El ensayo se desarrolló en la zona referenciada en al apartado 3.1.2.1.1 como zona 2.

La duración del ensayo fue de aproximadamente uno 60 días. Aunque con 45 días es suficiente reconocer los esquejes que han enraizados, se decidió alargar el proceso dos semanas, para tener una mayor certeza, principalmente de los esquejes de mayor longitud.

### **Preparación de habitáculos**

Se construyeron tres habitáculos, con estructura metálicas, cada uno con diferentes elementos en función de la temperatura que se quisiera conseguir en su interior.

Para obtener una temperatura baja que no superara los 25°C, se cubrió uno de los recintos, únicamente con una malla que reducía un 60 % la intensidad lumínica. Para el habitáculo, en el cual se quería obtener una temperatura media aproximada a 30°C, pero que no superara los 32°C, se utilizó una combinación de la malla mencionada anteriormente, con cubierta de plástico de invernadero. A dicho habitáculo se le incorporó un sistema electrónico regulado, conectado a un ventilador extractor, con el fin de evitar que bajo ningún concepto la temperatura superara los 32°C. El tercer habitáculo se preparó utilizando los mismos materiales que el anterior, pero sin dispositivo electrónico, lo que permitía que los esquejes estuvieran expuestos a temperaturas superiores a 32°C.

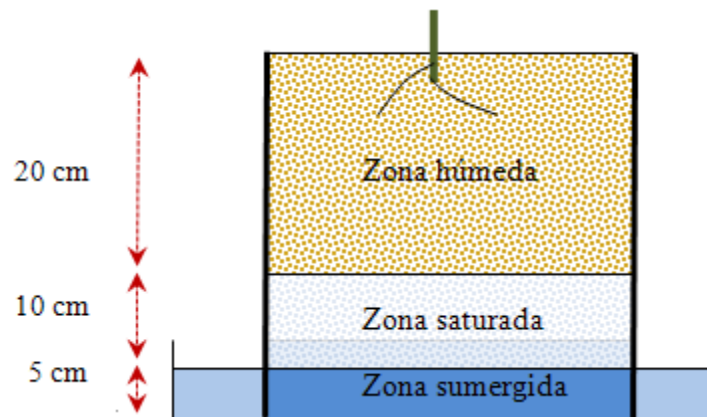
En el suelo de cada habitáculo se instalaron unas balsas de plástico, de una altura de 6 centímetros, las cuales aportaban el agua necesaria a los esquejes por capilaridad.

### **Sustrato**

Después de analizar los diferentes ensayos previos, se decidió utilizar como sustrato único arena de África.

### **Preparación de recipientes**

Se preparan 9 recipientes con fibra de vidrio lisa de 1,2 m x 0,75 m, sin fondo, para permitir al sustrato estar en contacto directo con el agua, la cual ascenderá por capilaridad, y con una altura de 35cm, por lo que el esqueje estará lo suficientemente alejado de la zona de saturación.



**Figura 40:** Perfil de los recipientes utilizado para insertar los esquejes.

Se ha elegido este formato de recipiente con la finalidad de usar menor cantidad de sustrato y ocupar una menor superficie, lo que hubiera implicado construir un habitáculo mayor.



**Figura 41:** Vista cenital del recipiente preparado para insertar los esquejes.



### **Preparación de esquejes**

Para la preparación de los esquejes se realizó el mismo procedimiento aplicado en los ensayos anteriores, es decir limpieza en los cinco centímetros basales y aplicación de hormona de enraizamiento.

### **Actividades post establecimiento**

Una vez establecido el ensayo, durante el mismo se ha revisado que el sistema de extracción forzado funcionara en todo momento, y que las previsiones con respecto a las temperaturas en los diferentes habitáculos sin automatismo se estuvieran cumpliendo. A su vez se verificaba que en todo momento que las balsas contuvieran agua.

#### **3.1.2.1.2.2 Resultados**

Una vez transcurrido el periodo previsto en el diseño del ensayo se procedió a realizar la toma de datos resultante. En las tablas 14, 15 y 16 se han clasificado los datos por la fase de crecimiento de los esquejes al inicio del ensayo, por las diferentes temperaturas a los que han estado los diferentes esquejes, y por las longitudes de los mismos.

FASE DE CRECIMIENTO: NULO					
Temperatura media : 32,1° C con picos (35°C-45°C)					
Nº de Esquejes enraizados					
Longitud (cm)	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
15	10	12	13	12	11
25	2	3	4	3	2
35	0	0	0	0	0
Temperatura media : 29.5° C (sin superar los 32°C)					
Nº de Esquejes enraizados					
Longitud (cm)	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
15	16	12	10	8	10
25	9	7	7	6	6
35	7	7	5	3	5
Temperatura media : 23.6° C					
Nº de Esquejes enraizados					
Longitud (cm)	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
15	18	18	17	18	17
25	15	17	12	15	12
35	11	10	9	10	7

**Tabla 14:** Número de esquejes enraizados en fase de crecimiento nulo, dependiendo del tratamiento en el ensayo final.

<b>FASE DE CRECIMIENTO: MEDIO</b>					
Temperatura media : 32,1° C con picos (35°C-45°C)					
Nº de Esquejes enraizados					
Longitud (cm)	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
15	12	13	14	12	13
25	4	5	3	5	4
35	0	0	0	0	0
Temperatura media : 29.5° C (sin superar los 32°C)					
Nº de Esquejes enraizados					
Longitud (cm)	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
15	19	20	20	18	19
25	12	11	11	10	9
35	10	9	11	8	9
Temperatura media : 23.6° C					
Nº de Esquejes enraizados					
Longitud (cm)	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
15	20	19	20	19	19
25	18	20	20	18	19
35	13	13	11	12	10

**Tabla 15:** Número de esquejes enraizados en fase de crecimiento medio, dependiendo del tratamiento en el ensayo final.

<b>FASE DE CRECIMIENTO: ALTO</b>					
Temperatura media : 32,1° C con picos (35°C-45°C)					
N° de Esquejes enraizados					
Longitud (cm)	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
15	3	2	3	2	4
25	2	3	1	2	1
35	0	0	0	0	0
Temperatura media : 29.5° C (sin superar los 32°C)					
N° de Esquejes enraizados					
Longitud (cm)	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
15	8	6	7	6	8
25	5	3	5	4	3
35	1	2	2	1	0
Temperatura media : 23.6° C					
N° de Esquejes enraizados					
Longitud (cm)	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
15	8	10	8	9	11
25	6	6	5	6	5
35	4	5	3	4	3

**Tabla 16:** Número de esquejes enraizados en fase de crecimiento alto, dependiendo del tratamiento en el ensayo final.

### **Análisis estadístico**

#### Modelo

Se ha empleado el modelo lineal de regresión logística.

### Descripción de los datos

Los gráficos y tablas muestran el efecto de las distintas condiciones experimentales sobre la proporción de esquejes que han conseguido enraizar. Se parte del conocimiento que el ensayo fue planteado con un diseño completamente aleatorizado, de bloques completos al azar, con tres tratamientos, cinco repeticiones y veinte esquejes por bloque.

Durante el estudio estadístico se ha empleado una serie de acrónimos, los mismos y lo que representan se detalla en la tabla 17.

ACRÓNIMO	REPRESENTA
TB	Temperatura baja: de media 23,6°C, sin superar valores de 28°C
TM	Temperatura media: de media 29,5°C, sin superar valores de 32°C
TA	Temperatura alta: de media 32,1°C, con picos entre 37°C-45°C
CN	Crecimiento vegetativo nulo
CM	Crecimiento vegetativo medio
CA	Crecimiento vegetativo alto
FC	Fase de crecimiento

**Tabla 17:** Relación y significado de los acrónimos empleados durante el estudio.

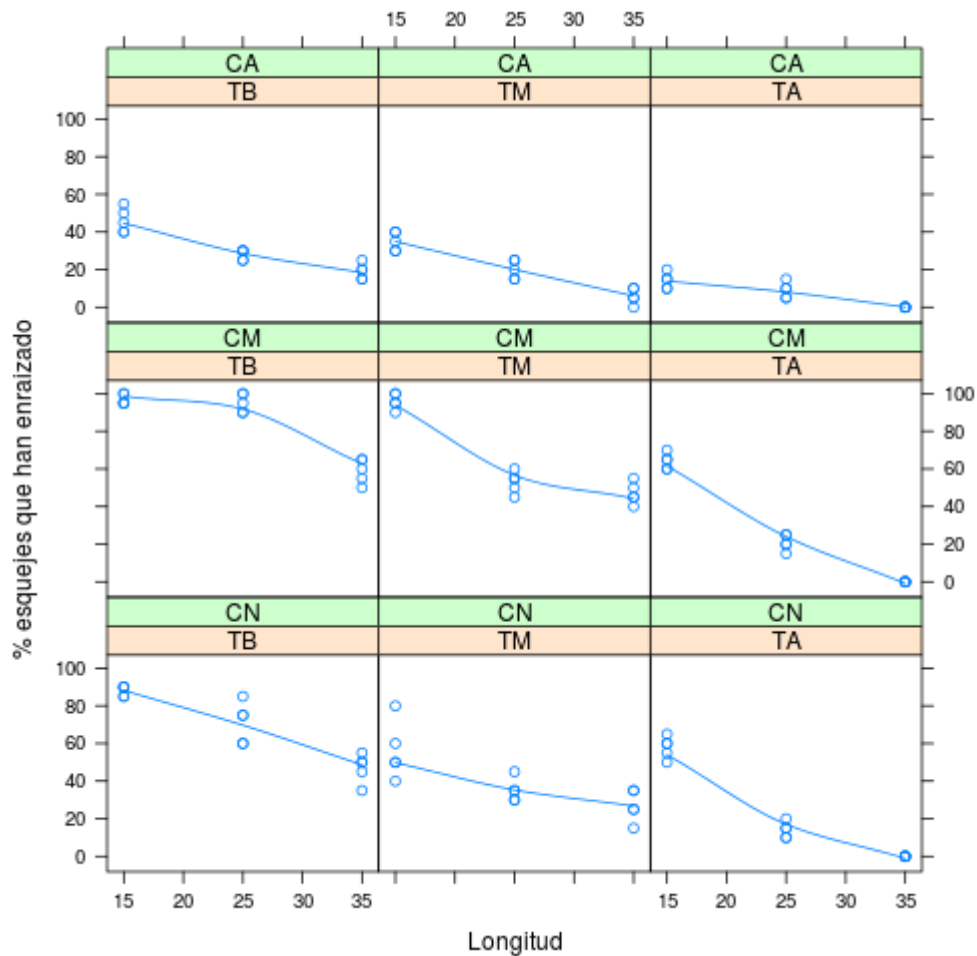
### Resultados de todos los experimentos

En la tabla 18 se muestra los porcentajes medios de esquejes enraizados bajo cada condición experimental.

Longitud	T <sup>a</sup>	FC	Enraizado (%)	Longitud	T <sup>a</sup>	FC	Enraizado (%)
15	TB	CN	88	15	TA	CM	64
25	TB	CN	71	25	TA	CM	21
35	TB	CN	47	35	TA	CM	0
15	TM	CN	56	15	TB	CA	46
25	TM	CN	35	25	TB	CA	28
35	TM	CN	27	35	TB	CA	19
15	TA	CN	58	15	TM	CA	35
25	TA	CN	14	25	TM	CA	20
35	TA	CN	0	35	TM	CA	6
15	TB	CM	97	15	TA	CA	14
25	TB	CM	95	25	TA	CA	9
35	TB	CM	59	35	TA	CA	0
15	TM	CM	96				
25	TM	CM	53				
35	TM	CM	47				

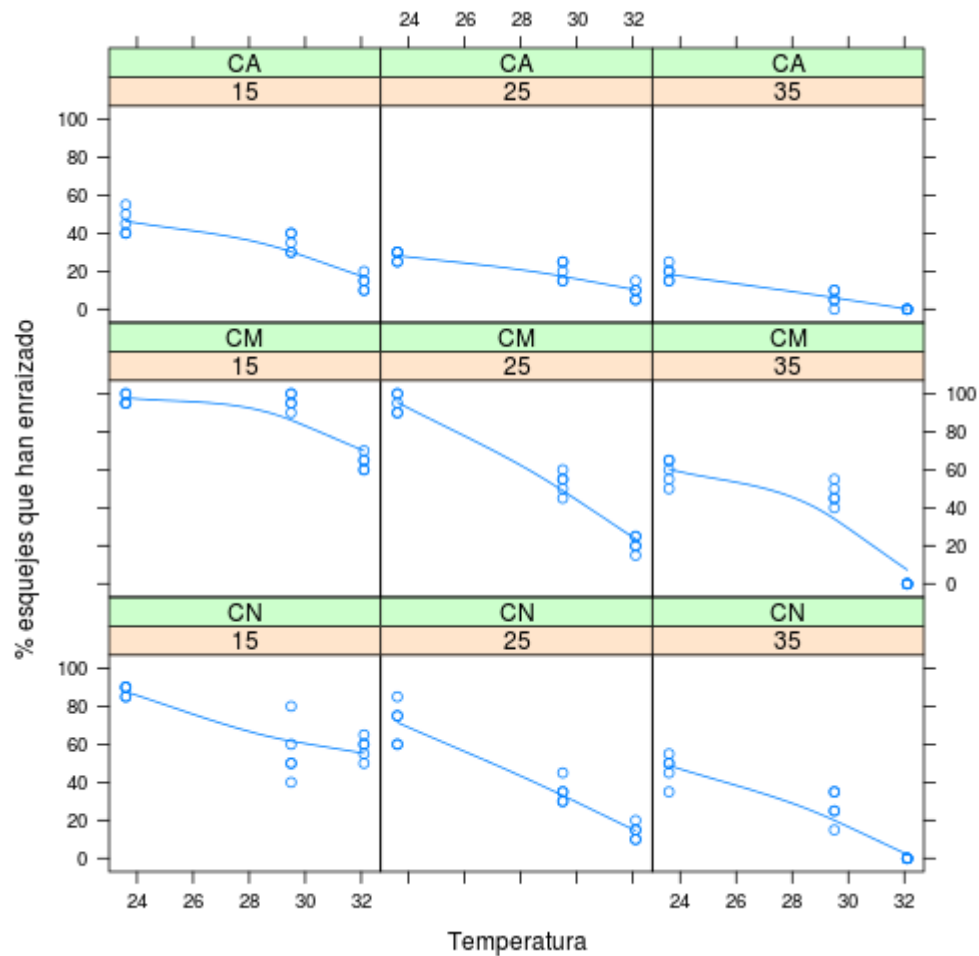
**Tabla 18:** Porcentajes de enraizamiento de esquejes enraizados bajo cada condición experimental.

En la figura 42 se muestra el porcentaje de enraizamiento frente la longitud de los esquejes, se puede apreciar que el efecto de la longitud del esqueje es aproximadamente lineal y decreciente para todas las temperaturas, cuando la fase de crecimiento es nula o alta. Para la fase de crecimiento medio, se aprecia cierta curvatura.



**Figura 42:** Porcentajes de enraizamiento, frente a la variable longitud.

En la figura 43 se aprecia también que el efecto de la temperatura es aproximadamente lineal decreciente, de modo que a mayor temperatura, menor éxito de enraizamiento, salvo cuando el crecimiento está en fase media, en cuyo caso se aprecia curvatura. Ello indica la presencia de cierta interacción entre las variables independientes en su efecto sobre la respuesta, enraizar o no.



**Figura 43:** Porcentajes de enraizamiento, frente la variable temperatura.

#### Efectos de las distintas variable consideradas aisladamente

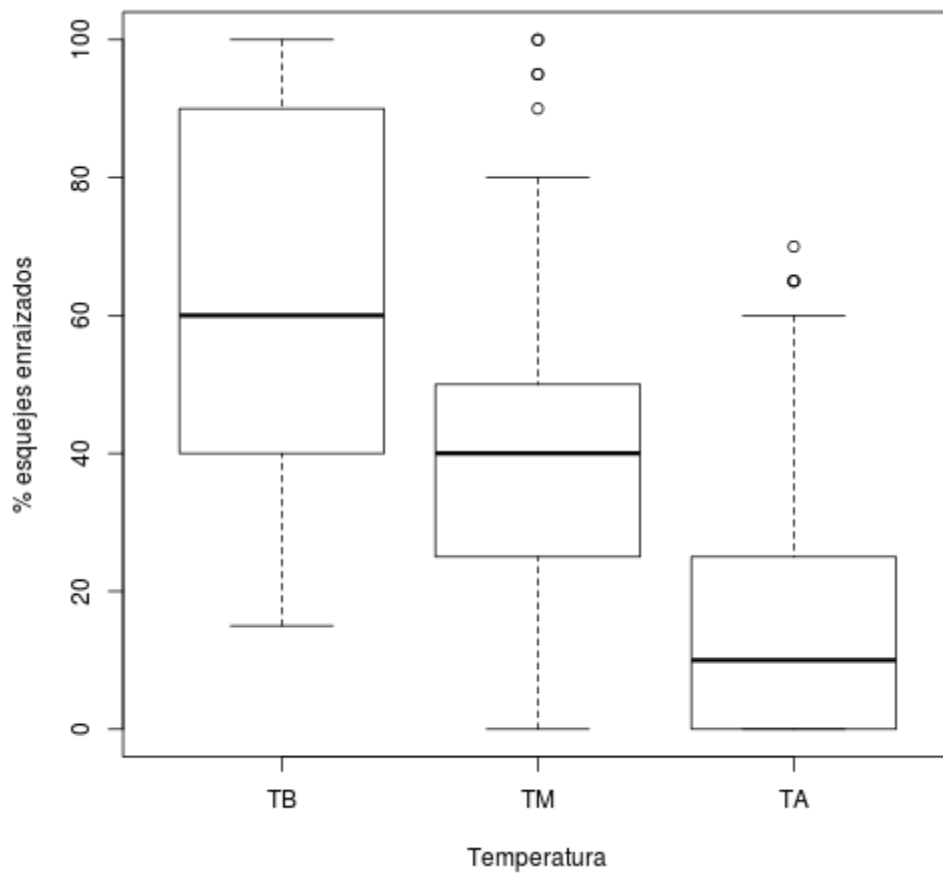
En la figura 44 se muestra mediante diagramas de cajas, el efecto de las distintas variables consideradas de manera aisladas.

#### Porcentaje de esquejes enraizados en relación a la temperatura

T <sup>a</sup>	Enraizado (%)
TB	61,11
TM	41,67
TA	20

**Tabla 19:** Porcentajes de esquejes enraizados en relación a la temperatura.





**Figura 44:** Diagrama de caja del porcentajes de esquejes enraizados frente a la variable temperatura.

La distribución de las variables TB y TA son ligeramente asimétricas positivas. La distribución de la variable TM es ligeramente asimétrica negativa.

El valor del rango intercuartílico de la TB es el mayor de las tres variables.

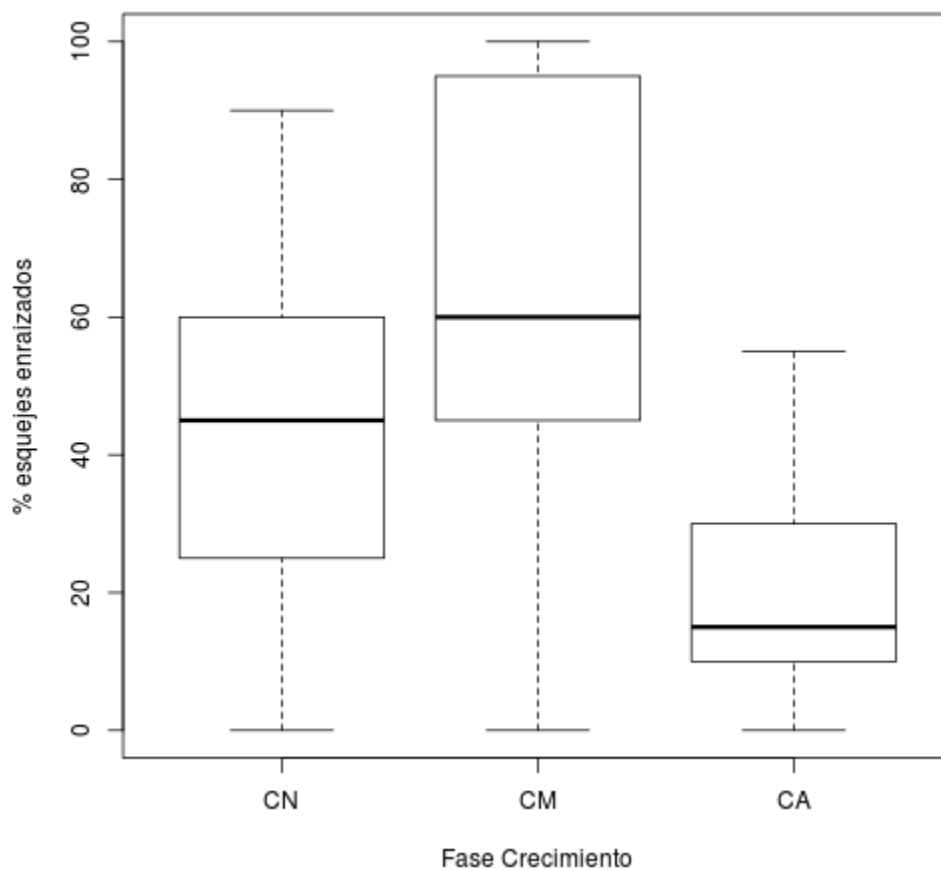
El 50% de los esquejes con tratamiento a TB tuvieron valores superiores al 50 % de éxito.

Existen valores atípicos en las variables TM y TA.

Porcentaje de esquejes enraizados en relación a la fase de crecimiento.

FC	Enraizado (%)
CN	44
CM	59,11
CA	19,67

**Tabla 20:** Porcentajes de esquejes enraizados en relación a la fase de crecimiento.



**Figura 45:** Diagrama de caja del porcentajes de esquejes enraizados frente a la variable fase de crecimiento.

La distribución de las variables CM y CA son asimétricas positivas. La distribución de la variable CN es ligeramente asimétrica negativa.

El valor del rango intercuartílico del CM es el mayor de las tres variables.

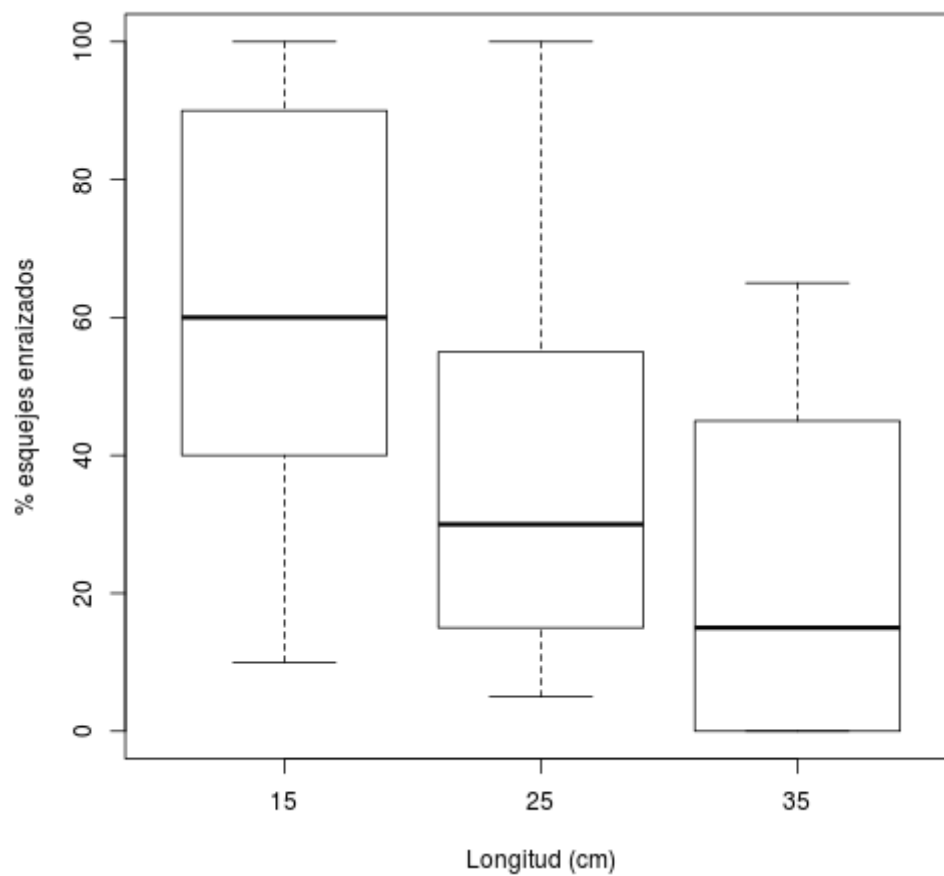
El 50% de los esquejes con CM tuvieron valores superiores al 60 % de éxito de enraizamiento.

No existen valores atípicos en las variables.

Porcentaje de esquejes enraizados en relación a la longitud

Long.	Enraizado (%)
15	61,56
25	38,44
35	22,78

**Tabla 21:** Porcentajes de esquejes enraizados en relación a la longitud.



**Figura 46:** Diagrama de caja del porcentajes de esquejes enraizados frente a la variable longitud.

La distribución de las variables son asimétricas positivas.

El valor del rango intercuartílico de la variable longitud 15 cm, es el mayor de las tres variables.

El 50% de los esquejes de la variable longitud 15 cm, tuvieron valores superiores al 60 % de éxito de enraizamiento.

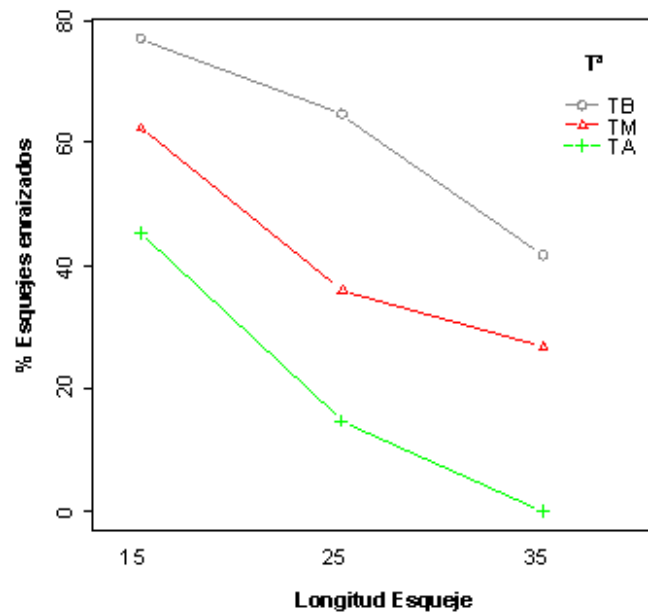
No existen valores atípicos en las variables

Variables consideradas por parejas

Porcentaje de esquejes enraizados longitud Vs temperatura y temperatura Vs longitud.

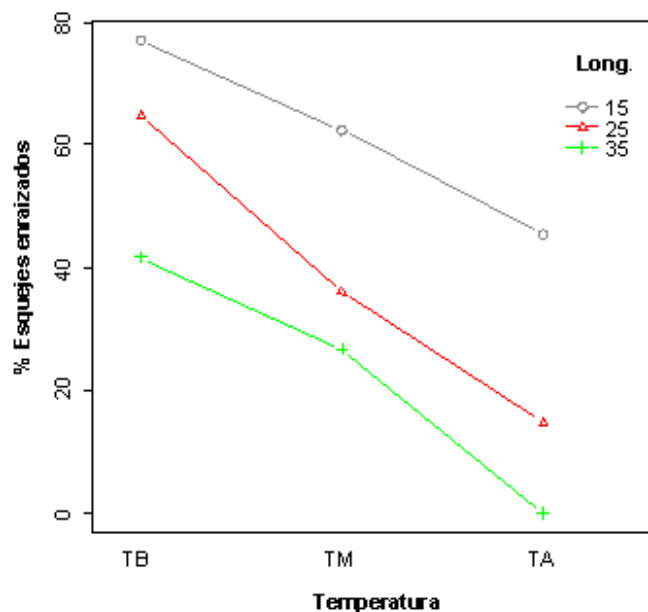
T <sup>a</sup>	Factor (Longitud)	Enraizado (%)
TB	15	77
TM	15	62,33
TA	15	45,33
TB	25	64,67
TM	25	36
TA	25	14,67
TB	35	41,67
TM	35	26,67
TA	35	0

**Tabla 22:** Porcentajes de esquejes enraizados en relación a la temperatura y la longitud.



**Figura 47:** Porcentajes de esquejes enraizados según la variable longitud de esqueje con respecto a la temperatura.

Se aprecia que la disminución del porcentaje de enraizamiento es más suavizada a medida que aumenta la longitud del esqueje a temperaturas bajas, en relación a temperaturas más elevadas. Por otro lado se observa que la disminución de enraizamiento en esquejes superiores de 25 cm es menor a TM que el resto de temperaturas. Los valores de porcentaje de enraizamiento más altos se obtienen a TB independientemente de que aumente la longitud.



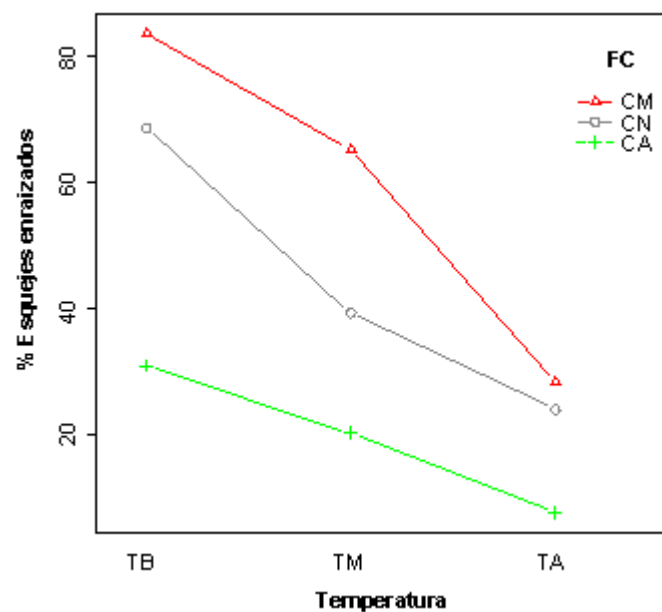
**Figura 48:** Porcentajes de esquejes enraizados según la variable temperatura con respecto a la longitud de esquejes.

Se aprecia que la disminución del porcentaje de enraizamiento es menor a medida que aumenta la temperatura en los esquejes de 15cm. Por otro lado la disminución del porcentaje de enraizamiento es mayor a TA en los esquejes de 35 cm que en el resto de longitudes. Los valores de porcentaje de enraizamiento más altos se obtienen en los esquejes de 15 cm de longitud aunque aumente la temperatura.

*Porcentaje de esquejes enraizados temperatura vs fase crecimiento*

T <sup>a</sup>	FC	Enraizado (%)
TB	CN	68,67
TM	CN	39,33
TA	CN	24
TB	CM	83,67
TM	CM	65,33
TA	CM	28,33
TB	CA	31
TM	CA	20,33
TA	CA	7,67

**Tabla 23:** Porcentajes de esquejes enraizados en relación a la temperatura y fase de crecimiento.



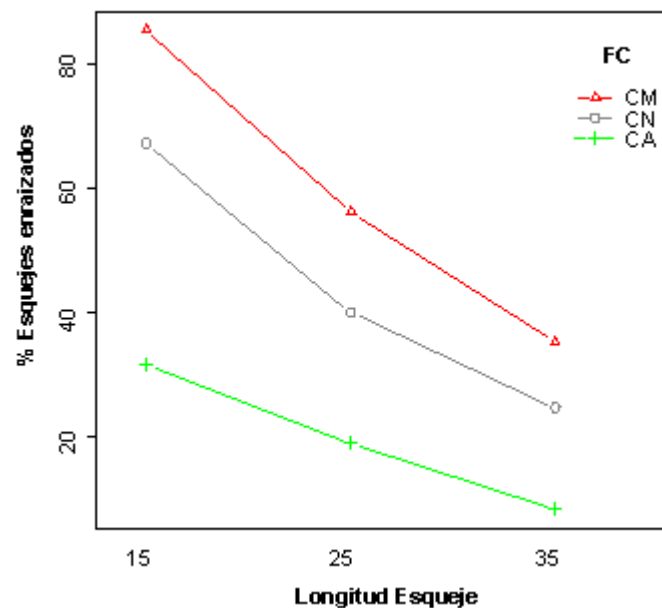
**Figura 49:** Porcentaje de esquejes enraizados según la variable temperatura con respecto a la fase de crecimiento.

Se aprecia que la disminución del porcentaje de enraizamiento, es mayor a medida que aumenta la temperatura, en los esquejes en fase de crecimiento medio. Los valores de porcentaje de enraizamiento más altos a temperaturas altas se obtienen en los esquejes en fase de crecimiento medio.

Porcentaje de esquejes enraizados longitud vs fase crecimiento.

Factor (Longitud)	FC	Enraizado (%)
15	CN	67,33
15	CM	85,67
15	CA	31,67
25	CN	40
25	CM	56,33
25	CA	19
35	CN	24,67
35	CM	35,33
35	TA	8,33

**Tabla 24:** Porcentajes de esquejes enraizados en relación a la longitud y la fase de crecimiento.



**Figura 50:** Porcentaje de esquejes enraizados según la variable longitud de esqueje con respecto a la fase de crecimiento.

La disminución del porcentaje de enraizamiento a medida que aumenta la longitud es muy similar independientemente de la fase de crecimiento de los esquejes. Por otro lado se observa que los valores de porcentaje de enraizamiento más altos se obtienen en los esquejes en fase de crecimiento medio aunque aumente la longitud de los esquejes.

Ajuste del modelo logístico (longitud y temperatura como factores)

```

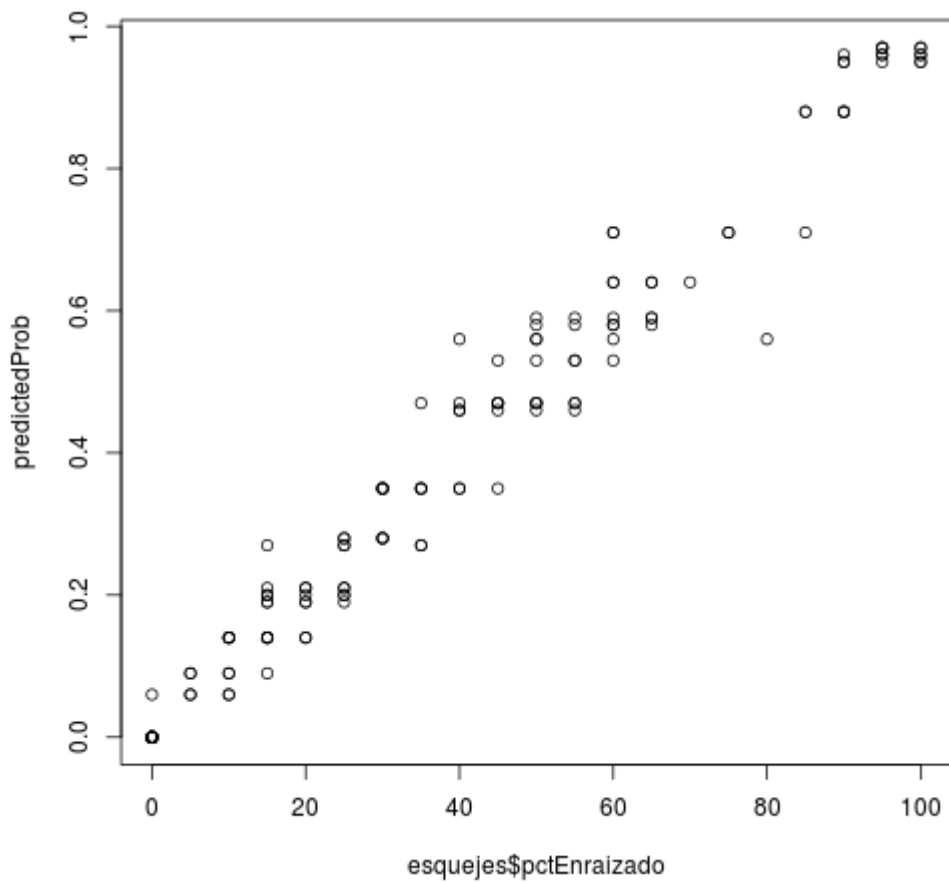
Model: binomial, link: logit
Response: cbind(nEsqEnraiz, noRaiz)
Terms added sequentially (first to last)

              Df Deviance Resid. Df Resid. Dev Pr(>Chi)
NULL                                134      1256
Longitud0                2         289      132      967 < 2e-16 ***
faseCrec0                 2         349      130      618 < 2e-16 ***
temp0                     2         431      128      187 < 2e-16 ***
Longitud0:faseCrec0       4          17      124      170 0.00197 **
Longitud0:temp0           4          60      120      110 3.1e-12 ***
faseCrec0:temp0           4          30      116       80 4.3e-06 ***
Longitud0:faseCrec0:temp0 8          29      108       51 0.00035 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Puede observarse que, como se preveía, tanto los efectos principales como las interacciones son significativos. El hecho que las interacciones sean significativas evidencia que el efecto de cada variable independiente se ve influido por los valores de las demás.





**Figura 51:** Gráfico de probabilidad predicha del porcentaje de enraizamiento de esquejes.

En la figura 51 se observa que el modelo ajusta bien con los datos.

Estimación de los parámetros del modelo

Logistic Regression Model

```

lrm(formula = Enraiza ~ longitud * faseCrec * temperatura)

```

		Model Likelihood		Discrimination		Rank Discrim.	
		Ratio Test		Indexes		Indexes	
Obs	2700	LR chi2	1205.20	R2	0.486	C	0.852
No	1595	d.f.	26	g	3.824	Dxy	0.704
Si	1105	Pr(> chi2)	<0.0001	gr	45.809	gamma	0.723
max  deriv	0.001			gp	0.340	tau-a	0.340
				Brier	0.152		
				Coef	S.E.	Wald Z	
		Intercept		-1.8153	0.2882	-6.30	
		longitud=25		-0.4983	0.4529	-1.10	
		longitud=35		-10.4362	45.7495	-0.23	
		faseCrec=CM		2.3907	0.3556	6.72	
		faseCrec=CN		2.1381	0.3523	6.07	
		temperatura=TB		1.6549	0.3512	4.71	
		temperatura=TM		1.1963	0.3564	3.36	
		longitud=25 * faseCrec=CM		-1.4019	0.5557	-2.52	
		longitud=35 * faseCrec=CM		-2.3907	64.6993	-0.04	
		longitud=25 * faseCrec=CN		-1.6397	0.5738	-2.86	
		longitud=35 * faseCrec=CN		-2.1381	64.6993	-0.03	
		longitud=25 * temperatura=TB		-0.2858	0.5432	-0.53	
		longitud=35 * temperatura=TB		9.1465	45.7507	0.20	
		longitud=25 * temperatura=TM		-0.2689	0.5582	-0.48	
		longitud=35 * temperatura=TM		8.3037	45.7520	0.18	
		faseCrec=CM * temperatura=TB		1.2458	0.7144	1.74	
		faseCrec=CN * temperatura=TB		0.0147	0.5090	0.03	
		faseCrec=CM * temperatura=TM		1.4064	0.6564	2.14	
		faseCrec=CN * temperatura=TM		-1.2779	0.4568	-2.80	
		longitud=25 * faseCrec=CM * temperatura=TB		1.6544	0.9761	1.69	
		longitud=35 * faseCrec=CM * temperatura=TB		0.5682	64.7031	0.01	
		longitud=25 * faseCrec=CN * temperatura=TB		1.3268	0.7499	1.77	
		longitud=35 * faseCrec=CN * temperatura=TB		1.3152	64.7011	0.02	
		longitud=25 * faseCrec=CM * temperatura=TM		-0.8887	0.8461	-1.05	
		longitud=35 * faseCrec=CM * temperatura=TM		1.2250	64.7033	0.02	
		longitud=25 * faseCrec=CN * temperatura=TM		1.5468	0.7213	2.14	
		longitud=35 * faseCrec=CN * temperatura=TM		3.0348	64.7017	0.05	

	Pr.(> Z )
Intercept	<0.0001
longitud=25	0.2712
longitud=35	0.8196
faseCrec=CM	<0.0001
faseCrec=CN	<0.0001
temperatura=TB	<0.0001
temperatura=TM	0.0008
longitud=25 * faseCrec=CM	0.0116
longitud=35 * faseCrec=CM	0.9705
longitud=25 * faseCrec=CN	0.0043
longitud=35 * faseCrec=CN	0.9736
longitud=25 * temperatura=TB	0.5988
longitud=35 * temperatura=TB	0.8415
longitud=25 * temperatura=TM	0.6300
longitud=35 * temperatura=TM	0.8560
faseCrec=CM * temperatura=TB	0.0812
faseCrec=CN * temperatura=TB	0.9769
faseCrec=CM * temperatura=TM	0.0321
faseCrec=CN * temperatura=TM	0.0051
longitud=25 * faseCrec=CM * temperatura=TB	0.0901
longitud=35 * faseCrec=CM * temperatura=TB	0.9930
longitud=25 * faseCrec=CN * temperatura=TB	0.0769
longitud=35 * faseCrec=CN * temperatura=TB	0.9838
longitud=25 * faseCrec=CM * temperatura=TM	0.2935
longitud=35 * faseCrec=CM * temperatura=TM	0.9849
longitud=25 * faseCrec=CN * temperatura=TM	0.0320
longitud=35 * faseCrec=CN * temperatura=TM	0.9626

Los efectos significativos son aquellos cuyo p-valor es menor que el 5%.

```

faseCrec0CM
faseCrec0CN
temp0TB
temp0TM
Longitud025:faseCrec0CM
Longitud025:faseCrec0CN
faseCrec0CM:temp0TM
faseCrec0CN:temp0TM
Longitud025:faseCrec0CN:temp0TM

```

Esto significa que los efectos del crecimiento nulo y medio difieren del alto; los de la temperatura baja y media difieren del efecto de la alta; y el efecto de la longitud se manifiesta a través de las interacciones con las otras variables.

### Comparaciones múltiples

#### longitud 15 vs longitud 25

```

contrast(f, list(temperatura = c("TB", "TM", "TA"), faseCrec = c("CA", "CM",
  "CN"), longitud = c("15")), list(temperatura = c("TB", "TM", "TA"), faseCrec =
c("CA",
  "CM", "CN"), longitud = (c("25"))), type = "joint")
temperatura faseCrec Contrast S.E. Lower Upper Z Pr(>|z|)
TB CA 0.7841 0.2998 0.1966 1.372 2.62 0.0089
TM CA 0.7673 0.3263 0.1278 1.407 2.35 0.0187
TA CA 0.4983 0.4529 -0.3894 1.386 1.10 0.2712
TB CM 0.5317 0.7444 -0.9274 1.991 0.71 0.4751
TM CM 3.0579 0.5482 1.9834 4.132 5.58 0.0000
TA CM 1.9003 0.3220 1.2692 2.531 5.90 0.0000
TB CN 1.0970 0.3785 0.3552 1.839 2.90 0.0038
TM CN 0.8602 0.2908 0.2903 1.430 2.96 0.0031
TA CN 2.1381 0.3523 1.4476 2.829 6.07 0.0000

Joint test for all contrasts=0:
Chi-square=134 with 9 d.f. P=0
Confidence intervals are 0.95 individual intervals

```

El hecho que el valor de la columna *Contrast* sea positivo indica que el éxito de enraizamiento es mayor con 15 que con 25 cm; dicho valor es significativo sólo si el p-valor es menor que el 5%. Se puede observar que cuando la temperatura es alta y el crecimiento alto, o la temperatura baja y el crecimiento medio, la diferencia no es significativa, sí lo es en el resto de los casos, es decir hay más éxito de enraizamiento a 15 que a 25 cm.

#### longitud 25 vs longitud 35

```

contrast(f, list(temperatura = c("TB", "TM", "TA"), faseCrec = c("CA",
"CM",
"CN"), longitud = c("25")), list(temperatura = c("TB", "TM", "TA"),
faseCrec = c("CA",
"CM", "CN"), longitud = (c("35"))), type = "joint")
temperatura faseCrec Contrast S.E. Lower Upper Z Pr(>|z|)
TB CA 0.5055 0.3385 -0.1579 1.1690 1.49 0.1353
TM CA 1.3652 0.4897 0.4054 2.3250 2.79 0.0053
TA CA 9.9378 45.7500 -79.7304 99.6061 0.22 0.8280
TB CM 2.5805 0.5019 1.5968 3.5641 5.14 0.0000
TM CM 0.2403 0.2834 -0.3151 0.7957 0.85 0.3964
TA CM 10.9266 45.7493 -78.7404 100.5935 0.24 0.8112
TB CN 1.0155 0.2978 0.4318 1.5993 3.41 0.0007
TM CN 0.3756 0.3077 -0.2275 0.9787 1.22 0.2223
TA CN 10.4362 45.7495 -79.2312 100.1036 0.23 0.8196
Joint test for all contrasts=0:
Chi-square=50.43 with 9 d.f. P=0
Confidence intervals are 0.95 individual intervals

```

Se compara el éxito de enraizamiento a 25 frente a 35 cm. Como se aprecia, la mayoría de las veces la diferencia no es significativa, salvo cuando (temp=TM, fase=CA), (temp=TB, fase=CM) y (temp=TB, fase=CN), en cuyo caso el éxito de enraizamiento es mayor a 25 cm

faseCrec=CM vs. faseCrec=CN

```

contrast(f, list(longitud = c("15", "25", "35"), temperatura = c("TB", "TM",
"TA"), faseCrec = c("CM")), list(longitud = c("15", "25", "35"), temperatura =
c("TB",
"TM", "TA"), faseCrec = (c("CN"))), type = "joint")
longitud temperatura Contrast S.E. Lower Upper Z Pr(>|z|)
15 TB 1.484e+00 0.6621 0.18603 2.7813 2.24 0.0250
25 TB 2.049e+00 0.5090 1.05141 3.0467 4.03 0.0001
35 TB 4.841e-01 0.2855 -0.07537 1.0436 1.70 0.0899
15 TM 2.937e+00 0.5486 1.86159 4.0122 5.35 0.0000
25 TM 7.392e-01 0.2900 0.17079 1.3076 2.55 0.0108
35 TM 8.745e-01 0.3015 0.28362 1.4653 2.90 0.0037
15 TA 2.526e-01 0.2906 -0.31699 0.8222 0.87 0.3848
25 TA 4.904e-01 0.3786 -0.25167 1.2324 1.30 0.1952
35 TA 1.817e-10 64.6983 -126.80639 126.8064 0.00 1.0000

Joint test for all contrasts=0:
Chi-square=70.1 with 9 d.f. P=0
Confidence intervals are 0.95 individual intervals

```

Aquí se ha comparado la fase de crecimiento medio frente a nulo. La diferencia es siempre positiva, pues hay mayor éxito cuando el crecimiento es medio que cuando es nulo, y es significativa salvo cuando (temp=TA, long=15= y (temp=TA, long=25), en cuyo caso no hay diferencia en éxito entre ambas fases.

#### faseCrec=CN vs. faseCrec=CA

```

contrast(f, list(longitud = c("15", "25", "35"), temperatura = c("TB", "TM",
"TA"), faseCrec = c("CN")), list(longitud = c("15", "25", "35"), temperatura =
c("TB",
"TM", "TA"), faseCrec = (c("CA"))), type = "joint")
longitud temperatura Contrast S.E. Lower Upper Z Pr(>|z|)
15 TB 2.153e+00 0.3674 1.4328 2.873 5.86 0.0000
25 TB 1.840e+00 0.3133 1.2257 2.454 5.87 0.0000
35 TB 1.330e+00 0.3242 0.6944 1.965 4.10 0.0000
15 TM 8.602e-01 0.2908 0.2903 1.430 2.96 0.0031
25 TM 7.673e-01 0.3263 0.1278 1.407 2.35 0.0187
35 TM 1.757e+00 0.4775 0.8210 2.693 3.68 0.0002
15 TA 2.138e+00 0.3523 1.4476 2.829 6.07 0.0000
25 TA 4.983e-01 0.4529 -0.3894 1.386 1.10 0.2712
35 TA 2.452e-10 64.6983 -126.8064 126.806 0.00 1.0000

Joint test for all contrasts=0:
Chi-square=151.5 with 9 d.f. P=0
Confidence intervals are 0.95 individual intervals

```

Se ha comparado crecimiento nulo con alto. Nuevamente, el éxito tiende a ser mayor con el nulo que con el alto, siendo la diferencia significativa en todos los casos salvo cuando long=25 y temp=TA.

temperatura=TA vs. temperatura=TM

```
contrast(f, list(longitud = c("15", "25", "35"), faseCrec = c("CA", "CM", "CN"),
  temperatura = c("TA")), list(longitud = c("15", "25", "35"), faseCrec = c("CA",
  "CM", "CN"), temperatura = c("TM")), type = "joint")
longitud faseCrec Contrast S.E. Lower Upper Z Pr(>|z|)
15 CA -1.19625 0.3564 -1.8948 -0.49774 -3.36 0.0008
25 CA -0.92734 0.4297 -1.7694 -0.08524 -2.16 0.0309
35 CA -9.49995 45.7506 -99.1694 80.16951 -0.21 0.8355
15 CM -2.60269 0.5512 -3.6830 -1.52236 -4.72 0.0000
25 CM -1.44507 0.3169 -2.0662 -0.82397 -4.56 0.0000
35 CM -12.13134 45.7491 -101.7979 77.53518 -0.27 0.7909
15 CN 0.08161 0.2857 -0.4784 0.64161 0.29 0.7752
25 CN -1.19625 0.3564 -1.8948 -0.49774 -3.36 0.0008
35 CN -11.25686 45.7492 -100.9236 78.40989 -0.25 0.8056

Joint test for all contrasts=0:
Chi-square=70.54 with 9 d.f. P=0
Confidence intervals are 0.95 individual intervals
```

Se ha comparado temperatura alta con temperatura media. Se aprecia que la diferencia tiende a ser negativa, lo que significa que el éxito de enraizamiento es menor a temperatura alta que a media, siendo la diferencia significativa sólo cuando (long=15, fase=CA), (long=25, fase=CA), (long=15, fase=CM), (long=35, fase=CM) y (long=25, fase=CN).

temperatura=TM vs temperatura=TB

```

contrast(f, list(longitud = c("15", "25", "35"), faseCrec = c("CA", "CM", "CN"),
  temperatura = c("TM")), list(longitud = c("15", "25", "35"), faseCrec = c("CA",
  "CM", "CN"), temperatura = c("TB")), type = "joint")
longitud faseCrec Contrast S.E. Lower Upper Z Pr(>|z|)
15 CA -0.4587 0.2902 -1.027 0.11008 -1.58 0.1140
25 CA -0.4418 0.3348 -1.098 0.21440 -1.32 0.1870
35 CA -1.3015 0.4922 -2.266 -0.33679 -2.64 0.0082
15 CM -0.2980 0.7772 -1.821 1.22526 -0.38 0.7014
25 CM -2.8243 0.5007 -3.806 -1.84300 -5.64 0.0000
35 CM -0.4841 0.2855 -1.044 0.07537 -1.70 0.0899
15 CN -1.7513 0.3678 -2.472 -1.03038 -4.76 0.0000
25 CN -1.5144 0.3042 -2.111 -0.91825 -4.98 0.0000
35 CN -0.8745 0.3015 -1.465 -0.28362 -2.90 0.0037
Joint test for all contrasts=0:
Chi-square=102 with 9 d.f. P=0
Confidence intervals are 0.95 individual intervals

```

Por último se ha comparado temperatura media con baja. Nuevamente las diferencias (*contrast*) son negativas, lo que indica menor éxito a temperatura media que baja. La diferencia es significativa salvo en los casos (long=15, fase=CA), (long=25, fase=CA) y (long=15, fase=CM).

### 3.1.2.1.2.3 Discusión

Como resumen de todo lo anterior se observa que existe un patrón de interacciones entre las distintas variables, si bien se viene a confirmar que las condiciones en las que se produce el mayor éxito de enraizamiento, tal como se aprecia de forma aproximada en los gráficos de interacciones dos a dos, corresponden a temperatura baja, fase de crecimiento medio y esqueje de 15 cm de longitud.

Sin embargo se debe partir de la máxima de que las nuevas plantas, obtenidas por reproducción asexual, deben tener la máxima calidad posible, pues irían destinadas a plantarse en un entorno con condiciones climáticas muy severas. Por ello las plantas que se obtengan, deben tener la máxima longitud posible con



una alta vigorosidad. Aun obteniéndose los mejores resultados con los esquejes de crecimiento medio de 15 cm y enraizados con temperatura baja, se considera que se deben obtener plantas nuevas con esquejes de crecimiento medio de 25 cm de longitud y enraizados con temperatura baja, aproximadamente de 24°C, pues compensa el hecho de obtener con dicho material plantas con una mayor longitud y con un alto vigor, a pesar que el porcentaje de éxitos sean de 2 puntos inferior.

### **3.1.2.2 Crecimiento**

Con el objetivo de tener más datos sobre la ecología de *Traganum moquinii*, se procedió a realizar un ensayo en el cual se intentaba analizar la evolución del crecimiento de los esquejes, una vez enraizados.

Los esquejes empleados fueron los obtenidos de los ensayos previos realizados para la reproducción vegetativa, concretamente del ensayo previo nº 2, pues al haber sido insertados los esquejes en contenedores de 40 cm, no fue necesario realizar trasplantes, por lo que dichos esquejes no sufrieron estrés. Se realizó el seguimiento del crecimiento por un periodo aproximado de doce semanas, en diferentes condiciones de temperatura.

El ensayo se desarrolló en la zona 2, descrita en el apartado 3.1.2.1.1.

#### **3.1.2.2.1 Metodología**

Pasados 60 días desde que se inició el ensayo previo nº 2, se observó que muchos de los esquejes enraizados empezaban a crecer, por lo que se consideró retirar las cubiertas de malla, dejando aquellos que estaban bajo la malla a la intemperie, y los que estaban bajo plástico y malla, sólo con el plástico, con el fin de evaluar el crecimiento de los mismos en diferentes condiciones de temperatura. Para ello, se midió la longitud de los esquejes provenientes de yemas apicales, pues se ha observado que en los mismos predomina el crecimiento en la yema terminal y no en las secundarias, mientras que los esquejes enraizados procedentes

de zonas intermedias desarrollan ramas secundarias, siendo similar el crecimiento vegetativo en las mismas.

Obsérvese en la figura 52 el esqueje, procedente de yema terminal (círculo en rojo), presenta dominancia apical, mientras que el esqueje procedente de zona intermedia (círculo en naranja) presenta desarrollo de las ramas secundarias.



**Figura 52:** Esquejes de *Traganum moquinii* ubicados al aire libre.

Se ha tener en cuenta que en el ensayo n° 2 enraizaron 9 esquejes en el experimento n° 5, y en los experimentos n° 1,3 y 6 enraizaron 10 esquejes.

La toma de datos se realizó con un intervalo temporal aproximado de 15 días.

### 3.1.2.2.2 Resultados

Las temperaturas medias durante el ensayo fueron de 27° C al aire libre y de 35° C bajo cubierta, con picos en este último caso, de 42° C.

Durante el ensayo se observó que los esquejes ubicados bajo la cubierta de plástico, aun habiendo picos en los valores de las temperaturas de 42° C, no sufrieron ningún tipo de estrés hídrico.

Las diferentes longitudes tomadas, expresadas en centímetros, se muestran en las tablas 25 y 26:

BAJO CUBIERTA DE PLÁSTICO											
Id del esqueje		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Arena de África	16-mar	5	7	4	5	6	4	8	9	5	5
	1-Abr	7,5	9,5	5,5	7	8,5	6,5	11,5	11,5	7	7
	19-Abr	9,5	12,5	7	8	9,5	7,5	15	14,5	8,5	8,5
	4-May	14	18	9	10	11	9	19	19,5	10	11
	21-May	21,5	24	13,5	12,5	11,5	14	22	24,5	13	14
	7-Jun	26	27,5	16	16	11,5	17	24,5	28,5	15	18
Tierra vegetal	16-mar	4,5	6	5	5	-	7,5	6	5	6	7
	1-Abr	5	9	7,5	6,5	-	9	8,5	7	10	8,5
	19-Abr	6	11	9,5	8	-	10	10	8	12,5	10,5
	4-May	6,5	12	11,5	11,5	-	12,5	13	8	15,5	12
	21-May	7,5	13	13	13,5	-	14	16	10	19	14
	7-Jun	9,5	14,5	14	15	-	15	19	11	21,5	15

**Tabla 25:** Longitud (cm) de los esquejes según tratamientos bajo cubierta de plástico.

AIRE LIBRE											
Id del esqueje		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Arena de África	16-Mar	4	5	6	7	4	5	5	6	5	4
	1-Abr	5,5	5,5	6,5	7,5	4,5	6,5	6,5	6,5	6	4,5
	19-Abr	6,5	5,5	6,5	7,5	5	8,5	7,5	7	6,5	5
	4-May	8	6,5	7,5	10	5	11,5	8	8,5	7,5	5,5
	21-May	11	7,5	8	12	6,5	15	9	12	7,5	8
	7-Jun	14,5	10,5	8,5	14,5	6,5	16,5	9	15	8	9
Tierra vegetal	16-Mar	4	7,5	5	4	9	6	7	5	4,5	3,5
	1-Abr	4,5	10	6,5	6	10	6,5	7,5	6	5,5	4
	19-Abr	4,5	4,5	7	8	11	7,5	8	6	7	4,5
	4-May	5,5	13,5	8,5	4,5	12,5	8,5	8	7	8,5	6,5
	21-May	8	14	12	15	13,5	9,5	8,5	8	12	10
	7-Jun	10	14	15	16,5	13,5	10	9	9	14,5	13

**Tabla 26:** Longitud (cm) de los esquejes según tratamientos al aire libre.

Por otro lado se las observaciones realizadas al comportamiento del sistema radicular de numerosas plantas obtenidas en el vivero, se dedujo que, de forma general, el sistema radicular se desarrollaba principalmente en la zona externa del sustrato. También se ha observado que las raíces no tienen la capacidad de atravesar las zonas saturadas.



**Figura 53:** Raíces de planta de *Traganum moquinii* obtenida mediante reproducción asexual en diferentes sustratos.

El hecho que las raíces se comporten de la forma anteriormente descrita, provoca que el sistema radicular no desarrolle un bulbo compacto, por lo que en el momento de ser trasplantado tiende a desmoronarse.

### **Análisis estadístico**

Se estudia el crecimiento de los esquejes en función del sustrato (arena de África vs. tierra vegetal), y del lugar de cultivo (bajo malla con cubierta de

plástico, en adelante cubierta, o baja malla sin cubierta de plástico, en adelante al aire). Los resultados se muestran en la tabla 24 y 25 del apartado anterior.

Las tablas 27, 28 y 29 muestran los valores medios según sustrato, lugar de cultivo y combinación de ambos.

Días	Aire libre	Bajo Cubierta
0	5,33	5,85
16	6,30	8,03
34	6,67	9,79
49	8,05	12,26
66	10,35	15,29
83	11,82	17,61

**Tabla 27:** Valores medios (cm) de los esquejes por día transcurrido y lugar de cultivo.

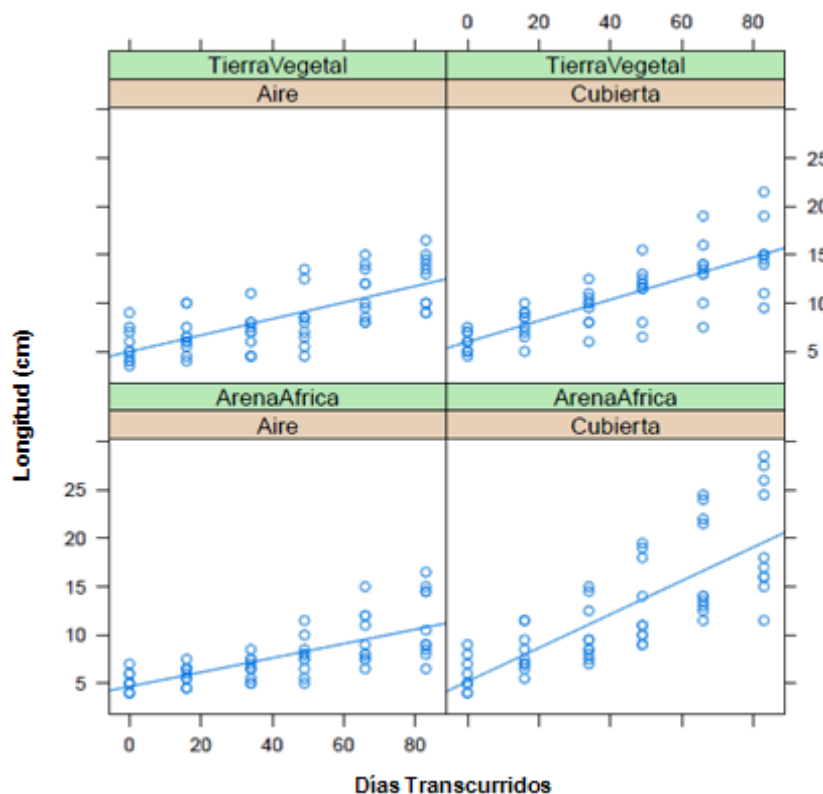
Días	Arena África	Tierra vegetal
0	5,45	5,72
16	7,05	7,24
34	8,30	8,08
49	10,43	9,76
66	13,35	12,13
83	15,60	13,63

**Tabla 28:** Valores medios (cm) de los esquejes por día transcurrido y sustrato.

Días	Aire/Arena	Aire/Tierra	Cub/Arena	Cub/Tierra
0	5.10	5.55	5.80	5.90
16	5.95	6.65	8.15	7.89
34	6.55	6.80	10.05	9.50
49	7.80	8.30	13.05	11.39
66	9.65	11.05	17.05	13.33
83	11.20	12.45	20.00	14.94

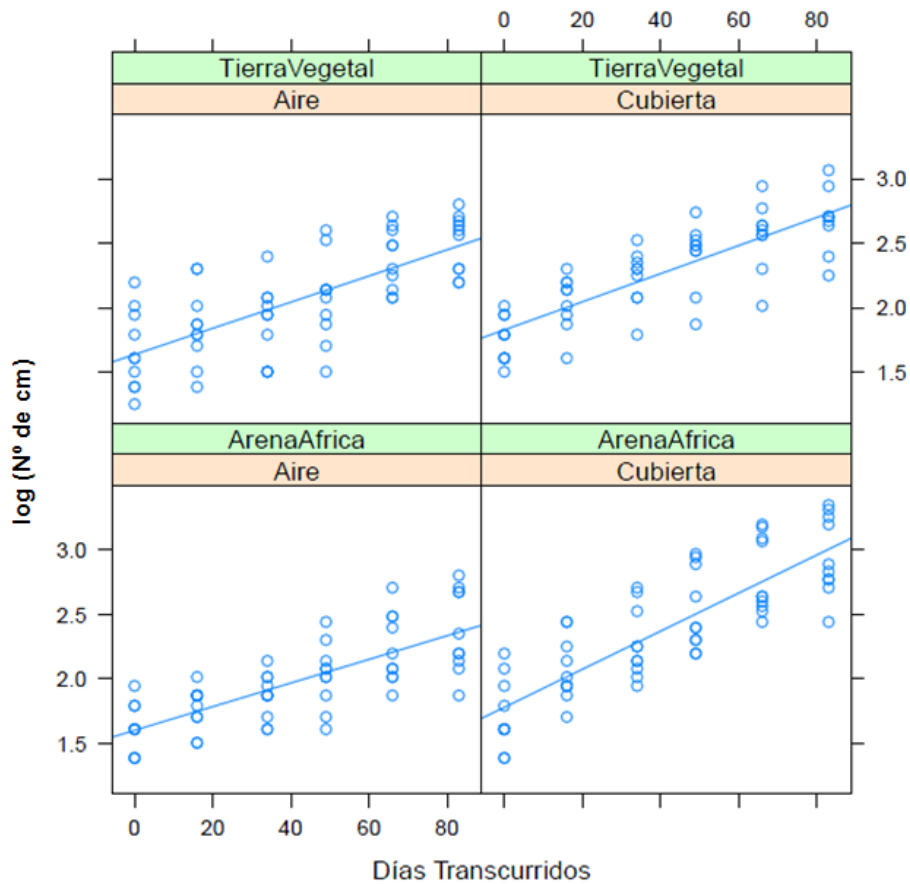
**Tabla 29:** Valores medios (cm) de los esquejes por día según lugar y sustrato.

En la figura 54 se muestra la representación gráfica de estos datos. Puede apreciarse que la variabilidad en el crecimiento aumenta a medida que pasa el tiempo, por lo que se transforman los datos a logaritmos.



**Figura 54:** Representación gráfica del número de cm de crecimiento frente al número de días transcurrido desde el inicio de las observaciones. Se representa un recuadro para cada una de las condiciones experimentales, combinando sustrato y cubierta/aire libre.

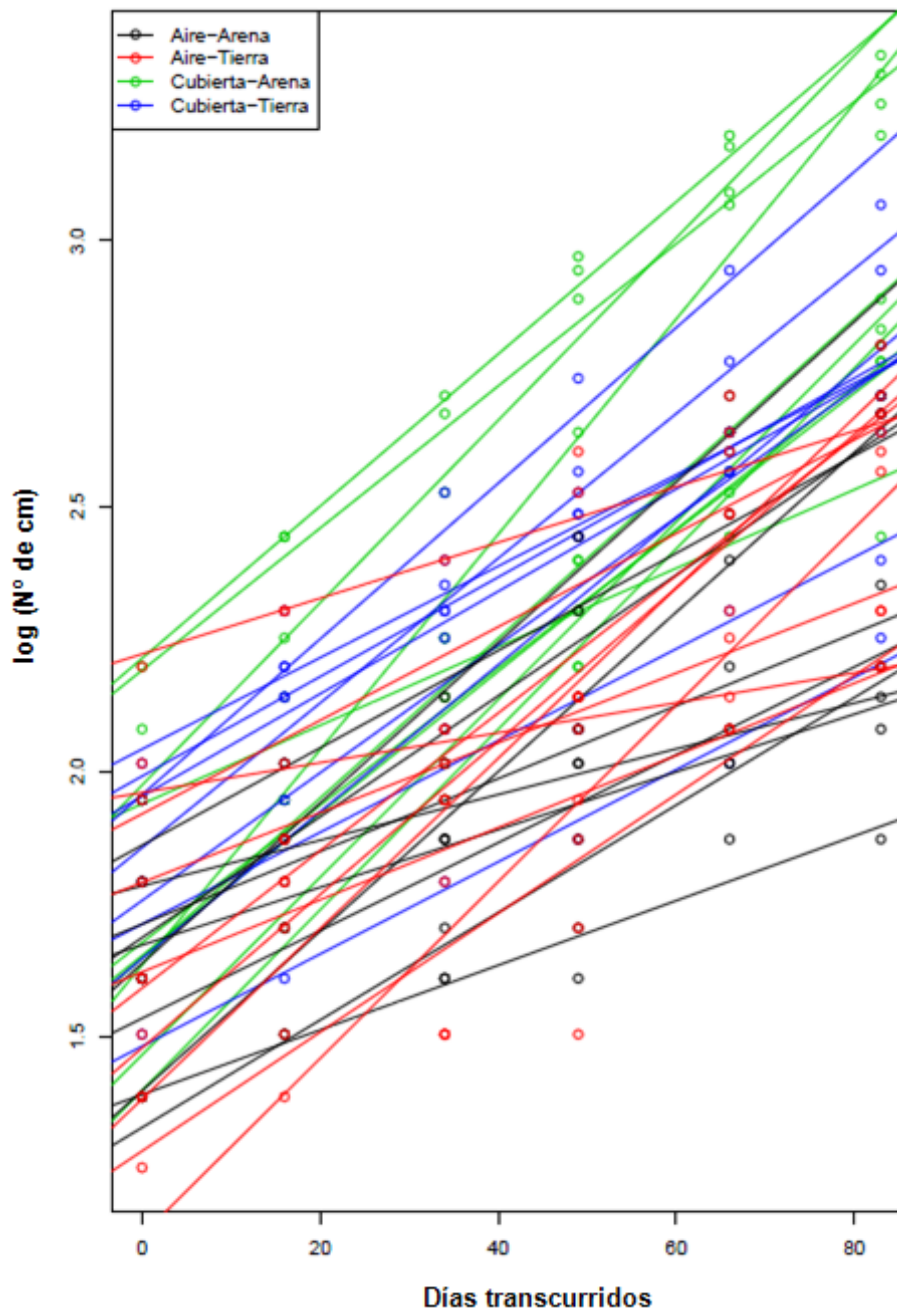
En la figura 55 se muestran los datos en la nueva escala, en la que se aprecia una variabilidad homogénea.



**Figura 55:** Representación gráfica del logaritmo del número de centímetros frente al número de días transcurridos desde el inicio de las observaciones. La dispersión de los puntos es homogénea a lo largo del recorrido de las rectas ajustadas (homoscedasticidad)

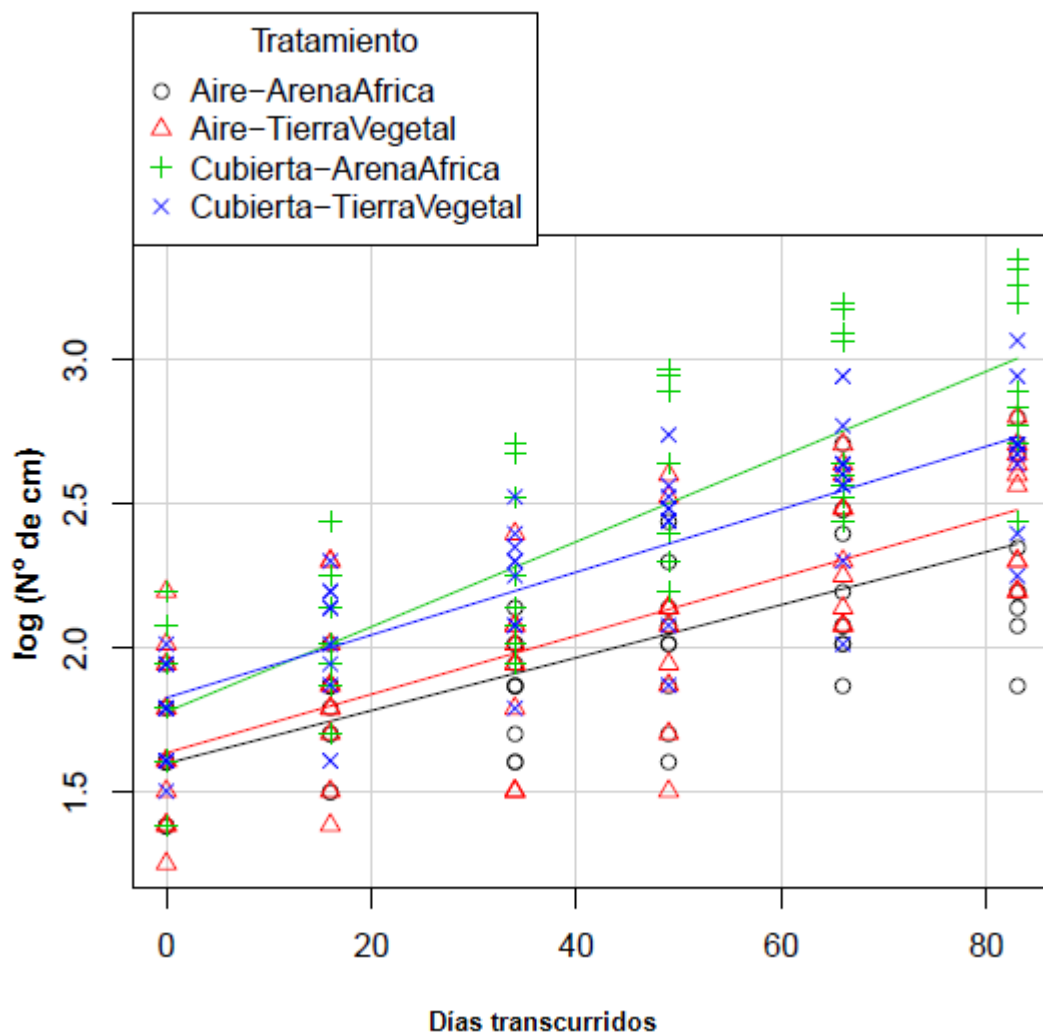
En la figura 56 se muestra la regresión ajustada a los datos de cada esqueje. Los colores definen el tratamiento aplicado. Como puede observarse, para un mismo tratamiento hay un considerable grado de variabilidad entre los distintos esquejes.





**Figura 56:** Representación gráfica del número de centímetro de crecimiento frente al número de días transcurrido desde el inicio de las observaciones. Se muestra la regresión ajustada al número de cm de crecimiento de cada esqueje.

Por último, la figura 57 muestra todos los datos conjuntamente, de modo que se puedan apreciar visualmente las diferencias entre los ajustes en los distintos grupos de datos definidos por el lugar de cultivo y el sustrato empleado



**Figura 57:** Representación gráfica del número de centímetro de crecimiento frente al número de días transcurrido desde el inicio de las observaciones. Se representan conjuntamente todos los tratamientos aplicados.

Se puede hacer las siguientes observaciones a partir de las figuras anteriormente mencionadas:

- El número de centímetros desarrollados incrementa a medida que va pasando el tiempo.
- La relación entre el logaritmo del número de centímetros desarrollados y el número de días transcurridos es aproximadamente lineal.
- Se aprecian variaciones tanto en altura como en inclinación de las rectas dependiendo de que el cultivo se realice o no bajo cubierta, y quizás del tipo de sustrato. En particular, cuando el cultivo se realiza

al aire se observa un crecimiento inferior a cuando se realiza bajo cubierta; y cuando se realiza con cubierta, la pendiente que relaciona el número de centímetros de crecimiento con el número de días transcurrido es aparentemente más acusada cuando se utiliza arena (i.e., partiendo de las mismas condiciones iniciales, en el mismo tiempo se producen un mayor crecimiento en arena que en tierra). No obstante dada la gran variabilidad entre esquejes, este último efecto podría deberse más a dicha variabilidad que a un efecto real del sustrato.

Se ha considerado, para el análisis de estos, datos un modelo de efectos mixtos (Pinheiro y Bates, 2000;Zuur et al,2009).El lugar de cultivo (bajo cubierta o al aire libre), así como el sustrato (arena o tierra) son factores fijos; el esqueje es un factor de efectos aleatorios, ya que cada combinación de sustrato y lugar del cultivo se ha replicado diez veces en sendos esquejes elegidos aleatoriamente; sobre cada esqueje se ha medido, aproximadamente cada quince días, la variable respuesta de interés, en este caso el número de centímetros que han crecido los esquejes.

En concreto el primer día de observación fue el 2011-03-16 (día 0); a partir de ese momento se realizaron observaciones en los días 16, 34, 49, 66 y 83. Se considera inicialmente el siguiente modelo lineal, en el que tanto la ordenada como la pendiente incluyen componentes asociadas a los factores fijos (sustrato y lugar de cultivo) y al factor aleatorio (esqueje):

[1]

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_{0c}I_c + \beta_{0T}I_T + \beta_{0cT}I_cI_T + \beta_{0i} + (\beta_{1+} \beta_{1c}I_c + \beta_{1T}I_T + \beta_{1cT}I_cI_T + \beta_{1i}) X_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde

$$\beta_{0i} \approx N(0, \sigma_0) \beta_{1i} \approx N(0, \sigma_1) \varepsilon_{ij} \approx N(0, \sigma_0)$$

$Y_{ij}$  es la variable respuesta (logaritmo del número de centímetros de crecimiento vegetativo).

$X_i$  es el número de días transcurridos desde el inicio del experimento (0, 16, 34, 49, 66, 83).

$I_c$  es una variable indicatriz que indica si el cultivo se realiza bajo cubierta (vale 1 si se realiza bajo cubierta, 0 si se realiza al aire libre).

$I_T$  es una variable indicatriz que indica si el sustrato utilizado es tierra (vale 1 si se es tierra vegetal, 0 si se utiliza arena de África).

$\beta_0$  y  $\beta_1$  son, respectivamente, la pendiente y la ordenada en el origen de la recta de regresión de  $y$  sobre  $x$  cuando el sustrato es arena y el lugar de cultivo es al aire libre.

$\beta_{0C}$  y  $\beta_{0T}$  representan las diferencias en ordenada con respecto a  $\beta_0$  debidas respectivamente, al cultivo bajo cubierta y a utilizar tierra como sustrato.

$\beta_{1C}$  y  $\beta_{1T}$  representan, análogamente, las diferencias en pendiente con respecto a  $\beta_1$  debidas al lugar de cultivo (bajo cubierta) y al tipo de sustrato (tierra).

$\beta_{0CT}$  y  $\beta_{1CT}$  representan posibles efectos de interacción derivados del uso conjunto de cubierta como lugar de cultivo y tierra como sustrato.

$\beta_{0i}$  representa la diferencia en la ordenada en el origen en el  $i$ -ésimo con respecto a  $\beta_0 + \beta_{0C} + \beta_{0T}$ . Se asume que  $\beta_{0i} \approx N(0, \sigma_0)$

$\beta_{1i}$  representa la diferencia en pendiente en el  $i$ -ésimo esqueje con respecto a  $\beta_1 + \beta_{1C} + \beta_{1T}$ . Se asume que  $\beta_{1i} \approx N(0, \sigma_1)$ .

$\varepsilon_{1j}$  es el residuo en la medida  $ij$ . Se asume que esta variable tiene también distribución normal de media 0 y desviación típica  $\sigma$ .

Los parámetros de este modelo se han estimado mediante el paquete *nlme* (Pinheiro et al, 2011), del paquete estadístico R (R Development Core Team). Es particularmente interesante contrastar si  $\sigma_1 = 0$ , lo que indicaría que no hay diferencias significativas en las pendientes entre los distintos esquejes más allá de

las diferencias asociadas al lugar de cultivo y al sustrato. Con este objeto se lleva a cabo un test de razón de verosimilitudes, comparando modelos con y sin el término  $\beta_{1i}$ , (Pinheiro and Bates, 2000; Zuur et al, 2009). La misma cuestión puede plantearse respecto a  $\sigma_0$  y se respondería de modo análogo. Para evaluar la validez del modelo se aplica el test de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad de los residuos. La figura 55 muestra que no hay problemas de heteroscedasticidad en los datos.

Comparando modelos con y sin términos  $\beta_{0i}$  y  $\beta_{1i}$  mediante el test de razón de verosimilitudes concluimos que  $\sigma_0 \neq 0$  (p-valor <0.0001) y que  $\sigma_1 \neq 0$  (p-valor <0.0001).

Seguidamente, utilizando también un test de razón de verosimilitudes se compara el modelo completo (1) con un modelo más simple.

[2]

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_{0C}I_C + \beta_{0i} + (\beta_1 + \beta_{1C}I_C + \beta_{1i})x_j + \varepsilon_{ij}$$

$$\beta_{0i} \approx N(0, \sigma_0) \quad \beta_{1i} \approx N(0, \sigma_1) \quad \varepsilon_{ij} \approx N(0, \sigma) \quad \beta_{0i} \approx N(0, \sigma_0) \quad \beta_{1i} \approx N(0, \sigma_1)$$

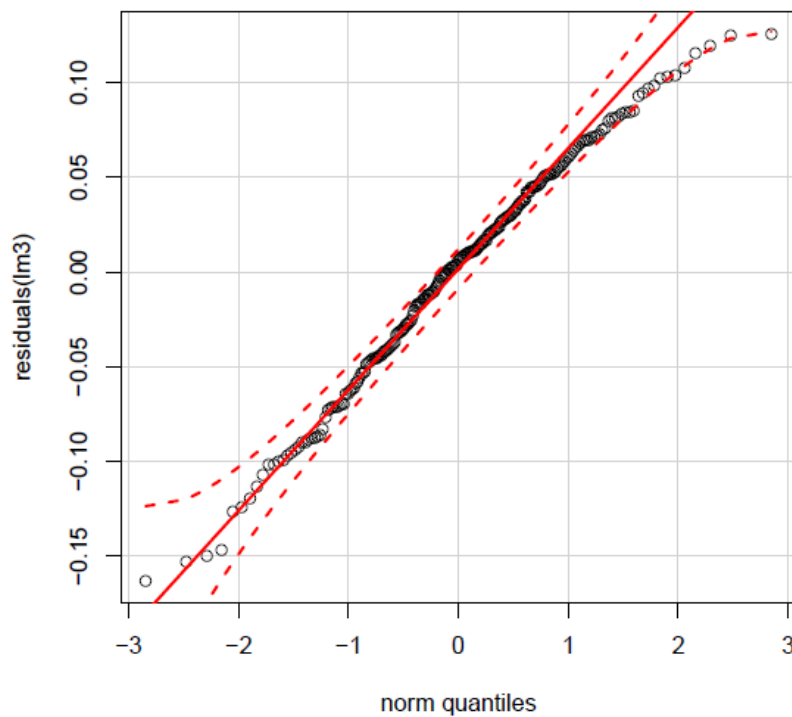
En dicho modelo no se tiene en cuenta el efecto del sustrato (o dicho de otra forma, se asume que tanto si se usa arena como si se usa tierra, el efecto sobre el crecimiento es el mismo). En dicha comparación se obtiene el p-valor 0,1578, lo que indica que los datos no muestran evidencia de que haya efecto del sustrato. Se confirma de esta forma que el posible efecto del sustrato puede explicarse por efecto de confusión debido a la variabilidad entre los esquejes, Así pues en el modelo [1] se puede aceptar que todos los términos relacionados con el sustrato son nulos, esto es  $\beta_{0T} = \beta_{1T} = \beta_{0CT} = \beta_{1CT} = 0$

La estimación definitiva del modelo [2], realizada mediante el procedimiento lme del paquete nlme de R se muestra en la tabla 30.

Parámetros	Valores (95% CI)	p-valores
$\beta_0$	1.63272 (1.5221, 1.74335)	<0.0001
$\beta_1$	0.00962 (0.00793, 0.01132)	<0.0001
$\beta_{0c}$	0.1792 (0.01859, 0.33981)	0.02972
$\beta_{1c}$	0.0033 (0.00088, 0.00572)	0.00785
$\sigma_0$	0.24488 (0.19331, 0.31019)	<0.0001
$\sigma_1$	0.00369 (0.00288, 0.00472)	<0.0001
$\sigma$	0.07273 (0.06487, 0.08154)	

**Tabla 30:** Parámetros del modelo.

Por último, el test de Shapiro-Wilk aplicado a los residuos de este modelo proporciona el p-valor 0,09213. Por lo que se puede aceptar que se cumple la hipótesis de normalidad, necesaria para la validez de los resultados anteriores.



**Figura 58:** Gráfico cuantil-cuantil (qqplot) correspondiente a los residuos del modelo que se ha ajustado a los datos. Puede apreciarse que hay un buen ajuste a la normalidad.

Interpretación de los parámetros del modelo.

El modelo se ha ajustado promediado sobre todos los esquejes. Al promediar sobre todos los esquejes, los valores medios de  $\beta_{0i}$  y  $\beta_{1i}$  son nulos, por lo que se puede prescindir de ellos en el desarrollo, por lo que:

$$\log(y_{AIRE}) = \beta_0 + \beta_1 x$$

$$\log(y_{CUB}) = \beta_0 + \beta_{0c} + (\beta_1 + \beta_{1c})x$$

Siendo  $Y_{AIRE}$  el número de centímetros que ha crecido el esqueje cuando el cultivo se realiza al aire libre, e  $Y_{CUB}$ , cuando se realiza bajo cubierta. La variable  $x$  es el número de días transcurridos desde el inicio del experimento. Se puede eliminar los logaritmos mediante la función exponencial:

$$y_{AIRE} = e^{\beta_0} e^{\beta_1 x}$$

$$y_{CUB} = e^{\beta_0 + \beta_{0c}} e^{(\beta_1 + \beta_{1c})x}$$

De esta forma, si se calcula el cociente entre el valor medio de centímetros desarrollados en un esqueje cultivado bajo cubierta y otro cultivado al aire libre, transcurrido un mismo número de días  $x$ , se obtiene:

$$\frac{y_{CUB}}{y_{AIRE}} = e^{\beta_{0c} + \beta_{1c}x} = e^{0,1792 + 0,0033x} = 1,196e^{0,0033x}$$

Es decir, por cada centímetro desarrollado en un esqueje cultivado al aire, se tienen  $1,196e^{0,0033x}$  centímetro desarrollado en un esqueje cultivado bajo cubierta (habiendo transcurrido en ambos casos  $x$  días desde el inicio del cultivo). El que los coeficientes sean positivos y hayan resultados significativos, permite asegurar que bajo cubierta se producen por término medio siempre un mayor crecimiento que el aire libre.

La tabla 31 muestra el valor de esta tasa de proporcionalidad para varios valores de  $x$ :

$x$	$\frac{y_{CUB}}{y_{AIRE}}$
0	1.20
16	1.26
34	1.34
49	1.41
66	1.49
83	1.57

**Tabla 31:** Valores medios (cm) de crecimiento de los esquejes, calculados según la tasa de proporcionalidad, para varios valores de  $x$  y lugar de cultivo.

### 3.1.2.2.3 Discusión

Hay una diferencia significativa en el resultado obtenido en plantar los esquejes bajo cubierta frente a hacerlo al aire libre. Así, por ejemplo, a los 66 días, por término medio para cada centímetro desarrollado al aire libre cabe esperar 1,49 centímetros bajo cubierta. Revisando los datos, se aprecia que a los 66 días, al aire libre se ha desarrollado una media de 10,35 cm por esqueje, frente a los 15,29 cm desarrollados por término medio bajo cubierta. El cociente  $15,29/10,35$  da el valor de 1,48, muy similar al predicho por el modelo.

### 3.1.2.3 Límite de tolerancia a un medio salino

Los suelos salinos generalmente se encuentran en áreas que reciben sales, siendo el agua el principal factor implicado en el transporte. Especialmente importante resulta el transporte superficial en las regiones áridas, así como en las áreas de depósito de las cuencas de drenaje, dado que reciben el lavado de los materiales situados aguas arriba en la cuenca. Para los suelos de costa, además, el mar supone una fuente de sal inagotable, produciéndose el aporte de tres formas: la primera es la “sal cíclica”, que proviene del spray marino; las otras dos implican aportes más directos y son los producidos por las aguas, tanto superficiales como subterráneas (Hernández, 2002).



La capacidad de adaptación de los seres vivos a determinadas circunstancias ambientales, determinantes para la supervivencia, según la teoría sintética, depende de las combinaciones génicas, que afianzan aquellas mutaciones que permiten una mayor supervivencia de las especies. Ello ha permitido que escasas especies, en comparación a las existentes en el mundo vegetal, se hayan adaptado a ciertos medios salinos.

Las adaptaciones de las plantas a medios salinos pueden ser analizadas desde el punto de vista fisiológico, morfológico y/o fenológico. Los principales tipos y características de las plantas adaptadas a medios salinos son:

- Euhalófitos: acumulan sales en tejidos.
- Crinohalófitos: desarrollan glándulas o pelos excretorios.
- Glicohalófitos: absorben sales de forma selectiva.
- Locahalófitos: confinan sales en estructuras especiales

Los síntomas por salinidad son consecuencia de los efectos fisiológicos y bioquímicos inducidos por factores osmóticos e iónicos de las sales (Hare y Cress 1997; Munns, 2002). El efecto osmótico provoca un estrés hídrico en la planta al disminuir el potencial osmótico del medio que restringe las disponibilidades de agua de la planta reduciendo el crecimiento aéreo (Neumann, 1997) y radical (Wild, 1988, cit. por Pastor, 2009). Si la célula vegetal se coloca en una disolución de presión osmótica superior (hipertónica) a la de su propio protoplasma, el agua de los vacúolos celulares pasará de la célula a la solución externa. Esto revierte en una pérdida de turgencia, una contracción de los vacúolos, y el despegue de la membrana celular de la pared celular, estando la célula plasmolisada. Este proceso puede ser irreversible (Devlin, 1980).

La salinidad afecta al crecimiento de la planta al reducir el potencial hídrico de la solución del suelo, disminuyendo así la disponibilidad de agua. Con ello se crea un desequilibrio nutritivo, dada la elevada concentración de elementos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) que pueden interferir con la nutrición mineral y el metabolismo celular. En consecuencia, los efectos que se producen a distintas escalas (reducción de turgencia y crecimiento, pérdida de la estructura celular por desorganización de

membranas e inhibición de la actividad enzimática) son el producto combinado de estrés hídrico, toxicidad iónica y desequilibrio nutricional (Leidi y Pardo, 2002)

Dado que *Traganum moquinii* está asociado a dunas costeras, se podría pensar que es una especie tolerante a sustratos con elevadas concentraciones de sales en solución. Con el fin de determinar el grado de resistencia de *Traganum moquinii* a concentraciones de sales en el sustrato se ha desarrollado un ensayo experimental.

#### **3.1.2.3.1 Metodología**

Se seleccionaron al azar 10 individuos de *Traganum moquinii*, de un año de edad, obtenidos mediante reproducción asexual. Los contenedores que los albergaban tenían 40 cm de alto y como sustrato arena de África. El experimento consistió en realizar aportes hídricos de agua marina por capilaridad. Una vez se observaron síntomas evidentes de marchitez en los ejemplares seleccionados (pérdidas de hojas, endurecimiento o índices leves de clorosis), se realizaron dos análisis químicos a las muestras de suelo, cuyos resultados se compararon con los obtenidos en análisis realizados antes de realizar el aporte de agua marina. Dichos análisis fueron llevados a cabo en el laboratorio de suelos del Cabildo de Gran Canaria.

#### **3.1.2.3.2 Resultados**

En la tabla 32 se muestran los valores de los análisis químicos asociados a parámetros específicos para el estudio del grado de salinidad del sustrato. Se aporta los valores del sustrato empleado después del ensayo, y como referencia, los valores normales de la arena de África y de la playa del Inglés.

Nombre determinación	Valores normales(arena de África, antes del ensayo)	Valores después del ensayo	Valores normales(arena playa del Inglés)
pH 1:2:5 en agua	9.21	9.30	10.02
Conductividad	0.23 dS/m	6.39 dS/m	1.04 dS/m
Caliza (Calcímetro Bernard)	41.6 %	44.8 %	43.5 %
<b>Bases de Cambio: meq/100g</b>			
Potasio de cambio	0.3	0.5	0.3
Calcio de cambio (Ac. Na si caliza >5%)	4.0	5.1	2.4
Mg de cambio (Ac. Na si caliza >5%)	0.4	2.4	0.5
Sodio de cambio	0.4	14.8	3.2
<b>Microelementos: mg/kg</b>			
Boro (Ext. Agua caliente + ICP-OES)	0.23	2.3	6.2
Cobre (Ext. DTPA+ICP-OES)	0.09	0.08	0.09
Hierro ((Ext. DTPA+ICP-OES)	1.80	1.3	2.20
Manganeso ((Ext. DTPA+ICP-OES)	0.40	0.13	0.90
Cinc ((Ext. DTPA+ICP-OES)	0.19	0.07	0.17

**Tabla 32:**Resultados de los análisis químicos realizados a los sustratos..

De los resultados de los análisis químicos se deduce que, dada la conductividad del sustrato después del ensayo, de 6,39 dS/m (4,09 gr/l), se trata de un suelo salino, pues se consideran suelos salinos aquellos que presentan una elevada concentración de sales en solución, es decir valores de CE<sub>e</sub> >4 dS/m (2,56 gr/l). Con respecto al porcentaje de sodio intercambiable (PSI) obtenido, un 64 %, se considera el suelo muy fuertemente sódico, (Massoud, 1971). Por su parte, la arena existente en la playa del Inglés se considera un suelo sódico no salino, dados sus valores de conductividad y PSI.

La presencia de sodio en proporciones elevadas frente al calcio y al magnesio, provoca la dispersión de los coloides arcillosos y húmicos originando fuerte inestabilidad estructural, llegando a aparecer problemas de toxicidad (Báscones, 2013).

Sin embargo, en este caso, considerando que los valores de los microelementos son, semejantes a los normales, determinan que no ha habido toxicidad.

### **3.1.2.3.3 Discusión**

El hecho de que la arena de la playa del Inglés sea un suelo sódico no salino se relaciona con el espacio donde se asienta el campo de dunas, desde la perspectiva geomorfológica más que desde el punto de vista del clima árido que lo caracteriza. El fan delta presenta un nivel freático cerca de la superficie, a menos de un metro en las depresiones interdunares (Pérez-Chacón et al, 2007), con aguas consideradas como salobres. Presentan valores de la CE de 10 dS/m [6,4 gr/l] a un metro de profundidad media, si bien estos valores pueden oscilar, dependiendo de la aportación de aguas pluviales en la capa freática (Melián et al, 2005). Ello ha permitido que la población de *Traganum moquinii* sobreviva perfectamente en esta playa, pues la capa de agua salada (CE  $\approx$ 37 gr/l) se mantiene por debajo de la relativamente dulce, siendo esta última la que reciben los individuos de *Traganum moquinii* por capilaridad.

Considerando lo anterior, se podría considerar, de forma provisional, y conforme a los resultados que se han obtenido de este experimento, que aun siendo *Traganum moquinii* una especie que vive asociado a dunas costeras, necesita un aporte hídrico de aguas relativamente dulces, no pudiendo subsistir con aportes hídricos exclusivos del mar, al existir una relación inversamente proporcional entre salinidad del sustrato y vitalidad del individuo.

### **3.1.3 Reproducción sexual**

El objetivo de este capítulo es describir el mecanismo reproductivo del *Traganum moquinii*, como fundamento para su conservación, y con ello, la conservación de las dunas costeras de determinados sistemas sedimentarios eólicos costeros áridos. Se inicia con un estudio florístico, que aborda diversos aspectos, y concluye con un estudio entomológico, debido a la relevancia que pueden tener los insectos en la reproducción de *Traganum moquinii*.

### 3.1.3.1 Estudio florístico

Las referencias bibliográficas sobre la taxonomía y descripción de la especie son variadas. Mesa (2005) establece que la primera cita para Canarias aparece en *Phytografía Canariensis* de Webb y Berthelot (1844), donde es tratada por A. Moquin Tandon como *Traganum nudatum Del.* En el *Prodomus* de De Candolle (1849) se le cita como *T. moquinii* (Webb! Phyt. Canar. Suppl. Ined.). Si bien autores posteriores siguen tratándola como *Traganum moquinii Webb*, para Lems (1960) posiblemente se trata de una forma de *T. nudatum Delille*.

*Traganum moquinii* presentan flores hermafroditas, solitarias, axilares, protegidas por dos bractéolas, segmentos periánticos de 1 a 5 alargándose al fructificar, ovario súpero, densamente lanudas y como fruto, un aquenio, de semillas pequeñas (Bramwell y Bramwell, 1990). Mesa (2005) añade a esta descripción el hecho de que las flores se presentan dispuestas al final de las ramas nuevas, pequeñas, amarillentas, rodeadas por un mechón de pelos y protegidas por dos brácteas un poco mayores que el periantio, concrescentes con el periantio fructífero por la base; tépalos elípticos o subcordados, obtusos o emarginados hasta mucronulados, pubérulos. Estambres exsertos. El fruto es un aquenio ovoide con las brácteas concrescentes y una sola semilla grisáceo-amarillenta (Mesa, 2011). Finalmente De Candolle (1849) señala la existencia de un nectario interfloral.

#### **Aportaciones realizadas en esta investigación**

Con el fin de ahondar en el conocimiento de esta especie, se realizaron trabajos en dos líneas: por una parte, se realizaron trabajos de campo, mediante observación, con el fin de conocer aspectos claves de esta especie, como sus ciclos anuales; por otra, se recolectaron flores y semillas que fueron sometidas a experimentación, con observación mediante lupas binoculares.

Tras el seguimiento fenológico durante dos ciclos anuales a numerosos individuos de esta especie, se ha observado que, frente a lo que dice Mesa (2011), las flores están dispuestas a lo largo de las últimas ramas desarrolladas, y el proceso de apertura de las mismas se inicia de la base de las ramas hacia las zonas

apicales. Por otro lado, se ha observado que el ciclo vegetativo tiene 3 etapas perfectamente diferenciadas: floración, crecimiento vegetativo y reposo. No obstante, en cada fase diferencial del ciclo, se puede encontrar ramas dispersas del resto de las fases, existiendo siempre, transición entre fases. La fase de fructificación va temporalmente paralela a la fase de floración, por lo que se pueden encontrar frutos durante todo el año.

Los periodos de los diferentes estadios pueden tener desplazamientos temporales, pudiendo sufrir tanto alargamientos como acortamientos, probablemente por estar asociadas, principalmente, a las temperaturas. No obstante los individuos pueden sufrir enterramiento, motivo por el cual, en caso de supervivencia al mismo, pasan a un estadio de alto crecimiento vegetativo, aunque estuvieran en una fase de bajo crecimiento o en floración.

Tras analizar 50 semillas, con el fin de determinar el periodo que necesita la simiente para llegar a la madurez plena, se observó que el mismo se produce aproximadamente a los 220 días.

En la figura 59 se muestra, de forma genérica, la evolución observada durante el ciclo anual de las diferentes fases.

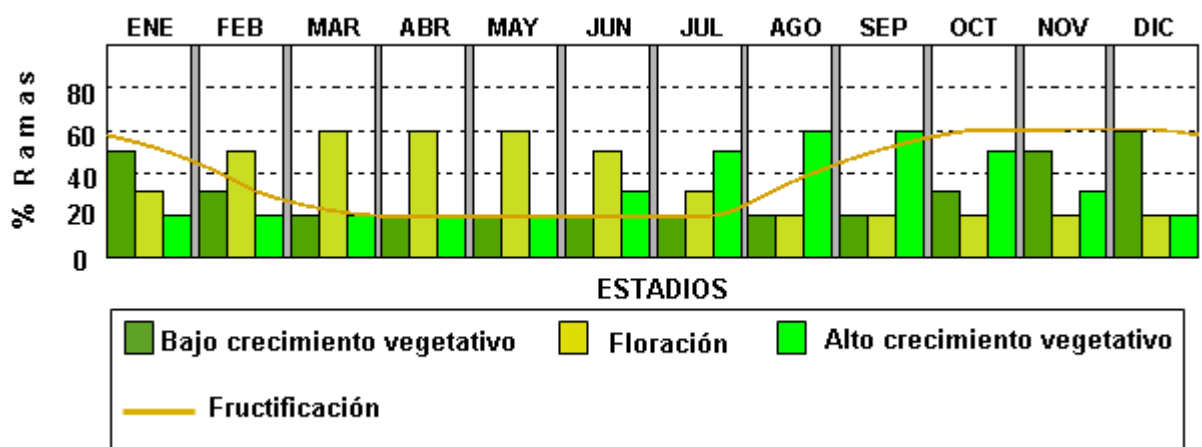
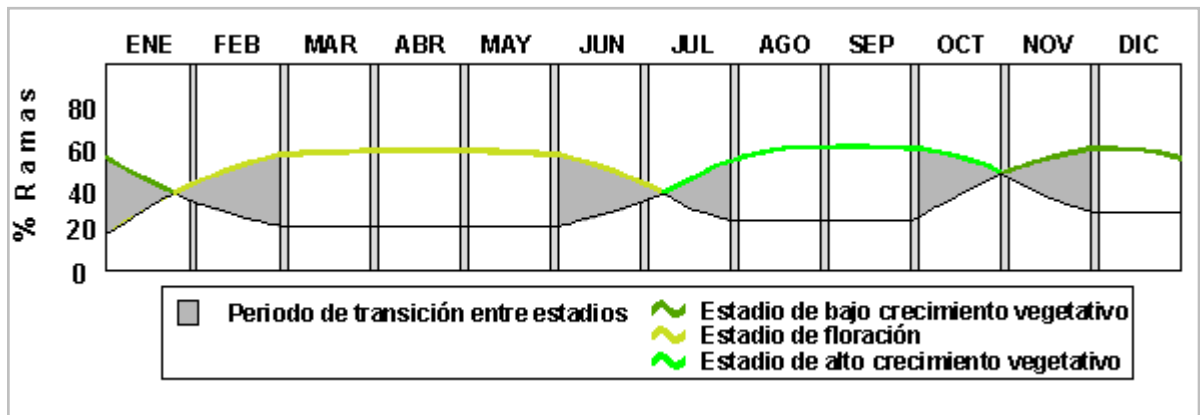



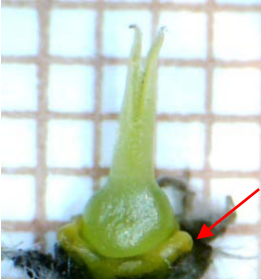



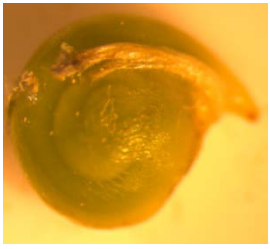

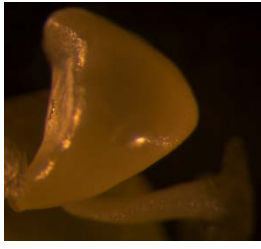
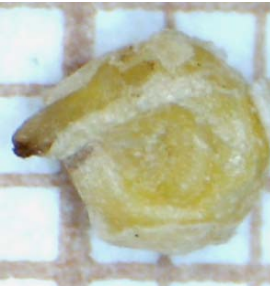
Figura 59: Ciclo vegetativo de *Traganum moquinii*.

En la figura. 59 se identifican los tres periodos que producen las transiciones entre los diferentes estadios, los cuales se plantean en la figura 60.



**Figura 60:** Periodos de transición entre los diferentes estadios en el ciclo vegetativo de *Traganum moquinii*.

En la tabla 33 se muestra las diferentes partes de una flor de *Traganum moquinii*.

	Flor desprovista de las dos brácteas que la protegen		Vista del estigma bifido, ovario, y en la base del mismo el nectario interfloral.		Estigmas papilosos
	Vista de los 5 segmentos perianticos.		Cavidad ovárica con el óvulo en su interior.		Óvulo fecundado en el interior del saco embrionario.
	Estambres con los sacos polínicos aun cerrados.		Óvulo sin fecundar.		Semilla madura

**Tabla 33:** Elementos morfológicos y evolución de una flor de *Traganum moquinii*, (GRID de 1 mm).

I









Aunque todas las referencias bibliográficas sobre polinización en Chenopodiaceae mencionan que es anemófila, la morfología de las flores de *Traganum moquinii* parece responder a una estructura de flor entomófila. En esta línea Kunkel (1991), realiza la siguiente descripción: “*Seg. Genaust, del gr. traganos = exuberancia, según Boerner porque huele a macho cabrío, género de solo 3 especies.*” Efectivamente, el olor que desprenden los anillos nectarios es muy intenso e idiopático, mostrando mayor intensidad durante las horas nocturnas y primeras horas de la mañana, lo que supone un elemento de atracción para determinados insectos.

*Traganum moquinii* presenta el fenómeno de dicogomía, ya que los estambres y estigmas de una misma flor no alcanzan al mismo tiempo la madurez para la polinización. Las flores son protándricas, es decir, que funcionan primero como flor masculina y luego como flor femenina.

De los tipos de dicogomía la protoginia ha sido definida como más efectiva para minimizar la autofertilización, porque asegura un periodo en el cual no hay polen disponible para permitir la misma dentro de una planta (Buide y Guitián, 2000).

La protandria favorece la alogamia. Su ventaja principal es la producción de nuevas combinaciones genéticas en la población, por lo que asegura la variabilidad de la especie, y por extensión mayor probabilidad de sobrevivir a posibles cambios del medio ambiente.

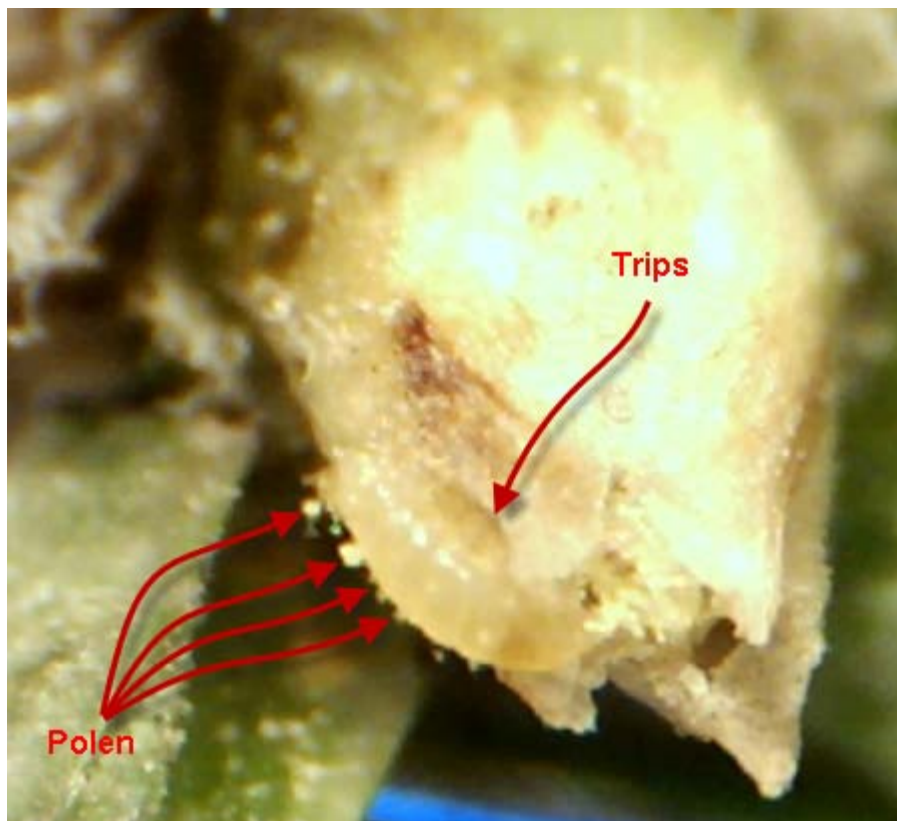
En la tabla 34 se puede apreciar las diferentes fases de la protandria durante la antesis de la flor de *Traganum moquinii*.

Imagen	Nº de días	Imagen	Nº de días
	1		4
	2		6
	3		12

**Tabla 34:** Secuencia de la antesis de la flor de *Traganum moquinii*.

En la tabla 34 se observa que cuando las anteras emergen del interior de la flor (días 2 y 3), se curvan hacia afuera, facilitando que el polen sea transportado tanto vía anemófila como entomófila, pues es en este último caso en el que, al ocupar prácticamente toda la entrada de la flor, ponen su superficie emisora en contacto con los insectos que transitan las flores, aumentando las probabilidades de ser polinizada por los mismos. Asimismo se observa que cuando los estigmas emergen del interior de la flor (día 6) los sacos polínicos están prácticamente vacíos y expuestos hacia el exterior.

Se puede considerar que *Traganum moquinii* es una planta geitonogama. Según las observaciones realizadas durante el desarrollo de esta tesis, en su fase larvaria el trip (*Haplothrips sventenii* zur Strassen, 1966,) es el principal vector de transporte del polen. Estos insectos son muy activos, por lo que facilitan la polinización cruzada entre flores del mismo individuo. Asimismo la gran cantidad de flores que emite *Traganum moquinii*, que llega a superar las 100.000 por metro cúbico de dosel (véase apartado. 3.2.1.1.1.3), facilita una gran disponibilidad de polen.



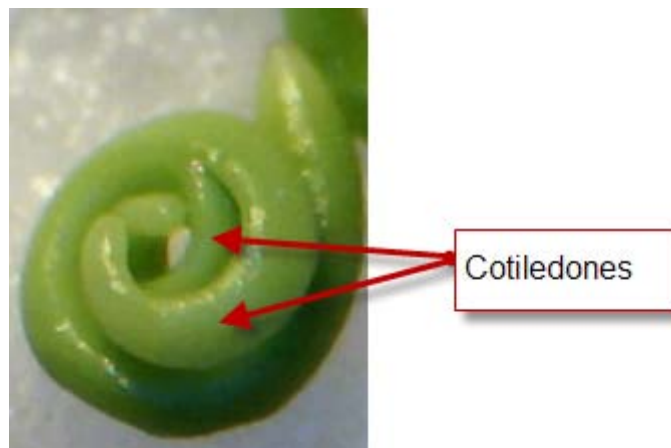
**Figura 61:** Individuo de *Haplothrips sventenii* zur Strassen, 1966, en fase larvaria, saliendo de una flor de *Traganum moquinii*, con granos de polen adheridos.

El polen a menudo puede permanecer en las anteras de flores protándricas cuando los estigmas comienzan a ser receptivos, permitiendo autopolinizaciones al comienzo de la fase femenina (Bertin, 1993). En el caso de *Traganum moquinii*, la densidad de su follaje, con la ubicación del mismo a sotavento de los vientos dominantes, o la inexistencia de los mismos, puede facilitar que se dé tal circunstancia (figura. 62).



**Figura 62:** Autopolinización de una flor de *Traganum moquinii*.

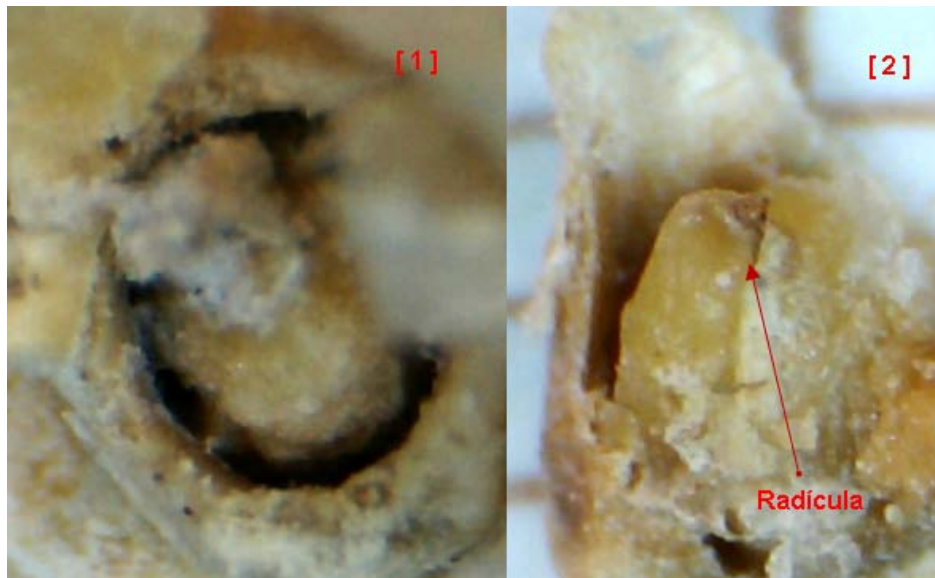
El fruto de *Traganum moquinii* se desarrolla en forma de espiral con los cotiledones en la parte interior de la misma.



**Figura 63:** Cotiledones en una simiente de *Traganum moquinii*.

La posición natural, de la simiente dentro del saco embrionario, se dispone de tal forma que la radícula queda orientada en la dirección longitudinal definida por el estilo.

En la figura 64 se aprecia, en [1], el orificio que ocupaba el estilo, y en [2], la punta de la radícula orientada hacia dicha posición.



**Figura 64:** Posición natural de la simiente de *Traganum moquinii*. Radícula orientada en dirección longitudinal definida por el estilo.

La dispersión de las semillas básicamente es por anemocoria, ya que los aquenios van acompañados en todo momento de diversas hojas de la planta, facilitando así su mayor dispersión.



**Figura 65:** Diversas ramitas con flores, esparcidas por la acción del viento.

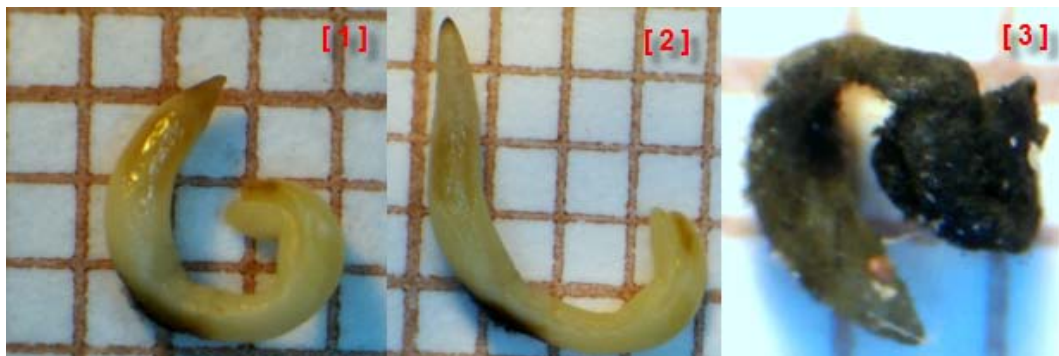


Cuando las ramas llegan, transportadas por el viento, a zonas de deflación, pueden quedar fijadas al suelo por la capa de salitre que se forma en dichas zonas, permitiendo que la humedad existente bajo la capa de sal penetre hasta los aquenios. Con ello se facilita su germinación. A su vez, la elevada concentración de sal existente inhibe el desarrollo de determinados hongos, aumentando las posibilidades de éxito en la germinación de la semilla.



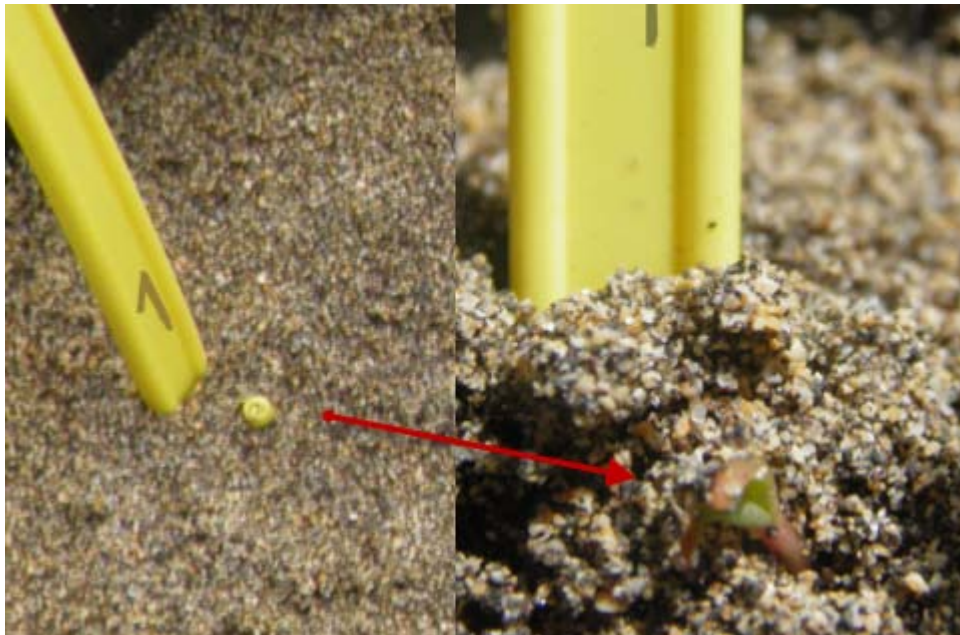
**Figura 66:** Rama semienterrada y plántula de *Traganum moquinii*, en zona de deflación.

En la figura 67 se puede apreciar tres semillas de *Traganum moquinii*. En [1] y [2] el aporte hídrico se realizó mediante pulverización, con una mezcla realizada con dos gotas de hipoclorito de sodio enriquecido al 4% por litro de agua. Se puede observar como las nuevas plántulas se desarrollan con normalidad y libre de gérmenes. En [3] se aportó agua no tratada. Se aprecia el desarrollo de una población de hongos.



**Figura 67:** [1] y [2], simientes tratadas, con desarrollo normal. [3], no tratada con hongos.

Tras realizar unos ensayos preliminares con 50 semillas, recolectadas al finalizar el periodo de madurez, las mismas se plantaron en bolsas de 40 cm, se cubrieron con 0,5 cm de arena, y el riego se realizó por capilaridad. Se observó que estando el fruto en perfecto estado fisiológico, con la suficiente humedad, muestran los cotiledones aproximadamente a los 35 días. Se deduce, por tanto, que las simiente de *Traganum moquinii* no presentan dormancia.



**Figura 68:** Semilla de *Traganum moquinii* .germinando a los 35 días de sembrada.

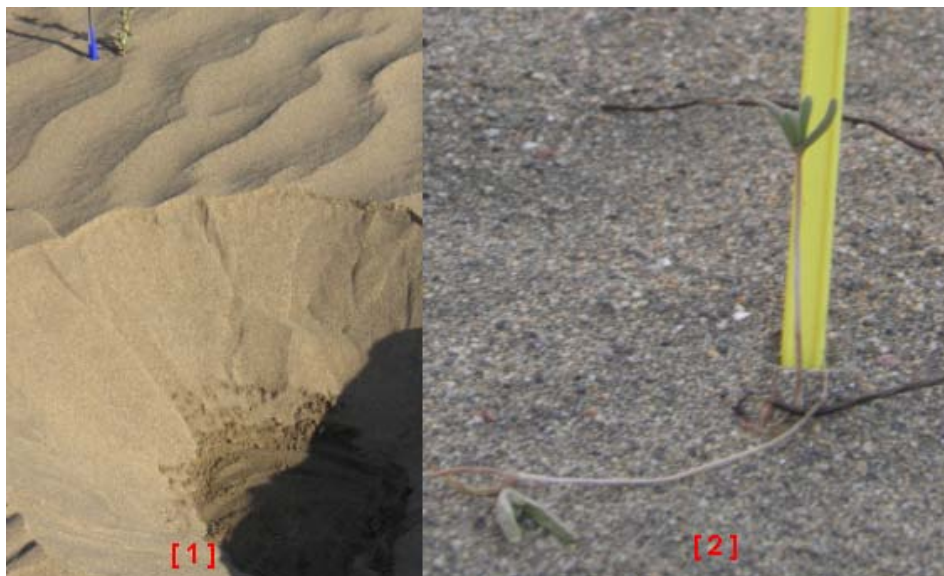
En consecuencia, se deduce que las precipitaciones, especialmente las asociadas a temporales del suroeste, producen un incremento de las tasas de humedad del sustrato. En estas ocasiones la simiente de *Traganum moquinii* pueden brotar sin necesidad de alcanzar las zonas de deflación, haciéndolo en las arenas que normalmente están secas.



**Figura 69:** Desarrollo de plántulas de *Traganum moquinii* en zonas bajas de las dunas.

En el caso de que las nuevas plántulas nazcan en zonas normalmente secas de las dunas, no logran sobrevivir por dos razones fundamentales: la primera es que la nueva raíz queda muy alejada de la zona húmeda, a no ser que se trate de una duna que lleve estabilizada muchos años; la segunda razón es que la planta queda expuesta al azote de los vientos dominantes.

En la figura 70 se pueden apreciar las dos situaciones comentadas anteriormente: en ambos casos las plántulas nacieron después de haber llovido. La plántula en [1], tiene la zona húmeda por capilaridad, muy próxima al ser una duna estabilizada, y en [2], las plántulas han quedado descubiertas por la acción del viento.



**Figura 70:** Plántulas nacidas fuera de zonas de deflación. [1] La zona húmeda por capilaridad, está muy próxima al ser una duna estabilizada. [2] Plántulas descubiertas por la acción del viento.



### 3.1.3.2 Estudio entomológico

Como la polinización de la especie *Traganum moquinii* puede ser entomófila, se hace necesario estudiar qué insectos interfieren, tanto en el proceso de la fecundación, como durante la etapa de madurez de la semilla.

Numerosos son los insectos que se han encontrado durante el desarrollo del estudio. Los mismos se pueden agrupar como asociados a *Traganum moquinii* de forma directa o indirecta. En este estudio, la prioridad es el conocimiento de aquellos que desarrollan su ciclo vital en *Traganum moquinii*, pudiendo estar agrupados según su alimentación, en los que se alimentan de las partes vegetales y los predadores de estos.

Dentro de los insectos encontrados que se alimentan de las partes vegetales se pueden diferenciar tres tipos: en primer lugar, el que desarrolla su actividad principalmente durante la fase de la antesis, favoreciendo la reproducción. Éste pertenece al orden de los tisanópteros, en segundo lugar, el asociado a los momentos posteriores de dicha fase, que pertenece al orden de los coleópteros, y no actúa sobre la fecundación, sino que, por el contrario, destruye las simientes, por último, se ha encontrado otro que se alimentan de cualquier parte de la planta, y que prácticamente no actúan en el proceso de la floración y reproducción de forma positiva, sino al contrario, destruye de forma directa los órganos reproductores. Éste pertenece al orden de los ortópteros.

Las especies que se han identificado son las siguientes:

#### **Tisanópteros**

El tisanóptero identificado es un trips cuya posición taxonómica es la siguiente:

Suborden: Tubulifera, Familia: Phlaeothripidae,

*Haplothrips sventenii* zur Strassen, 1966.

Se trata de una especie endémica de las Islas Canarias, descrita sobre *Traganum moquinii* en Lanzarote (Berzosa, 2000).

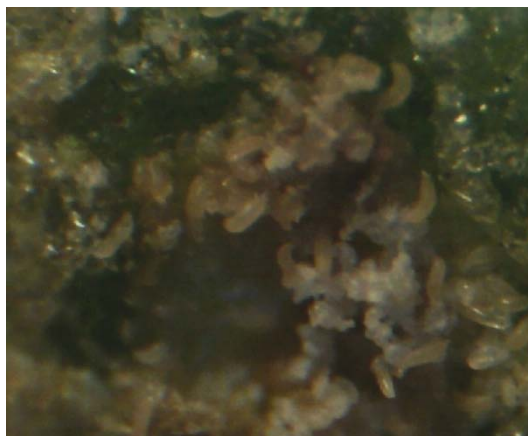
Es la especie que actúa más directamente en el proceso de la fecundación de *Traganum moquinii*, pues aunque se alimentan de tejidos vegetales y polen, el hecho

de transitar por dentro de las flores de *Traganum moquinii* provoca que los granos de polen se adhieran a los anillos seriados, pudiendo ser transportados a otra flor.



**Figura 71:** Individuo adulto de *Haplothrips sventenii* zur Strassen, 1966. GRID de 1mm.

Se ha observado que los *Haplothrips* ponen numerosos huevos en las hojas (varias decenas de ellos), en una cavidad normalmente bajo la epidermis superior.



**Figura 72:** Decenas de larvas de *Haplothrips* en el interior de la cavidad.

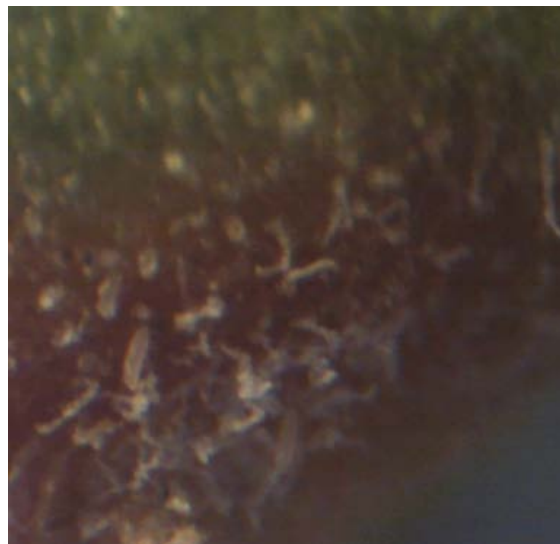
La incisión realizada por el *Haplothrips* adulto provoca, por parte de la planta, una reacción que le da un tono rosado a la epidermis próxima a la incisión.

Una vez eclosionan los huevos, las larvas entran y salen por un pequeño orificio mientras se van desarrollando, hasta que tienen la edad suficiente para abandonar la protección que les da dicha cavidad.



○ Orificio de salida de las larvas de trips

**Figura 73:** Reacción de *Traganum moquinii* a la incisión (círculo rojo) realizada por *Haplothrips*.



**Figura 74:** Larvas de *Haplothrips* fuera de la cavidad, en una hoja de *Traganum moquinii*.

Desde el momento que las larvas abandonan la cavidad, transitan de flor en flor en busca de alimento.



**Figura 75:** Larva de *Haplothrips* con granos de polen adheridos, localizado en una flor de *Traganum moquinii*. GRID de 1 mm.

### **Coleóptero**

Se ha identificado un coleóptero polífago, cuya clasificación taxonómica es la siguiente:

Suborden: Polyhaga, Familia: Anobiidae, Subfamilia: Ptininae,

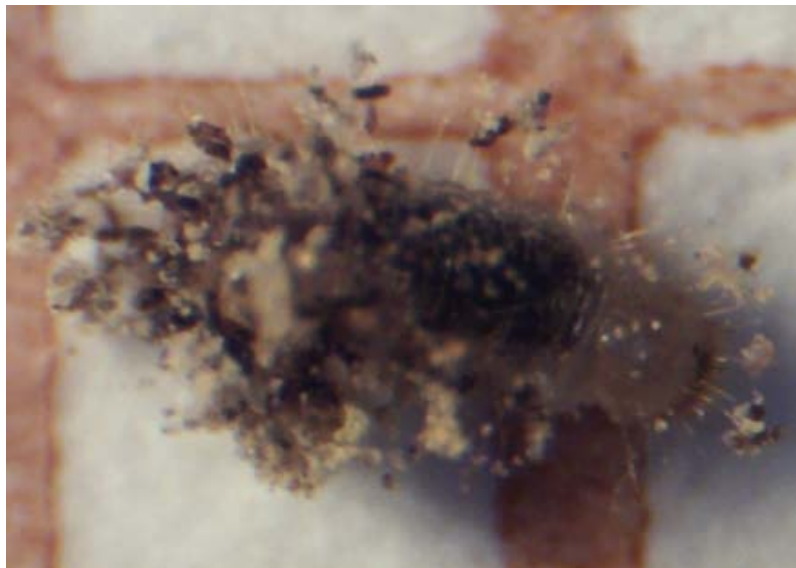
*Sphaericus* (*Sphaericus*) *gibbicollis* Wollaston, 1862

Se trata de un insecto endémico de las islas Canarias (Bellés, 1996). Tanto Bellés (1996) como García y Peña (1995) ya lo habían citado de ambientes dunares del sur de Gran Canaria (Maspalomas), pero estos últimos lo hallaron sobre otras especies distintas a *Traganum moquinii*.



**Figura 76:** Adulto de *Sphaericus (Sphaericus) gibbicollis* Wollaston, 1862. GRID 1 mm.

La larva de *Sphaericus* es el principal destructor de simientes de *Traganum moquinii*, se desarrolla en el interior de las flores, alimentándose de su fruto.



**Figura 77:** Larva de *Sphaericus (Sphaericus) gibbicollis* Wollaston, 1862. GRID 1 mm.



**Figura 78:** Larva de *Sphaericus* alimentándose del fruto de *Traganum moquinii*. GRID de 1 mm.

### **Ortópteros**

El ortóptero que se ha encontrado sobre ciertos individuos de *Traganum moquinii* en la playa del Inglés, es un saltamontes, cuya clasificación taxonómica es la siguiente:

Suborden: Caelifera, Familia: Acrididae, Subfamilia: Calliptaminae, *Calliptamus plebeius* (Walker, 1870)

Se trata de un saltamontes endémico de las Islas Canarias.

Se ha localizado es principalmente sobre individuos de *Traganum moquinii* que se encuentran hacia el interior del campo de dunas.

Destaca la adaptación al medio arenoso de los individuos jóvenes, de forma que cuando se sienten en peligro saltan a la arena, protegiéndose mediante su mimetismo con la textura arenosa. Por el contrario los individuos adultos, de color más oscuro, saltan hacia el interior del follaje.





**Figura 79:** Ninfa de *Calliptamus plebeius* sobre rama de *Traganum moquinii*.

*Calliptamus* se alimenta tanto de las hojas como de las flores de *Traganum moquinii*, por lo que si los individuos son muy numerosos, en la época de máxima explosión demográfica muchas flores pueden verse afectadas, al comer las partes más tiernas, estambres y estigmas de las mismas.



**Figura 80:** Hojas y flor de *Traganum moquinii* dañadas por individuos de *Calliptamus plebeius*.

Dentro del grupo de predadores se han localizado y clasificado concretamente dos especies, que se describen a continuación.

### Hemípteros

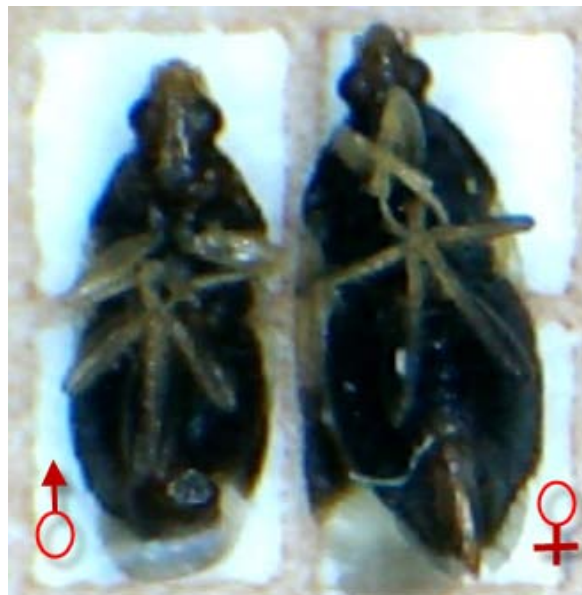
El hemíptero localizado se alimenta principalmente de *Haplothrips*. Se trata de una especie nativa de las islas Canarias y zona del Mediterráneo Occidental (Ferragut y González, 1994). Su clasificación taxonómica es la siguiente:

Orden: Hemiptera, Familia: Anthocoridae, Género: Orius

*Orius lindbergi* Wagner, 1952



**Figura 81:** Adulto de *Orius lindbergi* Wagner, 1955.



**Figura 82:** Dimorfismo sexual entre hembra y macho de ejemplares de *Orius lindbergi*. GRID 1 mm.



## Pseudoescorpiones

Familia: Cheliferidae Risso, 1826. Género *Canarichelifer* Beier, 1965

*Canarichelifer teneriffae* Beier, 1965



**Figura 83:** Juvenil de *Canarichelifer teneriffae*. GRID de 1 mm.

Se trata de un predador que, a su nivel de tamaño, ocupa la parte superior de la cadena trófica. Paraliza a sus víctimas inoculando un veneno por las pinzas de sus pedipalpos.

## 3.2 ECOLOGÍA

Se presentan a continuación los trabajos realizados en torno a la ecología de *Traganum moquinii*. En primer lugar se tratan aspectos antrópicos y, a continuación, aspectos naturales.

### 3.2.1 Aspectos antrópicos

Los aspectos antrópicos tratados se relacionan con los efectos de la contaminación lumínica sobre la población de *Traganum moquinii* que conforma la duna costera de la playa del Inglés.

### 3.2.1.1 Contaminación lumínica

Durante el trabajo de campo realizado en la playa del Inglés se observó que los individuos de *Traganum moquinii*, ubicados en las cercanías del centro comercial Anexo II, tenían un tamaño mayor que el resto de individuos de esta especie en la misma playa. De igual forma se percibió que las ramas con mayor crecimiento, se encontraban en la parte de los ejemplares que estaban orientadas hacia las farolas que iluminan el paseo de dicho centro comercial. Dado que dichas farolas se encuentran encendidas desde el ocaso del Sol hasta las 01 h., aproximadamente, del día siguiente, se consideró la necesidad de realizar un estudio para ver si existía alguna influencia de estas farolas sobre la ecología de estos ejemplares, y especialmente si la localización de las mismas infería o no en el proceso de floración de las plantas, y si fuera así, en qué medida.



**Figura 84:** Individuos de *Traganum moquinii*. en las cercanías del centro comercial Anexo II

Diversas son las definiciones de contaminación lumínica. Según el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC, 2013), la contaminación lumínica es un término genérico que indica la suma de todos los efectos adversos de la luz artificial.

En términos científicos, por contaminación lumínica se entiende la alteración de la oscuridad natural del medio nocturno producida por la emisión de luz artificial,

cuya fuente son fundamentalmente instalaciones de alumbrado nocturno de exteriores (Herranz, 2009).

La problemática de la contaminación lumínica, y su relación directa en la alteración del medio ambiente, es un problema incontestable (Masahiro y Koichiro,2004;WANG,2004;Travis y Catherine,2005), que ha llevado a determinados organismos a legislar en consecuencia. Tal es el caso de la Ordenanza para la protección lumínica del Parque Natural de l'Albufera de Valencia (BOP, 2007), que recoge en el documento como primera finalidad:

*“Disminuir las afecciones negativas que el alumbrado exterior produce sobre los ecosistemas del parque natural de l'Albufera. Se pretende de este modo proteger a la fauna y flora del parque de los efectos nocivos del alumbrado exterior, mejorar el paisaje nocturno del espacio natural y restablecer al máximo posible las condiciones naturales de las horas nocturnas en beneficio de los ecosistemas en general”*

El periodo de oscuridad tiene importancia para la floración de las plantas, si bien, dependiendo de la especie, éstas responden de manera diferente a las alteraciones de los periodos de luz y oscuridad. De esta forma, las plantas de días cortos florecen cuando el periodo de oscuridad supera al periodo crítico, y las plantas de días largos florecen cuando la duración del periodo oscuro es inferior al valor crítico (Tournois, 1912; Devlin, 1980). Los primeros estudios sobre estas particularidades fueron desarrollados tempranamente para especies con interés comercial, con el fin de comprobar si determinadas reacciones vegetales a cambios en la luz conseguían aumentar la producción de determinadas partes de las plantas y, por extensión, facilitaban la obtención de mayores beneficios. Así, Tournois (1912) demostró que si se somete a las plantas de cáñamo a fotoperiodos cortos (de 6 horas), florecen, mientras que si los fotoperiodos son largos, se mantienen en estado vegetativo.

En la investigación de las reacciones fotobiológicas se ha hecho práctica habitual determinar la influencia de determinadas franjas del espectro electromagnético sobre los procesos estudiados (Devlin, 1980). Así las longitudes de onda más eficaces de cara a la inhibición de la floración se encuentra entre 620 y 600 nm

(anaranjado-rojo), con un máximo situado sobre 640 nm (Hendricks y Borthwick, 1954). De igual forma se ha concluido que la luz incidente enriquecida en una franja específica del espectro visible afecta el crecimiento y las características morfológicas de las plantas de cala (*Zantedeschia aethiopica*). Es posible mejorar la calidad de las flores, en cuanto a la longitud del pedúnculo, cuando las plantas se exponen a la luz de color verde (Casierra-Posada et al, 2012). Finalmente se ha experimentado con determinados frutos. Tal es el caso del tomate, según los trabajos de Liu y otros autores (2009): ejemplares que no habían alcanzado la madurez se expusieron diariamente a pulsos cortos de radiación UV-C, a luz roja o a luz solar durante 21 días. Los resultados indicaron que la concentración de licopeno en el exocarpo de los tomates se incrementó significativamente después del cuarto día de exposición a la radiación UV-C y a la radiación roja (Liu et al., 2009). Por el contrario son muy escasos los artículos que analizan de forma específica los efectos de la contaminación lumínica que incide directamente sobre algún vegetal sin interés comercial, aunque con valor medioambiental.

También determinados insectos se ven afectados por la contaminación lumínica. Dependiendo de las características de las diferentes especies de insectos, se pueden capturar de diversas formas, según el tipo de atrayente. De esta forma, se han utilizado trampas odoríferas y visuales; entre estas últimas, están las trampas de luz (Baker y Hieton, 1952). Aunque la mayoría de los insectos adultos pueden captar las longitudes de onda comprendida entre 253 nm y los 690 nm (entre ultravioleta e infrarrojo), son factores como la longitud de onda y la intensidad de la luz los que afectan la respuesta fototáctica del insecto (Wigglesworth, 1953; Burkhardt, 1964). Se ha probado que las luces ultravioleta, azul y verde son generalmente más atractivas que el amarillo, rojo e infrarrojo (Baker y Hieton, 1952).

Por todo lo anterior, en este trabajo se planteó realizar un estudio a desarrollar en tres fases: i). la primera consistiría en cuantificar la iluminancia existente en la playa del Inglés; ii) la segunda en aplicar a distintos individuos de *Traganum moquinii* una iluminación selectiva (sólo luz azul, o luz verde, o roja o blanca) desde el ocaso hasta las 1,00 h del día siguiente; y iii) la tercera fase consistiría en dividir la playa en tres sectores (norte, centro y sur), en los cuales se recogerían tres muestras de diferentes individuos, con el objetivo de caracterizar las flores en un momento

dado, cuantificando el número de flores existente en la muestra, y recopilando información de los diferentes estadios en que estas se encuentran, incluyendo la posibilidad de estar o no dañadas por insectos.

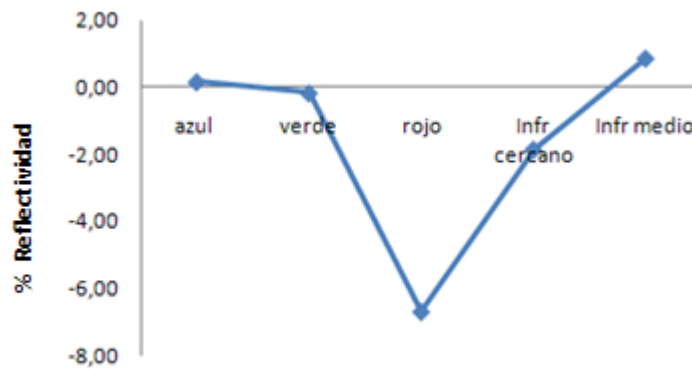
### 3.2.1.1.1 Ensayos

#### 3.2.1.1.1.1 Primera fase

Con objeto de cuantificar la luz que reciben los ejemplares de *Traganum moquinii*, ubicados en la playa del Inglés, se procedió a tomar los datos a partir del ocaso, con el radiómetro descrito en el apartado 3.1.1.1.1.

### Metodología

El primer paso consistió en testear el comportamiento del dispositivo en condiciones de escasa luminosidad. Para ello se tomaron una serie de puntos en las cercanías del centro comercial, y una vez tratados los datos, se obtuvo un mismo gráfico de reflectividad para todos los casos (fig. 85).

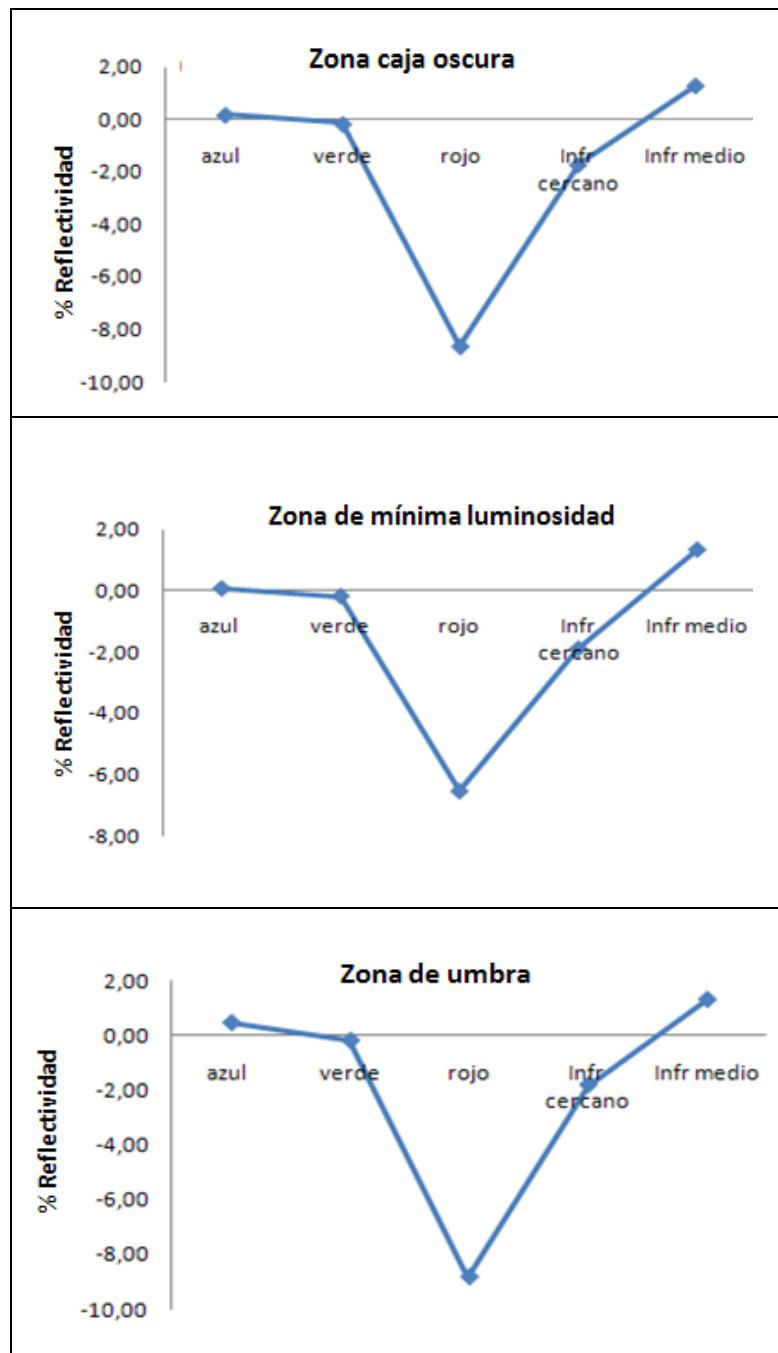


**Figura 85:** Gráfico de reflectividad de los datos tomados durante la noche con el radiómetro.

Como los datos no son satisfactorios, pues aparecen datos negativos en diferentes longitudes de ondas, se realiza un calibrado al radiómetro en condiciones de máxima oscuridad, siguiendo las instrucciones del fabricante. El mismo se realiza introduciendo el dispositivo, donde están ubicados los sensores, dentro de una caja oscura. Una vez realizado la calibración se procede a realizar dos lecturas bajo diferentes condiciones lumínicas. La primera de ellas, en el centro de un habitáculo

donde se ha reducido la iluminación al mínimo para el ojo humano y la segunda, dentro de ese mismo habitáculo, en condiciones de umbra.

En la tabla 35 se muestra los diferentes gráficos de las reflectividades resultantes.



**Tabla 35:** Gráficos de reflectividades resultantes durante el proceso de calibración del radiómetro CROPSCAN-MSR5.

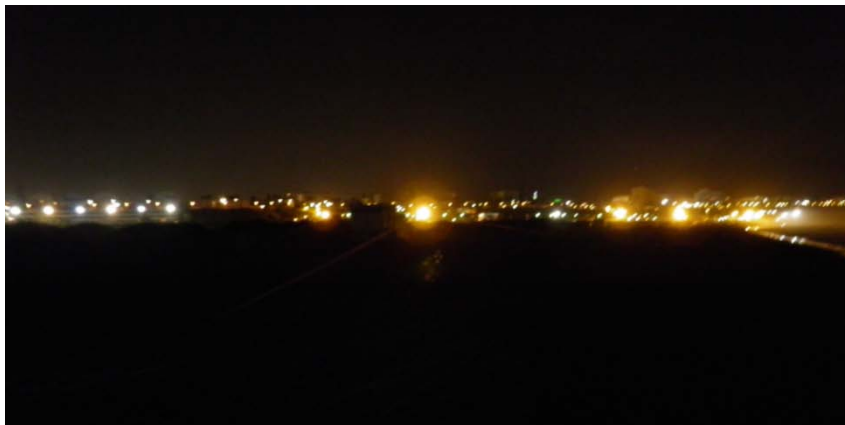
Se observa que las gráficas resultantes prácticamente son iguales a las que resultó de los datos tomados en campo, previos a la calibración. Por lo que se considera que los detectores que conforman los sensores, no son lo suficientemente sensibles para que los electrones se estimulen y capten luz en las condiciones existentes en el área de estudio. Ante este hecho, se considera cambiar de dispositivo para realizar la lectura de noche, utilizando el luxómetro ROBIN RT 24.



**Figura 86:** Luxómetro empleado en la toma de datos..

El criterio adoptado para la toma de datos fue el de mantener el luxómetro a una altura del suelo de un metro aproximadamente, siempre orientado hacia el norte magnético y en posición horizontal.

Se realizaron 300 tomas, densificando las mismas en las cercanías de las fuentes de luz, y tomándose menos puntos a medida que aumentaba las distancias, donde los valores eran muy bajos y homogéneos en grandes áreas.

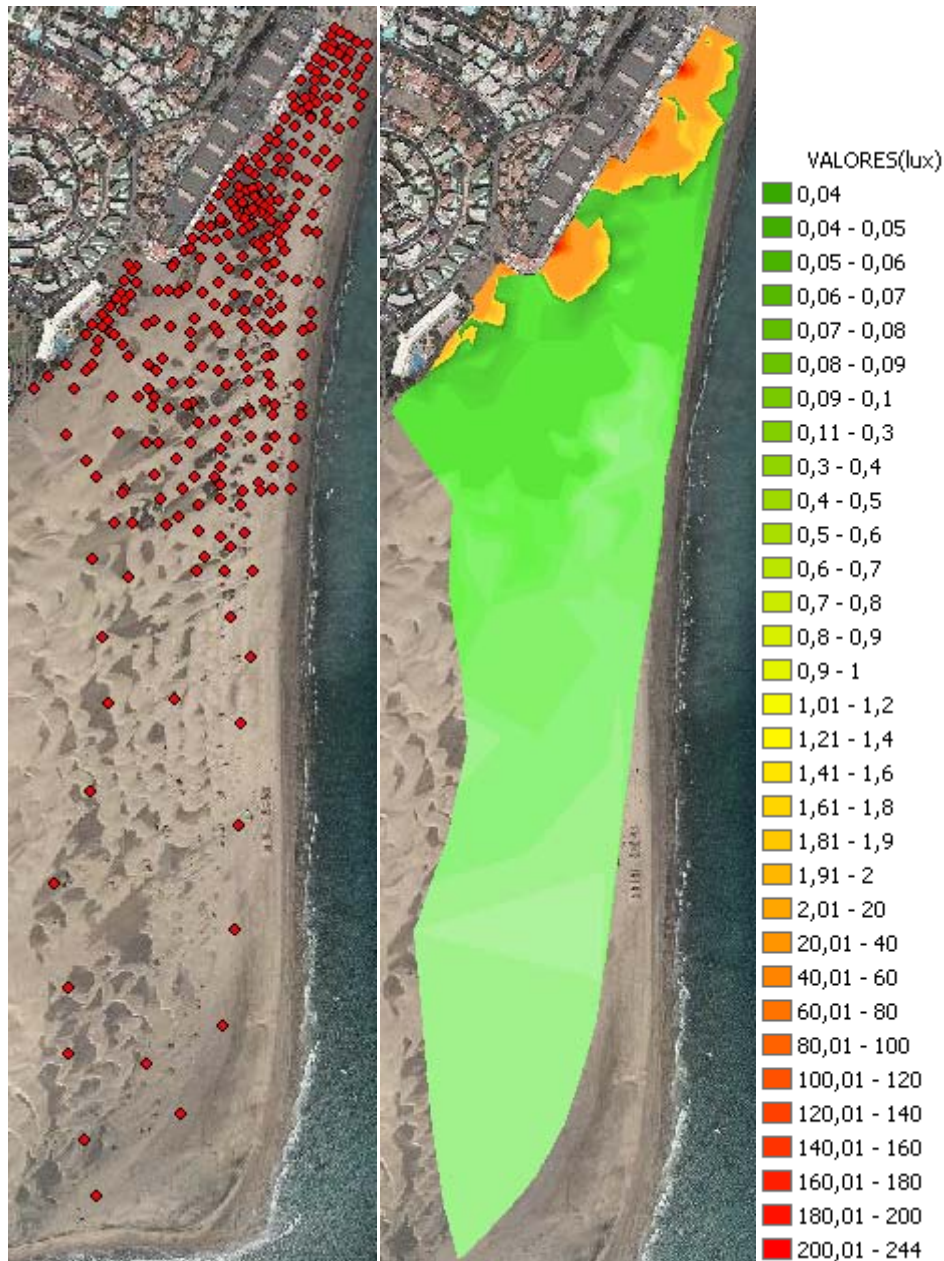


**Figura 87:** Vista nocturna del Centro comercial Anexo II desde la playa del Inglés.



## Resultados

Los datos obtenidos se procesaron en un software SIG, y se elaboró un modelo digital a partir de un método de interpolación vectorial, consistente en la generación de una red de triángulos irregulares (TIN).

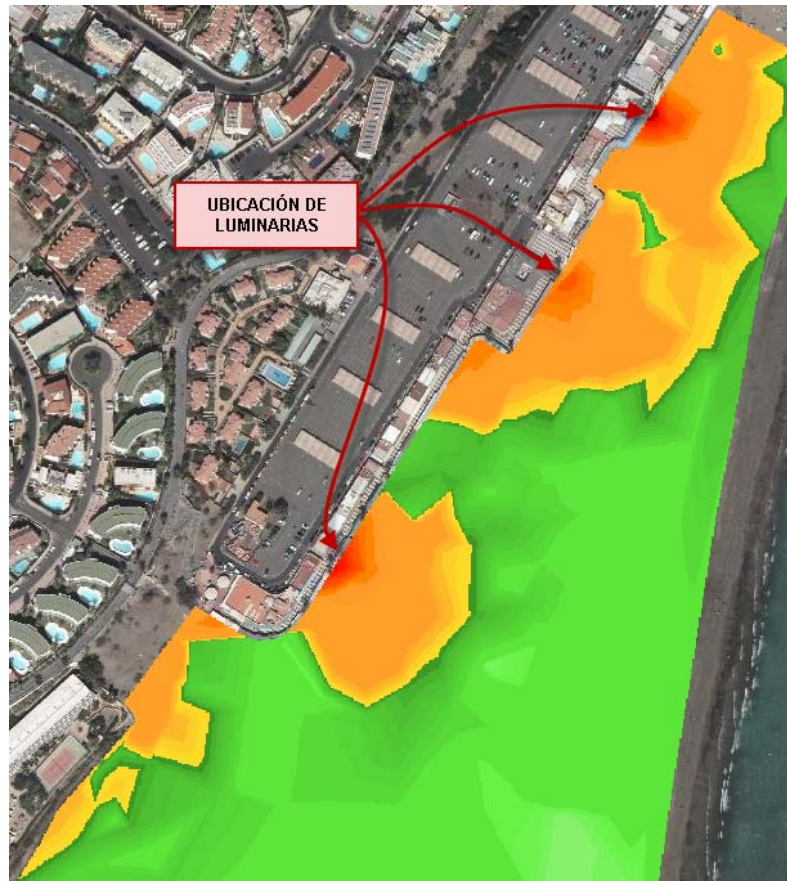


**Figura 88:** Ubicación de los puntos tomados en campo y modelo digital de la afección lumínica en la playa del Inglés.

Las zonas con mayor intensidad lumínica corresponden a los alrededores de los focos instalados para iluminar los accesos a la playa. En la figura 88 se observa que a partir de una determinada distancia los valores disminuyen bruscamente. Hay zonas



en las cuales aparecen islas de valores inferiores, debido a que las dunas generan sombras en las regiones interdunares.



**Figura 89:** Representación del modelo digital y ubicación de las luminarias en el paseo existente en el centro comercial Anexo II, en la playa del Inglés.

#### 3.2.1.1.1.2 Segunda fase

El 28 de noviembre de 2010 se procedió a realizar un ensayo para poder determinar en qué medida afecta al ciclo biológico del *Traganum moquinii*, especialmente a la fase de floración, el hecho que esté expuesto durante un número de horas, a determinadas longitudes de ondas, durante la fase de oscuridad natural.

#### Metodología

Se hace cuatro grupos, con 12 réplicas cada uno, teniendo los individuos aproximadamente 8 cm de longitud y de planta procedente de yemas terminales. Se

les aplica a cada grupo una luz de una determinada longitud de onda del espectro visible (azul, roja, verde y blanca).

La intensidad a la que son sometidos los diferentes grupos es de unos 190 lux en el punto con mayor valor y 160 lux en los puntos más alejados del foco, excepto la luz verde que en el punto más cercano tiene una intensidad de 340 lux y 240 lux en el ejemplar más alejado del foco. Estos valores se han elegido por ser próximos a los valores que se tomaron en el campo, en las inmediaciones de los ejemplares de *Traganum moquinii* cerca del centro comercial. El hecho que los valores de la luz verde sean superiores es por motivo que los luxómetros están diseñados para que tengan la sensibilidad espectral del ojo humano.

Las plantas son expuestas a las diferentes luces desde las 18.00 horas hasta las 0:01 horas del día siguiente, coincidiendo con el mismo periodo de tiempo al que están las plantas ubicadas en las proximidades del centro comercial, durante un periodo de 6 meses, entre de noviembre y abril.

Se ha preparado otro grupo sin aplicación de luz artificial durante la fase oscura natural, para utilizarlo como testigo.

Todas las plantas se han plantado en contenedores de 40 cm de longitud con sustrato de arena e irrigadas por capilaridad.



**Figura 90:** Individuos de *Traganum moquinii* expuestos a luces de diferentes longitudes de ondas.

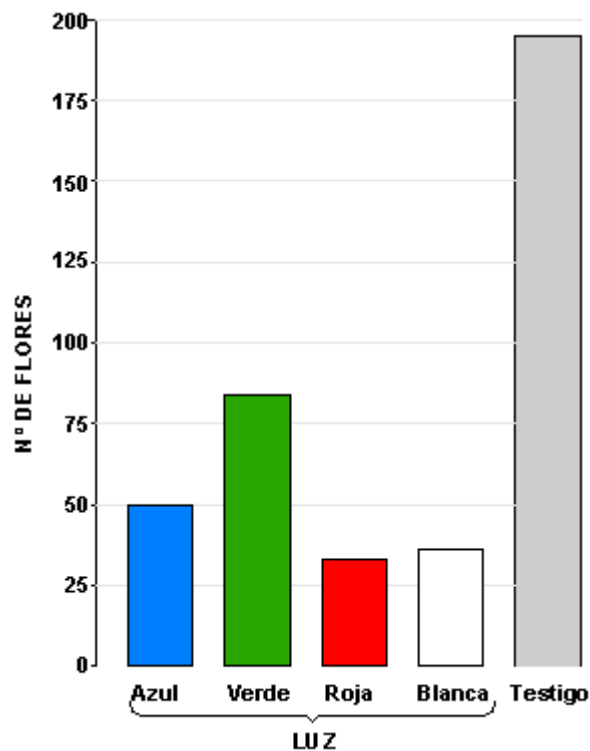
### **Resultados**

Al finalizar el ensayo se procedió al recuento de flores, obteniéndose las cantidades que se muestran en la siguiente tabla de frecuencias.

Color de luz	Nº de Flores
Azul	50
Verde	84
Roja	33
Blanca	36
Testigo (ciclo natural)	195

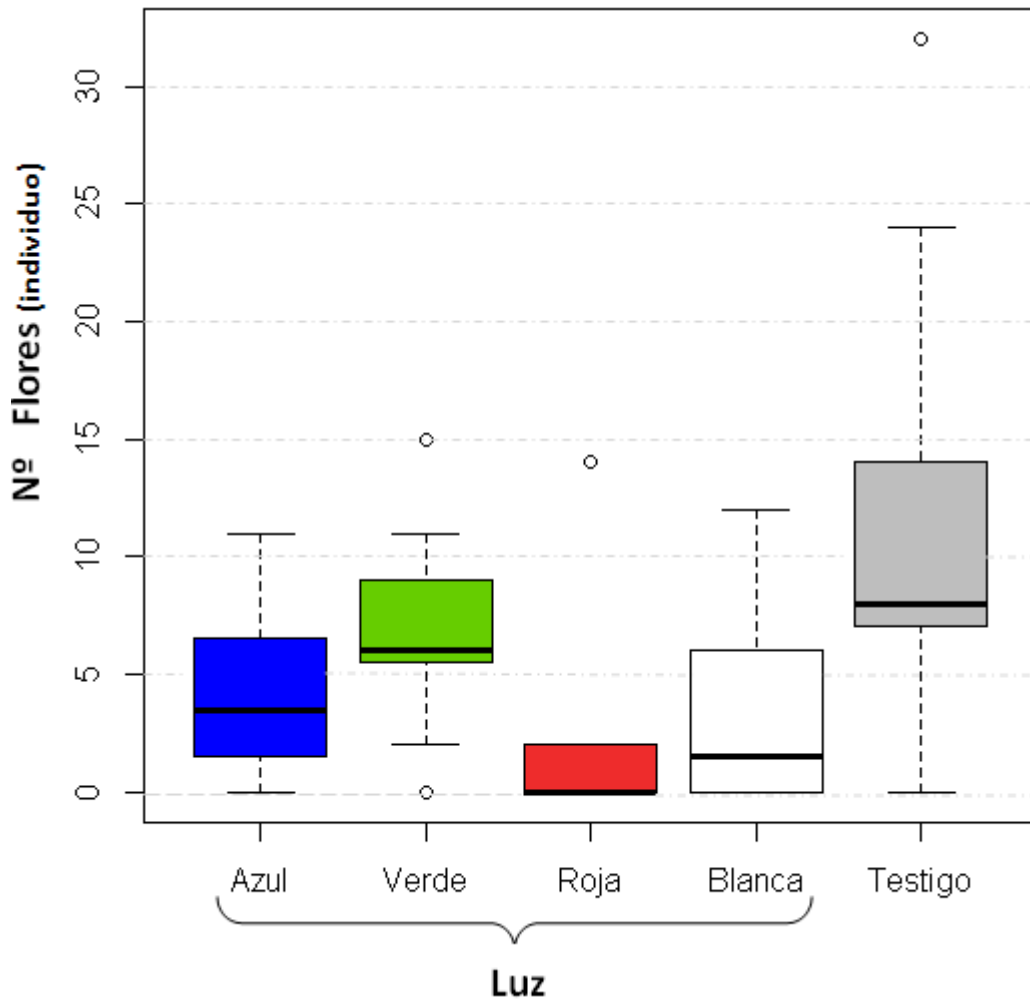
**Tabla 36:** Números de flores emitidas por los individuos de *Traganum moquinii* según el color de la luz recibida.

Los valores de las cantidades de flores emitidas por los diferentes individuos de *Traganum moquinii* se muestran en el siguiente diagrama de barras.



**Figura 91:** Diagrama de barras del número de flores emitidas al finalizar el ensayo.

Se ha realizado un análisis descriptivo mediante el diagrama de caja (figura 92).



**Figura 92:** Diagrama de caja del número de flores emitidas al finalizar el ensayo.

### 3.2.1.1.1.3 Tercera fase

En esta fase, se desarrolla un ensayo en el cual no solo se cuantifican las flores existentes en un determinado volumen de material vegetal, sino que se identifican, igualmente, los diferentes estadios de las mismas, así como si han sido o no afectadas por insectos.

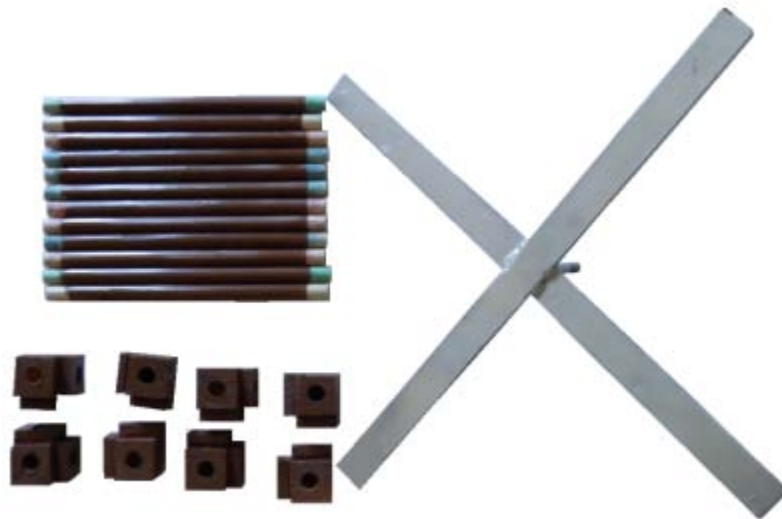
#### Metodología

Se eligieron 3 individuos de *Traganum moquinii*, localizados en las zonas norte, centro y sur de la playa del Inglés. Los individuos de la zona norte, se eligieron entre los que se encontraban próximos a las zonas de influencia de las luminarias existentes. Los individuos de las otras dos zonas se eligieron de forma aleatoria.



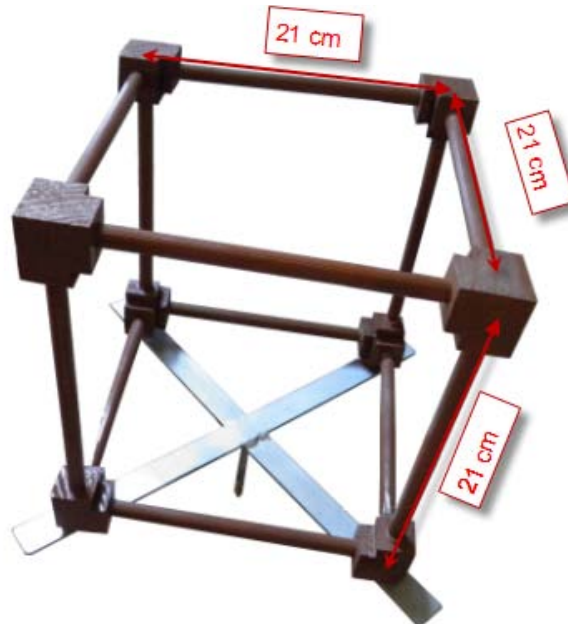
**Figura 93:** Individuos de *Traganum moquinii* seleccionados para determinar cuántas flores existen por volumen de material vegetal, estadios de las mismas, y si han sido afectadas por ataque de insectos dependiendo de su ubicación.

Dado la estructura ramificada de *Traganum moquinii*, se diseñó un dispositivo desmontable que permitiera situarlo entre las distintas ramas para coger las muestras, con el fin de que las mismas fueran las más representativas posible de cada individuo, pues al haberlos con diferentes densidades de follaje, se podría cometer el error de coger más ramas de un individuo que de otro.



**Figura 94:** Componentes del dispositivo de extracción de muestras vegetales.

Ya que las ramas terciarias de *Traganum moquinii*, se desprenden con mucha facilidad, el dispositivo se debe montar entre las mismas con mucho cuidado, con la finalidad de que haya la menor pérdida posible de flores. Las piezas, de las esquinas de la parte inferior, llevan adheridas unos imanes para que el dispositivo permanezca inmóvil.



**Figura 95:** Dispositivo para extracción de muestras vegetales montado.

El máximo volumen posible de extracción de material vegetal, en cada muestra, es de 9,26 litros. En la figura 96 se aprecia el dispositivo montado.



Con el fin de dar mayor longitud al dispositivo, para ubicarlo en un sitio adecuado, se le incorpora un jalón de madera.



**Figura 96:** Dispositivo de extracción de muestras vegetales montado con jalón de madera en un individuo de *Traganum moquinii*.

Una vez recogidas las muestras, se procedió a su análisis visual. Para observar los diferentes estadios de las flores se utilizó la lupa microscópica estereoscópica Olympus VMT 1x, 4x.

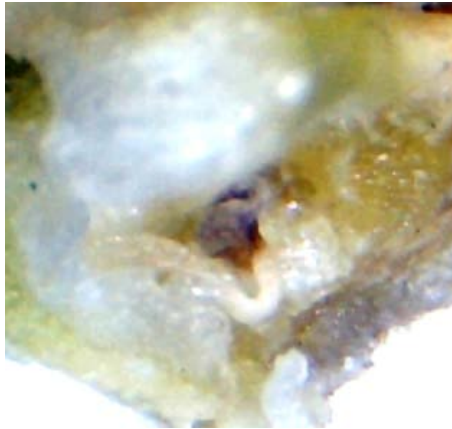
La relación de los diferentes estadios y criterios seguidos para clasificar las flores, con el fin de realizar un análisis estadístico descriptivo, se relacionan a continuación:

**Flores inmaduras:** flores que están iniciando su desarrollo o recién abiertas.



**Figura 97:** Flores en fase inicial de apertura.

**Flores sin fecundar:** flores que han llegado a diversos estadios de desarrollo pero sin haber fecundación, pues se observa el saco embrionario muerto.



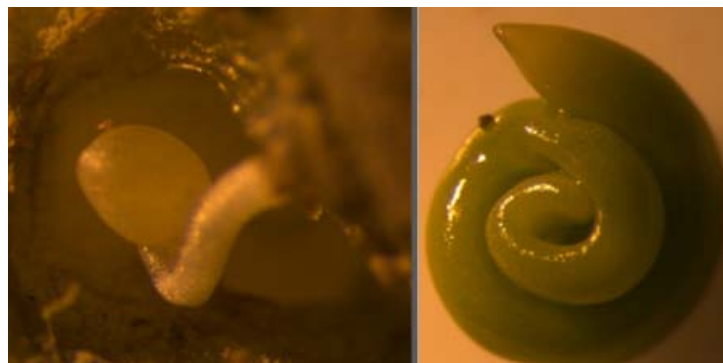
**Figura 98:** Flor sin fecundar con el saco embrionario necrótico.

**Flores secas:** flores que murieron antes de iniciar su apertura.



**Figura 99:** Flor que se ha secado antes de su total apertura.

**Fecundadas;** flores en las cuales se encontraron semillas o el saco embrionario vivo, en diferentes etapas de desarrollo.



**Figura 100:** Imágenes de saco embrionario en fase de desarrollo y simiente totalmente formada.

**Afectadas de insectos:** se agrupan las flores en las cuales se han encontrado insectos o restos orgánicos de haber estado los mismos.

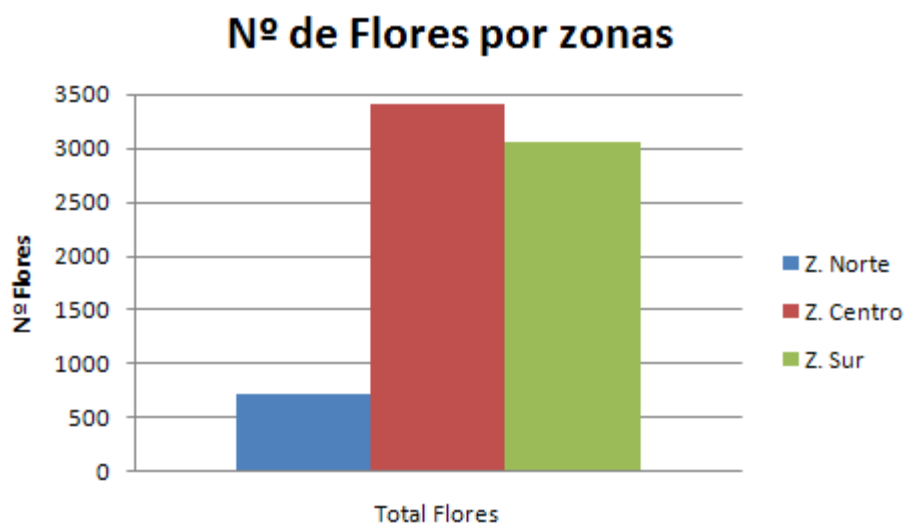




**Figura 101:** Flor con oruga, y heces producidos por la misma.

## Resultados

En el proceso de análisis se abrieron 7182 flores. En el siguiente diagrama de barras se muestra su distribución por zonas.



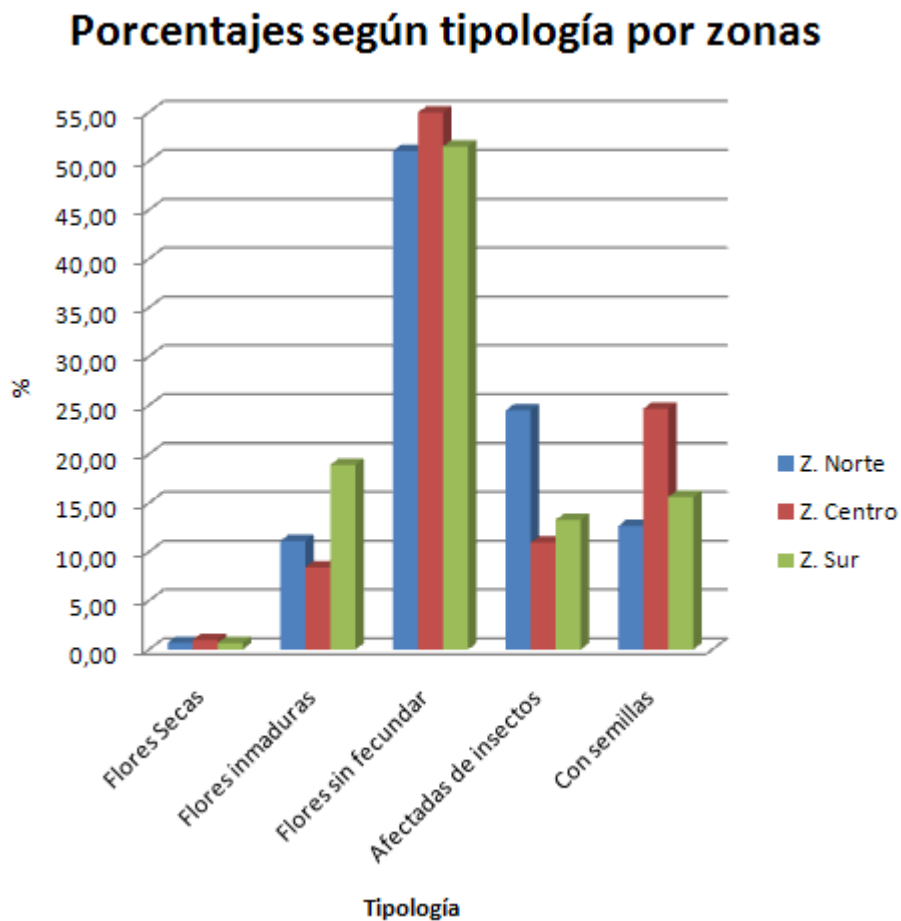
**Figura 102:** Diagrama de barras del número de flores según la zona de muestreos.

Una vez clasificadas en las diferentes tipologías, se procedió a su recuento. Los valores resultantes se muestran en una tabla de frecuencia (tabla 37).

Tipología	Zona Norte	Zona Centro	Zona Sur
Flores Secas	5	34	21
Flores inmaduras	80	287	578
Flores sin fecundar	367	1873	1574
Afectadas de insectos	176	373	406
Total Flores	719	3407	3056

**Tabla 37:** Números de flores según tipología y zona de muestreo.

En el diagrama de barras (figura103) se muestran los porcentajes de cada tipología dentro de cada uno de las zonas.



**Figura 103:** Diagrama de barras de porcentajes de flores según tipología y zona de muestreo.

### 3.2.1.1.2 Discusión

El hecho de exponer los ejemplares de *Traganum moquinia* luces con diferentes longitudes de ondas, da como resultado, que los afectados de luz azul, roja y blanca producen un 76.36%, 83.08% y 81.54 %, respectivamente, menos flores que si no estuvieran afectados de luz artificial durante la fase de oscuridad natural. Aún siendo los ejemplares de *Traganum moquinii* afectados de luz verde los que más producen, su producción se ve reducida un 56,93 %. Este hecho resulta lógico, pues la vegetación presenta menor absorción en la banda verde.

Del recuento de flores se determina que solo el 10% de las flores, corresponden a los ejemplares próximos al centro comercial, Asimismo se puede observar que el 24 % de las flores de dichos ejemplares están afectadas de insectos, mientras que en las zonas centro y sur solo se ven afectadas un 10% y un 13% de flores, respectivamente. De ello se deduce el fenómeno de fototaxia positiva de los insectos en los ejemplares de *Traganum moquinii*.

### 3.2.2 Aspectos naturales

Se analiza en este apartado la reacción al enterramiento de *Traganum moquinii*, al ser una cuestión clave en el contexto ambiental en el que se localiza esta especie en la playa del Inglés, dada la dinámica sedimentaria eólica.

#### 3.2.2.1 Reacción al enterramiento

Las plantas de las dunas costeras, en general, toleran duras condiciones ambientales, tales como alta exposición al viento, spray marino, enterramiento por arena, bajo contenido en humedad, pobreza de nutrientes y altas temperaturas (Hesp, 1991). Por lo que respecta al enterramiento, la distribución y la diversidad de plantas en las dunas costeras y la cuestas están estrechamente relacionadas con la acumulación de arena (Van der Valk 1974, Maun y Lapierre 1984, 1986, Barbour et al., 1985). El requisito para sobrevivir a periodos de oscuridad no se limita a las dunas de arenas móviles (Vaartaja, 1962; Hutchinson, 1967; Chippendale, 1932), sino que se da también en otro tipo de ecosistemas.

Aunque un número considerable de estudios han examinado las respuestas de las plantas al enterramiento, la falta de acuerdo en sus conclusiones sugiere la

necesidad de realizar más estudios que se centren en la fisiología y mecanismos de respuesta de las plantas a este proceso (Brown, 1997). En el caso de las dunas litorales, los estudios se han desarrollado principalmente en otras latitudes, éstos se han focalizados en estudiar los efectos que produce el enterramiento, ya fuera parcial o absoluto, sobre las diferentes especies. Entre los diferentes efectos, algunos de los que han sido objeto de estudio son:

- El crecimiento y la reproducción.
- Área foliar y biomasa.
- Tasas de crecimiento relativas (TCR).
- Elongación de rizomas.
- Tasas de intercambio de CO<sub>2</sub> (CER).
- Producción de semillas.
- Emisión de raíces.

La mayoría de las especies localizadas en este ambiente presentan mayor vigor tras el entierro parcial en la arena (Marshall, 1965; Wallen, 1980; Eldredy Maun, 1982; Maun Lapierre, 1984; Zhang y Maun, 1990), debido presumiblemente a la temperatura del suelo, el aumento de espacio para el desarrollo de las raíces y la mayor disponibilidad de nutrientes y de humedad en la zona radicular (Olson, 1958; Marshall, 1965; Woodhouse, 1982). Sin embargo, cuando se ha utilizado arena con bajos nutrientes para realizar enterramientos, las plántulas de especies, como *Agropyron psammophilum* y *Panicum virgatum* experimentan crecimiento (Zhang y Maun 1990, 1991). Ello sugiere que puede haber explicaciones alternativas a las anteriores, como las expuestas por Sykes y Wilson (1990), que plantean que la oscuridad puede ser responsable del crecimiento vertical de algunas especies, como *Plantago triandra* (Zhang and Maun, 1992).

La respuesta de las especies dunares al enterramiento sugieren que la tolerancia a la oscuridad por enterramiento a menudo surge como una pre-adaptación (Sykes and Wilson, 1990). Para poder sobrevivir al enterramiento, las plantas tienen que desarrollar adaptaciones que, en primer lugar, le permitan superar la suspensión de la

actividad fotosintética; posteriormente tienen que emerger de la arena; y, finalmente, restaurar la actividad fisiológica lo antes posible (Perumal y Maun, 2006). La tolerancia de las especies al enterramiento no sólo está relacionada con la cantidad de arena, sino que también depende de la velocidad a la que se produce el proceso (Hesp, 1991; Ley *et al.*, 2007),

En una investigación experimental en invernadero realizado por Sykes and Wilson (1990) sobre la respuesta de especies dunares de Nueva Zelanda a diferentes profundidades de arena, se enterraron 30 especies nativas y exóticas a diferentes proporciones de su altura durante 15 semanas. En más de la mitad de las especies el enterramiento tuvo poco efecto en su biomasa, hasta que estuvieron totalmente enterradas.

En el caso de *Ammophila arenaria* la brotación se produjo después del enterramiento parcial, aunque la biomasa fue menor que los individuos en superficie. En enterramientos totales se produjo la mortandad de la mayor parte de las plantas, aunque algunas seguían con vida a una cierta profundidad. Los efectos morfológicos fueron variados, de modo que la planta rastrera *Centella uniflora* creció hasta la superficie en enterramiento de un 130 %. En la especie *Lupinus arboreus* y *Euphorbia glauca* el enterramiento produjo el alargamiento de los tallos (Sykes and Wilson, 1990)

Perumal y Maun (2006) realizaron un ensayo que se desarrolló en tres fases; en campo, en invernadero y en cámara de crecimiento. La fase de campo fue realizada en la orilla del lago Erie (Canadá), en donde se eligieron 10 individuos de seis especies dunares comunes, a las cuales se les aplicó 5 tratamientos de enterramiento en proporción a su altura: 0H (control), 0,33 H, 0,66 H, 1 H, y 1,33 H. Ninguna planta de las diferentes especies sobrevivieron a los tratamientos 1H y 1,33 H.

En el caso de *Traganum Moquinii*, al ser una especie que se desarrolla en dunas costeras, se ve afectada por una serie de fenómenos naturales, entre los que destaca aquellos asociados al movimiento sedimentario. Dicho movimiento se produce en aquellas épocas del año en las cuales las condiciones eólicas lo facilitan. Esta especie presenta una respuesta positiva al enterramiento por arena, ya sea

parcial o absoluto (aunque temporal), pues cuando experimenta esta perturbación, acelera su crecimiento (Hernández Cordero, 2012).

Dado que no existen estudios que expliquen el porqué de esta reacción de *Traganum moquinii* al enterramiento, se consideró adecuado realizar diversos ensayos, cuyos objetivos van dirigidos a intentar identificar qué variable o variables pudieran ser determinantes para que se produzca la reacción al enterramiento. Algunas de las claves consideradas en estos ensayos surgen a partir de observaciones realizadas en el campo, que permitió detectar algunos procesos claves que se desarrollan durante las fases de enterramiento de *Traganum moquinii*.

### Observaciones de campo previas

Así en la figura 104 se observa un individuo de *Traganum moquinii* el 22 de enero de 2012, antes de ser enterrado por una duna, en una fase de bajo crecimiento vegetativo.



**Figura 104:** Ejemplar de *Traganum moquinii* próximo a un frente de avalancha de una duna.

En la figura 105 se puede observar el mismo individuo 36 días más tarde. Se aprecia que una vez sufrió el enterramiento, reaccionó emitiendo brotes laterales con un crecimiento vegetativo muy elevado. Se puede apreciar, no solo el tono rosado, sino el alargamiento de los entrenudos, ambas son características de ramas que están en un estadio de alto crecimiento vegetativo.



**Figura 105:** El mismo ejemplar de *Traganum moquinii* de la figura 104 tras 36 días de haber sido enterrado por una duna.

De las observaciones de campo destacan las siguientes ideas:

- Que transcurrido un corto periodo de tiempo (antes de 30 días), de haber sido enterrado el individuo de *Traganum moquinii*, ya se aprecian brotes nuevos emergiendo de la superficie.
- Que si las ramas que han sufrido el enterramiento han quedado en posición más o menos verticales, existe una brotación de las yemas laterales más próximas a la yema terminal, mientras que si han quedado en posición próximas a la horizontalidad se aprecian también brotes laterales a lo largo de las ramas (figura106).
- En líneas generales, las ramas portadoras de los brotes nuevos que han emergido de la arena, suelen estar muy próximas a la superficie, a no más de 15 cm de profundidad.
- Que los brotes nuevos que aún no han emergido poseen, en líneas generales, cloroplastos en las hojas, siendo mayor su carencia en los entrenudos.
- Que en la mayoría de las ocasiones, en torno a los brotes nuevos que se están desarrollando enterrados, existen unos tubos estrechos y alargados formados con arena (figura 107).
- Que cuando hay un desplazamiento de una duna que atraviesa una zona de deflación, se observa que la humedad asciende por capilaridad.



**Figura 106:** Rama de *Traganum moquinii*, reaccionando al enterramiento, con brote lateral situado a mitad de una rama prácticamente horizontal.



**Figura 107:** Vista de los tubos alargados que se encuentran, en la mayoría de los casos, en los brotes nuevos que se están desarrollando bajo la arena en la playa del Inglés.

Considerando lo anterior se determinó que las variables a estudiar fueran las siguientes: temperatura, luminosidad, tamaño de la planta, humedad, velocidad de enterramiento y tiempo de reacción de la planta.



### 3.2.2.1.1 Ensayos

#### 3.2.2.1.1.1 Ensayo 1: edad de las plantas

El primer ensayo consistió en evaluar la edad que deben tener los individuos de *Traganum moquinii* para superar una fase de enterramiento, comparando entre ejemplares jóvenes (de 6 meses) y ejemplares de más de un año, todos ellos obtenidos por reproducción asexual.

Por lo que respecta a los individuos jóvenes, el ensayo consistió en coger 7 grupos con 20 repeticiones, perfectamente enraizados, irrigados por capilaridad, y bajo malla para evitar en la medida de lo posible que la variable temperatura afectara. A uno de los grupos se le puso en oscuridad absoluta sin enterramiento. Otro de los grupos se utilizó de control. El resto se sometieron a los siguientes niveles de enterramiento: i) 50%, ii) 75%,iii) 100%,iv) 130% y v) 200%.



**Figura 108:** Diferentes vistas del ensayo realizado para estudiar la reacción de plantas jóvenes de *Traganum moquinii* al enterramiento.

Transcurridos 40 días del ensayo se pudieron realizar las siguientes observaciones:

- No hubo reacción por parte de los individuos de los diferentes grupos a los cuales se les aplicó enterramiento, muriendo todos los individuos que sufrieron un enterramiento igual o superior al 100%.

- El grupo al cual se le aplicó oscuridad absoluta no reaccionó, muriendo todos los individuos.



**Figura 109:** Individuos jóvenes de *Traganum moquinii* que no sobrevivieron al tratamiento de oscuridad absoluta durante el ensayo.

- Tanto los individuos que sufrieron enterramiento igual o inferior al 75%, como los del grupo de control no reaccionaron.
- Los individuos del grupo de control permanecieron inalterables.

En la tabla 38 se muestra los datos obtenidos.

Tratamiento	Individuos que sobrevivieron (%)	Individuos que reaccionaron (%)
Control	100	0
Oscuridad absoluta sin enterramiento	0	0
Enterramiento hasta el 50%	100	0
Enterramiento hasta el 75%	100	0
Enterramiento hasta el 100%	0	0
Enterramiento hasta el 130%	0	0
Enterramiento hasta el 200%	0	0

**Tabla 38:** Resultados obtenidos en el ensayo de reacción al enterramiento de plantas jóvenes.

Por lo que respecta a los individuos con más de un año de haber sido producidos, se inició un ensayo con 10 repeticiones. Las plantas se introdujeron en un recipiente construido con planchas de fibra de vidrio ondulada, ya que dicho material no solo es ligero, sino que es muy flexible, permitiendo construir rápidamente un contenedor a medida.

Se procuró que las ramas de todas las plantas estuvieran a la misma altura.

Transcurridos 35 días del ensayo se pudo observar que 4 individuos reaccionaron al enterramiento.



**Figura 110:** Individuos de *Traganum moquinii* a los 60 días de iniciado el enterramiento.

Una vez comprobado que plantas muy jóvenes no superaban el enterramiento, y que, por el contrario, plantas con al menos 1 año de obtenidas sí reaccionaban, se decidió realizar los ensayos siguientes utilizando este último tipo de material vegetal.

#### **3.2.2.1.1.2 Ensayo 2: luminosidad**

Para evaluar en qué medida la luminosidad pudiera afectar al modo de reaccionar de los individuos de *Traganum moquinii* tras sufrir un enterramiento, se inició un ensayo en cual se establecieron 4 grupos, con 10 repeticiones, a los que se aplicó los siguientes tratamientos:

- Bajo malla y enterrados en arena.
- Bajo malla enterrados en bolitas de poliexpan blancas.
- En exterior y enterrados en arena.
- En exterior enterrados en bolitas de poliexpan blancas.

El empleo de las bolitas de poliexpan blancas se debe a que se trata de un material, inerte, que ofrece una alta reflectancia.

Los contenedores empleados fueron realizados con plancha de fibra de vidrio ondulada. Aquellos en los que se emplearon bolitas de poliexpan se cubrieron con

una malla mosquitera, ya que son muy ligeras, con lo que se evitaba que el viento las pudiera desplazar.



**Figura 111:** Contenedores con bolitas de poliexpan y arena empleados en el ensayo realizado para evaluar en qué medida afecta la luminosidad en la reacción del *Traganum moquinii* al enterramiento.

A los 40 días de iniciado el ensayo se realiza las siguientes observaciones:

- En el caso del contenedor de arena bajo malla, el 30% de las plantas brotaron, siendo la ubicación de los brotes basales. Los mismos carecían de clorofila.
- En el caso del contenedor de arena en el exterior, el 50% de las plantas brotaron, siendo la ubicación de los brotes basales. Los mismos carecían de clorofila.
- En el caso del contenedor de bolitas de poliexpan bajo malla, el 50% de las plantas brotaron, mediante brotes basales, y elongación de la yema apical. Los mismos poseían clorofila.
- En el caso del contenedor de bolitas de poliexpan en el exterior, el 50% de las plantas brotaron, mediante brotes basales, y elongación de la yema apical. Los mismos poseían clorofila.
- Las condiciones fisiológicas de las plantas ubicadas en las bolitas de poliexpan al término del ensayo eran mucho mejores que las enterradas en arena, pues los individuos enterrados en arena poseían más ramas muertas que las primeras.

- Se aprecia que las yemas apicales elongadas existían en plantas situadas en el borde exterior de los contenedores.



**Figura 112:** *Traganum moquinii* enterrado en bolitas de poliexpan, reaccionando al enterramiento mediante elongación de la yema apical. Obsérvese que su ubicación es muy próxima a la fibra de vidrio.

Tratamiento		Individuos que sobrevivieron (%)	Individuos que reaccionaron (%)	Ubicación de los brotes	Existencia de clorofila
Entorno	Material empleado para el enterramiento				
Bajo malla	Arena	90	30	Basal	No
Bajo malla	Bolitas poliexpan blancas	100	50	Basal y yema apical	Si
Exterior	Arena	100	50	Basal	No
Exterior	Bolitas poliexpan blancas	100	50	Basal y yema apical	Si

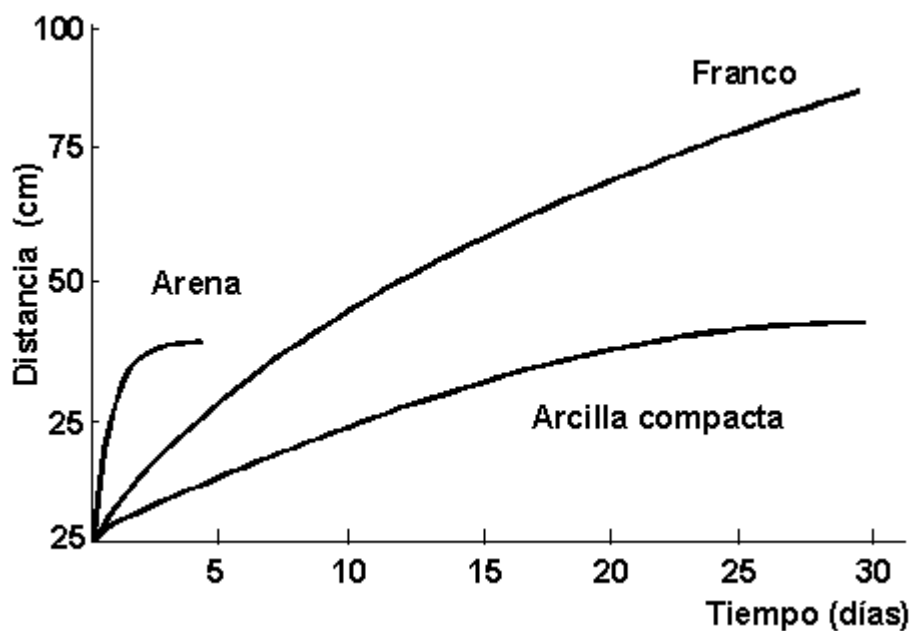
**Tabla 39:** Resultados obtenidos en el ensayo de reacción al enterramiento, para evaluar la luminosidad.

### 3.2.2.1.1.3 Ensayo 3: humedad

Para evaluar si la humedad procedente del nivel freático interactúa con los individuos de *Traganum moquinii* enterrados por el avance de una duna, se procede a

estudiar la velocidad de ascensión capilar de la humedad procedente del nivel freático.

En general, la altura del ascenso resultante de la capilaridad es mayor en suelos de textura fina si se permite que transcurra tiempo suficiente y sí los poros no son demasiado pequeños. Esto se explica fácilmente en base al tamaño capilar y a la continuidad de los poros. En suelos arenosos el ajuste es rápido, pero como muchos de los poros no son capilares la altura de ascenso no puede ser grande (Brady, 1984)



**Figura 113:** Movimiento ascendente debido a la capilaridad en los suelos. La velocidad del movimiento resulta ser de mayor significación que la altura total. Fuente: Brady, 1984.

El ensayo se realiza en dos fases: i) la primera de ellas se realizó en un entorno controlado, aproximadamente a 7 metros sobre el NMM; y ii) la segunda fase fue realizada en la RNE de las Dunas de Maspalomas.

### Primera fase

En la primera fase se colocó un tubo de 160 mm de policloruro de vinilo (PVC) de 1 metro de altura, con una zona descubierta con el objeto de hacer el seguimiento a la zona húmeda durante su proceso de ascensión. El seguimiento se ha realizado con un dispositivo sencillo, que existe en el mercado especializado, que detecta de



modo analógico la zona húmeda de los sustratos, al ser sensible a la conductividad del agua. Una vez verificada la eficacia del dispositivo en el campo, se procedió a extraer agua del nivel freático de la Reserva para iniciar el ensayo.



**Figura 114:** Profundidad a la que se encontraba el nivel freático, en la zona de la Reserva en la cual se realizará la fase 2 del ensayo, en el momento de iniciarse el ensayo de la primera fase.

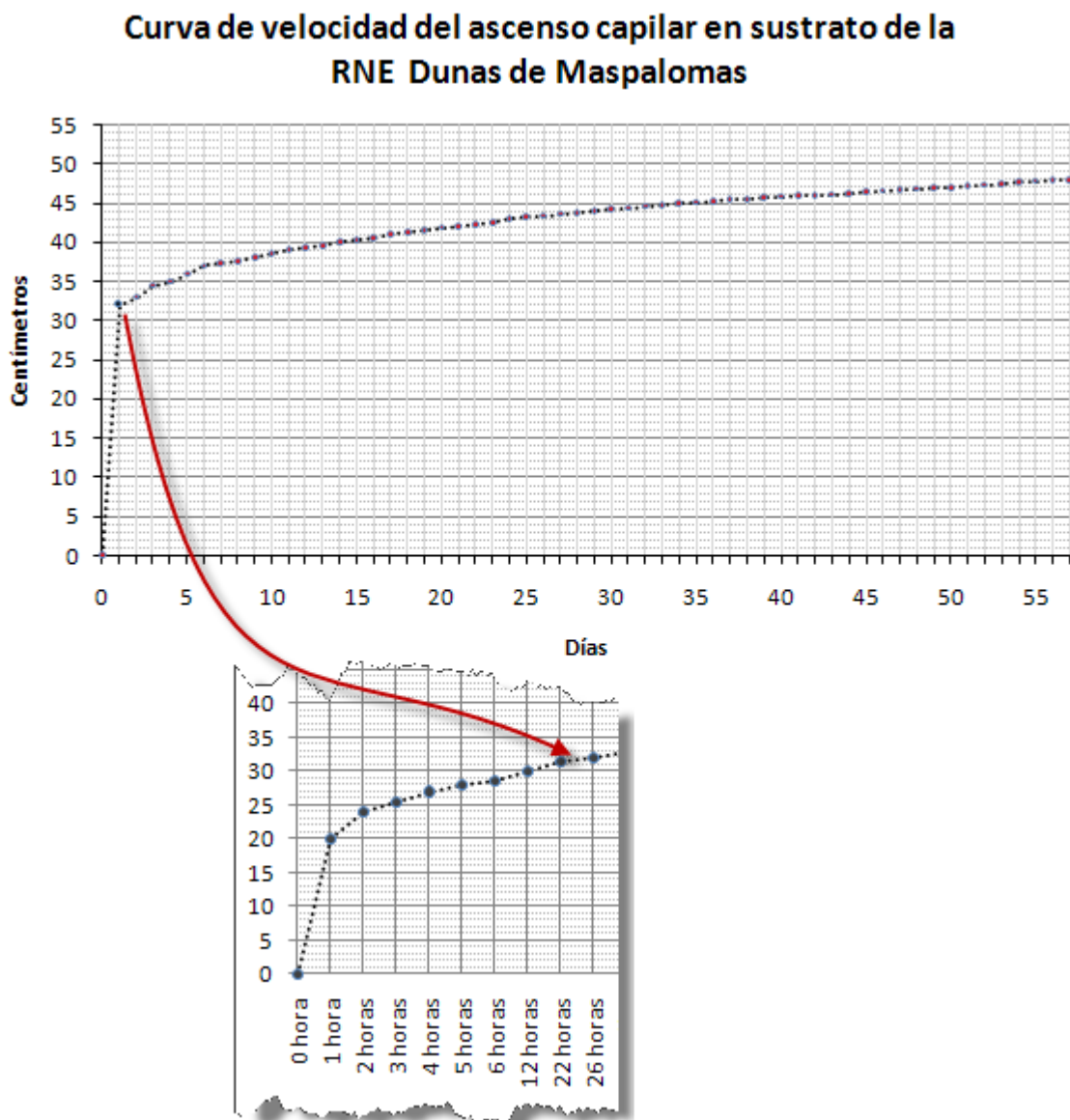
Durante todo el proceso que duró el ensayo, se mantuvo el nivel del agua constante en el recipiente base. Se consideró mantener el ensayo hasta que la altura alcanzada por la humedad en el tubo al menos igualara la existente en la Reserva, próxima a la duna que se estudiaría en la segunda fase del ensayo.



**Figura 115:** Columna de arena y dispositivo para detectar la zona húmeda en la misma.

A los 57 días de iniciado el ensayo la altura alcanzada por la zona húmeda llegó a los 48 cm.

En la figura 116 se muestra la evolución de la velocidad del ascenso capilar durante el periodo del ensayo. Obsérvese la alta velocidad de ascenso en las primeras 24 horas, estabilizándose a partir del día 30 en aproximadamente 1 cm cada 7 días.



**Figura 116:** Curva de velocidad de ascenso capilar en sustrato de la RNE de las Dunas de Maspalomas.



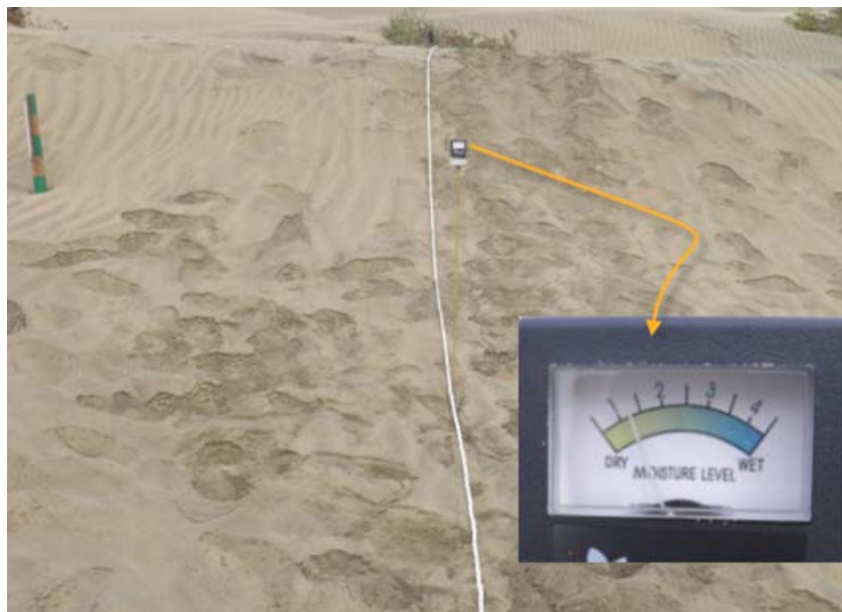
## Segunda fase

La segunda fase de este ensayo se desarrolló en la parcela referenciada como 2 en la cual se desarrolló parte del capítulo IV de este documento.

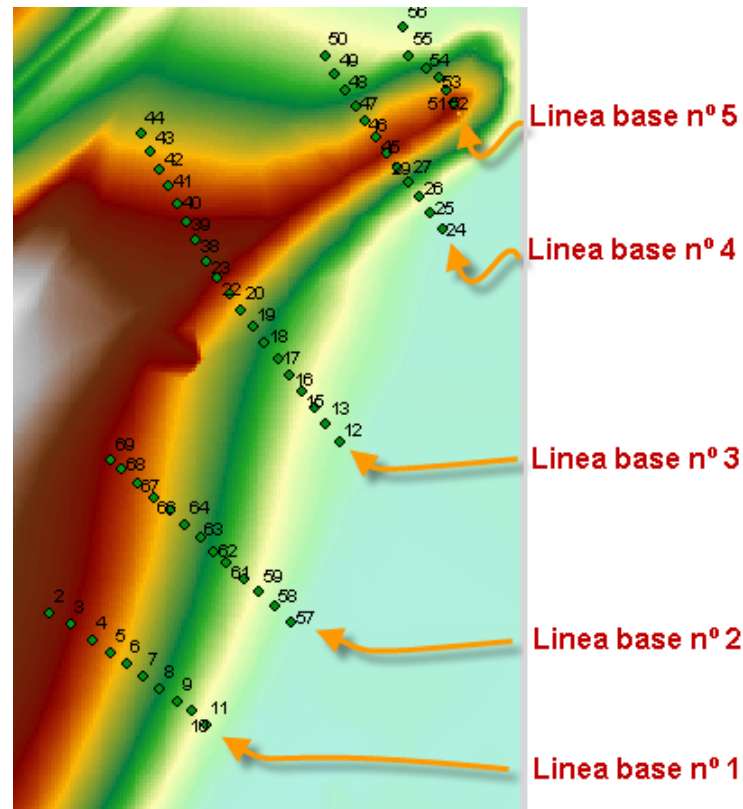
Para detectar la humedad se utilizó el dispositivo empleado en la fase 1 de este ensayo, pero modificado, pues la longitud del mismo no permitía alcanzar niveles de profundidad más allá de 20 cm. Tras la modificación se pudo alcanzar hasta 70 centímetros.

El procedimiento para realizar la toma de datos fue el siguiente:

- Generación de MDEs de la zona.
- Una vez analizados los diferentes MDE, obtenidos del Estudio Morfométrico desarrollado en este documento. Se definieron varias líneas bases mediante cuerdas, en el campo, en aquellos lugares que se consideraron adecuados para obtener datos de humedad y que pudieran aportar información en el post-proceso de los mismos.
- A lo largo de las líneas bases definidas, se tomaron datos de la profundidad de la humedad cada 60 cm, tomándose así mismo las coordenadas x, y, z de dichos puntos en superficie.



**Figura 117:** Línea base definida para la toma de datos asociados a la profundidad de la zona húmeda, procedente del nivel freático.



**Figura 118:** Vista de las líneas bases con sus correspondientes puntos, sobre el MDE generado.

Una vez tomada toda la información asociada a cada punto, se procedió a realizar el post-proceso. El procedimiento seguido fue el siguiente:

- Localización de los diferentes MDE, en los cuales se solapaban en planimetría con los puntos de las diferentes líneas bases obtenidos en campo.
- Elección de los puntos que podrían aportar más y mejor información.
- Definición de perfiles topográficos sobre los MDE coincidentes con las líneas base de los puntos tomados.
- Generación de los perfiles asociados a la ubicación de la zona húmeda.
- Cálculo, mediante resta, de los valores correspondientes a la coordenada z de los puntos homólogos entre los perfiles de humedad y los diferentes perfiles topográficos.

- Cálculo de la media aritmética entre los valores de la coordenada z de aquellos puntos del perfil de la zona húmeda, que se intuían que no habían disminuido en altura, por motivos de insolación de la capa superficial o por efectos del viento, con respecto al perfil asociado al MDE realizado el día de la toma de datos.
- Cálculo de la velocidad de avance, al conocerse las fechas de realización de los diferentes MDE.

Una vez analizados todos los MDE, se consideró trabajar con los valores de los puntos correspondientes a los cuatro primeras líneas bases, desechándose los puntos del 51 al 56, correspondiente a la línea base nº 5 pues la información que aportaba era poco fiable, ya que la duna en esa zona, había disminuido excesivamente en altura.

A continuación se muestra los diferentes perfiles, extraídos de los MDE, con las fechas de realización. Cada perfil topográfico se representa con la letra T y un número que los ordena temporalmente, siendo el número más elevado el más reciente. El referenciado como H corresponde al perfil calculado para la humedad.

Perfil	Fechas
T1	22 Enero 2012
T2	26 Febrero 2012
T3	25 Marzo 2012
T4	30 Abril 2012
T5	29 Mayo 2012
T6	20 Junio 2012
T7	12 Octubre 2012
T8	30 Diciembre 2012
T9	4 Junio 2013
T10	2 Marzo 2014
H	2 Marzo 2014

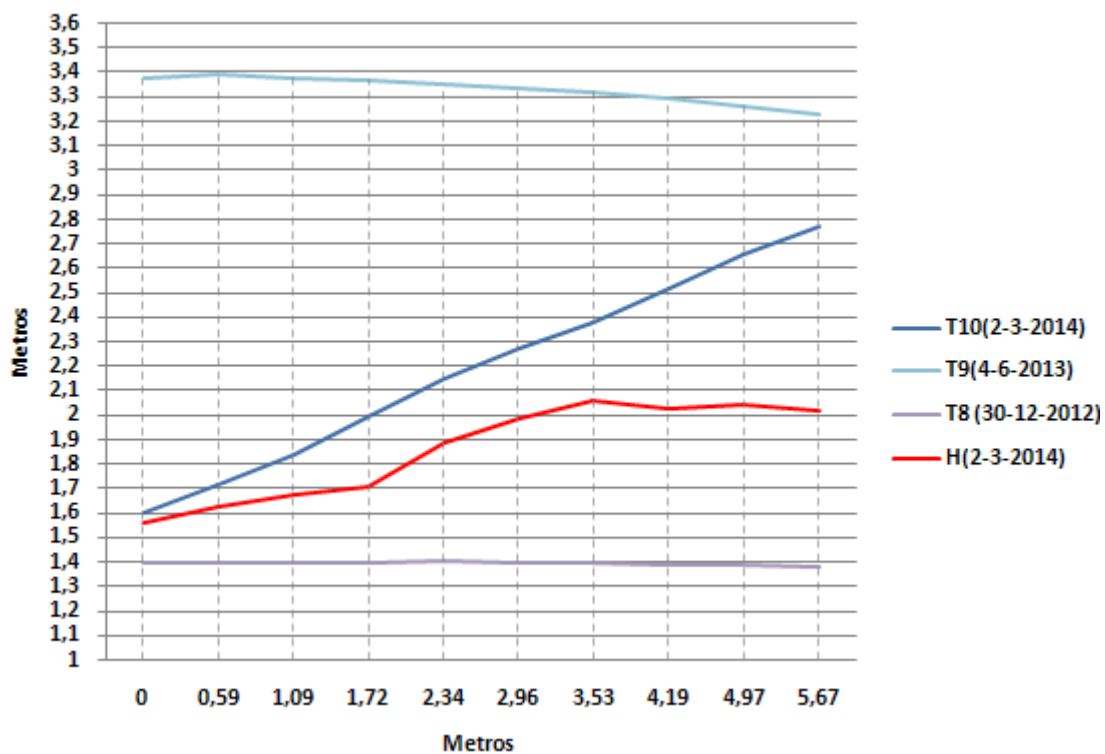
**Tabla 40:** Relación de perfiles y las fechas de realización de los MDE correspondientes, empleados para el estudio de la velocidad de ascensión capilar.

Para el estudio de la línea base n°1, se consideró que los perfiles adecuados, fueran el T8, al corresponder a la zona de deflación y los perfiles T9 y T10, al estar ubicados por encima del perfil H.

De las observaciones de campo se sabe que habían transcurrido 56 semanas desde que la duna llegó a la zona determinada por la línea base n°1, hasta el día de la toma de datos de humedad.

En la figura 119 se muestra el gráfico obtenido a partir de las líneas base 1

**Perfiles topográficos y perfil de humedad correspondiente a la línea base n°1**



**Figura 119:** Gráfico de los perfiles topográficos y de humedad analizados para la línea base n°1

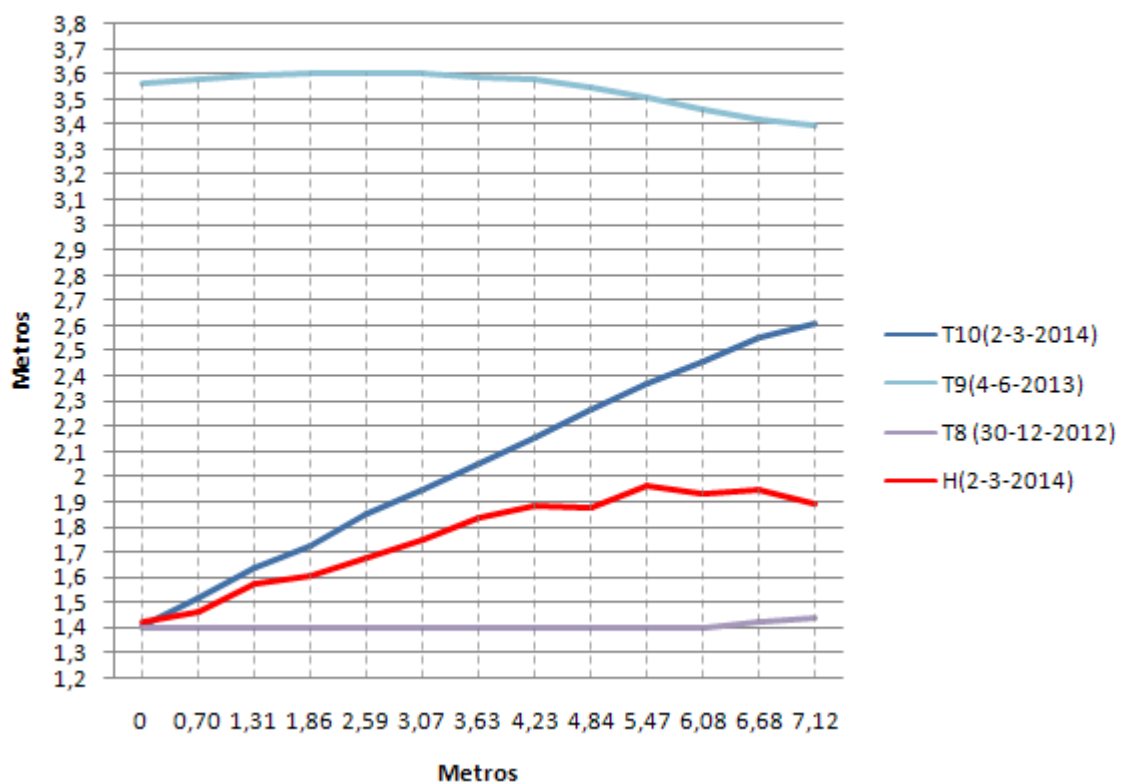
Se consideró que a partir del Pm 3,53 inclusive, la altura de la humedad permanecía relativamente estable, pues la variación era de unos pocos centímetros. Por ello que se tomó como criterio que, para el estudio del resto de las líneas base, se debían desechar aquellos valores de la profundidad de la humedad que fueran inferior a 32 cm. Como se aprecia en la figura 119, los Pm del perfil de humedad inferiores al Pm 3,53 tienden a estar paralelos al perfil topográfico T10, evidenciando

que en esas zonas la humedad ha disminuido por las condiciones ambientales de viento e/o insolación.

La velocidad de avance de la humedad por capilaridad que se obtuvo en la línea base n°1, fue de 1,15 cm/semana.

Para el estudio de la línea base n°2 se emplearon los mismos perfiles que para la línea base n°1. Se consideró que a partir Pm 4,84 presentaba los valores óptimos de profundidad de la zona húmeda.

### Perfiles topográficos y perfil de humedad correspondiente a la línea base n°2



**Figura 120:** Gráfico de los perfiles topográficos y de humedad analizados para la línea base n°2.

Una vez realizados los cálculos, se determinó que la velocidad de avance de la humedad por capilaridad en la línea base n°2, fue de 0,95cm/semana.

En el estudio de la línea base n°3, tras analizar el perfil de humedad, se estimó que, aun que los Pm 5,33 y 6,48 tienen valores óptimos, pues superan los 32 centímetros de profundidad, al estar situados paralelos al perfil T10, se desecharon.

Por ello se ha considerado tener como referencia el perfil T7, pues a partir del mismo, los perfiles que se hicieron en fechas posteriores están a cotas más elevadas.

### Perfiles topográficos y perfil de humedad correspondiente a la línea base n°3

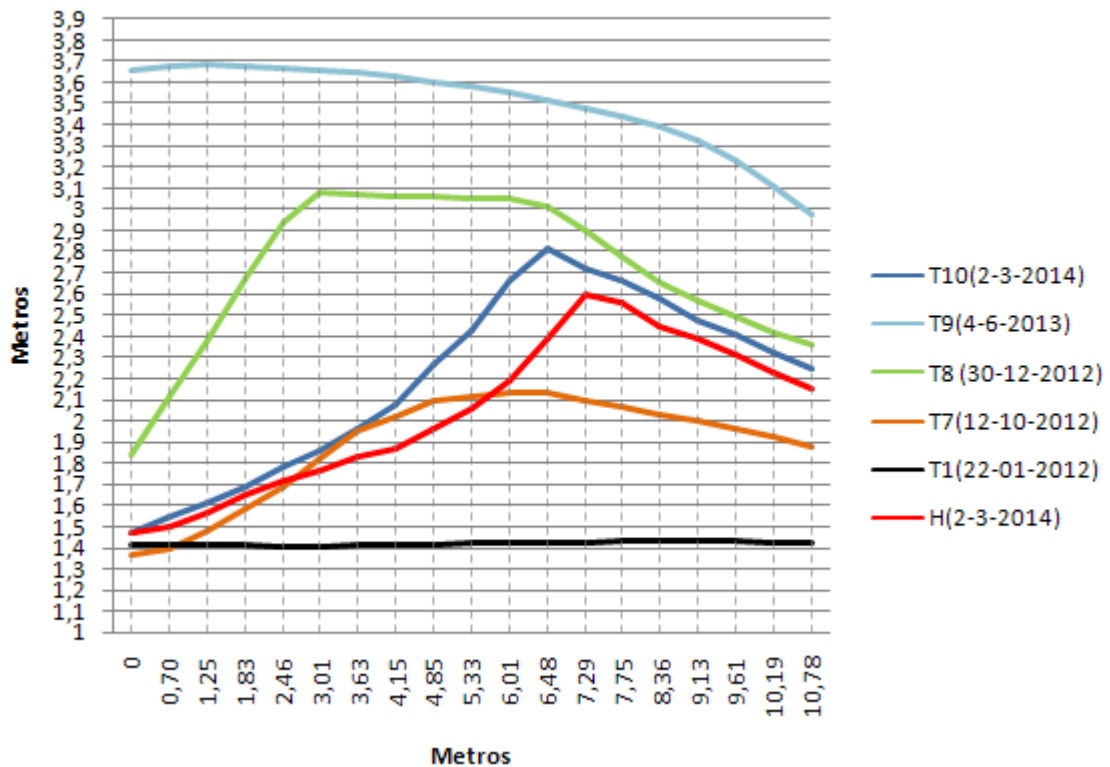


Figura 121: Gráfico de los perfiles topográficos y de humedad analizados para la línea base n°3.

Partiendo, en el peor de los casos, de que la humedad estuviera en la cota 2,098, que corresponde al Pm 7,29 del T7, ésta ascendió 50 centímetros en 71,8 semanas, lo que supone un ascenso al menos de 0,69 cm/semana. Aunque la humedad está por debajo 12 cm en el Pm 7,29 del T10, siendo más restrictivo, se debe tener en cuenta que en los casos de las líneas base estudiadas anteriormente, la humedad llega, sin afecciones de fenómenos climáticos a estar por debajo 32 cm de la superficie, por lo que la distancia que pudo haber subido la humedad es de 82 cm con respecto al T7, no de 50 cm. Por lo cual, se estima que la velocidad de ascensión capilar, al menos, pudo haber sido de 1,14 cm/semana.

Del estudio de la línea base n°4, se observa que todos los perfiles, excepto el T1, están por encima del perfil de humedad, por lo que tomando de referencia el Pm

3,34 se calcula que la velocidad de ascensión, tras transcurrir 109,7 semanas es de, al menos, 0,48 cm/semana.

#### Perfiles topográficos y perfil de humedad correspondiente a la línea base nº4

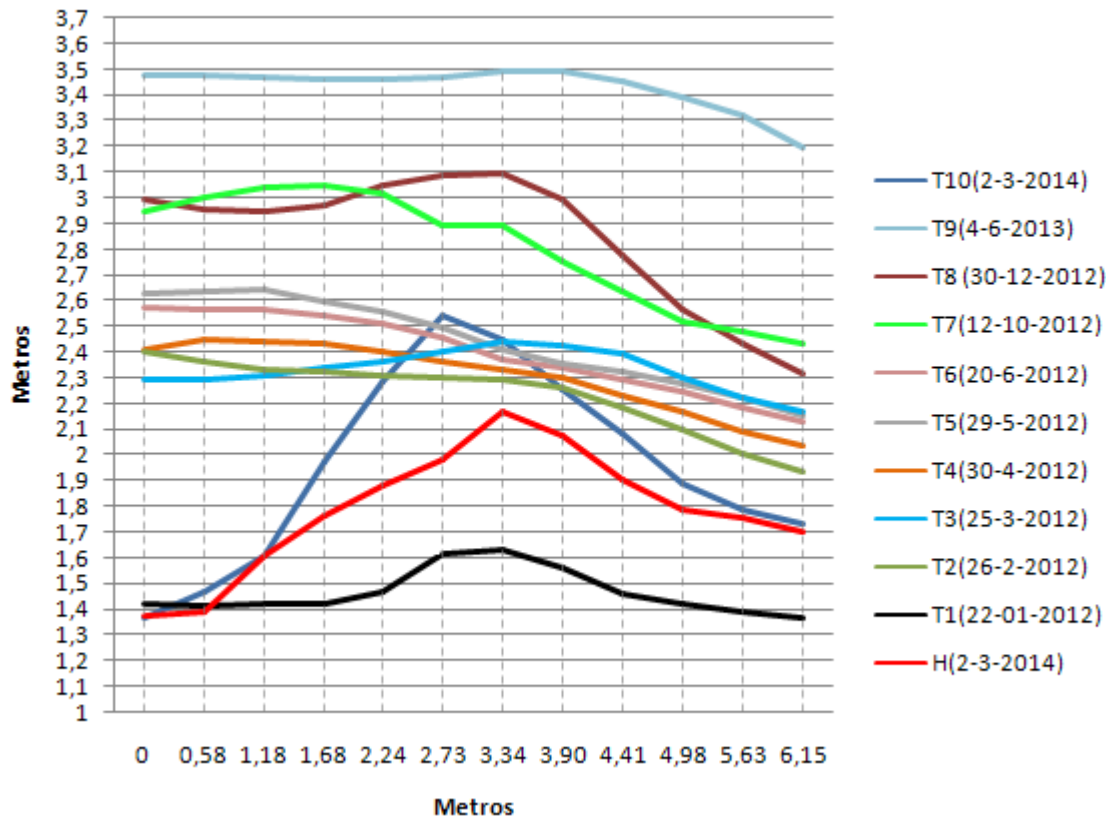


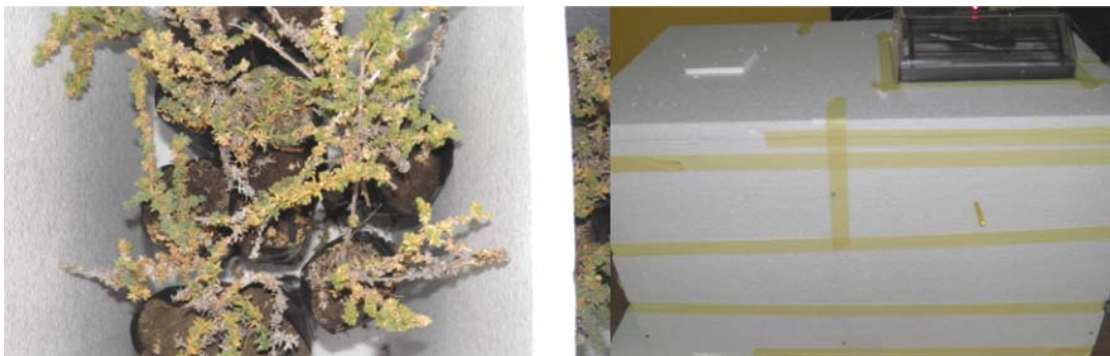
Figura 122: Gráfico de los perfiles topográficos y de humedad analizados para la línea base nº4.

De lo analizado anteriormente, se aprecia que el valor más elevado de la velocidad de ascenso capilar es de 1,15 cm/semana.

#### 3.2.2.1.1.4 Ensayo 4: temperatura

Para evaluar en qué medida la variación de la temperatura, y un aumento de la humedad, procedente de la propia vegetación (en torno a las ramas en la que se encuentra los individuos que han sufrido enterramiento), afectan al modo de reacción, se inicia un ensayo que consistió en hacer dos grupos de 10 repeticiones, sometiendo cada grupo a temperaturas constantes diferentes. Uno de ellos a 37°C, pues de observaciones en campo se había estimado que es éste un valor próximo al

que suelen estar las ramas que han sufrido enterramiento en el medio natural, en las horas de mayor insolación. Los individuos del otro grupo estuvieron sometidos a una temperatura inferior ( $30^{\circ}\text{C}$ ). Ambos grupos estuvieron en todo momento en condiciones de total oscuridad. Para ello se construyó un habitáculo, con dos recintos, con planchas de poliestireno expandido (poliexpan), al ser este un buen aislante térmico. Dicho habitáculo se ubicó en un entorno que durante las horas diurnas, y sin dispositivos eléctricos, permaneciera a una temperatura de  $30^{\circ}\text{C}$ . Para forzar a que uno de los recintos permaneciera a una temperatura de  $37^{\circ}\text{C}$  se utilizó un calefactor con termostato regulado a dicha temperatura. A su vez se introdujo un higrómetro en cada uno de los habitáculos para observar el nivel de humedad que existe en su interior durante el ensayo.



**Figura 123:** Vista interior y exterior del habitáculo realizado con poliexpan para mantener las temperaturas constantes durante el ensayo.

Transcurridos 32 días del ensayo se pudieron realizar las siguientes observaciones:

- La reacción en ambos grupos fue muy similar, muy escasos brotes en muy pocas plantas. Concretamente dos plantas reaccionaron del grupo de  $30^{\circ}\text{C}$  y tres del grupo de  $37^{\circ}\text{C}$ .
- Constancia de una fuerte elongación de los brotes. En algunos casos, la distancia entre los nudos fue superior 2,5cm.
- Algunas hojas de los brotes sufrían una fuerte curvatura, probablemente debida a la tensión generada por los micelios de hongos saprófitos que



se habían desarrollado en el interior de los habitáculos, al existir una elevada humedad relativa ( $\approx 85\%$ ) combinada con la alta temperatura.

- Los brotes existentes tienen en común su ubicación, pues todos emergieron de la base de las ramas.

Tratamiento	Individuos que sobrevivieron (%)	Individuos que reaccionaron (%)	Ubicación de los brotes	Existencia de clorofila
Entorno controlado a 30°C y HR (80%)	30	20	Basales	No
Entorno controlado a 37°C y HR (80%)	40	30	Basales	No

**Tabla 41:** Resultados obtenidos a los 32 días de iniciado el ensayo de reacción al enterramiento, para evaluar la temperatura.



**Figura 124:** Brote desarrollado con una fuerte elongación (izquierda) y deformación generada, a priori, por hongos saprófitos (derecha).

Se mantuvieron las condiciones del ensayo para valorar, en qué medida dichos brotes resistían las condiciones de falta de luminosidad. Este límite se produjo a los 45 días.

#### **3.2.2.1.1.5 Ensayo 5: dominancia apical**

Para evaluar cómo reaccionan los individuos de *Traganum moquinii* a la pérdida de dominancia apical se aplicó a 10 individuos, los cuales hacía más de 1 año que no que emitían brotes nuevos, un despuntado de las ramas.

A los 20 días de iniciado el ensayo se observó el inicio de brotación en las yemas laterales.

Transcurridos 50 días del ensayo se pudieron realizar las siguientes observaciones:

- Todos los individuos reaccionaron positivamente al despuntado con emisiones de brotes laterales.
- Los individuos que estaban en mejores condiciones fisiológicas emitieron una mayor cantidad de brotes laterales.
- Se observó una relación inversamente proporcional entre el número de brotes laterales emitidos y la velocidad de crecimiento vegetativo de los mismos.

En la figura 125 se aprecia un individuo, que ha reaccionado de forma positiva al despuntado, emitiendo numerosos brotes laterales.



**Figura 125:** Vista de un individuo de *Traganum moquinii* antes y después del despunte de la yema terminal.

Tratamiento	Individuos que sobrevivieron (%)	Individuos que reaccionaron (%)	Ubicación de los brotes	Existencia de clorofila
Despunte de las zonas apicales	100	100	Próximas a la zona del despunte	Si

**Tabla 42:** Resultados obtenidos en el ensayo de reacción al despuntado, para evaluar la pérdida de dominancia apical.

### 3.2.2.1.1.6 Discusión sobre los ensayos 1-5

Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, a excepción del último realizado, no han logrado que los individuos reaccionen como lo hacen en la naturaleza, es decir que los brotes nuevos, en los casos en que la rama esté en posición vertical, emerjan cerca de la yema terminal. En este sentido, cobra fuerza lo dicho por Hesp (1991) y Ley et al (2007), sobre el hecho de que en el proceso de reacción al enterramiento influye la velocidad de enterramiento. Ésta depende de varios factores, principalmente de: i) la duración e intensidad de los vientos efectivos, ii) la altura del frente de la duna que avanza hacia la planta y iii) la altura del ejemplar vegetal.

Teniendo en cuenta que en el ensayo realizado para evaluar la reacción a la pérdida de dominancia apical sí hubo una reacción positiva, se plantea que la reacción a emitir brotes laterales ante un enterramiento por parte de la plantas de *Traganum moquinii* puede estar motivada por una reacción de la planta a cambios

hormonales, los cuales provocan una pérdida de la dominancia apical, pasando los brotes laterales a tener dicha dominancia. Estos cambios hormonales pudieran producirse durante el periodo que transcurre desde el inicio del enterramiento de la rama, hasta que la misma es totalmente cubierta.

Las auxinas se encuentran en la planta en mayores cantidades en las partes donde se presentan procesos activos de división celular, lo cual se relaciona con sus funciones fisiológicas asociadas con la elongación de tallos y coleóptilos, formación de raíces adventicias, inducción de floración, diferenciación vascular, algunos tropismos y promoción de la dominancia apical (McSteen y Zhao, 2008).

Las auxinas generalmente son transportadas en el sentido del eje longitudinal de la planta, alejándose del punto apical hacia la base (basípeto) en el tallo y en el sentido contrario (acrópeto) desde la raíz (Srivastava, 2002).

Las auxinas producen dominancia apical e inhibición de la ramificación lateral. En cambio las citoquininas son responsables de los procesos de división celular, entre los que se encuentran la formación y crecimiento de brotes axilares, la germinación de semillas, la maduración de cloroplastos, la diferenciación celular (Klee y Estelle, 1991) y también el control de varios procesos vegetales como el retardo de la senescencia y en la transducción de señales (Sakakibara, 2006), que se encargan de regular los procesos de división celular, promoviendo la formación y crecimiento de brotes laterales.

La biosíntesis y homeostasis de citoquininas, están finamente controladas por factores internos y externos como el nivel de otras fitohormonas y las fuentes de nitrógeno inorgánico. Además su mecanismo de translocación está relacionado con el mismo sistema de transporte de purinas y nucleósidos, tanto a nivel de toda la planta, como a nivel celular (Sakakibara, 2006).

La dominancia apical puede ser regulada por un equilibrio entre las concentraciones de las sustancias endógenas de las citoquininas y las auxinas (Wickson y Thimann, 1958).

Si la proporción entre las citoquininas y las auxinas aumenta, ya sea por adición de más citoquininas o por menor empleo de auxinas, se inicia el crecimiento de brotes provistos de hojas (Devlin, 1980).

Todos los ensayos de enterramiento hasta ahora realizados, se han ejecutado mediante enterramientos instantáneos. En la naturaleza no se produce los enterramientos de ese modo, sino de forma progresiva, siendo inversamente proporcional la durabilidad del proceso a las velocidades de los vientos dominantes.

#### **3.2.2.1.1.7 Ensayo 6: enterramiento progresivo absoluto.**

Con base en lo anterior se procedió a realizar dos ensayos, consistentes en enterrar 10 individuos de *Traganum moquinii* de forma progresiva, en dos tipos de sustratos diferentes, en picón (lapilli) y en árido triturado del 0,5. Las ramas de los individuos utilizados en ambos ensayos presentaban crecimiento vertical. El objetivo de utilizar dos tipos de sedimentos diferentes a la arena es analizar si la reacción de los individuos de *Traganum moquinii* está vinculado al tipo de sedimento.

El ensayo se ejecutó a lo largo de 10 días.

Transcurridos 15 días a partir del instante en el que se produce el enterramiento total de los individuos, se pudieron realizar las siguientes observaciones:

- En ambos sedimentos los individuos reaccionaron positivamente y de igual forma. Los brotes nuevos se desarrollaron en las yemas laterales, muy próximas a la zona apical.
- El porcentaje de individuos que reaccionaron en ambos casos fue del 90%.
- Los individuos que estaban en mejores condiciones fisiológicas no sólo emitieron una mayor cantidad de brotes laterales, sino que los mismos tenían una mayor longitud. En algunos casos los mismos superaban los 3 cm.
- Se aprecia la inexistencia de brotes basales en las ramas que reaccionaron.
- Se aprecia cloroplastos en las hojas, habiendo una mayor existencia de los mismos en las hojas que en los entrenudos.



**Figura 126:** Brotes nuevos, desarrollados en las yemas laterales, próximas al ápice, en individuos de *Traganum moquinii*, enterrados en árido triturado del 0.5 (izquierda) y en picón (derecha), a los 15 días de sufrir el enterramiento total tras un proceso de enterramiento progresivo.

En la figura 127 se puede observar las brotaciones nuevas, desarrolladas próximas a la yema terminal, en cuatro de los individuos de *Traganum moquinii* utilizados en el ensayo en el cual se empleó árido del 0,5 a los 20 días de iniciado el ensayo.



**Figura 127:** Brotes nuevos desarrollados en las yemas laterales en individuos de *Traganum moquinii* enterrados en árido triturado del 0.5, a los 20 días de sufrir el enterramiento total tras un proceso de enterramiento progresivo.



En la imagen inferior se puede apreciar la inexistencia de brotes nuevos en las zonas basales, a los 20 días de sufrir el enterramiento total.



**Figura 128:** Ramas sin brotes nuevos en las zonas basales en individuos de *Traganum moquinii*, enterrados en árido triturado del 0.5, a los 20 días de sufrir el enterramiento total tras un proceso de enterramiento progresivo.

Tratamiento	Individuos que sobrevivieron (%)	Individuos que reaccionaron (%)	Ubicación de los brotes	Existencia de clorofila
Enterramiento progresivo (10 días) en picón	100	100	Próximas a la zona apical	Si
Enterramiento progresivo (10 días) en árido triturado del 0.5	100	100	Próximas a la zona apical	Si

**Tabla 43:** Resultados obtenidos en el ensayo, a los 20 días de iniciado el mismo, para evaluar la reacción al enterramiento progresivo (10 días).

#### 3.2.2.1.1.8 Ensayo 7: enterramiento parcial.

Con el fin de complementar el anterior ensayo, se desarrollo otro cuyo objetivo era conocer si individuos de *Traganum moquinii* reaccionan al enterramiento parcial.

El ensayo consistió en aplicar un enterramiento parcial y de forma progresiva a 10 individuos, los cuales estaban en condiciones fisiológicas de latencia. El

enterramiento progresivo se realizó durante 10 días. Al final del mismo solamente se dejó expuesto a la luz solar aproximadamente los últimos 7 cm de cada rama principal.

Transcurridos 20 días se observó que ninguno de los individuos habían emitido brotes laterales, para lo cual se decide alargar el tratamiento durante 15 días más.

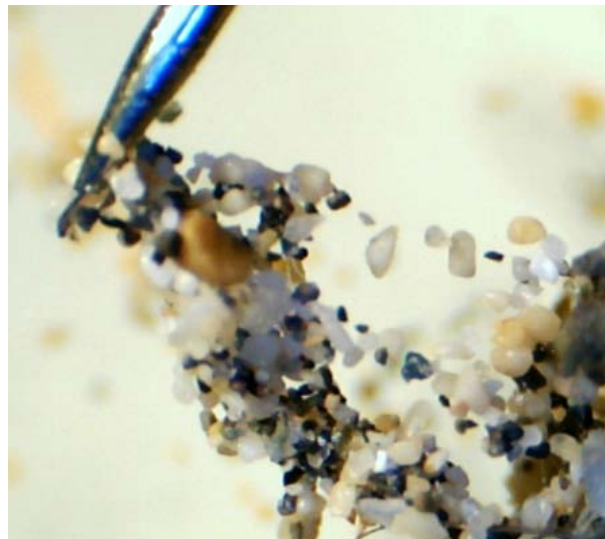
Después de transcurridos los 35 días se observa que los individuos no han emitido brotes laterales.

#### **3.2.2.1.1.9 Discusión sobre los ensayos 6 y 7.**

Los resultados obtenidos en los dos últimos ensayos indican que las plantas de *Traganum moquinii* reaccionan positivamente al enterramiento progresivo, siempre y cuando se produzca un enterramiento total de los individuos.

#### **Otros aspectos**

En relación con los tubos alargados que se habían encontrado en brotes nuevos, mediante trabajo de campo, se inició un proceso de estudio de los mismos. Los tubos estaban formados por sucesivos granos de arena, unidos entre sí por unos hilos muy finos de seda, con capacidad de adherencia.



**Figura 129:** Vista de hilos de seda, separados mediante un alfiler, con granos de arena adheridos a los mismos.



Desde el inicio se tuvo constancia de la posibilidad de que se tratase de alguna estructura formada por algún insecto, razón por la cual se partió de recolectar una serie de tubos que se intuía que pudieran contener algún insecto dentro, al mantener los mismos en determinadas zonas su forma cilíndrica (la mayoría de los mismos presentaba una forma aplanada). Al respecto se observó que en los individuos de *Traganum moquinii* que recientemente habían iniciado el proceso de reacción al enterramiento progresivo (pues los brotes emitidos tenían pocos centímetros de longitud), presentaban una mayor concentración de tubos ocupados por insectos.

Una vez analizados los tubos, se encontraron varias larvas, las cuales se introdujeron en botes con arena, con el fin de realizar un seguimiento del proceso de metamorfosis. Inicialmente se introdujeron con un brote tierno de *Traganum moquinii*, y al día siguiente empezaron a construir un tubo en la base del mismo. El brote se enterró en el sedimento aproximadamente 1cm. Dado que el brote se marchitó rápidamente, al no tener aportación de agua, se les suministraron diversas hortalizas, de diferentes consistencias, resultando ser la lechuga (*Lactuca sativa*) por la única que mostraron preferencia las larvas.



**Figura 130:** Brote tierno de *Traganum moquinii* con tubo de arena, construido en laboratorio por una larva, encontrada en las dunas de Playa del Inglés.

Al final del proceso emergieron varias polillas, las cuales se enviaron al Departamento de Biología Animal de la Universidad de La Laguna, para su identificación, resultando ser la siguiente especie:

Orden: Lepidópteros

Familia: Pirálidos

Género: *Ancylosis*

Especie: *arenosella* (Staudinger, 1870)

La primera cita para Canarias conocida de *Ancylosis arenosella* es de Roesler (1973). Se trata de una especie de distribución típicamente mediterránea. En Canarias se conoce de las islas de Tenerife, Gran Canaria y Fuerteventura, en zonas bajas y xéricas. Según Báez (1998) su periodo de vuelo comprende los meses de otoño e invierno.



**Figura 131:** Adulto de *Ancylosis arenosella* obtenida en condiciones de laboratorio durante el desarrollo del estudio .Foto: Antonio J. Pérez Delgado.



**Figura 132:** Pupa de *Ancylosis arenosella* ubicada al final del tubo, el cual construyó durante el seguimiento realizado en laboratorio. El tubo es idéntico a los encontrados en brotes tiernos de individuos de *Traganum moquinii* que habían sufrido un proceso de enterramiento progresivo por arena muy reciente.

Durante el proceso de estudio en laboratorio, se pudo observar que la larva de *Ancylosis arenosella* destina muchas horas de su tiempo a recorrer el tubo, realizando dos tareas principalmente: i) con el objeto de mantener constantemente la forma cilíndrica, utilizaba su torso para ensanchar el mismo mediante movimientos repetitivos y ii) fortalecimiento de las paredes del mismo, aportando seda. Ésta última les supone un gran gasto energético, al producir durante el proceso, de forma continuada, seda para unir los granos de arena. Normalmente dicha tarea de reforzamiento de las paredes del tubo las realizaba en horas diurnas. Asimismo se observó que salían al exterior del tubo en horas nocturnas, entendiéndose que es esa fase del día que destina a la alimentación, cuestión que se corroboró observando los cambios en el material suministrado como alimento.

En las figuras 133 y 134 se puede observar diferentes fases del ciclo biológico de *Ancylosis arenosella*.



**Figura 133:** Larva (izquierda) y pupa (derecha) en fase final de este estadio, pues a los tres días emergió el adulto de *Ancylosis arenosella*.



**Figura 134:** Adulto de *Ancylosis arenosella*, con las alas aún sin estirar a las pocas horas de emerger.

### 3.2.2.1.2 Discusión

Tras analizar los resultados de las observaciones y de los diferentes ensayos realizados para intentar encontrar qué variables son determinantes para que las ramas de *Traganum moquinii* más próximas a la superficie, tras sufrir un enterramiento absoluto, reaccionen de igual forma que lo hace en su hábitat natural en tiempo, forma y calidad de los brotes, se plantean las siguientes consideraciones:

En primer lugar, la reacción al enterramiento no está motivada por el aumento de humedad procedente del nivel freático, pues durante el periodo de reacción observado en campo (30 días), la humedad hubiera subido como máximo 5 cm aproximadamente. En la mayoría de los casos las ramas que han reaccionado

estaban, dependiendo de la altura del individuo, a una elevada distancia de la zona húmeda.

De igual forma, ni la temperatura ni la humedad relativa existentes en el entorno en que se producen las brotaciones son determinantes, pues las brotaciones que se produjeron no lo hicieron en cantidad, calidad y ubicación a como ocurre en la naturaleza.

La falta de luminosidad sí pudiera afectar, en la medida que produce una modificación del gradiente auxina/citoquinina. Ello provoca una disminución en la concentración de la auxina a favor de la citoquinina durante el proceso de enterramiento progresivo que sufren los individuos de *Traganum moquinii*, durante el avance de una duna.

Todo parece indicar, a la vista de los resultados, que el proceso de enterramiento progresivo de los individuos de *Traganum moquinii*, suscita que los brotes nuevos se desarrollen próximos a la yema terminal. Este hecho es determinante para que la planta sobreviva al enterramiento total, al retomar el proceso fotosintético en un periodo corto de tiempo desde que se produce el enterramiento total del individuo. Asimismo, la capacidad de reacción de los individuos enterrados se ve favorecida por la acción de las citoquininas, al promover el retraso de la senescencia de las ramas enterradas por sedimentos.

Lo anteriormente mencionado justifica lo observado en campo en numerosas ocasiones: que ciertos individuos de *Traganum moquinii* no sobreviven tras sufrir el enterramiento total. Probablemente sea porque dicho enterramiento se haya producido durante unas condiciones de alta velocidad de vientos efectivos durante sucesivos días. Tal como se ha observado en los diferentes ensayos, las brotaciones que desarrolla *Traganum moquinii* en enterramientos instantáneos se producen en las zonas basales de las ramas, muy lejos de la superficie, por lo que se produce la muerte de los mismos al estar muchos días sin realizar el proceso fotosintético.

De los ensayos realizados se determina que la reacción no se produce cuando ha habido un enterramiento parcial del individuo de *Traganum moquinii*, tal y como menciona Hernández Cordero (2012). Probablemente esto es a causa de la elevada dosis de auxinas, que es capaz de producir la parte que queda expuesta a la luz solar,

que permite mantener una proporción mayor de dicha sustancia frente a la citoquinina.

Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos verifican lo expuesto por Zhang y Maun (1992), quienes mencionan que plántulas de determinadas especies, al ser enterradas por arena con bajos nutrientes, reaccionan mejor que el control. En el caso de *Traganum moquinii* cabría la posibilidad de considerar que la variable aportación de nutrientes por el sedimento, sea vinculante en la reacción por parte de un individuo enterrado.

La existencia de una relación inversamente proporcional entre el número de tubos ocupados por larvas de *Ancylosis arenosella* y la longitud de los brotes emitidos por los individuos de *Traganum moquinii* tras sufrir un enterramiento progresivo absoluto, parece evidenciar que el ciclo de vida de *Ancylosis arenosella* está íntimamente relacionado con la velocidad de enterramiento que pueda sufrir *Traganum moquinii* en la Reserva Natural Especial de las dunas de Maspalomas, ya que si la planta reacciona con brotes nuevos próximos a la superficie, *Ancylosis* desarrolla las diferentes etapas de su ciclo biológico sobre dichos brotes.

Dado que se han encontrado larvas de *Ancylosis arenosella* en individuos de *Traganum moquinii* enterrados de forma progresiva en primavera, se considera que el periodo de vuelo, al menos en la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas, pudiera ser mayor que el citado por Báez (1998), quizás como adaptación a los periodos de dinámica eólica del medio.

En definitiva, la reacción de los individuos de *Traganum moquinii* de emitir brotes laterales próximos a la zona apical tras sufrir un enterramiento, está vinculada a que dicho enterramiento se haya producido de forma progresiva. Dicha circunstancia es aprovechada por *Ancylosis arenosella* para desarrollarse. Asimismo, cuanto mejor sea el estado fisiológico de los individuos de *Traganum moquinii* que sufran un enterramiento progresivo, no solo producirán más brotes laterales, sino con mayor vigorosidad.





**Figura 135:** Abundantes brotes laterales muy vigorosos pertenecientes a un *Traganum moquinii* en muy buen estado fisiológico tras sufrir un enterramiento progresivo.

Por todo lo anterior, cabría incorporar el término **enterramiento progresivo absoluto** cuando se desee destacar el hecho de que individuos de *Traganum moquinii* reaccionen, experimentando cambios hormonales, y con ello fisiológicos, para sobrevivir a un enterramiento total.

## 4 DINÁMICA SEDIMENTARIA

La incorporación de nuevas fuentes de información y el potencial de las herramientas de análisis espacial en geomorfología litoral se ha incrementado exponencialmente durante los últimos años (Saye et al, 2006; Mitsova et al, 2005; Stephenson y Branderb, 2003; Brown Arbogast, 1999, Belford et al, 2014)

Dado que los procesos naturales (erosión, progradación, dinámica eólica, etc.) se desarrollan en un espacio tridimensional al conllevar la erosión, transporte y sedimentación de materia y se plasman espacialmente en morfologías específicas con diferente grado de evolución, parece obvio el interés de fuentes de información que obtengan información morfométrica tridimensional con carácter masivo espacialmente y cuasi-sincrónico desde la perspectiva temporal (Ojeda Zújar y otros, 2007).

Una de las características de un buen estudio de los procesos naturales es que la toma de datos se realice con una alta frecuencia temporal, dado que ciertos sistemas naturales son muy dinámicos, como el de la RNE de las Dunas de Maspalomas, donde las dunas de dicho sistema avanzan un promedio de 20 metros anualmente (Hernández, 2000).

Se ha revelado crucial la elaboración de MDEs (Modelos Digitales de Elevaciones) de precisión y su análisis en el contexto de los SIG (Ojeda Zújar y otros, 2007).

Aunque en los últimos años se ha extendido el uso de sensores tipo LIDAR, ya sea aerotransportados como terrestres, sus altos precios limitan su uso para la realización de trabajos que deban realizarse con una alta temporalidad, evidentemente sus usos son muy aconsejables para superficies extensas.

La última tecnología basada en fotogrametría de objetos cercanos, con el uso de drones, están en continua evolución con el objetivo de abaratar costes y mejorar precisiones. Con independencia de los problemas que encuentran aún determinados softwares, normalmente empleados en fotogrametría de objetos cercanos, para la generación de MDEs en superficies con texturas tan complicadas como los campos de dunas de orígenes calcáreos. Al presentar dichas superficies una gran carencia de



contraste, y por consiguiente la elevada dificultad de identificar los puntos homólogos, a excepción de aquellas zonas que puedan haber sombras producidas por el propio terreno, como son las líneas de rotura definidas por las cabezas de taludes.

Aunque en determinados trabajos se aconsejen el uso del GPS-D como herramienta para la obtención de datos topográficos en sistemas dunares (Rodríguez, 2009), el empleo de la mejora de los hardwares, (aumento de potencia de laser incorporado) y softwares (mayor capacidad y rapidez en toma de datos), así como el abaratamiento de las estaciones totales en los últimos años, ha aumentado la idoneidad del uso de estos dispositivos para la realización trabajos de modelización espacializada de superficies relativamente pequeñas, para trabajos a grandes escalas, con altas precisiones, y en superficies en las que abundan geoformas redondeadas. Las cuales requieren un elevado número de datos para una mejor definición de las mismas.

Con el objeto de realizar el estudio morfométrico, se plantea hacer el mismo en dos etapas, i) realizar un estudio sobre el modelo de vientos dominantes que infieren en la generación de dunas montículos que se forman en primera línea de playa, asociadas a los individuos de *Traganum moquinii* existentes en Playa del Inglés y ii) generar una serie de MDEs, en dos parcelas de Playa del Inglés, para cuantificar y analizar las diferentes geoformas que se desarrollan durante un periodo de al menos dos años. Una de las parcelas está ubicada en una zona de deflación, referenciada como parcela 1, la segunda está ubicada en la duna costera, referenciada como parcela 2.

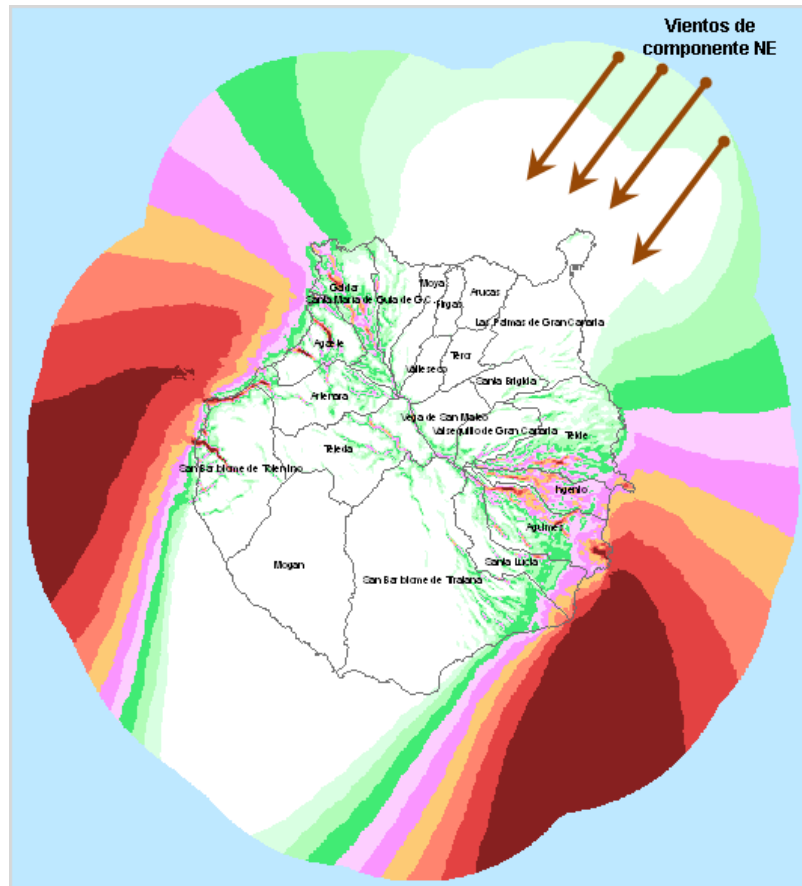
#### 4.1 DINÁMICA EÓLICA

El viento es el principal agente que interviene en la formación y desarrollo de las dunas costeras. Por ello, conocer cómo funciona la dinámica eólica cuando atraviesa la franja del Inglés es de vital importancia para la caracterización de su duna costera.

Los estudios realizados hasta la fecha sobre las características del viento en el campo de dunas de Maspalomas, han sido llevados a cabo haciendo uso,

principalmente, de datos de vientos de la estación que la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) tiene instalada, desde 1997, en Maspalomas. También se han hecho aproximaciones considerando los datos recogidos por estaciones que, en distintos períodos, desde 2004, ha instalado el Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente de la ULPGC en las playas del Inglés y Maspalomas. Estos trabajos llegan a la conclusión de que el viento presenta dos direcciones principales (Hernández Calvento, 2002; Mayer et al, 2012): por un lado las componentes OSO, O y NO, que representan el 32% de las frecuencias totales, y por otro las NE, ENE y E, que suponen el 30%. Estas direcciones se alternan en función de la estación del año, de modo que la componente O predomina entre abril y septiembre, mientras que las componente, ENE y E son más frecuentes entre noviembre y febrero. Los meses de marzo y abril, por un lado, y octubre, por otro, son periodos de transición, con alternancia de E y O.

Teniendo en cuenta una escala más amplia, es determinante la orografía de Gran Canaria en relación con la variación del flujo de vientos que normalmente le afecta (alisios). Por lo que respecta a Maspalomas, lo más destacado no es que se encuentre en el vértice meridional de la isla, sino que lo hace justo en el centro del semicírculo teórico que ésta forma en su lado sur. La figura 136 corresponde a un modelo generado por el ITC, desarrollado a partir de una simulación basada en la utilización de modelos mesoescalares y microescalares (ITC, 2015). En ella se puede observar cómo la playa del Inglés se encuentra en el límite de afección cuando los vientos predominantes tienen componente NE. Dicha circunstancia es la que provoca que el 30% de las frecuencias totales sean de NE, ENE y E. Normalmente el viento procedente de esas direcciones afectan a Maspalomas entre las 10,30 h y las 11 h (Hernández Calvento, 2002). La intensidad de los mismos difiere, evidentemente, de la intensidad de los vientos alisios que afectan, en cada momento, a la isla.



**Figura 136:** Mapa de recursos eólicos de la isla de Gran Canaria. Fuente: modificado de ITC, 2015.

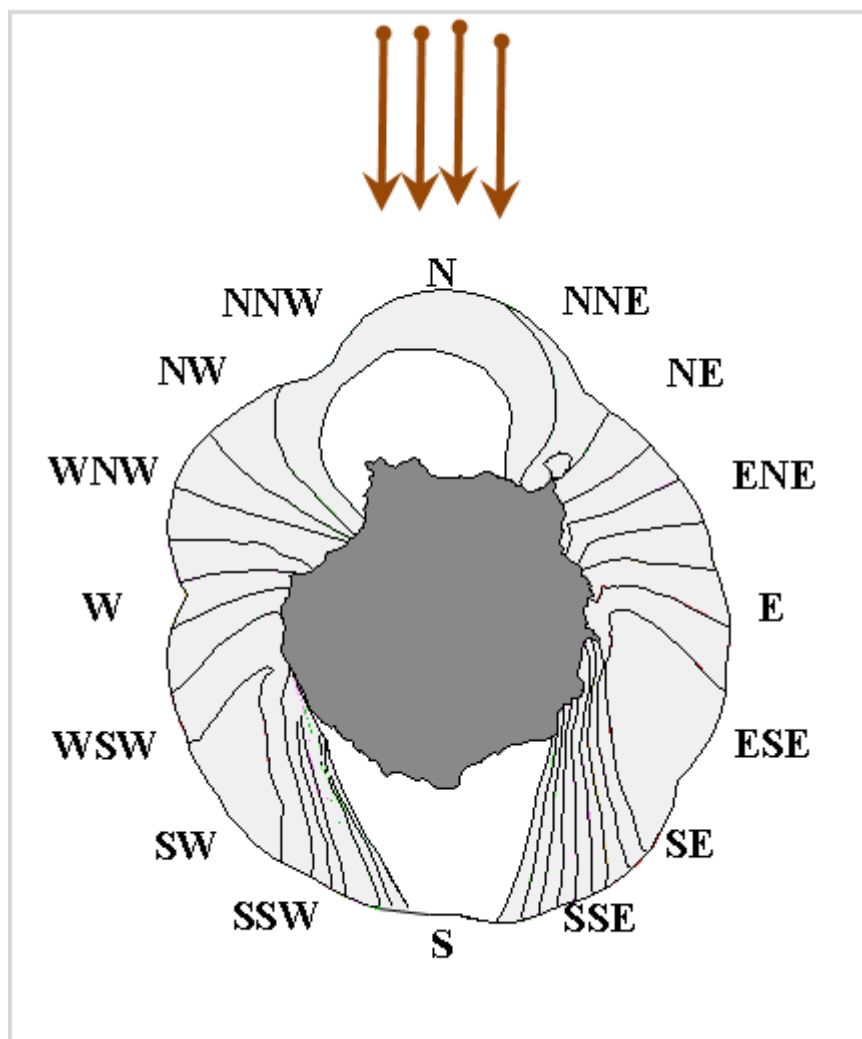
#### 4.1.1 Análisis de datos de viento

Se procede a presentar en este apartado los estudios realizados para la caracterización del viento en el área de estudio, desde una perspectiva multiescalar. En primer lugar se presentan resultados sobre la casuística de la componente Oeste en Maspalomas; en segundo lugar se presentan resultados sobre el viento en la playa del Inglés, a partir de los registros de una estación automática; finalmente se presentan los análisis realizados sobre el viento en una parcela experimental en la duna costera de la playa del Inglés.

##### 4.1.1.1 La componente Oeste en Maspalomas

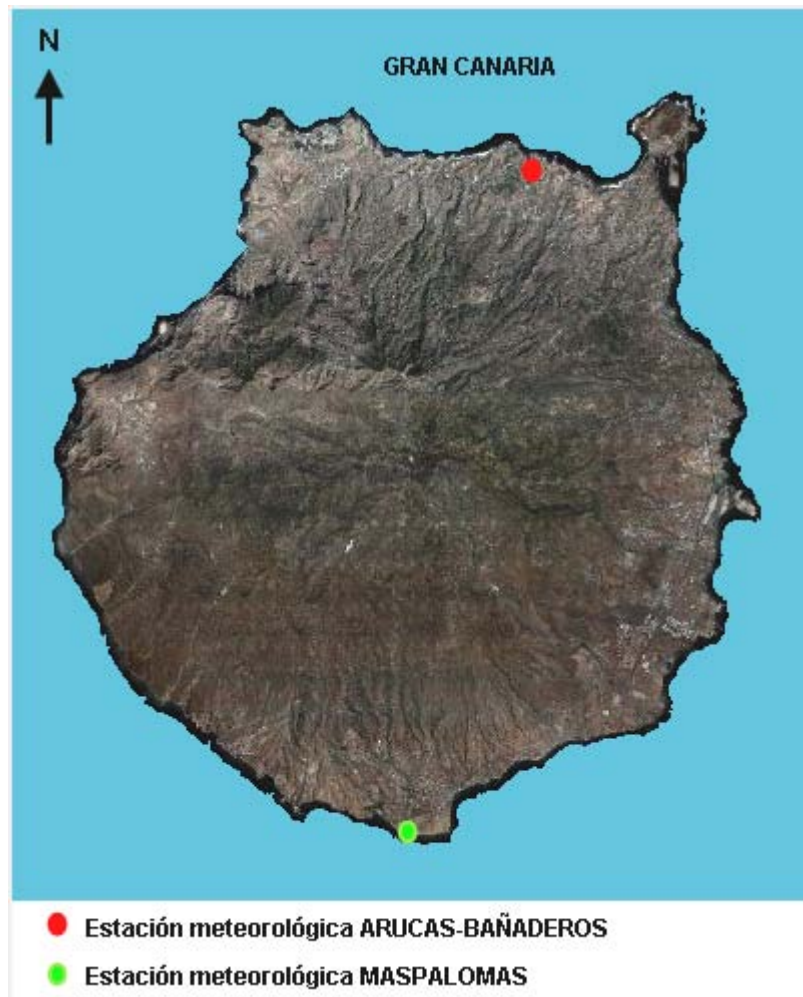
Dado el alto porcentaje de los vientos de componente O en Maspalomas en determinada época del año, se considera importante conocer su origen. De las

diversas observaciones de campo y consultas a los datos de viento de AEMET, se puede deducir, a priori, que cuando la componente de los vientos es Norte, se dan dos circunstancias a destacar en Maspalomas; i) el sistema queda al abrigo de la sombra eólica, y ii) en determinados períodos, si la intensidad de los vientos es elevada, éstos modifican su dirección tangencialmente a la línea de costa, produciendo que Maspalomas quede afectada por vientos de componente O. En esta última circunstancia se puede producir transporte sedimentario contrario al dominante, lo que provoca, si el evento se prolonga, que los bordes de las dunas se inviertan. El resultado teórico de este efecto se puede apreciar en la figura 137.



**Figura 137:** Supuesto teórico, a partir de observaciones de campo y datos de la AEMET, del flujo de viento que afectan la isla de Gran Canaria con vientos dominantes de componente N. Fuente: modificado de ITC, 2015.

Con el objetivo de comprobar este modelo teórico, se analiza la relación entre los datos de intensidad y dirección de los vientos captados en octubre de 2014 en las estaciones de Maspalomas y Bañaderos (figura 138). La elección de este mes estuvo motivada por el hecho de que se observa una cierta recurrencia de días con componente Norte en la estación de Bañaderos.

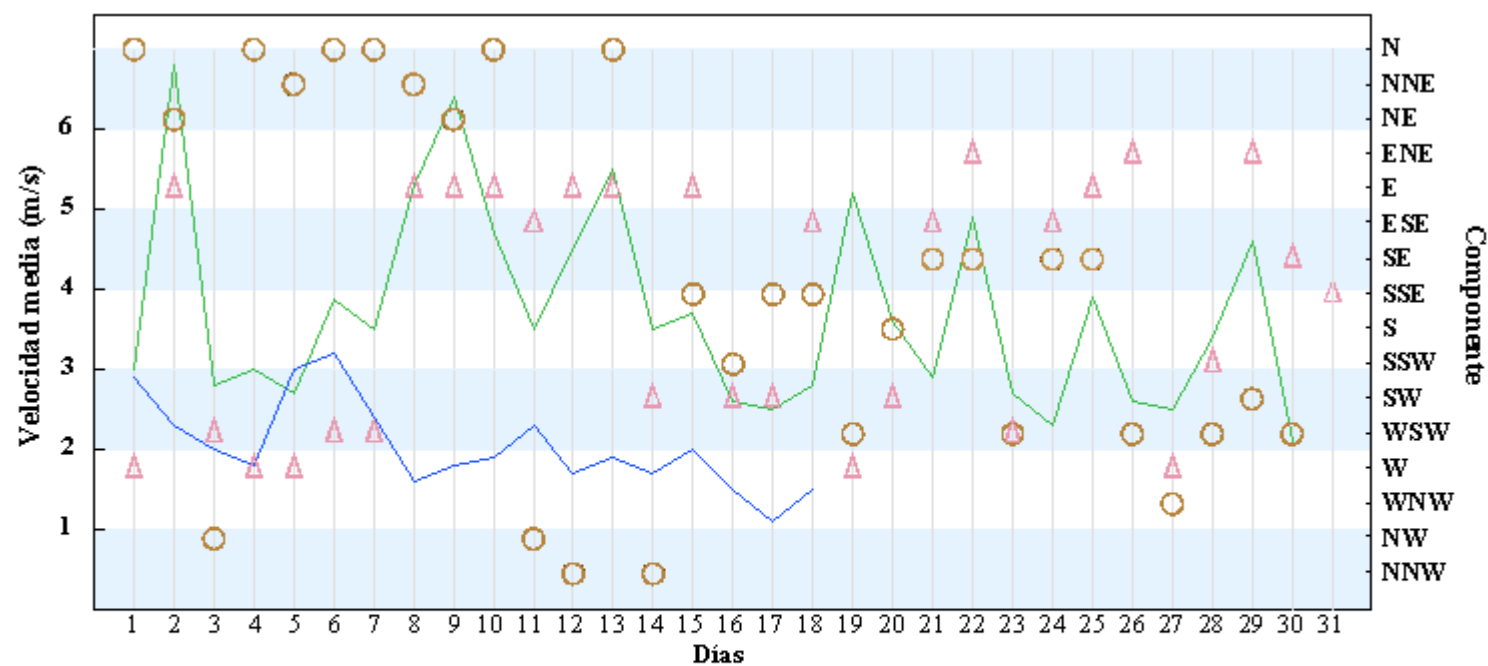


**Figura 138:** Ubicación de las estaciones meteorológicas Arucas-Bañaderos y Maspalomas. Fuente: modificada de GRAFCAN SL.

Para esta comprobación se consideraron los datos correspondientes al período 10,30 h - 20 h, al observarse en las series de datos la existencia de valores en determinadas noches con componente Norte o próximos a ésta en la estación de Maspalomas, y componente Sur o próximos a ella en la estación de Bañaderos, originadas por el efecto de brisas marinas (Mayer, 2012). Una vez separados los datos correspondientes a las horas diurnas, se obtuvieron los datos de la moda, así

como el porcentaje que corresponde al valor representativo de la misma, con el objetivo de analizar el nivel de significancia de estabilización del flujo de viento en dicha franja horaria.

En la figura 139 se puede observar que existen 6 días (1, 4, 6, 7, 10 y 13) en los cuales en la estación de Bañaderos hubo viento de componente Norte. Los valores porcentuales de las diferentes componentes, que hubo en dichos días, se muestran en la tabla 44. Se detecta, a partir de estos datos, una cierta concordancia en cuanto a las direcciones, de modo que cuando en Bañaderos se producen vientos dominantes de componente N, en Maspalomas el mayor porcentaje de dirección del viento se produce en las componentes OSO y O. También cabe destacar lo sucedido el día 19, pues hubo vientos de componente OSO en Bañaderos, y O en Maspalomas, con velocidades medias superiores a 5 m/s. Tal circunstancia es justificada por lo recogido en el avance meteorológico de la AEMET para el mes de noviembre (AEMET, 2014): *“En zonas de alta montaña se produjo un episodio de vientos muy fuertes del suroeste durante el día 19, observándose rachas de entre 95 y 125 km/h. Como el mes anterior, en niveles bajos prevaleció el N y el NNW sobre el NNE, que es la dirección del viento predominante en estas fechas.”*.



	Velocidad media del viento	Componente del viento
Estación de Bañaderos		
Estación de Maspalomas		

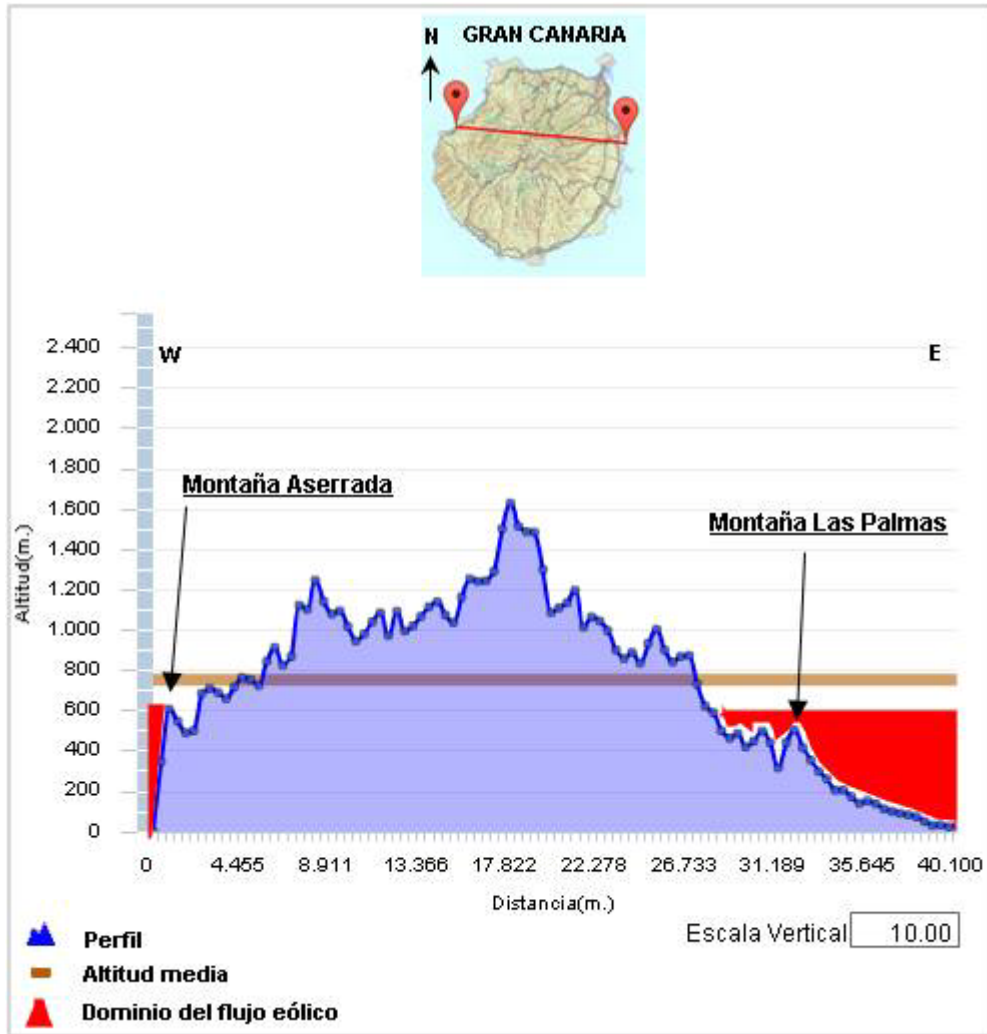
**Figura 139:** Comparativa de datos de vientos (velocidades medias y componentes), correspondientes a las horas diurnas, de las estaciones que posee la AEMET en Bañaderos (norte de Gran Canaria) y Maspalomas (sur de Gran Canaria) del mes de octubre de 2014.

Día	Estación	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
1	Bañaderos									78,95	21,05							
	Maspalomas		7,02	26,32	24,56	35,09								1,75	1,75	1,75		1,75
4	Bañaderos						1,75	1,75	8,77	73,68	14,04							
	Maspalomas	1,75	10,53	24,56	14,04	31,58		1,75		1,75		1,75	12,28					
6	Bañaderos								3,51	94,74	1,75							
	Maspalomas		5,26	28,07	38,60	19,30						3,51			3,51		1,75	
7	Bañaderos							15,79	28,07	56,14								
	Maspalomas	10,53	12,28	17,54	36,84								12,28	8,77			1,75	
10	Bañaderos			7,02	3,51	1,75	8,77	10,53	1,75	28,07	19,30	19,30						
	Maspalomas		1,75											57,89	28,07	10,53	1,75	
13	Bañaderos						24,56	17,54	5,26	45,61	7,02							
	Maspalomas												26,32	70,18	3,51			

**Tabla 44:** Comparativa de los valores porcentuales, de las estaciones de Bañaderos y Maspalomas, de las componentes que hubieron en los días del mes de octubre de 2014, en los cuales los valores modales (en rojo) fueron de Norte en la estación de Bañaderos. Fuente: AEMET.



Considerando estos resultados, y centrándonos en lo sucedido los días 1, 4, 6, y 7, en los que hubo porcentajes de vientos mayoritariamente de componente Norte en Canarias, cabría entender, a priori, que los valores observados en la estación de Maspalomas en dichos días, son valores estables y asociados a dicho flujo de viento. En esta estación, las componentes del viento oscilan principalmente entre OSO y O, con valores bajos en las velocidades. Este fenómeno coincide con los datos que se pueden derivar del modelo del flujo de viento desarrollado por el ITC, asociado a la orografía de la isla de Gran Canaria. Ello explica que muchos días en que se dan vientos de componente O, o de componentes próximas, en Maspalomas (los meses de verano suponen un 45 % de estas direcciones, según Mayer et al., 2012), se esté produciendo un dominio de vientos alisios de componente N en las islas Canarias. De este modo, al estar el campo de dunas en zona de sombra eólica, producida por la orografía de la isla, en Maspalomas dichos vientos suelen ser suaves o brisas. En la figura 140 se presenta un perfil topográfico de la isla a la altura de Montaña Aserrada, al oeste, y Montaña de Las Palmas, al este. De él se puede inferir la reducción del campo de acción del viento en la costa occidental, que induce su aceleración.



**Figura 140:** Perfil topográfico de la isla de Gran Canaria, definido por los puntos más altos en ambas vertientes, este y oeste. Destaca el elevado desnivel existente en la zona oeste, que reduce el dominio por el cual transita el viento, acelerándolo. Fuente: modificado de GRAFCAN SL.

En esta línea, ya Mayer et al. (2012) postulan que el relieve de la isla favorece la persistencia de los vientos del tercer cuadrante en Maspalomas. Cabría precisar que tal persistencia ocurre cuando los vientos alisios alcanzan la isla con componente Norte, pues cuando lo hacen de NE no se da tal circunstancia. Por otra parte, cabría añadir que la particular orografía que rodea el entorno de Montaña Aserrada resulta vinculante en este sentido, pues provoca que el viento se acelere al estrecharse su dominio, prevaleciendo en la costa sur sobre el que accede desde la vertiente Este de la isla, de menor velocidad, pues en esta última la orografía es más llana.

#### 4.1.1.2 El viento en la playa del Inglés

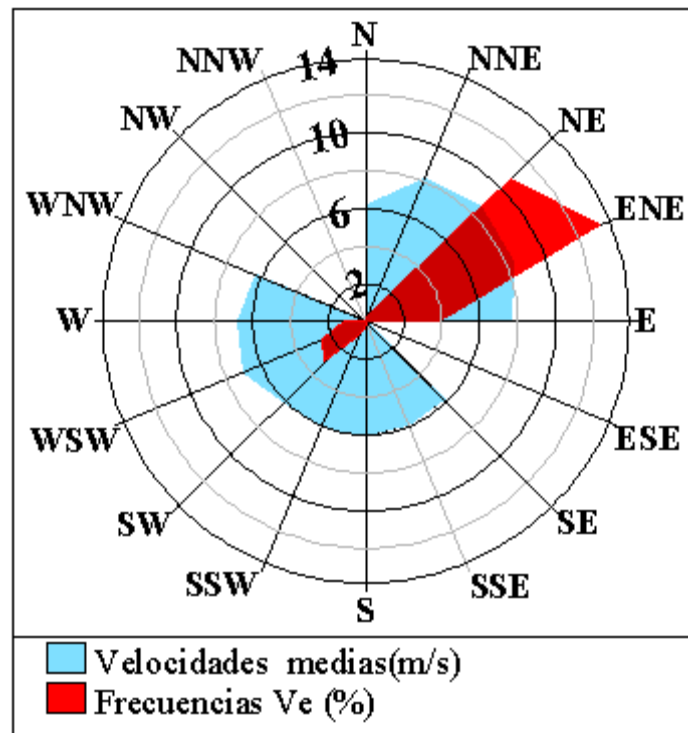
El estudio de los vientos en la playa del Inglés se ha abordado a partir de los datos captados por la estación meteorológica que el Grupo de investigación *Geografía Física y Medio Ambiente* tiene instalada en la playa del Inglés, concretamente sobre el kiosco nº 8, ubicado en la zona central de la playa (figura 141), así como mediante un sistema de anemómetros y veletas diseñados para este trabajo.



**Figura 141:** Ubicación del kiosco nº 8 en la playa del Inglés donde se ubica la estación meteorológica de la ULPGC. Fuente: modificado de Google Earth

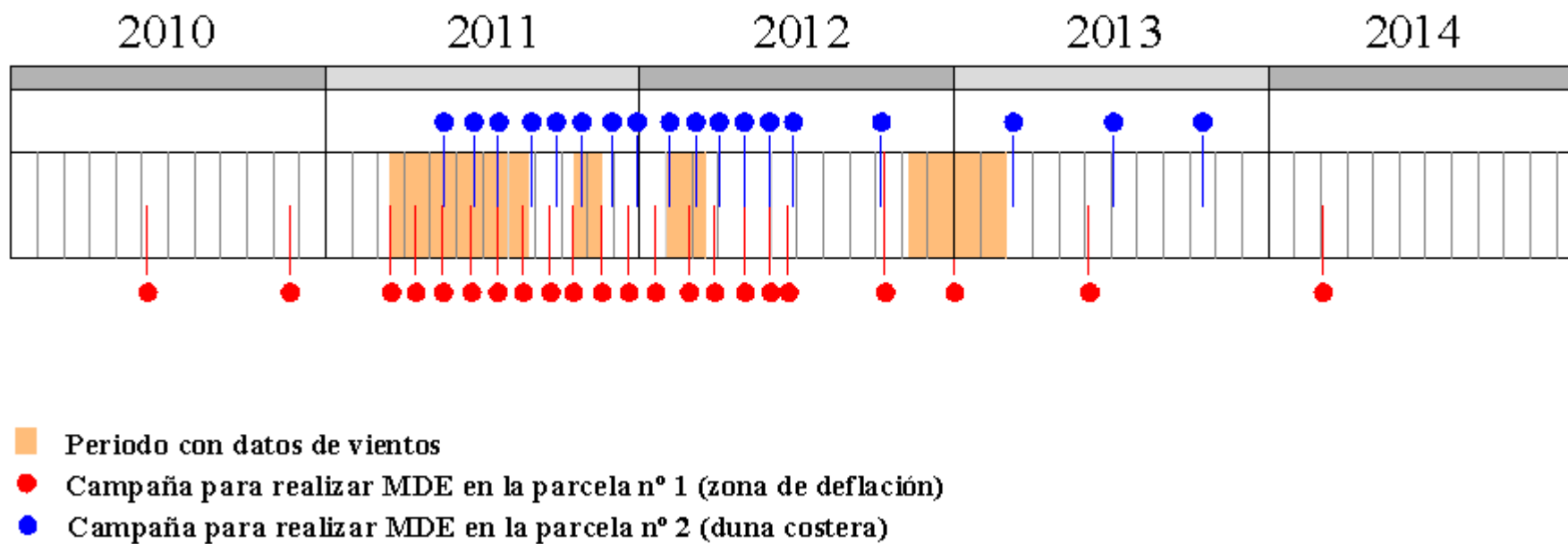
Por lo que respecta a los datos de la estación ubicada en la playa del Inglés, el análisis se centra en la información que aportan los vientos efectivos, es decir, aquéllos con capacidad para transportar sedimentos arenosos por saltación. Este umbral de transporte sedimentario eólico ha sido fijado en 5,1 m/s, teniendo en cuenta las características física del sedimento de Maspalomas (Pérez Chacón, et al., 2007).

Los datos se tratan con el objeto de obtener las velocidades medias de los vientos efectivos, así como el porcentaje de las frecuencias de los vientos, ya sean efectivos o no (figura 142). También se han ajustado a los períodos entre mediciones de campo efectuadas en cada parcela. Se generaron rosas de los vientos efectivos para cada uno de estos períodos (tablas 45 y 46).



**Figura 142:** Rosa de vientos efectivos con velocidades medias (m/s) y frecuencias (%) de todos los datos existentes durante el periodo en el cual se ha desarrollado el estudio.

En la figura 143 se muestran los periodos para los cuales existen datos de vientos. La falta de datos de vientos es motivada por fallos técnicos de la estación meteorológica, al estar ubicada en un entorno muy agresivo para dispositivos electrónicos. También se muestran las diferentes campañas de campo realizadas para la caracterización morfométrica de la duna costera, tanto en la zona de deflación, como en la propia duna costera.



**Figura 143:** Cronológico que relaciona las diferentes campañas realizadas para la generación de los MDEs y periodos en los cuales existen datos de vientos.

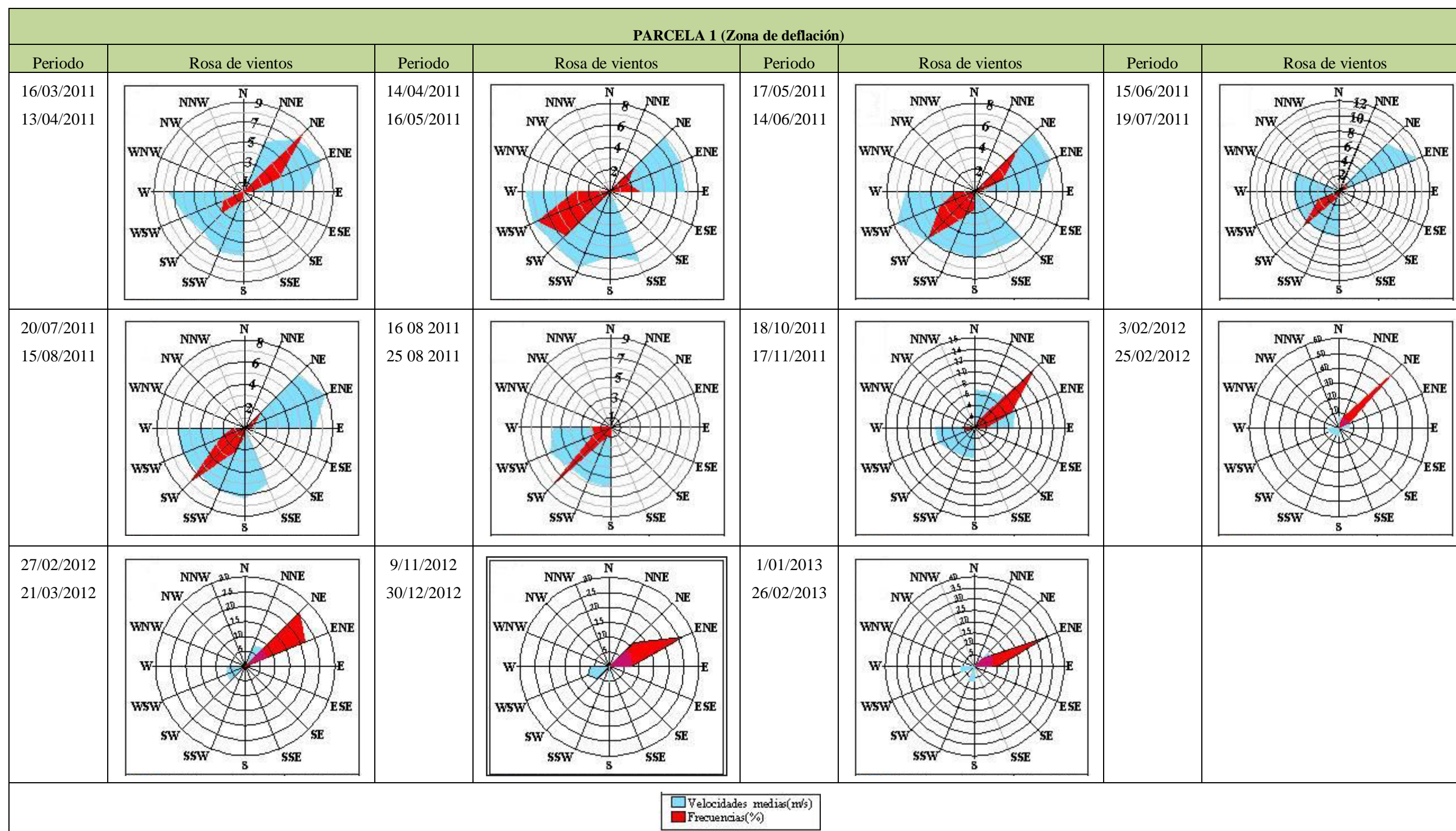


Tabla 45: Rosas de vientos efectivos correspondientes a los periodos en los que existen datos de vientos y coincidentes con las temporalidades de determinados MDEs realizados en la parcela 1.



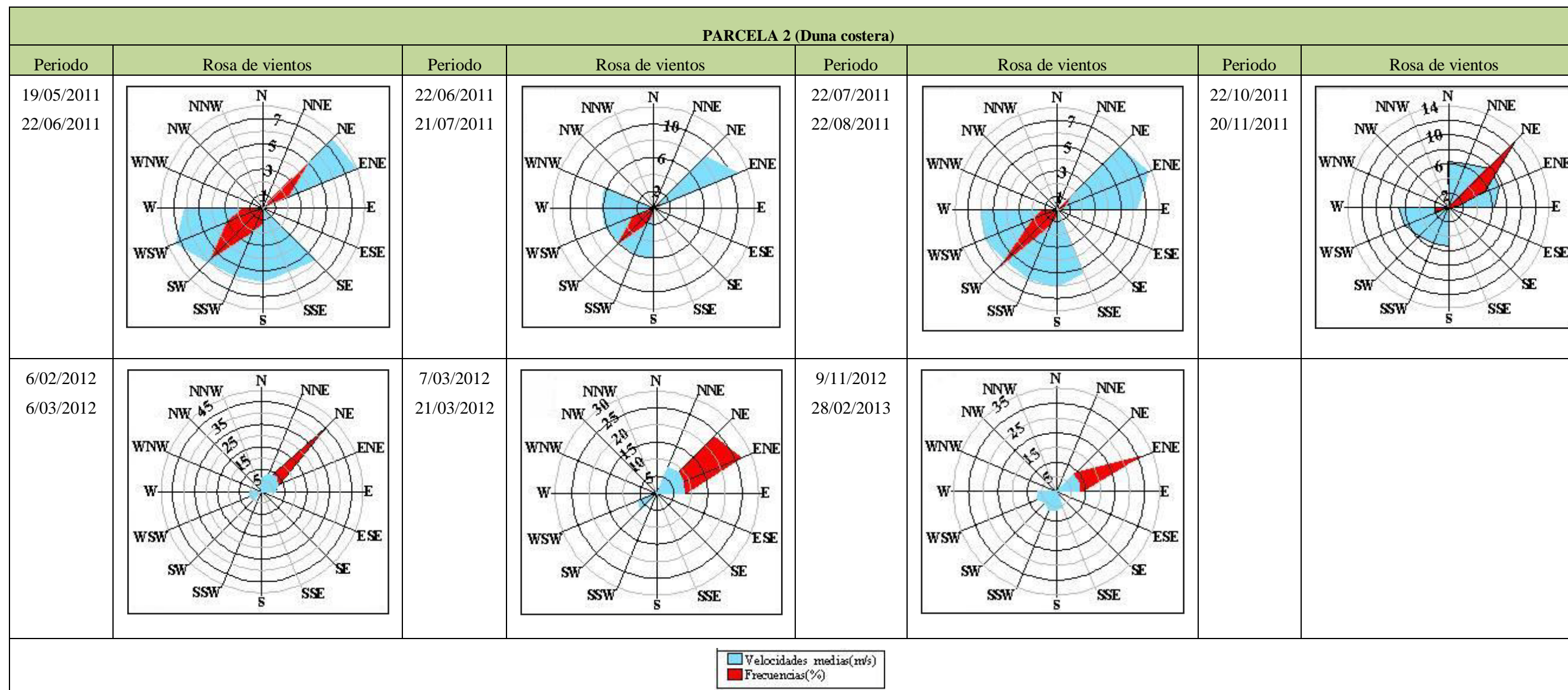


Tabla 46: Rosas de vientos efectivos correspondientes a los periodos en los que existen datos de vientos y coincidentes con las temporalidades de determinados MDEs realizados en la parcela 2.

### 4.1.1.3 Ensayos

Por lo que respecta al trabajo experimental, desarrollado a través de un dispositivo diseñado para este trabajo, su objetivo era conocer en mayor profundidad el funcionamiento a escala detallada de la dinámica eólica en la duna costera. Para ello se captaron simultáneamente registros de datos de viento (dirección y velocidad) y de altitud, con el fin de generar un MDE de una parcela, cuya localización se presenta en la figura 144. El método empleado para la realización del MDEs se desarrolla en el apartado 4.2.



**Figura 144:** Localización de la parcela en la cual se ha realizado el estudio de la dinámica eólica en la duna costera. (X=443880, Y=3069220, en el huso 28R). Fuente: Google Earth.

Para la toma de datos de viento se ha desarrollado un sistema para la captura de los datos en tiempo real en el área de estudio, en colaboración con investigadores de la División de Robótica y Oceanografía Computacional (ROC) del Instituto Universitario en Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería (SIANI) de la ULPGC. Dicho sistema se ha realizado dada la carencia en el mercado de sistemas que cubrieran las necesidades que se requerían para el estudio a bajo costo. Pues se precisaba de un sistema preciso y exacto, que no solo resistiera las extremas condiciones al que iba a ser expuesto, sino que fuera inalámbrico con el objeto de facilitar la movilidad en campo, la señal tuviera largo alcance (hasta 1,5 km), pudiera monitorizaren tiempo real un elevado número (más de diez) de



dispositivos sincronizados a un mismo instante  $t$ , y permitiera enganchar un nuevo dispositivo sin perder la sincronización, entre otras características.

Con los datos obtenidos se ha desarrollado un modelo de viento, que permite estimar el valor de la velocidad del viento (módulo y dirección) en puntos situados a una cierta altura por encima del terreno. Dicho modelo ha sido desarrollado por investigadores de la División de Álgebra Numérica Avanzada (ANA) del SIANI.

#### 4.1.1.3.1 Metodología

El sistema diseñado consta de once dispositivos electrónicos que registran datos (en inglés *datalogger*) de velocidad y dirección del viento. Estos dispositivos tienen la particularidad de enviar los datos de forma instantánea, vía radio, a una estación base, con el fin de poder ser monitorizados en el momento de la toma a través de un software, también diseñado para tal fin. En la figura 145 se muestran los distintos elementos que componen el sistema. Como se puede observar, se compone de dos clases de dispositivos: los **sensores de viento**, propiamente dichos, y la **estación base**.

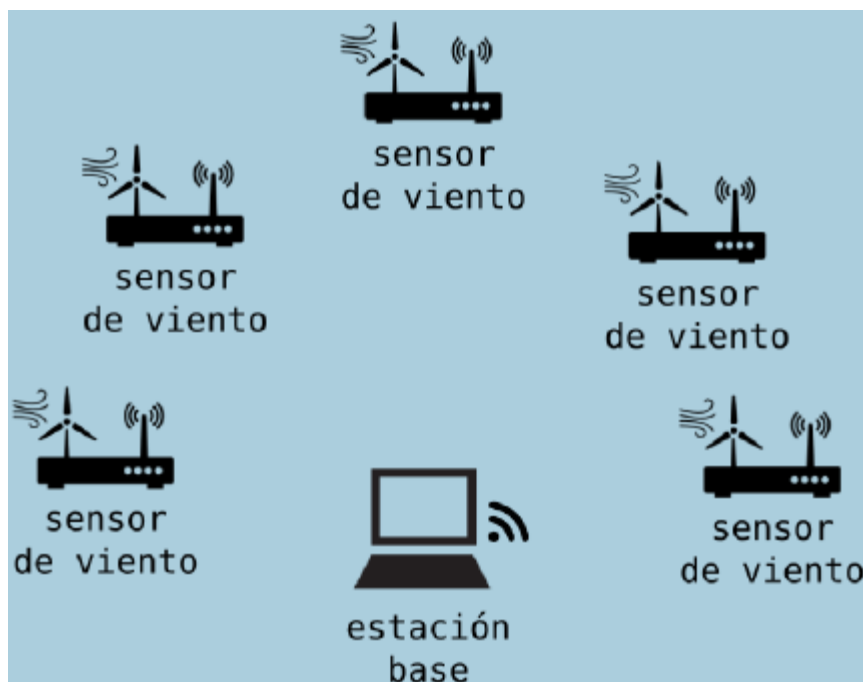


Figura 145: Sistema inalámbrico de toma de medidas de viento.

### Sensores de viento

Los sensores de viento que componen el sistema están conformados por una veleta y un anemómetro, de registro digital, integrados con pequeños dispositivos inalámbricos. Estos dispositivos, cuando se encuentran operativos, almacenan toda la información de las mediciones, y se comunican con la estación base inalámbricamente, con el objeto de que, desde ella, se pueda controlar su funcionamiento durante una sesión de medición de campo. En la figura 146 se puede observar el sistema desarrollado.

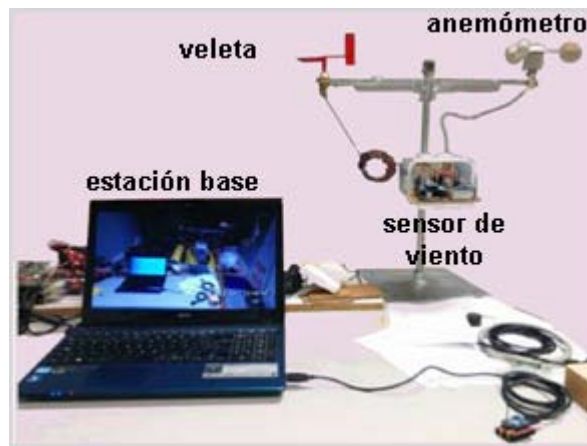


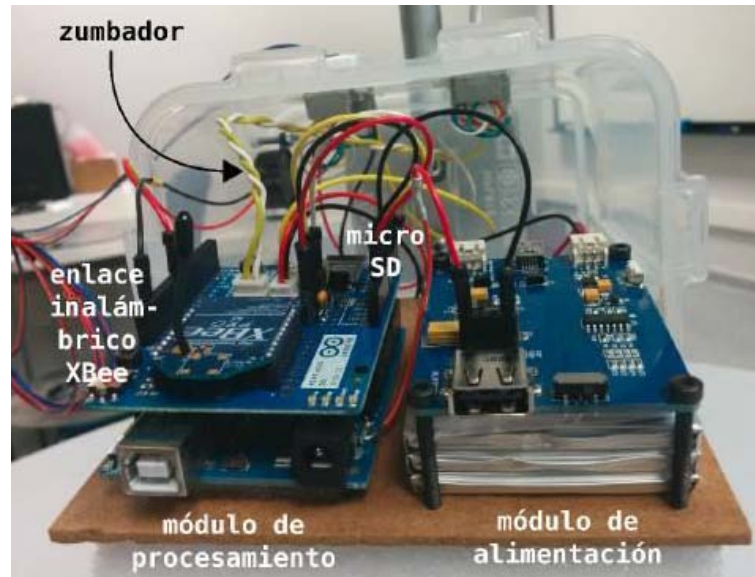
Figura 146: Estación base, *datalogger*, anemómetro y veleta.

El módulo de alimentación está compuesto por un paquete de 3 baterías de 3.7 v. y 6000 m Ah, y una placa Lipo Rider Pro para el control de la carga y descarga de las mismas. El módulo de procesamiento está compuesto de dos placas: una placa de prototipado electrónico Arduino UNO rev. 3 y un módulo inalámbrico *Wireless SD shield*, que permite la conexión de un módulo de comunicaciones radio XBee, así como un soporte para una tarjeta micro SD para el almacenamiento de la información. También integra un zumbador o “*beeper*”, para la notificación de situaciones de error y para dirigir el calibrado inicial durante el despliegue de los sensores en el campo. En la tabla 47 se resumen las características más destacadas del sensor de viento.

Componentes	Descripción
<b>Módulo de procesamiento</b>	
Microcontrolador	Microcontrolador Atmel ATmega328P (16 Mhz, 32 Kb flash, 2kb. SRAM, 1Kb. EEPROM) en el que se ejecuta el software de adquisición de datos de viento, almacenamiento de información en la tarjeta micro SD, así como de comunicaciones con la estación base. Una vez inicializado adquiere información de viento (dirección y velocidad) de manera periódica.
Micro SD	4Gb. (Almacenamiento secundario donde se almacenan durante una sesión de medida todos los datos de viento, así como información de estado durante la ejecución del software empotrado en el sensor de viento)
Enlace inalámbrico XBee	Módulo XBee PRO 60 mW bajo protocolo 802.15.4 con un alcance de 1,6 Km.
Zumbador	Permite la señalización de errores durante el funcionamiento, así como el guiado del proceso de calibrado del sensor de dirección de viento (veleta) en el momento del despliegue del sensor al comienzo de una sesión de medida
<b>Módulo de alimentación</b>	
Baterías	Paquete de baterías LiPo de 3,7v de 6000mAh que proporciona una autonomía de 24 horas aproximadamente
Placa de recarga de baterías	Permite la alimentación del módulo de procesamiento mediante el paquete de baterías, así como la recarga de las mismas mediante conexión directa a la corriente a través de un conector USB, o bien mediante un panel solar
<b>Anemómetro</b>	
	Anemómetro de copa (sensibilidad:2,4 Km/h)
<b>Veleta</b>	
	Veleta basada en un sensor angular analógico US Digital MA3. Al desplegar cada sensor en el campo, y al inicio de cada sesión de medida, es preciso calibrar la veleta con el norte (dicho proceso es dirigido al encender el sensor mediante el zumbador del módulo de procesamiento). Una vez calibrado se aplica a las muestras de dirección del viento un filtro de mediana con una ventana de 7 muestras en el software de adquisición de datos

**Tabla 47:** Detalle de los componentes utilizados para el desarrollo de los dispositivos.

Una visión más detallada de los distintos elementos que componen el *datalogger* se muestra en la figura 147, donde destacan los módulos de alimentación y de procesamiento.



**Figura 147:** *datalogger.*

### Estación base

En la figura 146 se puede observar que la estación base es un ordenador portátil provisto de un enlace inalámbrico con el que comunicarse con los sensores de viento, utilizando para ello un *software* específico que forma parte del sistema de medición. Es posible inicializar y monitorizar una sesión de medición utilizando múltiples sensores inalámbricos, de manera que durante la sesión se pueda supervisar el correcto funcionamiento de todo el sistema. El *software* permite realizar la inicialización de la sesión de forma sincronizada, para que todos los dispositivos inicien la toma de datos en un mismo instante t.

En la figura 148 se puede observar el *software* de monitorización y control de los sensores de viento, que se ejecuta en la estación base. En este caso ha sido configurado el sistema para que los sensores midan con un periodo de muestreo de 2 segundos. En la interfaz visual del *software* se puede verificar si alguno de los sensores ha dejado de transmitir (indicador visual “S”), si la temperatura en el sensor es demasiado alta (indicador virtual “T”) o si la señal recibida correspondiente a los sensores no tiene cambios durante un determinado periodo de tiempo (indicador visual “D”), así como la información que se está recibiendo de cada uno de los sensores durante la sesión de medición, en tiempo real. Por otro lado, durante la sesión, el *software* de monitorización y control también almacena toda la información recibida de los sensores, con vistas a su posterior análisis.



Figura 148: Software de monitorización y control en la estación base del sensor E003, durante una sesión de medición con diez sensores.

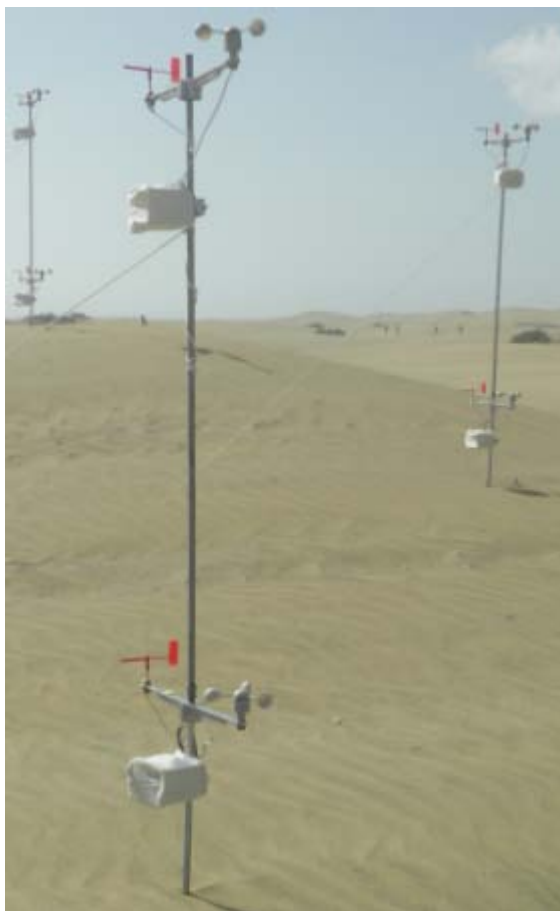
Una vez desarrollado el sistema, se validó con el que posee la AEMET (figura149).



**Figura 149:** Campaña de campo realizada en Pozo Izquierdo (Gran Canaria), para tomar datos de viento con el sistema desarrollado y el que posee la AEMET, con el objeto de verificar la validación del primero.

### **Toma de datos**

La toma de datos tuvo lugar el día 8 del noviembre de 2014. Para la distribución de los dispositivos se realizaron dos diseños, que se presentan a continuación. En ambos casos se ubicaron dispositivos de control a barlovento de las dunas en montículo, lo suficientemente alejados como para que no tuvieran interferencias eólicas con esta geoforma. Durante la campaña de campo se realizó una toma de datos topográficos de la parcela, con el objeto de asociar el MDE derivado con los datos de viento registrados.



**Figura 150:** Vista de dispositivos en la campaña de campo.

### Diseño 1

El ensayo correspondiente al diseño 1 se desarrolló entre las 10,30h y las 12,17h. Se utilizaron cuatro mástiles, que fueron instalados en aquellos sitios que, desde el punto de vista geomorfológico, se consideraban claves. En determinados puntos de la duna costera se ubicaron dos dispositivos a diferentes alturas, con el fin de tener información del perfil de viento, y obtener un mayor conocimiento de la dinámica eólica.

En la Tabla 48 se muestra las coordenadas (UTM) y la altitud con respecto al NNM en el Puerto de la Luz y Las Palmas, así como la cota con respecto al terreno de cada uno de los dispositivos. En la figura 151 se muestra la ubicación de los dispositivos para el diseño 1.



Id_Dispositivo	X(UTM)	Y (UTM)	Altitud	Cota respecto al terreno (m)
1	443871,613	3069222,632	4,45	0,50
2	443865,393	3069220,715	4,86	0,50
3	443868,921	3069225,821	5,83	1,90
4	443881,383	3069224,574	3,47	0,50
5	443860,019	3069220,822	3,17	0,50
6	443868,921	3069225,821	4,43	0,50
7	443866,896	3069215,118	5,67	0,50
8	443865,393	3069220,715	6,26	1,90
9	443901,172	3069228,772	3,05	0,58
10	443901,172	3069228,772	4,37	1,90
11	443866,896	3069215,118	7,07	1,90

**Tabla 48:** Datos de localización y altura de los dispositivos en el diseño 1.



**Figura 151:** Vista de algunos de los dispositivos durante el diseño 1 ubicados en una duna parabólica en Playa del Inglés.



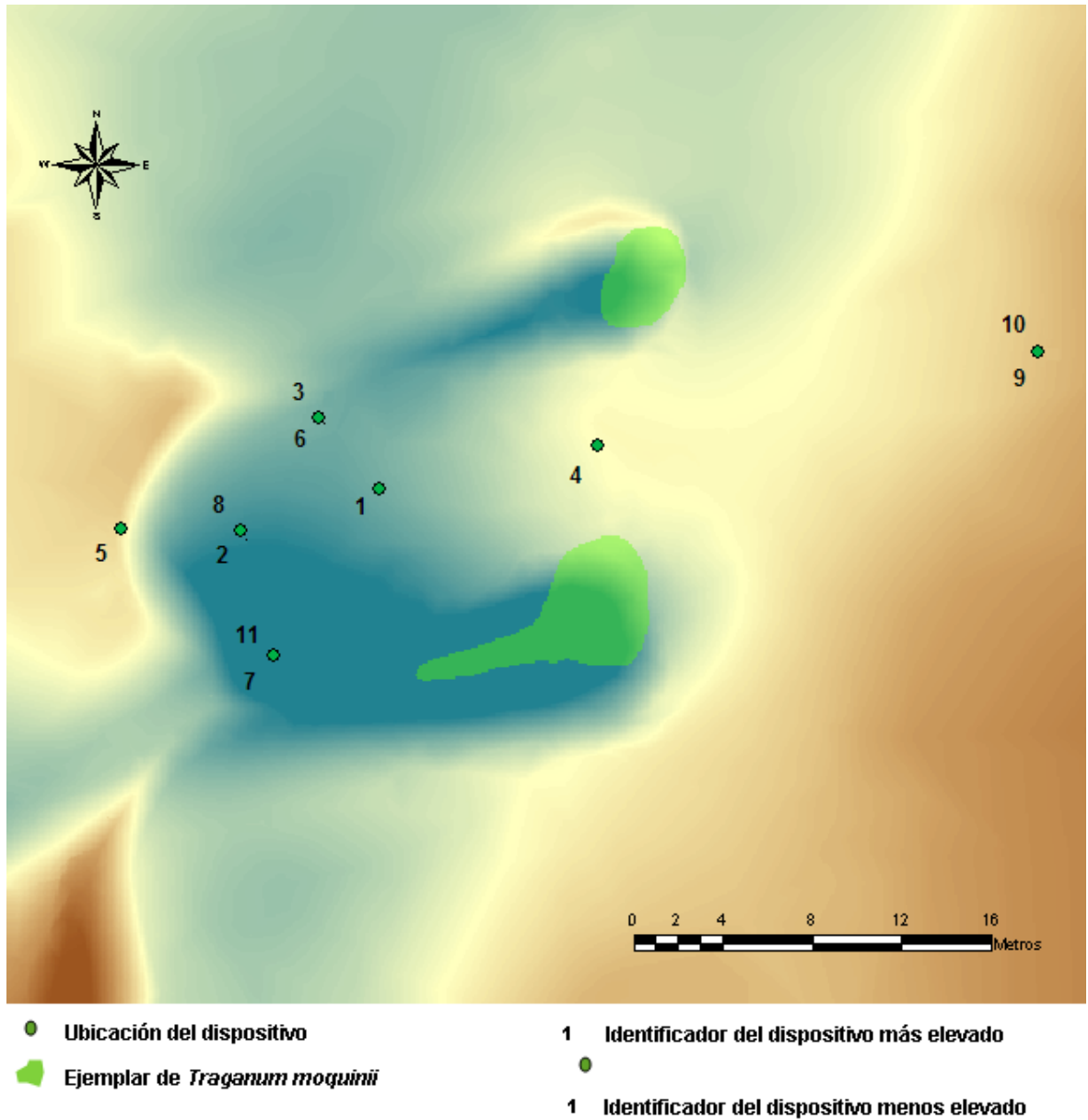


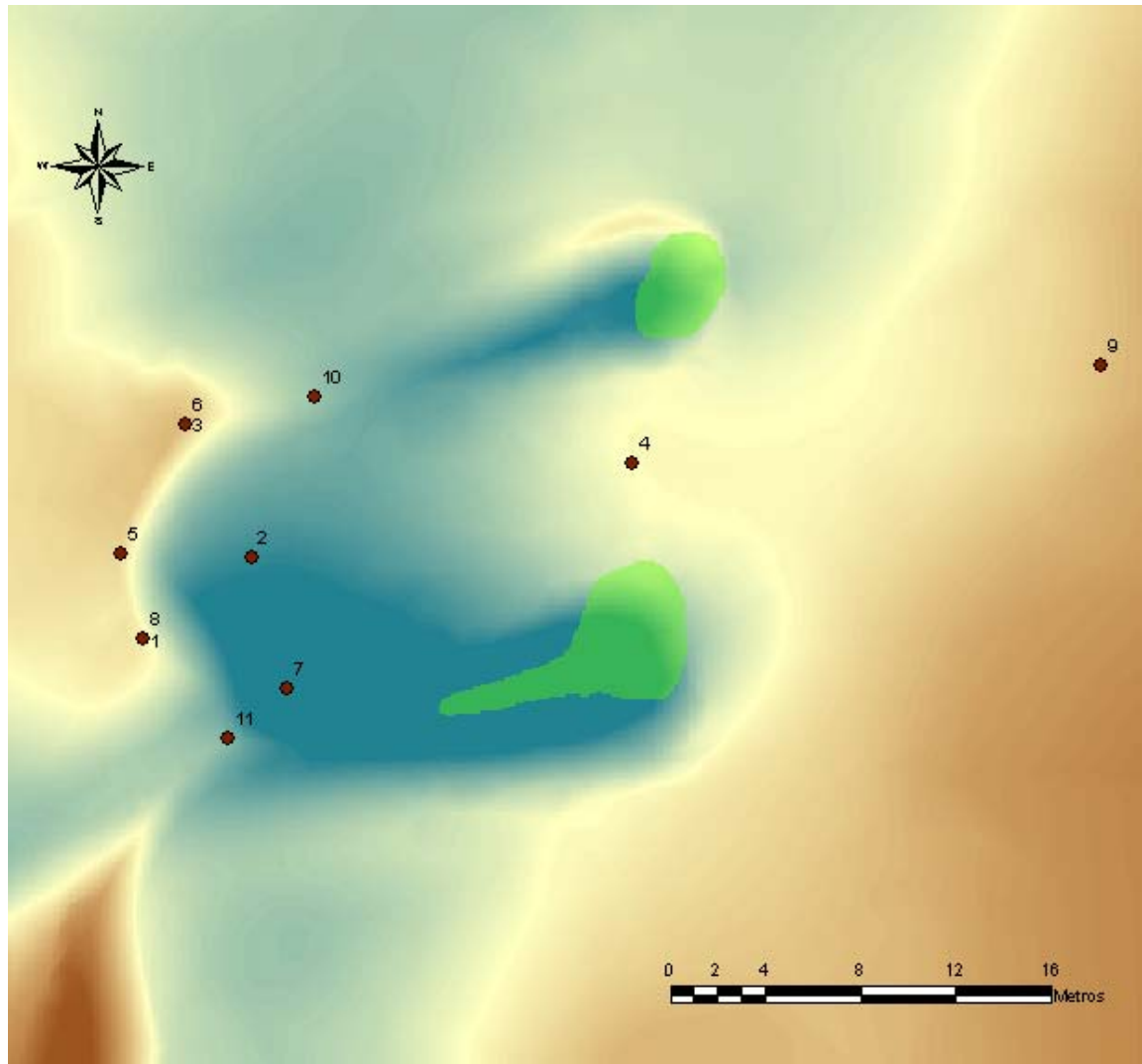
Figura 152: Ubicación de los diferentes dispositivos empleados para el diseño 1.

Diseño 2

El ensayo correspondiente al diseño 2 se realizó desde las 13 h a las 16,38h. En el mismo se dio prioridad al análisis del viento en aquellos puntos que, a priori, representaban inflexiones, tanto en cuanto a la dirección, como a la intensidad del viento. La tabla 49 se muestra las coordenadas (UTM), la altitud con respecto al NNM en el Puerto de la Luz y Las Palmas y la cota con respecto al terreno de los dispositivos instalados.

Id_Dispositivo	X(UTM)	Y (UTM)	Altitud	Cota respecto al terreno (m)
1	443860,808	3069217,213	3,26	0,40
2	443865,377	3069220,706	4,81	0,45
3	443862,589	3069226,298	3,97	1,56
4	443881,386	3069224,595	3,47	0,50
5	443859,917	3069220,810	3,17	0,50
6	443862,589	3069226,298	2,78	0,37
7	443866,874	3069215,133	5,67	0,50
8	443860,808	3069217,213	4,75	1,90
9	443901,172	3069228,772	3,05	0,58
10	443868,054	3069227,449	4,14	0,50
11	443864,411	3069213,071	4,27	0,41

**Tabla 49:** Datos de localización y altura de los dispositivos en el diseño 2.



- Ubicación del dispositivo
- Individuo de *Traganum moquinii*
- 1 Identificador del dispositivo

Figura 153: Ubicación de los diferentes dispositivos empleados para el ensayo 2.



**Figura 154:** Vista de algunos de los dispositivos durante el ensayo 2

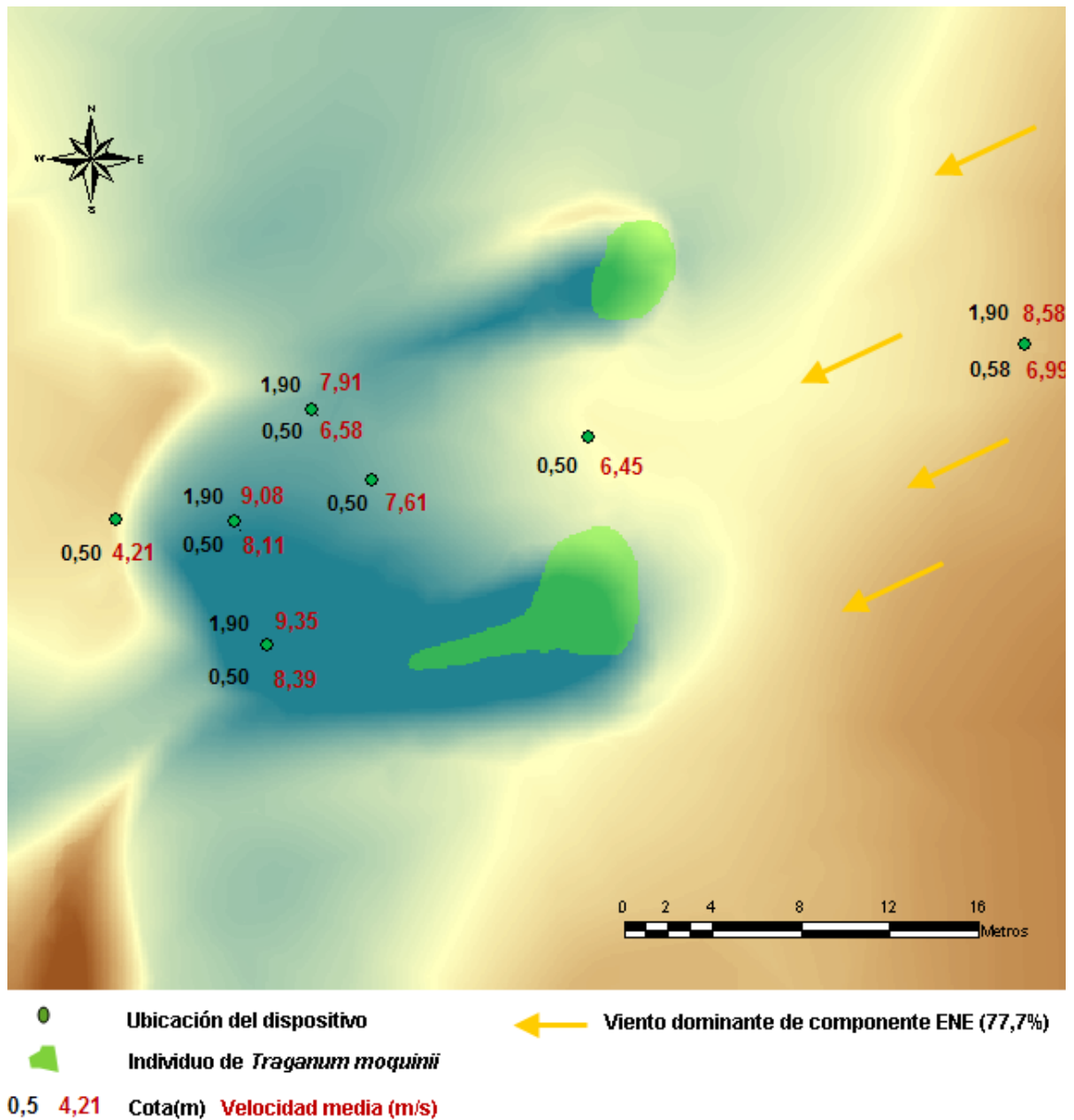
#### 4.1.1.3.2 Resultados

Del diseño 1 se extrae que el 77,7 % de las componentes del viento fue de ENE. El restante 22,3 % de las componentes fueron de diversas direcciones.

A continuación se muestra los valores de las velocidades medias de los vientos obtenidas en los diferentes dispositivos de una población de 3220 registros.

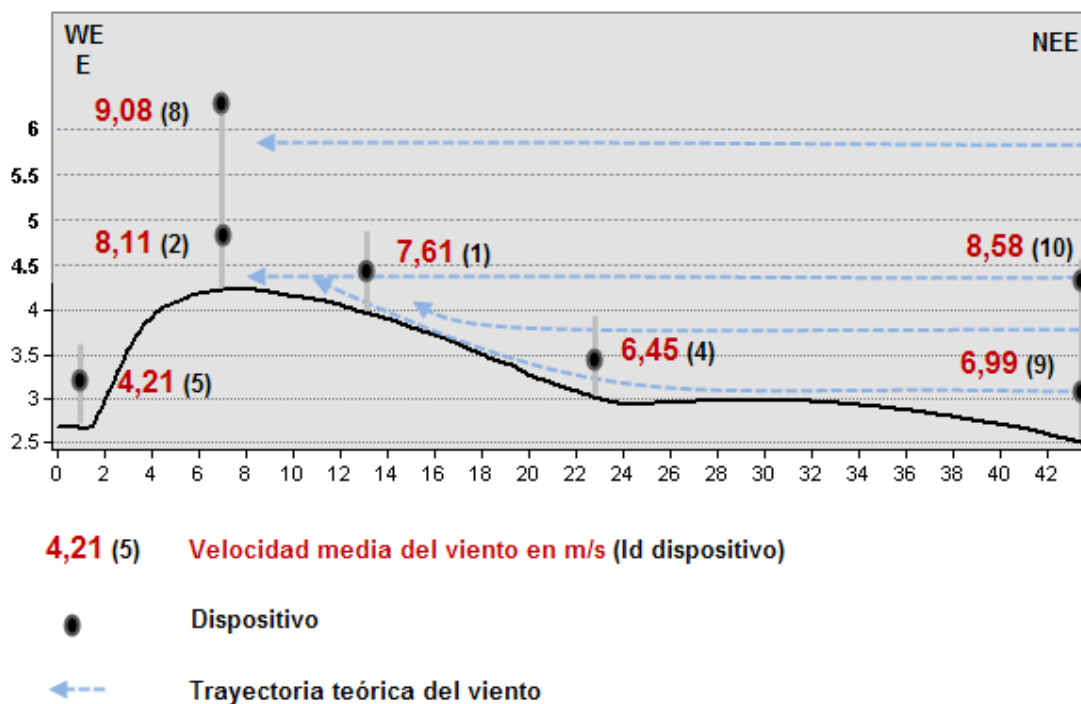
<b>Id_Dispositivo</b>	<b>Velocidad media (m/s)</b>
1	7,61
2	8,11
3	7,91
4	6,45
5	4,21
6	6,58
7	8,39
8	9,08
9	6,99
10	8,58
11	9,35

**Tabla 50:** Valores de las velocidades medias del viento durante el diseño 1.



**Figura 155:** Valores de las velocidades medias registradas en los diferentes dispositivos, y las cotas a las que están los mismos respecto a la superficie del terreno, durante el ensayo 2.

En la figura 156 se puede observar un perfil topográfico del eje longitudinal de la duna parabólica y la disposición de los dispositivos ubicados para analizar la variación del viento a lo largo de dicho eje.



**Figura 156** Perfil topográfico del eje longitudinal de una duna parabólica y los valores de las velocidades medias registradas en los diferentes dispositivos que coinciden con dicha línea, durante el ensayo 1.

Se realizó un estudio del coeficiente de correlación de Pearson, entre los valores del dispositivo de control y el resto de dispositivos.

E Vs E	r	t	df	p-valor
7Vs 10	0.6695726	51.1546	3220	< 2.2e-16
11 Vs 10	0.7270861	60.0958	3220	< 2.2e-16
2Vs 10	0.765314	67.4703	3220	< 2.2e-16
8Vs 10	0.674814	0.6555586	3220	< 2.2e-16
6Vs 10	0.5819627	40.6085	3220	< 2.2e-16
3 Vs 10	0.5136916	33.9747	3220	< 2.2e-16
5Vs 10	0.5627765	38.6335	3220	< 2.2e-16
9Vs 10	0.7858657	72.1122	3220	< 2.2e-16
4Vs 9	0.5591613	38.2719	3220	< 2.2e-16
1Vs 9	0.6812547	52.8079	3220	< 2.2e-16
2Vs 9	0.7149335	58.0226	3220	< 2.2e-16
7 Vs 9	0.7039508	56.2419	3220	< 2.2e-16
6Vs 9	0.6241197	45.3275	3220	< 2.2e-16
5Vs 9	0.513518	33.9591	3220	< 2.2e-16

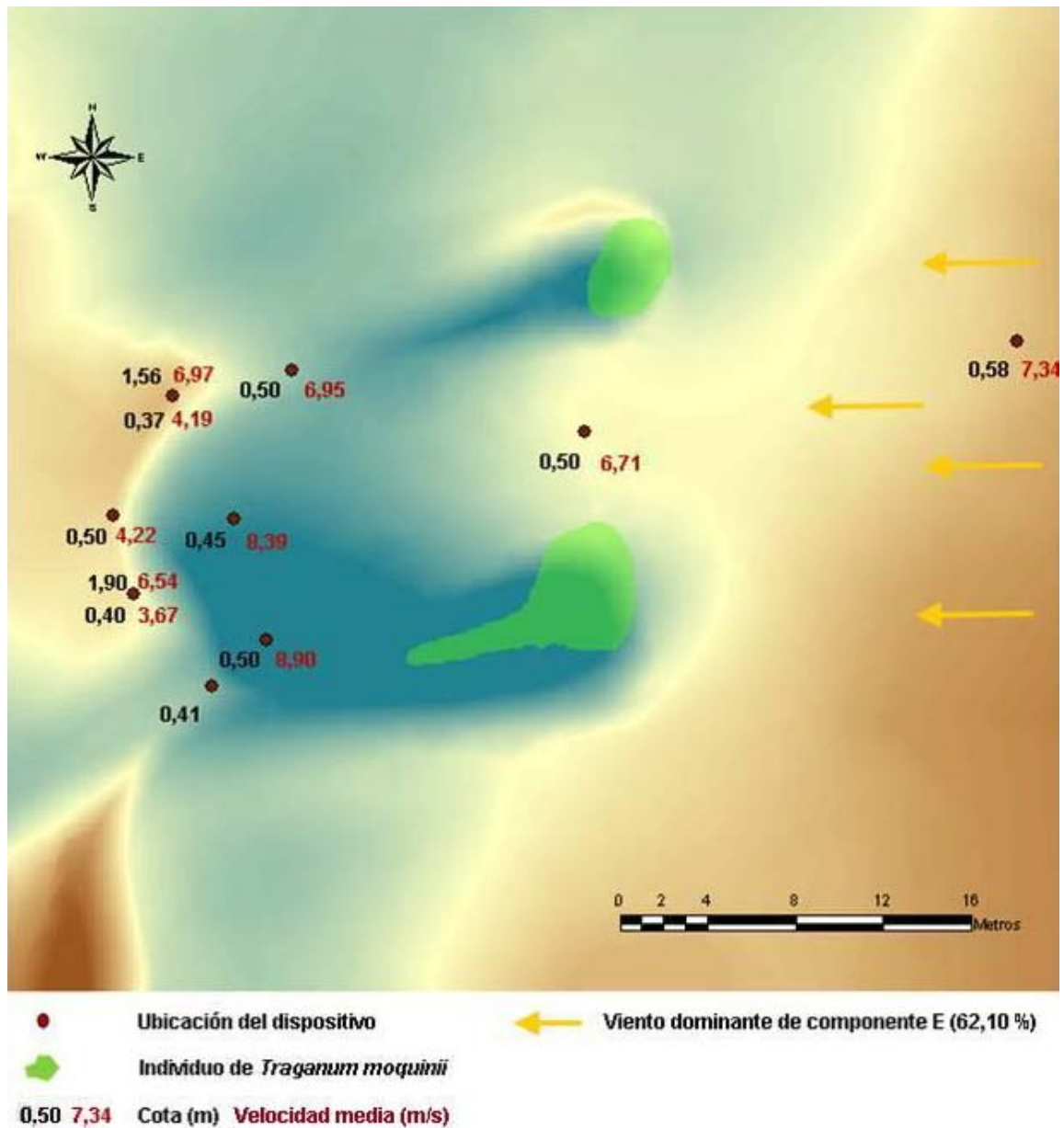
**Tabla 51:** Valores de los parámetros del coeficiente de Pearson entre los dispositivos de control y el resto de dispositivos del diseño 1.

Del diseño 2 se extrae que el 62,10 % de las componentes del viento fue de E, el 11,08 % de ENE, y el 11,78 % fue de ESE. El restante 15,04 % de las componentes fueron de diversas direcciones.

En la tabla 52 se muestra los valores de las velocidades medias del viento obtenidas en los diferentes dispositivos de una población de 6560 registros.

<b>Id_Dispositivo</b>	<b>Velocidad media (m/s)</b>
1	3,67
2	8,39
3	6,97
4	6,71
5	4,22
6	4,19
7	8,90
8	6,54
9	7,34
10	6,95
11	2,71

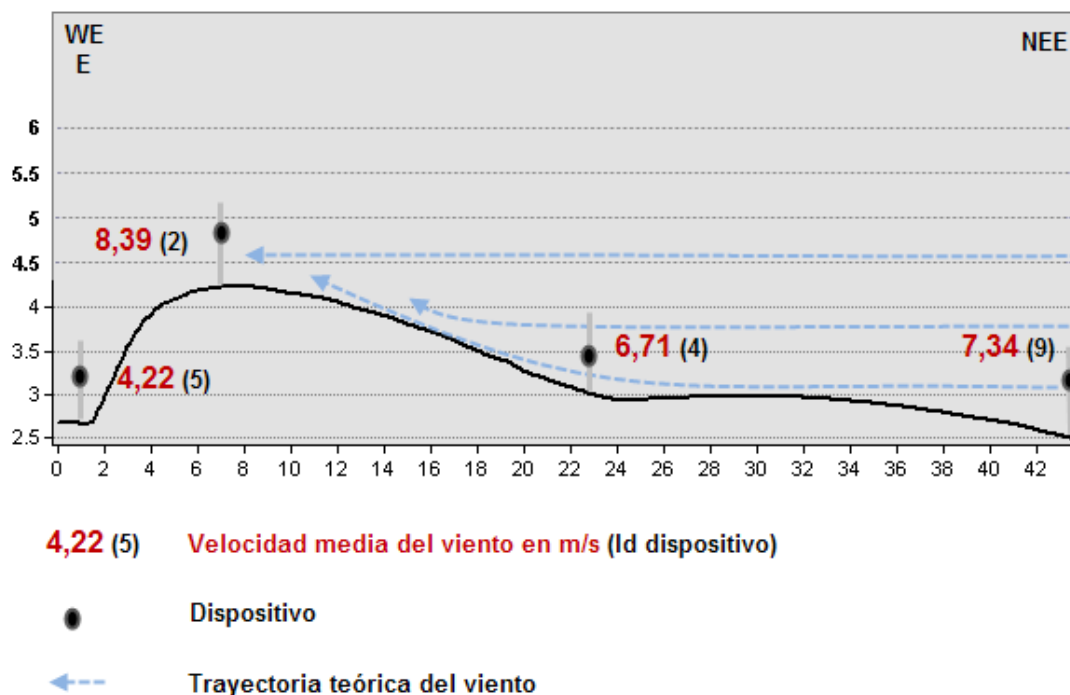
**Tabla 52:** Valores de las velocidades medias del viento tomados durante el diseño 2. .



**Figura 157:** Valores de las velocidades medias registradas en los diferentes dispositivos, y las cotas a las que están los mismos respecto a la superficie del terreno, durante el ensayo 2. .

En la figura 158 se puede observar un perfil topográfico del eje longitudinal de la duna parabólica y la disposición de los dispositivos que coinciden con el mismo para analizar la variación del viento a lo largo de dicha línea.





**Figura 158** Perfil topográfico del eje longitudinal de una duna parabólica y los valores de las velocidades medias registradas en los diferentes dispositivos que coinciden con dicha línea, durante el ensayo 2. .

Para el estudio del coeficiente de correlación de Pearson, entre los valores del dispositivo de control y el resto de dispositivos, se desecharon los registros que correspondían al periodo en el cual el viento cambió de dirección. Es decir de Este a Oeste, ya que en tal circunstancia, el dispositivo de control quedaba en una situación de sombra eólica.

E Vs E	r	t	df	p-valor
4 Vs 9	0.7196268	77.7498	5628	< 2.2e-16
2 Vs 9	0.8309313	112.0404	5628	< 2.2e-16
10 Vs 9	0.6524566	64.5891	5628	< 2.2e-16
7 Vs 9	0.7944934	98.1485	5628	< 2.2e-16
3 Vs 9	0.6460543	63.4974	5628	< 2.2e-16
5 Vs 9	0.4606247	38.9322	5628	< 2.2e-16
1 Vs 9	0.5844854	54.0398	5628	< 2.2e-16
8 Vs 9	0.5026132	43.6154	5628	< 2.2e-16
11 Vs 9	0.2938847	23.0658	5628	< 2.2e-16
6 Vs 9	0.6317681	61.1427	5628	< 2.2e-16

**Tabla 53:** Valores de los parámetros del coeficiente de Pearson entre el dispositivo de control y el resto de dispositivos del diseño 2. .

#### 4.1.2 Simulación de campos de viento

El fenómeno físico del movimiento del aire está gobernado por las ecuaciones de Navier-Stokes (Donea y Huerta, 2003), cuya resolución exacta es impracticable en regiones de geometría complicada, y cuya resolución aproximada mediante el método de elementos finitos es factible, pero compleja. Una forma de simplificar el problema consiste en intentar encontrar un campo de viento que verifique dos condiciones físicas mínimas. La primera es que el aire no atraviese el terreno y la segunda es considerar al aire como un fluido incompresible. Básicamente, esta última condición significa que la cantidad de aire que entra en una región cerrada es la misma que la que sale (conservación de la masa). El modelo matemático de masa consistente trata de encontrar un campo de viento que verifique las dos condiciones anteriores y que, simultáneamente, se aproxime lo más posible a un campo de viento obtenido mediante interpolación de medidas experimentales o valores predichos por un modelo meteorológico en una región de estudio. Este modelo de ajuste se puede resolver mediante el método de elementos finitos (MEF) (Montero et al, 2005; Ferragut et al, 2010).

Por tanto, en primer lugar es necesario definir la región de estudio y realizar una malla de elementos finitos. Para ello, se utiliza la información orográfica de la región, que viene dada mediante un MDE. Sobre una cuadrícula uniforme, este mapa proporciona la cota en metros de cada uno de sus vértices. La malla de tetraedros, necesaria para trabajar con el MEF, se construye automáticamente con la información de la región de estudio y con la precisión introducida por el usuario para aproximar la orografía. En este trabajo se ha utilizado el método del mecano para construir dicha malla (Cascón et al, 2015). Se destaca que la malla queda definida una vez que se fijan las coordenadas de todos los vértices de los tetraedros y los cuatro vértices que posee cada tetraedro.

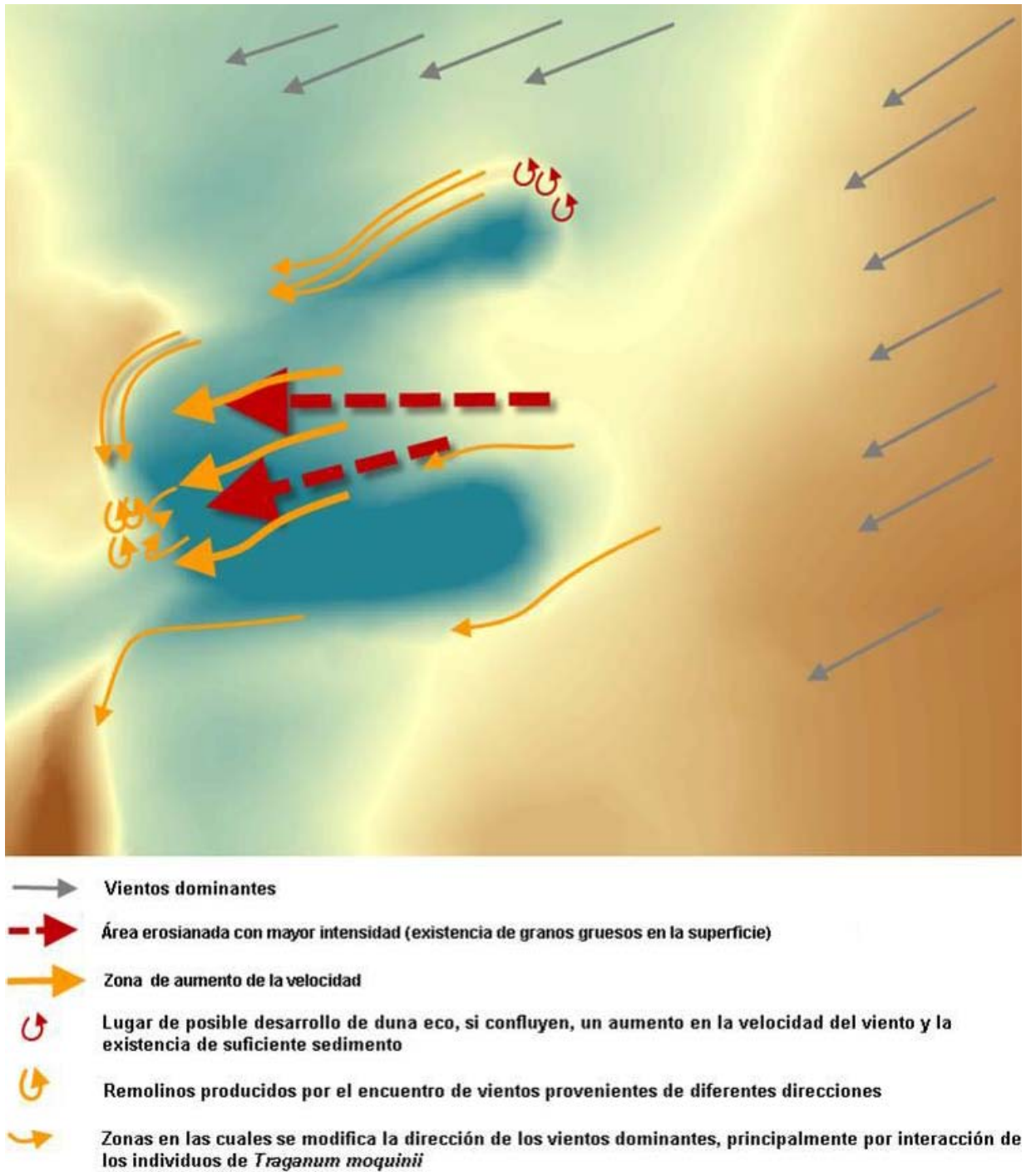
Sobre la malla se resuelve un problema de tipo Poisson, donde la incógnita es un multiplicador de Lagrange que se introduce para resolver el problema del ajuste del campo resultante al campo interpolado. A partir del gradiente del multiplicador se obtiene el campo de viento resultante en cualquier punto de la malla (Montero et al, 2005).

La superficie terrestre prácticamente no ejerce influencia sobre el viento a grandes alturas, pero en las capas más bajas de la atmósfera, debido a la fricción con la superficie del terreno las velocidades del viento disminuyen. Por cual existe una relación inversamente proporcional entre la rugosidad y la velocidad del viento. En los diversos modelos se utilizan diferentes parámetros para introducir los efectos de la rugosidad. Uno de ellos se define como longitud de rugosidad, y esta es teóricamente la altura del suelo donde la velocidad del viento debiera ser nula.

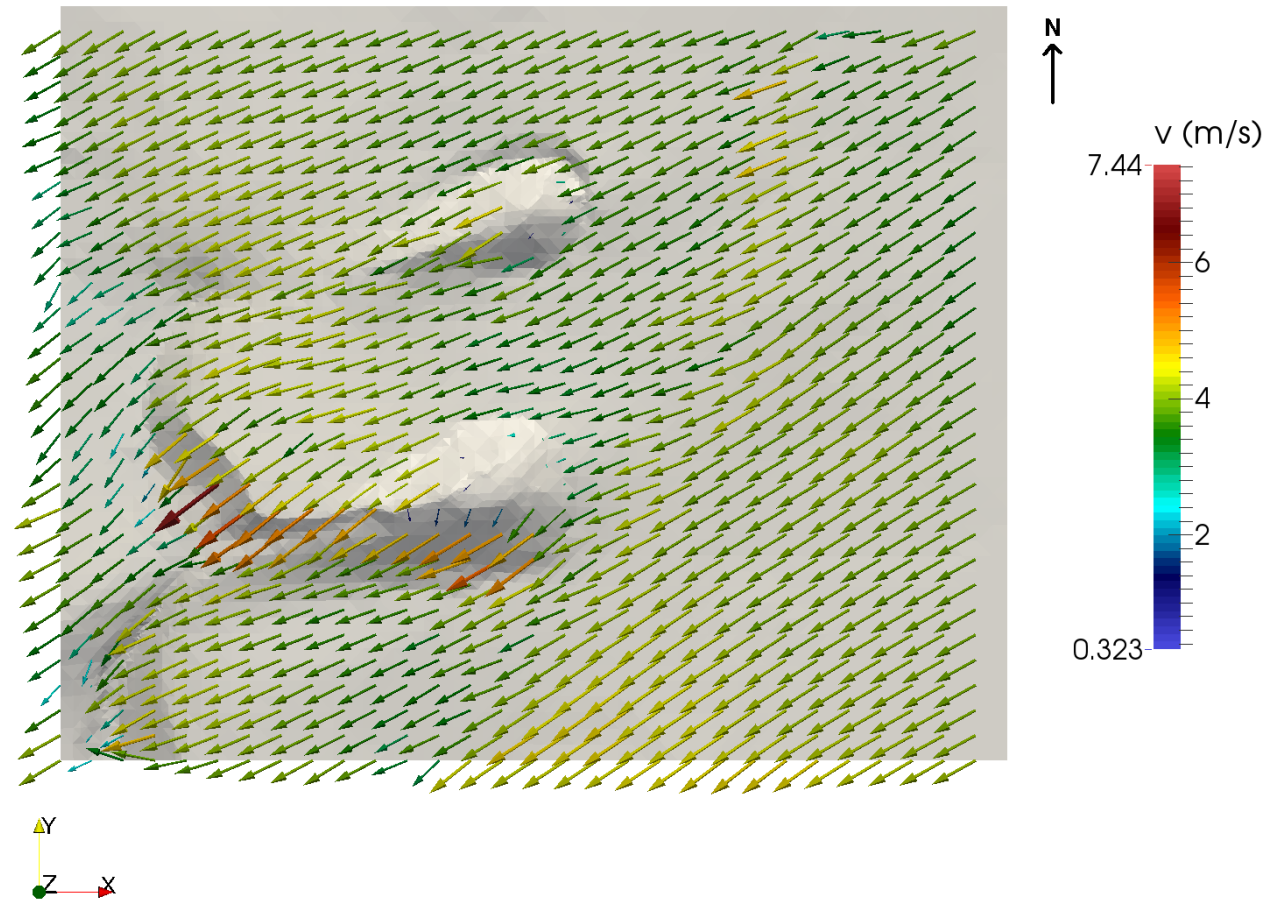
En el modelo utilizado, se ha considerado la altura de rugosidad para la vegetación el valor de 0,01m y para el resto del dominio 0,0025m.

Durante la campaña en la cual se realizó la toma de datos de viento, con los dispositivos desarrollados, se realizó una serie de observaciones de cómo funcionaba la dinámica eólica a ras de suelo en una duna parabólica en el sistema de la duna costera. Esa serie de observaciones se consideran como el modelo observado, con la finalidad de tener una herramienta de validación del modelo a calcular (figura 159).

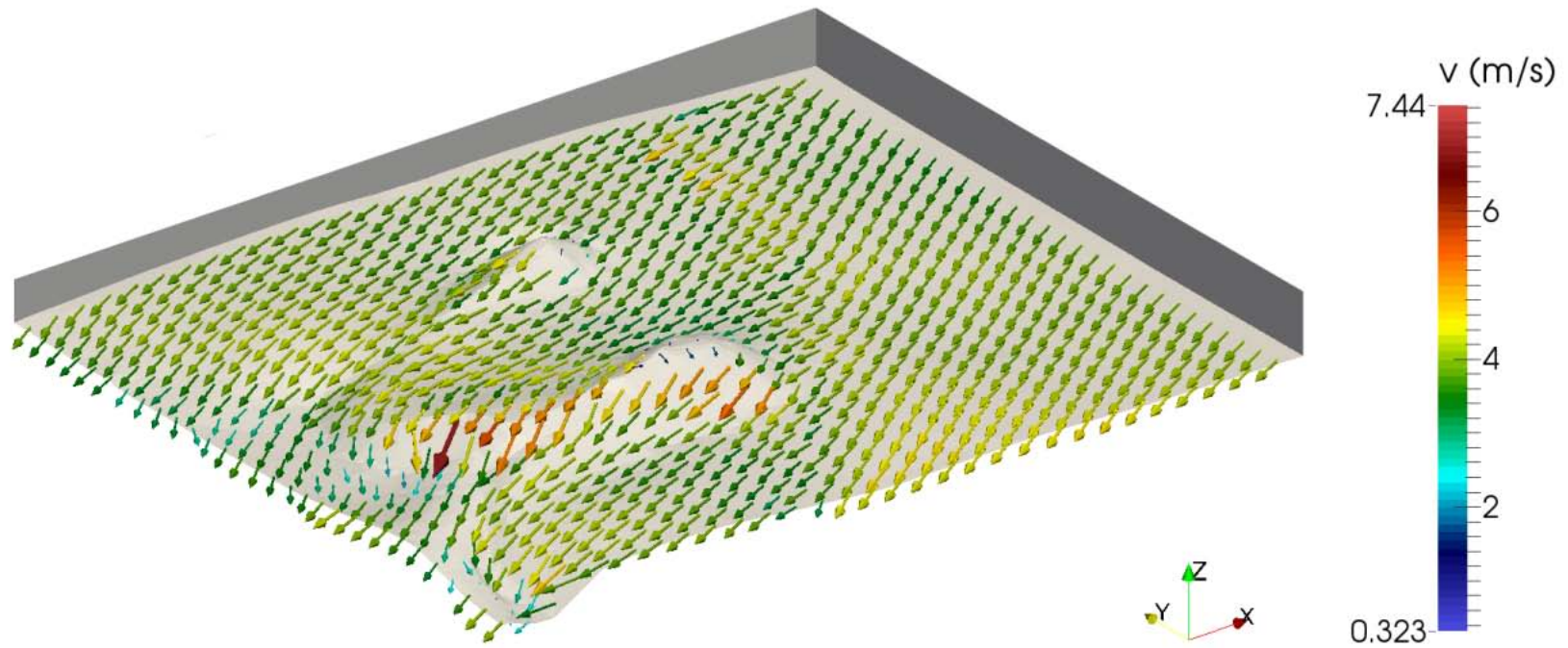
En la figura 160 se observa el resultado del modelo para un determinado instante, a partir de datos obtenidos durante el diseño 1. Durante el mismo la componente del viento predominante fue de NE.



**Figura 159:** Modelo observado, de cómo funciona la dinámica eólica a ras de suelo en una duna parabólica de la duna costera de la Playa del Inglés.

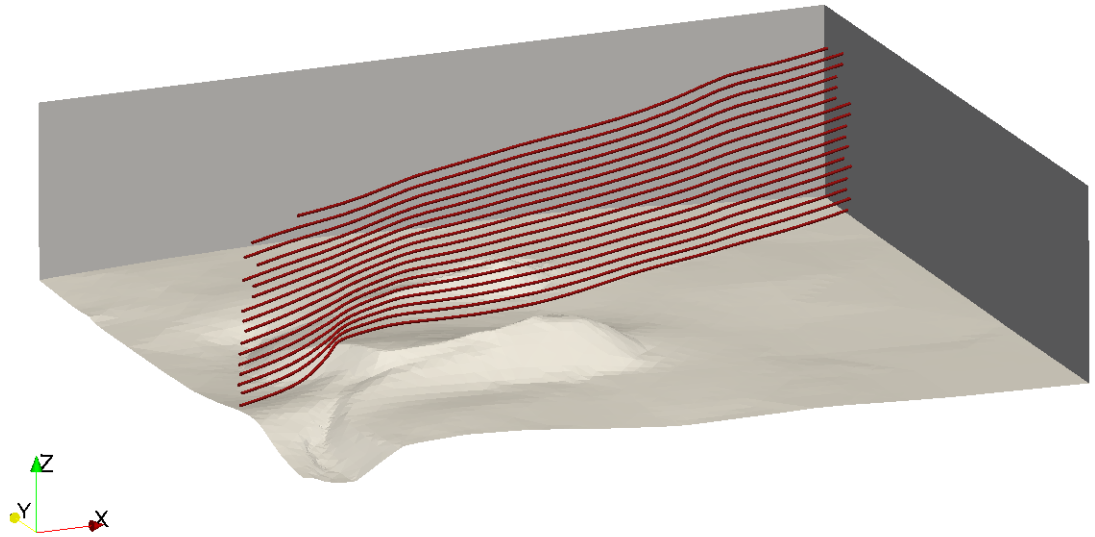


**Figura 160:** Vista cenital del modelo de viento desarrollado para un instante  $t$ , a partir de los datos del diseño 1.



**Figura 161:** Vista en perspectiva del modelo de viento desarrollado para un instante  $t$ , a partir de los datos del diseño 1.

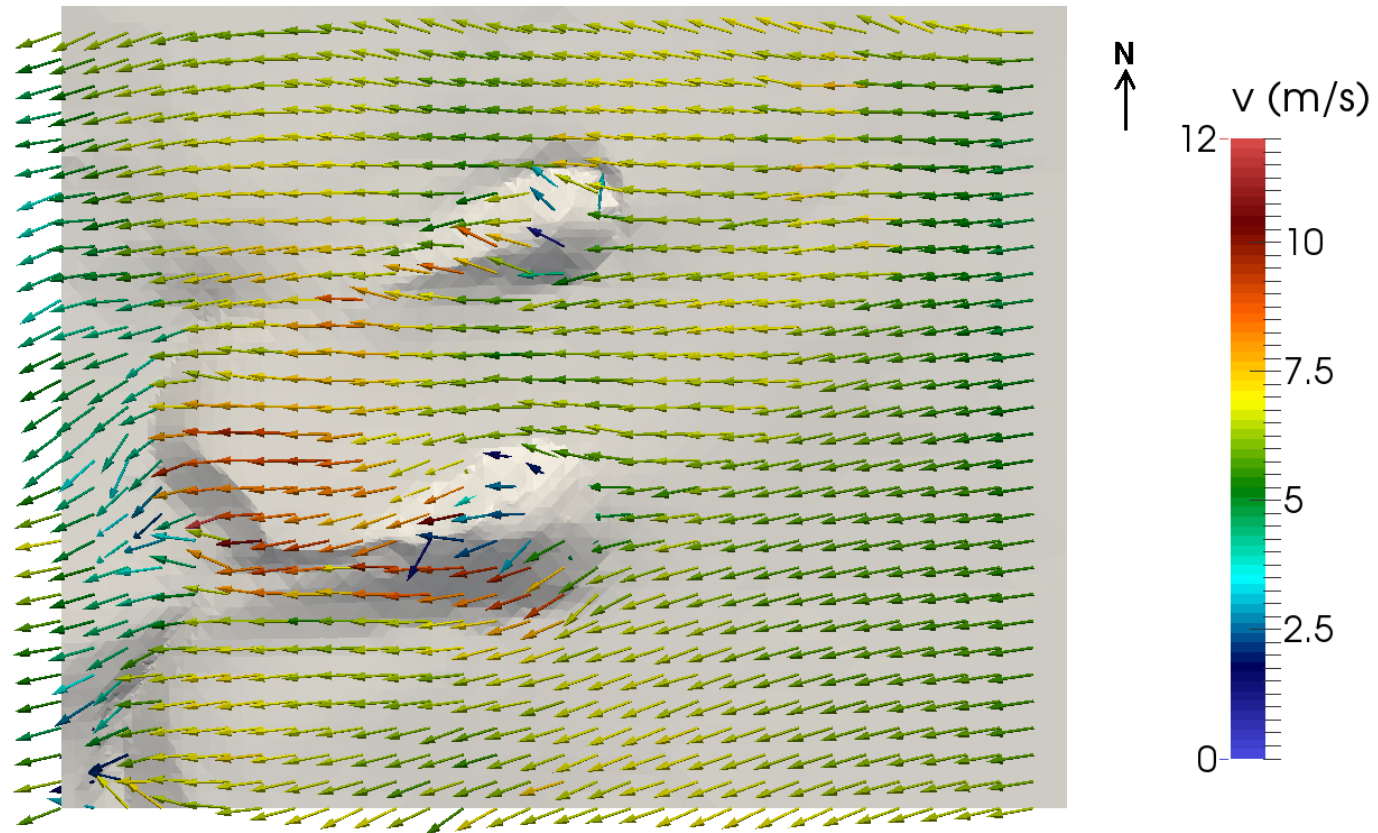
En la figura 162 se observa las líneas de corriente correspondiente al diseño 1. El paralelismo se pierde en la zona próxima a la cabeza de talud. La línea más baja se encuentra a una altitud de 2.7 m y la más alta a 14.0 m.



**Figura 162:** Líneas de corriente del diseño1

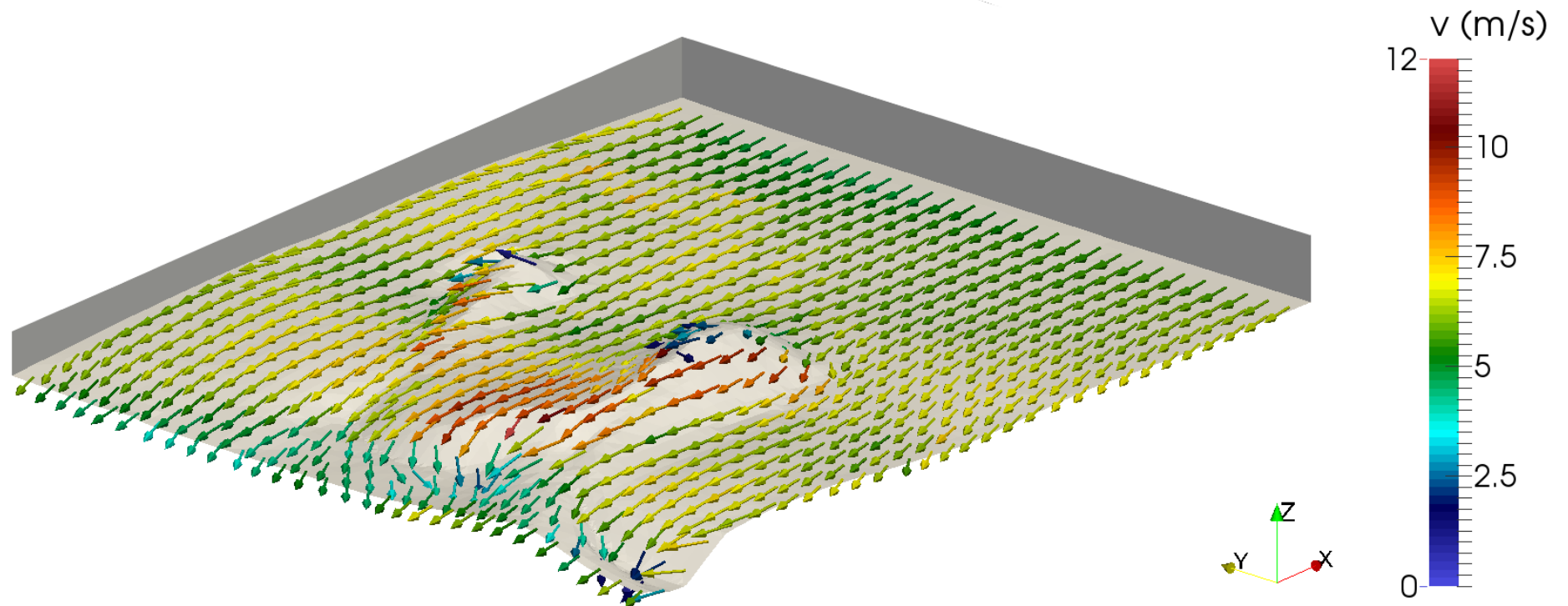
En la figura 163 se observa el resultado del modelo para un determinado instante, en el cual la componente del viento era de E.





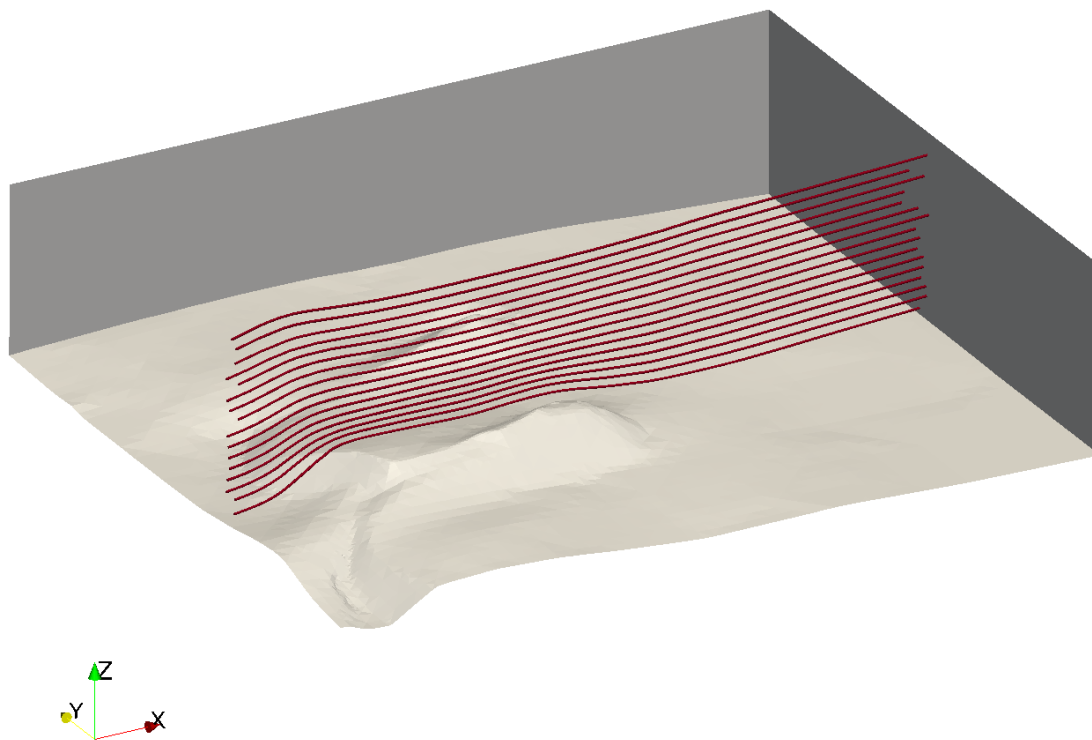
**Figura 163:** Vista cenital del modelo de viento desarrollado para un instante  $t$ , a partir de los datos del diseño 2.





**Figura 164:** Vista en perspectiva del modelo de viento desarrollado para un instante  $t$ , a partir de los datos del diseño 2.

En la Fig. 165 se observa que las líneas de corriente correspondiente al diseño 2 mantienen un cierto paralelismo a lo largo de todo el dominio. La línea más baja se encuentra a 3 m y la más alta a 14.0 m.



**Figura 165:** Líneas de corriente del diseño2

#### 4.1.2.1 Discusión

Considerando los resultados obtenidos, cabe explicar que en el dispositivo de control del diseño 1, punto en el cual se han dispuesto dos dispositivos a diferentes alturas, y sólo interactúa la superficie del suelo, existe una alta correlación positiva muy significativa entre la velocidad del viento a 0,58 m del suelo que ha 1,90 m, siendo esta última 1,227 veces mayor que la primera.

Se aprecia que los datos de los dispositivos que coinciden en la línea del eje de la duna parabólica mantienen una correlación en ambos ensayos, pues los dispositivos 9,4 y 2 del diseño 2 tienen un aumento de velocidades de un 5%, 4,03% y 3,45%, respectivamente, con respecto al periodo en el cual se montó el diseño 1.

Por otro parte, los datos del dispositivo 5, ubicado en el pie de talud, prácticamente coinciden en ambos diseños.

Después de analizar las flechas representativas de los módulos, dirección e intensidad del viento de los modelos calculados en ambos diseños, se aprecia que existe una altísima coincidencia con el modelo observado. Asimismo las zonas en las que se produce una menor coincidencia, son aquellas ubicadas a sotavento de la vegetación. Teniendo en cuenta el concepto de longitud de rugosidad, el modelo establece que, desde la altura definida hacia arriba, no existe objeto alguno que interfiera en el flujo eólico. Tal circunstancia no es real en el área ocupada por la vegetación, pues la misma puede tener una densidad elevada en los primeros 10 cm, que se puede considerar como una velocidad de viento nula. Dadas las características del dosel de *Traganum moquinii*, su densidad va disminuyendo a medida que aumenta en altura, hasta aproximadamente 0,60m. Por ello, a medida que se asciende en altura ocurren dos circunstancias: i) aumenta la permeabilidad al viento, y ii) parte de la energía del viento se transforma en dar movilidad a las ramas, y como consecuencia disminuye la intensidad del viento. Para que los resultados del modelo matemático pudieran reflejar mejor esta circunstancia, habría que colocar una mayor densidad de dispositivos a sotavento y a diferentes alturas alrededor de la vegetación.

## 4.2 MORFOLOGÍA

La incorporación de nuevas fuentes de información y el potencial de las herramientas de análisis espacial en geomorfología litoral se ha incrementado exponencialmente durante los últimos años (Brown y Arbogast, 1999; Stephenson y Branderb, 2003; Mitsova et al., 2005; Saye et al., 2006; Belford et al., 2014)

Los procesos naturales o inducidos, característicos de estos ambientes (retrogradación o progradación de la línea de costa, dinámica sedimentaria eólica, etc.), se desarrollan tridimensionalmente, al conllevar erosión, transporte y sedimentación, que se plasman espacialmente en morfologías específicas, con diferente grado de evolución. Por ello resulta obvia la necesidad de disponer de fuentes de información que obtengan información morfométrica tridimensional con carácter masivo espacialmente y cuasi-sincrónico desde la perspectiva temporal (Ojeda Zújar et al., 2007).

Una de las características de un buen estudio sobre procesos naturales en sistemas muy dinámicos, es que la toma de datos se realice con una alta frecuencia temporal. Es el caso de la dinámica sedimentaria eólica en el sector sur del campo de dunas de Maspalomas, donde las dunas avanzan un promedio de 20 metros anualmente (Hernández, 2000), con picos que llegan a superar los 33 m/año (Pérez-Chacón et al., 2007).

Es por ello que se hace necesario disponer de datos con muy alta frecuencia temporal en el estudio de la duna costera de la playa del Inglés, con el fin de caracterizar las interacciones morfológicas de los individuos de *Traganum moquinii*, y las geoformas que se derivan de esta interacción. En este tipo de contextos se ha revelado crucial la elaboración de modelos digitales de elevaciones (MDEs) de precisión, y su análisis mediante sistemas de información geográfica (SIG) (Ojeda Zújar et al., 2007).

En las últimas décadas se ha extendido el uso de sensores LiDAR aerotransportados para abordar estudios en este tipo de sistemas, en los que se suelen trabajar también ortofotos multispectrales, obtenidas sincrónicamente con los datos LiDAR. Sin embargo, el alto precio de estos productos limita su uso en la realización

de trabajos que deban realizarse con una alta temporalidad. Por ellos es preferible su aplicación cuando se deban trabajar superficies extensas. Trabajos en los que se ha aplicado estos sensores también han sido abordado en el campo de dunas de Maspalomas, estudiándose algunos aspectos geomorfológicos (Vallejo et al., 2009).

Con el objetivo de abaratar costes y mejorar precisiones, en los últimos años se ha venido desarrollando una tecnología basada en fotogrametría de objetos cercanos, con el uso de drones. Sin embargo, presenta limitaciones para ser usada en sistemas con alta reflectividad y textura homogénea, que presenten escaso contraste, como son los sistemas de dunas con una alta composición organógena, por cuanto no permite encontrar puntos homólogos adecuados para la generación de MDEs, salvo en zonas donde puedan haber sombras producidas por el propio contraste del relieve, como son las líneas de rotura definidas por los bordes de las dunas. Independientemente de estos problemas, los precios no son aún lo suficientemente asequibles como para abordar trabajos que requieran de una alta frecuencia temporal de toma de datos en áreas más o menos amplias.

Estos trabajos que requieran de esa alta frecuencia temporal, como es el que nos ocupa, encuentran tecnologías adecuadas en instrumentos de campo, aunque presentan la limitación de requerir un alto esfuerzo personal en la toma de datos. Por ello es preferible reducir el tamaño de las áreas a estudiar cuando se hace uso de estas tecnologías, seleccionado parcelas piloto, representativas de todo un sistema mayor. Tales tecnologías son los LiDAR terrestres, los GPS-D y las estaciones totales. En el caso de los primeros, más conocidos como “*laser scanner* terrestres”, también encuentran una limitación en estos sistemas sedimentarios eólicos por las mismas razones que se explicaron anteriormente, referentes a la limitación de los programas informáticos de restitución fotogramétrica, en relación a la naturaleza organógena de las arenas. Por esta razón, sería necesario trabajar con dianas (*target*), en un número elevado, lo que implicaría irremediablemente el pisoteo de la duna y, por tanto, su alteración morfológica, con cada medición.

Aunque en determinados trabajos se aconsejen el uso del GPS-D como herramienta para la obtención de datos topográficos en sistemas dunares (Rodríguez, 2009), la mejora de las herramientas de las estaciones totales (aumento de la potencia

de laser, entre otras), y de sus programas informáticos incorporados (mayor capacidad y rapidez en toma de datos), así como su abaratamiento en los últimos años, ha aumentado la idoneidad del uso de estos dispositivos para la realización de trabajos de modelización espacializada de superficies relativamente pequeñas, a grandes escalas, con altas precisiones y en superficies en las que abundan geoformas redondeadas, que requieran de un elevado número de datos para una mejor definición de las mismas.

Por estas razones, en este trabajo se utiliza una estación total para la realización de los modelos digitales del terreno que conformarán la base del estudio morfológico.

#### 4.2.1 Metodología

El estudio se ha realizado en dos parcelas situadas en la parte media del sistema, por considerarse ésta representativa de toda la duna costera. Una de las parcelas está ubicada en una zona de deflación a sotavento de las primeras líneas de dunas en montículo, y se ha referenciado como parcela 1; la segunda está ubicada en la propia duna costera, y se ha referenciado como parcela 2 (figura 166).

Las coordenadas UTM del huso 28R del centroide de las parcelas, son aproximadas, al ser polígonos irregulares (tabla 54).

Id Parcela	X (UTM)	Y (UTM)
1	443676	3068821
2	443880	3069220

**Tabla 54:** Coordenadas UTM del centroide de las parcelas estudiadas para la modelización del terreno.

En ambas parcelas se ha realizado estudios cualitativos y cuantitativos.



**Figura 166:** Ubicación de las parcelas en la playa del Inglés

### Cualitativos.

Parcela nº1: se caracterizaron las geoformas que se desarrollaron durante el periodo de estudio, deduciéndose el efecto que dos de *Traganum moquini*, producían al interferir en la dinámica sedimentaria eólica. A su vez se analizó la evolución de un montículo que formado por la interferencia de un ejemplar de esta especie de reducidas dimensiones, ubicado en el lado Oeste de la parcela, alejado de las inferencias de los otros.

Parcela nº2: se caracterizaron las geoformas que se desarrollaron durante el periodo de estudio en la duna costera debido a la inferencia de dos ejemplares de *Traganum moquini* en la dinámica sedimentaria eólica.

### Cuantitativos.

Se cuantificó el volumen de sedimentos transportados durante el periodo de estudio en ambas parcelas, así como el que fue retenido por el ejemplar de *Traganum moquinii* existente en la parcela nº1, a.

Para realizar los levantamientos topográficos, se utilizó la estación total Leica TS06, la cual tiene implementado un dispositivo láser, lo que permite realizar la toma de los puntos sin necesidad de pisotear el terreno, evitándose así la modificación de las geoformas.

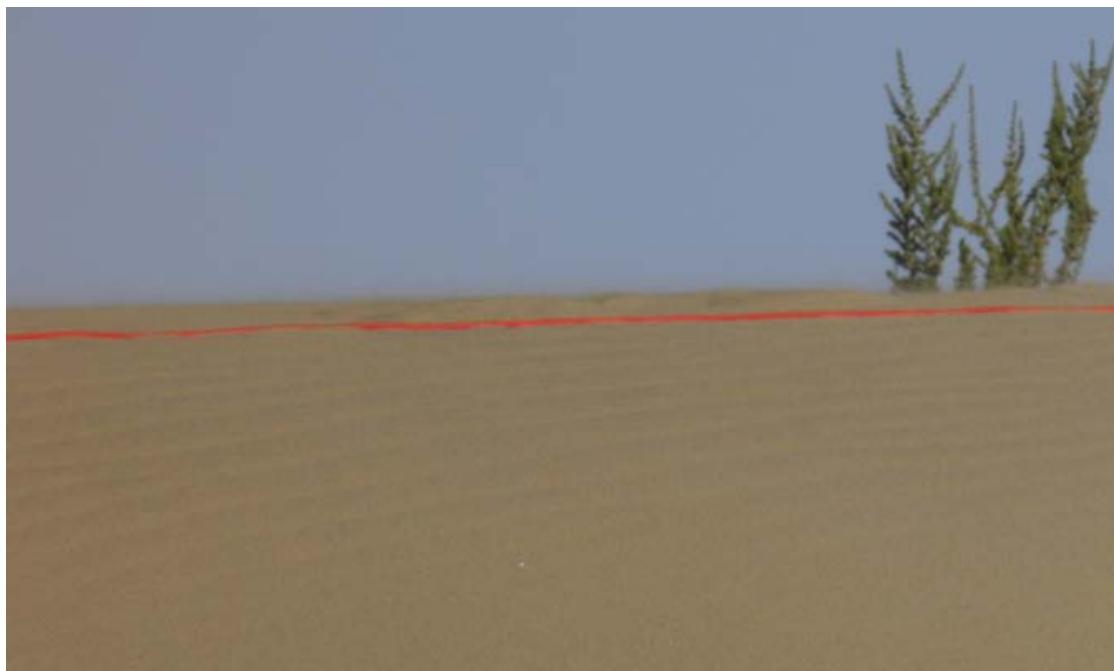
Durante esta etapa fue necesario hacer uso de una cuerda, para facilitar la toma de datos. La misma se ubicó principalmente en las crestas de las dunas que no tuvieran definidas las líneas de rotura. Facilitando de ese modo la definición de los puntos de inflexión de las pendientes desde las visuales de inferiores cotas. Evitando así la duplicidad de datos al cambiar de base la estación total.



**Figura 167:** Cuerda utilizada para señalar los cambios de pendiente.

En algunos casos la cuerda se trasladaba a una cota inferior de la tangente de la pendiente, por el lado en la que esta era mayor, pues si confluían las circunstancias de reverberancias, en horas de mayor insolación, y tomas de datos con ángulos verticales inferiores a  $90^\circ$ , que no permitían que la señal del láser retornara a la estación o retrasaba su retorno, provocando en este último caso un dato erróneo en sus coordenadas.





**Figura 168:** Cuerda desplazada hacia una cota inferior ante la existencia de reverberancias.

A continuación se identifican las diferentes tareas que se han realizado para poder desarrollar el estudio.

### **Toma de datos en campo**

La obtención de los puntos se realizó por el método de radiación. Inicialmente se definió una estación fija, ubicada en un lugar que, a priori, no se vería afectado por los cambios geomorfológicos que pudieran experimentar sufrir las zonas objeto de estudio a lo largo del periodo de duración del trabajo. A partir de la estación fija se determinaron cuatro puntos de referencias para plantear las diferentes estaciones libres, que se consideraron oportunas en cada levantamiento topográfico, dado que el sistema dunar objeto de estudio es muy dinámico, y no permite colocar estaciones estables en las zonas de mayor movimiento sedimentario. El método topográfico seguido en esta fase fue la de una intersección inversa con datos de distancias.

La realización de todo levantamiento topográfico debe planificarse para conseguir que, una vez realizado, la máxima incertidumbre absoluta de los puntos radiados, sea inferior a la precisión. La precisión de un trabajo topográfico viene

dada por la máxima incertidumbre de posición absoluta de la red de menor orden generada, en este caso se trata de la red de relleno. La máxima incertidumbre de posición absoluta de una red, es la componente cuadrática de la máxima incertidumbre de posición relativa de la propia red con la máxima incertidumbre de posición absoluta de la red en la que se apoya.

Una vez realizados todos los cálculos correspondientes resultaron las siguientes precisiones.

$$I_{Aplan(relleno)} = \sqrt{2 * I_{Rplan(relleno)}^2 + I_{Aplan(InterInv)}^2} = 20,00mm$$

$$I_{AAlt(relleno)} = \sqrt{2 * I_{RAlt(relleno)}^2 + \left( \frac{I_{AAlt(InterInv)}^2}{2} \right)^2} = 20,49mm$$

El desarrollo de todos los cálculos se encuentran el Anexo I.

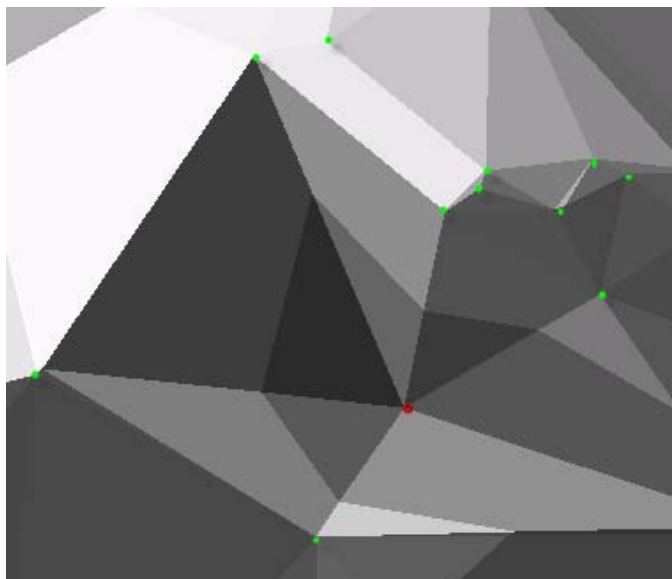
Se tomaron una mayor concentración de puntos en las zonas que lo requerían, para lograr modelos lo mejor definido posible, teniéndose mayor cuidado en las geoformas redondeadas.

### **Tratamiento de datos**

Con los datos obtenidos en campo se procedió a la transformación de la información obtenida para elaborar los diferentes modelados 3D de la zona objeto de estudio. Para ello se utilizó ArcGIS 10. El proceso de transformación se realizó en las siguientes fases:

#### Revisión de los puntos tomados.

Después de cada levantamiento se descargaron los puntos obtenidos y se guardaron en archivos .dxf. Durante este paso se eliminaron los puntos que por cualquier circunstancia no interesaban para el estudio, como aquellos que se tomaron fuera de la parcela, o que por efectos de las reverberancias estaban desplazados. Estos últimos producen normalmente, en la posterior generación de los TINs, falsos huecos en la superficie del terreno.



**Figura 169:** Vista parcial de un TIN, se aprecia el hueco generado en la parte central, donde se localiza un punto (en rojo) desplazado por reverberancias.

#### Realización de modelos MDE.

Los MDE se realizaron mediante redes de triángulos irregulares (TINs, en sus siglas en inglés). El modelo TIN, de estructura vectorial compacta, se basa en la generación de una red formada por triángulos irregulares cuyos vértices son los puntos originales obtenidos para la definición del terreno. La solución para generar el modelo digital se basa en algoritmos que establecen relaciones de vecindad entre los diferentes puntos. Por ello, la veracidad del modelo digital depende directamente de la selección de datos (puntos) que se realice en el terreno.

#### Realización de modelos GRID.

Una vez conformados los modelos anteriores, éstos fueron transformados en modelos GRID. Este modelo, de estructura ráster, representa las entidades geográficas usando celdas, generalmente cuadrados, ordenados, conformando una red regular, esencialmente es como una matriz bidimensional (filas y columnas) cuyo origen se sitúa en el extremo superior izquierdo. El mínimo valor en la que se descompone dicho ráster es el píxel, que almacena tres tipos de variables (X, Y, Z). Así el modelo de datos ráster se centra más en las propiedades y variaciones de las

variables en el espacio que en la representación discreta de los elementos que lo conforman. (Sanz Santos, 1996).

Se realizaron leyendas con tintas hipsométricas, donde cada color representa un aumento o disminución de 0,25 en la altitud del terreno. El paso de malla del GRID es de 0.10 m.

#### Realización de gráficos con los perfiles

Los datos de los perfiles se obtuvieron mediante el software ArcGis 10, y el tratamiento de los mismos en el software Excel.

#### Análisis comparativos.

Se realizaron dos tipos de análisis comparativos: entre los perfiles y entre los GRIDs generados. Las comparaciones entre perfiles se realizaron de forma gráfica, para lo que se eligió un software CAD. Por su parte, las comparaciones entre GRIDs se abordaron mediante ArcGis 10. Para ello se emplearon operadores matemáticos de superposición, cuyo resultado es un nuevo GRID en la que cada celda contiene el valor resultante de aplicar la operación especificada a los valores de los GRIDs de entrada. En este caso se utilizó la resta, con la herramienta *Minu*, entre pares de GRIDs, empezando por aquel que correspondía al primer levantamiento. También se utilizó la herramienta *Cut Fill* con el fin de determinar las zonas de ganancias y pérdidas correspondientes a cada resta.

#### **Materiales**

Por lo que respecta a los materiales utilizados en esta tarea, se emplearon diferentes materiales en las dos parcelas, que se describen en sus apartados correspondientes. No obstante, de forma común se colocaron carteles en los que se solicitaba la colaboración de los usuarios de la playa (figura 170).



Figura 170: Modelo de cartel colocado en las estacas.

#### 4.2.2 Parcela N° 1

El lugar seleccionado para la parcela se determinó por diversas circunstancias, entre las que cabe destacar el hecho de que el ejemplar de *Traganum moquinii* que ahí se encuentra estaba en crecimiento, asociada una duna de tamaño pequeño. Además, el conjunto está ubicado detrás de las primeras dunas en montículo y de la playa, por lo que se encuentra alejado de las zonas destinadas a hamacas, sombrillas, y retirado del flujo masivo de usuarios. Por ello se estimaba un mínimo riesgo de interacciones derivadas de actividades antrópicas, durante el periodo de estudio.



**Figura 171:** Ubicación de la parcela nº 1 y subparcela. Fuente: GRAFCAN S.L.

La parcela ocupa una superficie de 1320,7 m<sup>2</sup>. Dentro del área de estudio, se limitó una subparcela alrededor de un ejemplar de *Traganum moquinii*, la cual ocupa una superficie de 158,8 m<sup>2</sup>. A priori se considera que dicho ejemplar no estaba bajo interferencias eólicas derivadas de otras geformas, al no existir montículos próximos. Tan sólo existía un individuo de *Traganum moquinii*, con su consiguiente acumulación eólica a 13 metros en dirección SW.



**Figura 172:** Límites de la Subparcela, definidos en los vértices por estacas.

La parcela, en la fecha de inicio del estudio, el 7 de junio de 2010 se encontraba en medio de una zona de deflación.



**Figura 173:** Vista cenital de la zona de estudio el 14-3-2010. Fuente: GRAFCAN S.L.

Por el lado E avanzaba una duna de altura media, que había retrocedido por la acción de vientos de componente SO, obsérvese en la figura 174, las características geoformas que se desarrollan cuando ha habido vientos de componentes contrarias a las dominantes, con crestas invertidas y acumulación sedimentaria en la cara NE del ejemplar de *Traganum moquinii* existente en la subparcela.



**Figura 174:** Estado de la zona objeto de estudio el 13-5-2010.



A partir de esa fecha la duna comienza su avance hacia el interior del sistema transportada por los vientos de componente E-ENE.



**Figura 175:** Estado de la zona el 18-11-2010.

A partir del 29 de noviembre de 2010 la duna retrocede de nuevo por la influencia de vientos de componente SO, originados por el paso de un temporal. Al no haber registros meteorológicos de dicho evento, se plasma en este documento lo recogido por el diario ABC (2010) sobre el mismo:

El consejero de Seguridad del Ejecutivo autonómico, José Miguel Ruano, fue el encargado ayer de anunciar en una rueda de prensa en Santa Cruz de Tenerife, que el Gobierno de Canarias había suspendido las clases de todos los centros educativos —públicos, privados y concertados— de Canarias, de acuerdo con la activación del Plan Específico de Protección Civil y Atención de Emergencias por Riesgos de Fenómenos Meteorológicos Adversos (PEFMA) en su nivel de alerta máxima por fuertes vientos. En relación con las universidades, Ruano confirmó que la Universidad de La Laguna había anunciado la suspensión de clases, mientras que la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, que lo estaba valorando «dado que el pronóstico no es tan grave en la zona noreste de Gran Canaria, como en la zona suroeste.

A partir de esa fecha, considerando las geoformas existentes en el mes de marzo, se deduce que hubo alternancia en la dirección de los vientos, pues aunque se aprecia un mínimo avance motivado por vientos de componente NE, las crestas invertidas indican la persistencia de vientos de SO.





**Figura 176:** Estado de la zona el 13-4- 2011.

### **Materiales**

La parcela fue delimitada por estacas, las cuales se colocaron en los vértices que definían los límites de la misma. Para ello se solicitaron los permisos correspondientes al Cabildo Insular de Gran Canaria. Las estacas, de 2 m de longitud, fueron realizadas en madera de 70 mm de diámetro con tratamiento en autoclave. Las mismas se dejaron visibles sobre la superficie 1,30m. Cada 10 cm se pintaron franjas de 10 cm de longitud, con la finalidad de poder saber de forma rápida y visualmente, el nivel de las mismas en caso de enterramiento (figura 177).



**Figura 177:** Estacas con carteles preparadas para su colocación en la parcela objeto de estudio.

Para la colocación de las estacas se utilizó una barrena construida para tal fin, dada la imposibilidad de encontrar en el mercado especializado una que tuviera un grosor similar a las estacas de madera empleadas.



**Figura 178:** Realización de hoyos con barrena para la colocación de estacas.

### **Estación y perfiles**

Las coordenadas U.T.M de la estación fija definida para la realización de los diferentes MDE son;  $X=443663,7273$  e  $Y=3068796,1472$  en el huso 28 y en el ITRS 93. La  $Z=1,400$ , referidas NMM en el Puerto de la Luz y Las Palmas, tomadas mediante un dispositivo GPS.

Con el objeto de tener mayor información, para poder realizar un mejor análisis de la evolución de la movilidad del sedimento asociado al crecimiento del individuo de *Traganum moquini*, se realizaron dos perfiles; el primero longitudinalmente, en sentido de la dirección de los vientos dominantes, alisios con una desviación hacia el (Hernández, 2000), y el segundo transversal al primero.

El punto de intersección de los mismos coincide con la ubicación del individuo de *Traganum moquini*.

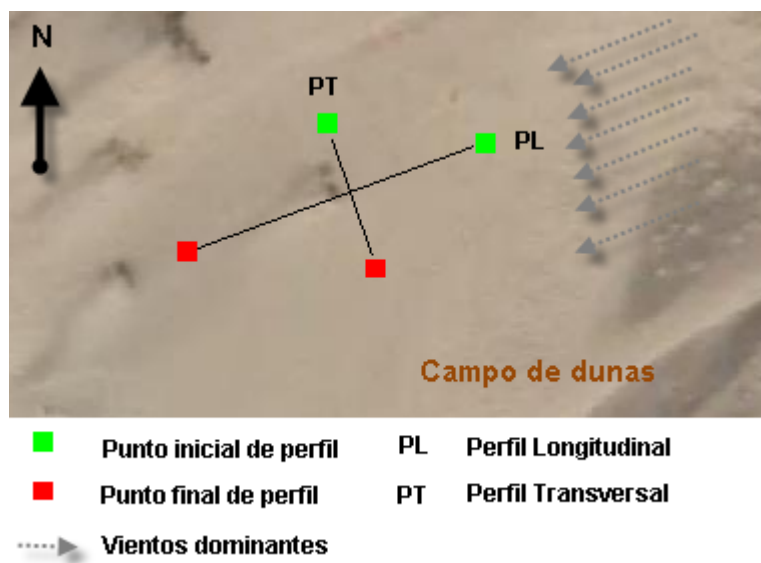


Figura 179: Ubicación de los perfiles.

#### 4.2.2.1 Resultados

Se realizaron un total de 22 MDEs. Las fechas de realización de los diferentes MDEs se muestran en la tabla 55.

ID	FECHA	ID	FECHA
1	7 Junio 2010	12	18 Diciembre 2011
2	18 Noviembre 2010	13	22 Enero 2012
3	16 Marzo 2011	14	26 Febrero 2012
4	13 Abril 2011	15	25 Marzo 2012
5	16 Mayo 2011	16	30 Abril 2012
6	14 Junio 2011	17	29 Mayo 2012
7	19 Julio 2011	18	20 Junio 2012
8	15 Agosto 2011	19	12 Octubre 2012
9	15 Septiembre 2011	20	30 Diciembre 2012
10	16 Octubre 2011	21	4 Junio 2013
11	17 Noviembre 2011	22	2 marzo 2014

Tabla 55: Fechas de la realización de los MDE realizados en la parcela 1 de la playa del Inglés.

#### 4.2.2.1.1 MDEs generados

Se exponen en este apartado los MDEs que, desde el punto de vista morfológico, se consideran más interesantes para el seguimiento de la dinámica sedimentaria eólica y la relación entre ésta y el ejemplar de *Traganum moquinii* objeto de estudio, y de las morfologías derivadas de su interacción. Estos corresponden a las siguientes fechas: i) inicio del estudio (7 de junio de 2010); ii) finalización del estudio (2 de marzo de 2014); iii) inflexión observada tras un retroceso del frente de la duna, por lo que comienza un período de entrada de sedimentos en la parcela (16 octubre 2011); iv) inflexión observada cuando el frente de la duna abandona la parcela (4 de junio de 2013); v) 18 de diciembre de 2011; vi) 22 de enero de 2012; y vii) 26 de febrero de 2012. También se exponen los perfiles generados para estos MDEs. El resto de MDEs y perfiles se muestran en el Anexo II.

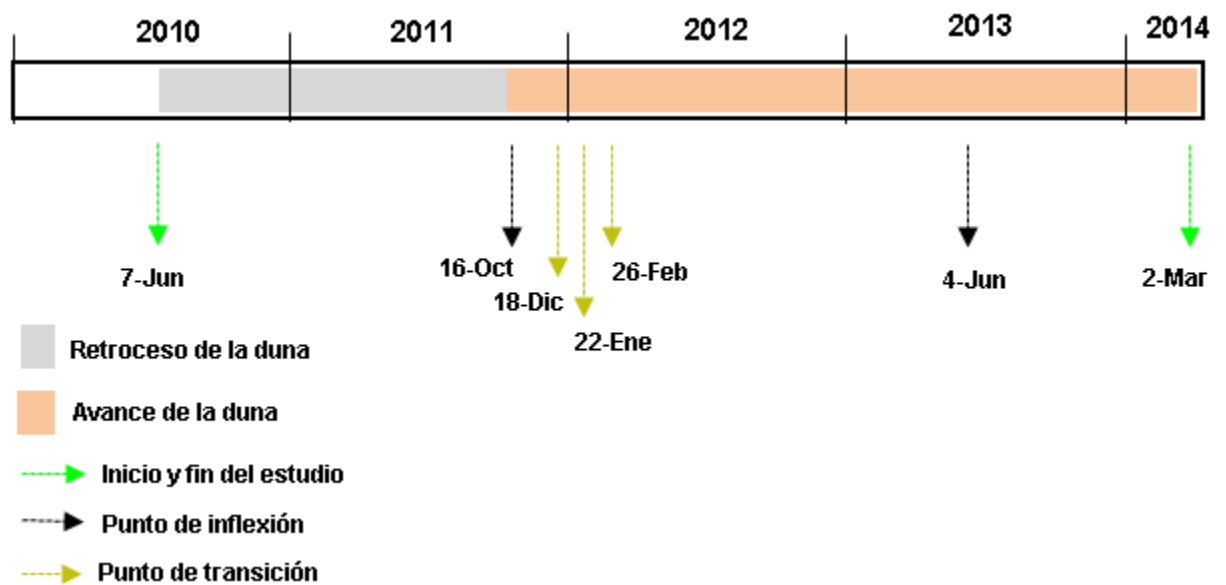
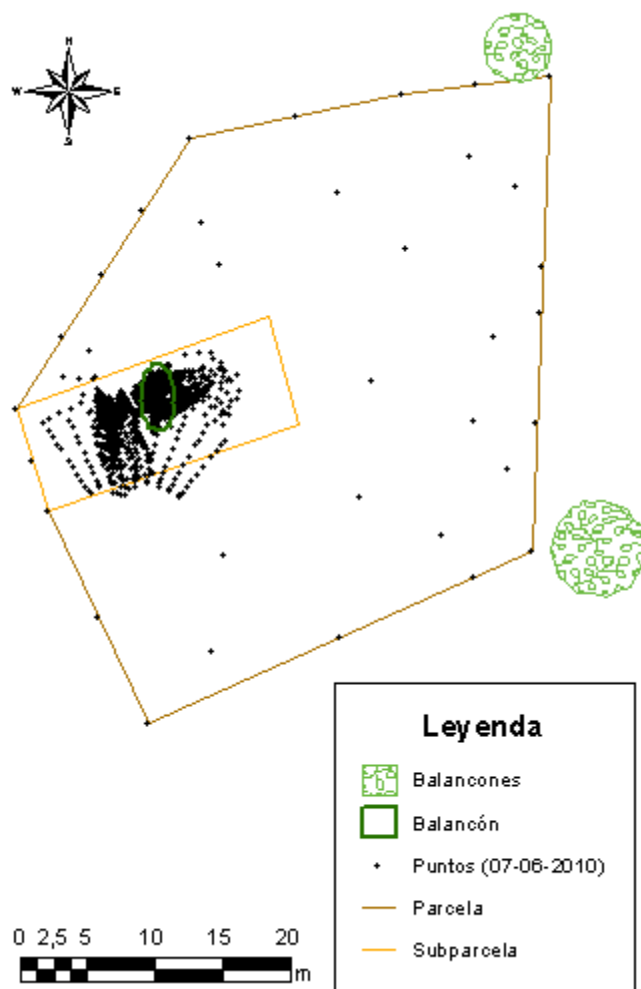


Figura 180: Fechas correspondientes a los MDEs que desde el punto de vista morfológico se consideraron interesantes para su análisis en este estudio.

7 de junio de 2010

El individuo de *Traganum moquinii* presenta una duna de sombra al SO del mismo.

Para la realización del MDE se tomaron 1588 puntos.



**Figura 181:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 7-06-2010 en la parcela 1.

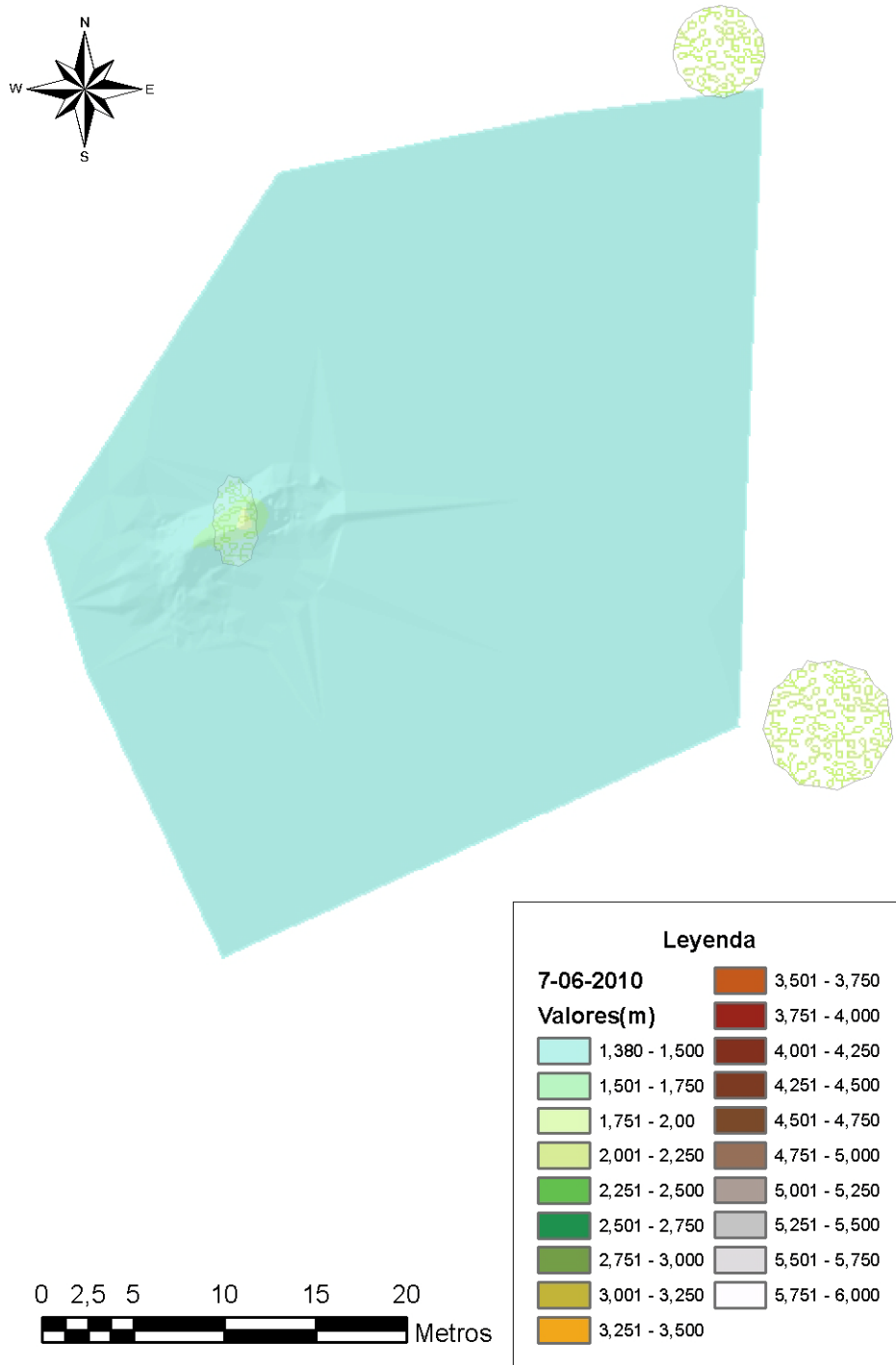
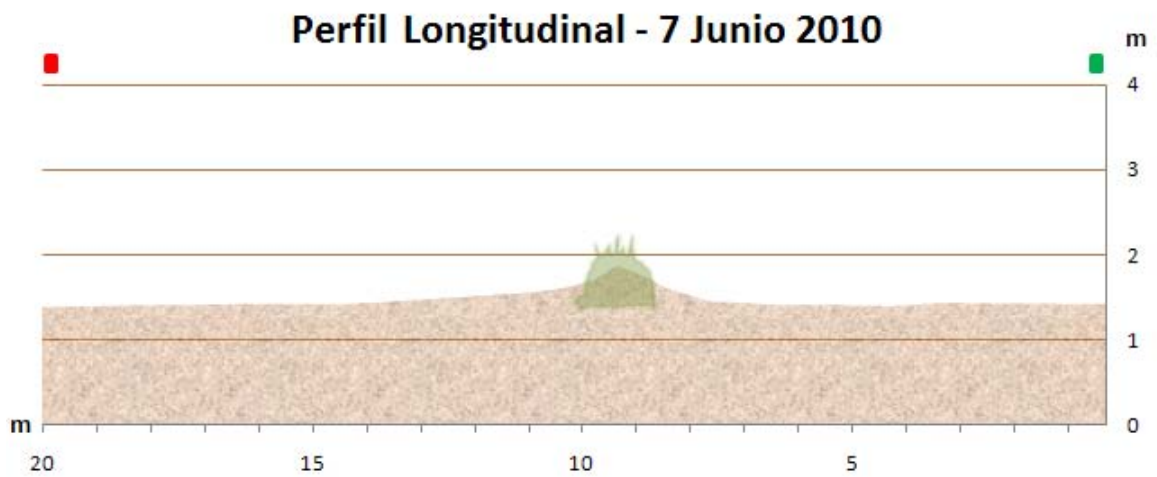
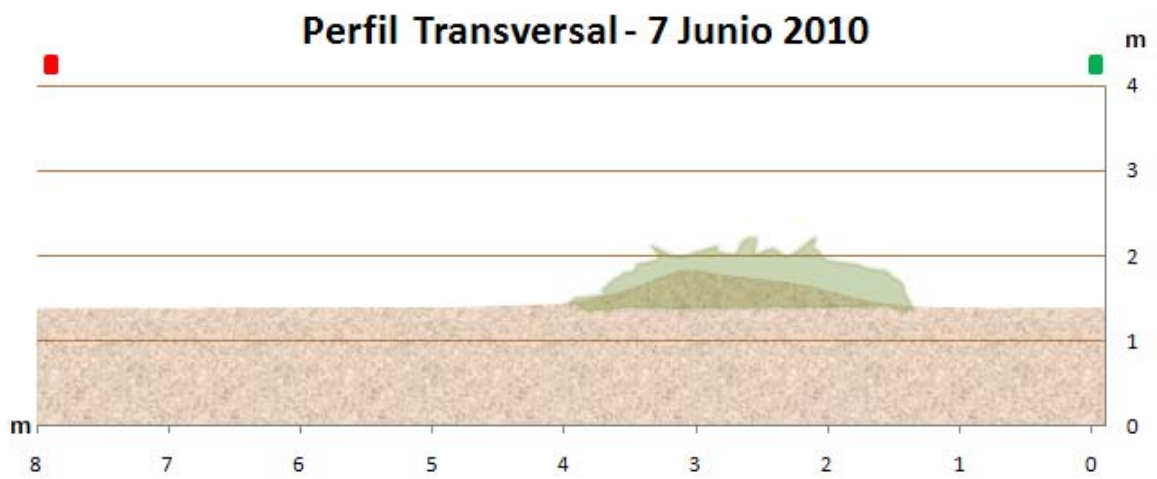


Figura 182: GRID correspondiente al MDE realizado el 7-06-2010.



**Figura 183:** Perfil longitudinal de la subparcela (7-06-2010).

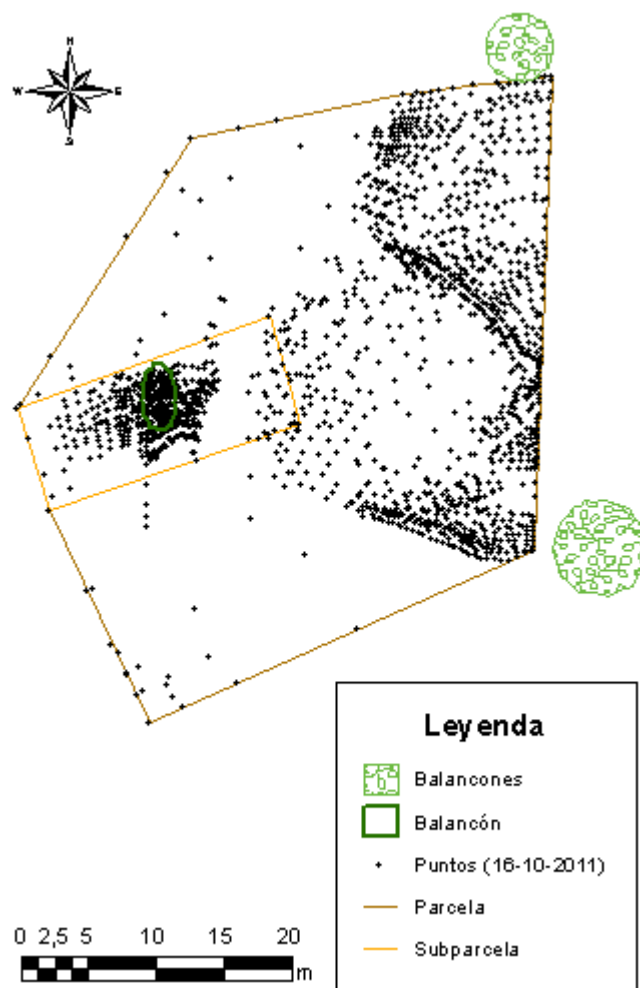


**Figura 184:** Perfil transversal de la subparcela (7-06-2010).

**16 de octubre de 2011**

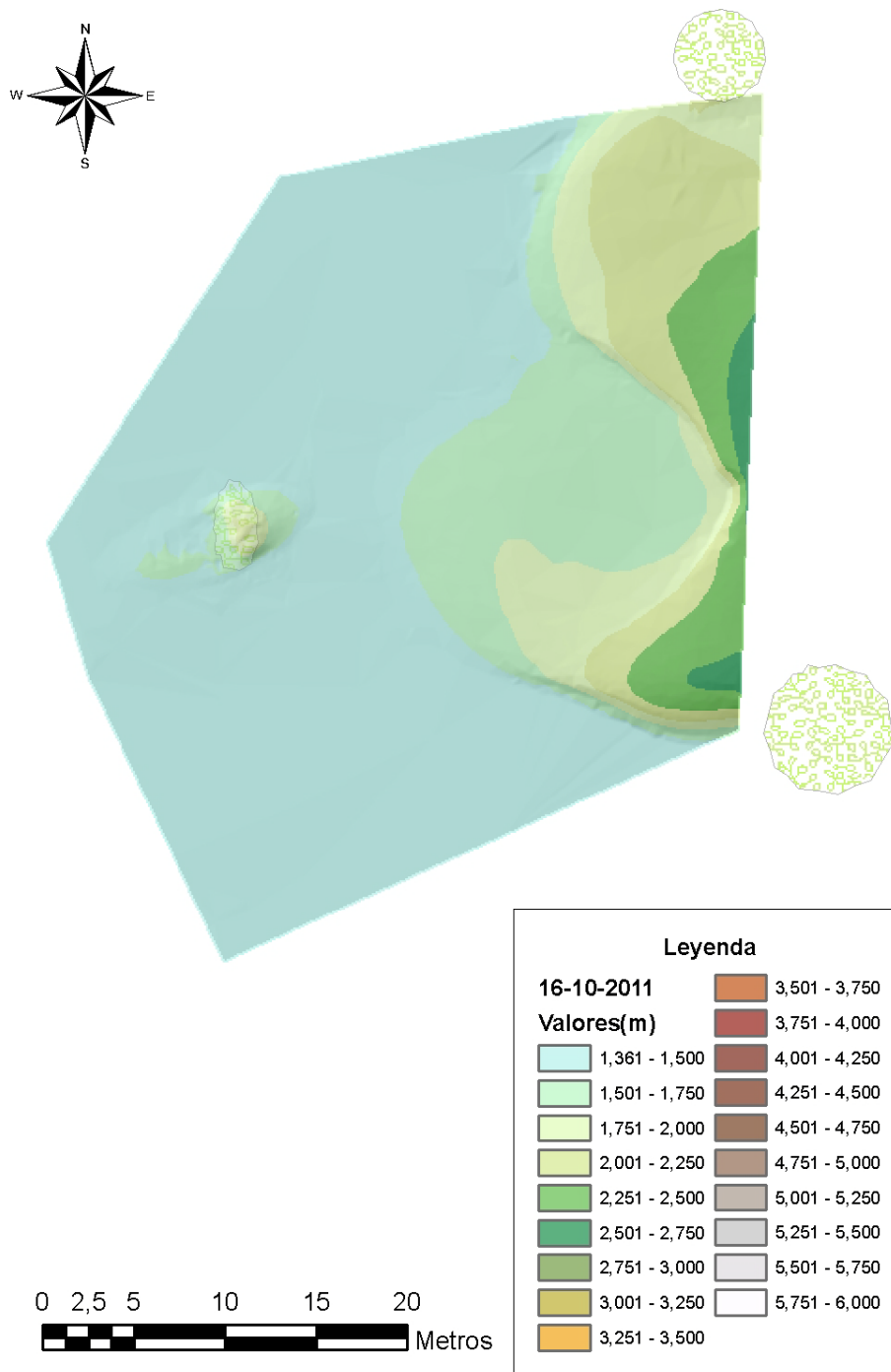
Tras un periodo con vientos de procedencia O-SO, se consolida la entrada de sedimentos en la parcela al haber habido durante el mes anterior a la realización del MDE vientos con esta componente.

Para la realización del MDE se tomaron 1805 puntos.



**Figura 185:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 16-10-2011 en la parcela 1.





**Figura 186:** GRID correspondiente al MDE realizado el 16-10-2011.

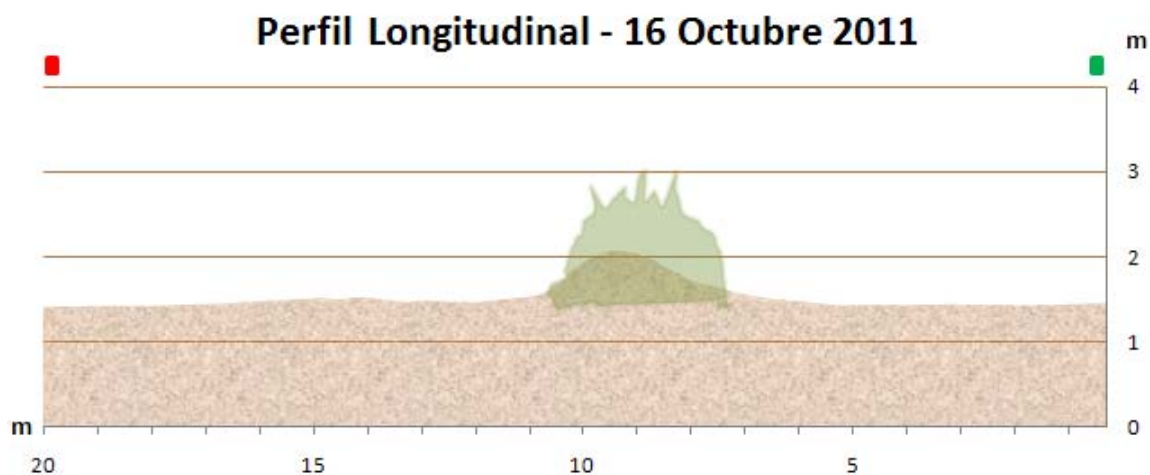


Figura 187: Perfil longitudinal de la subparcela (16-10-2011).

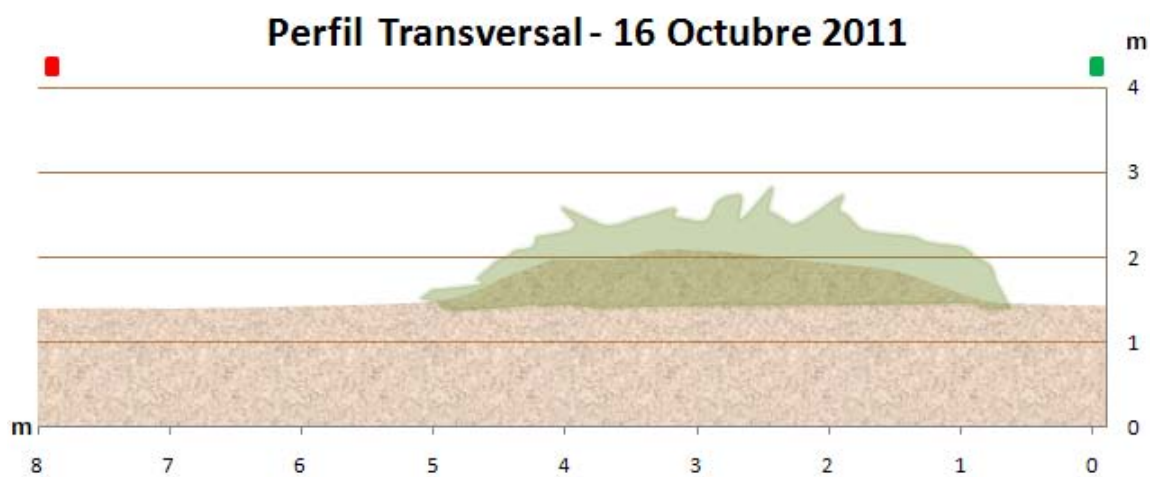
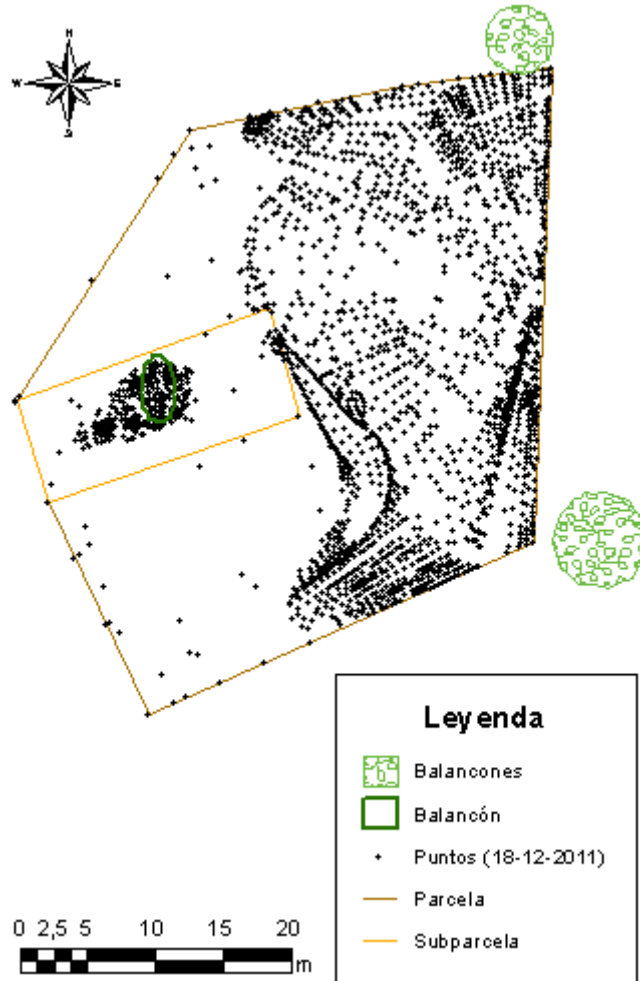


Figura 188: Perfil transversal de la subparcela (16-10-2011).

**18 de diciembre de 2011**

Una pequeña duna barjana comienza su avance por el interior de la parcela.

Para la realización del MDE se tomaron 2524 puntos.



**Figura 189:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 18-12-2011 en la parcela 1.

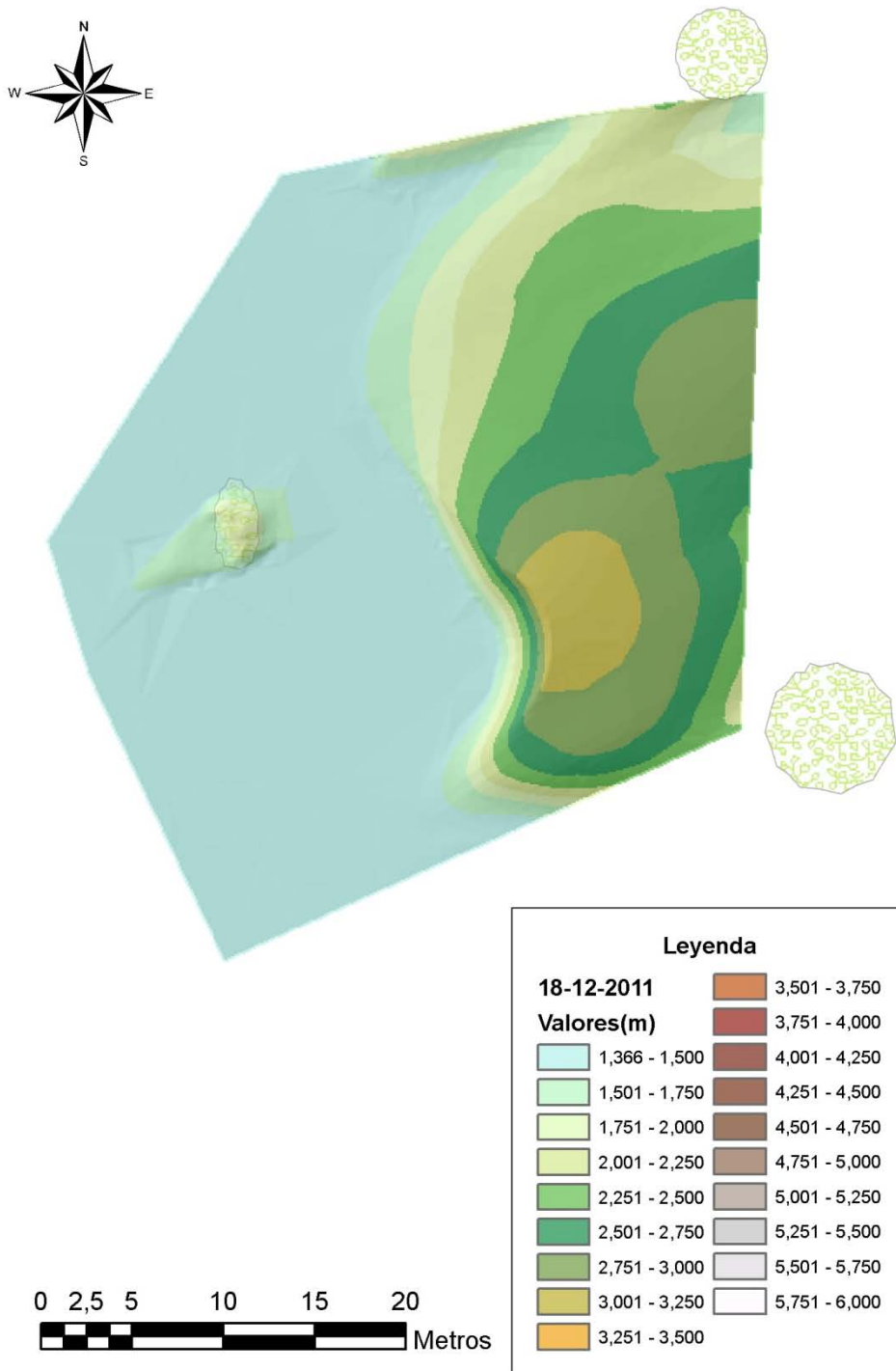
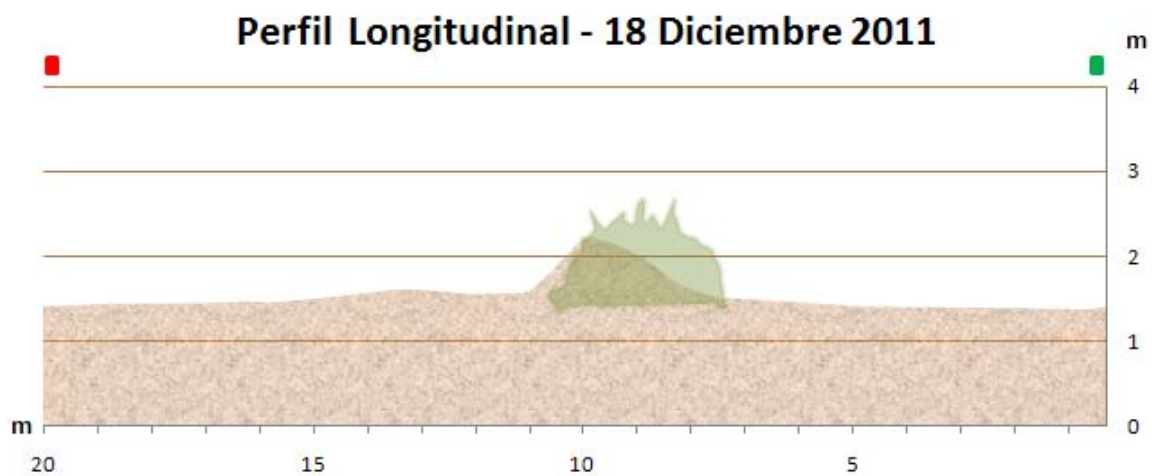
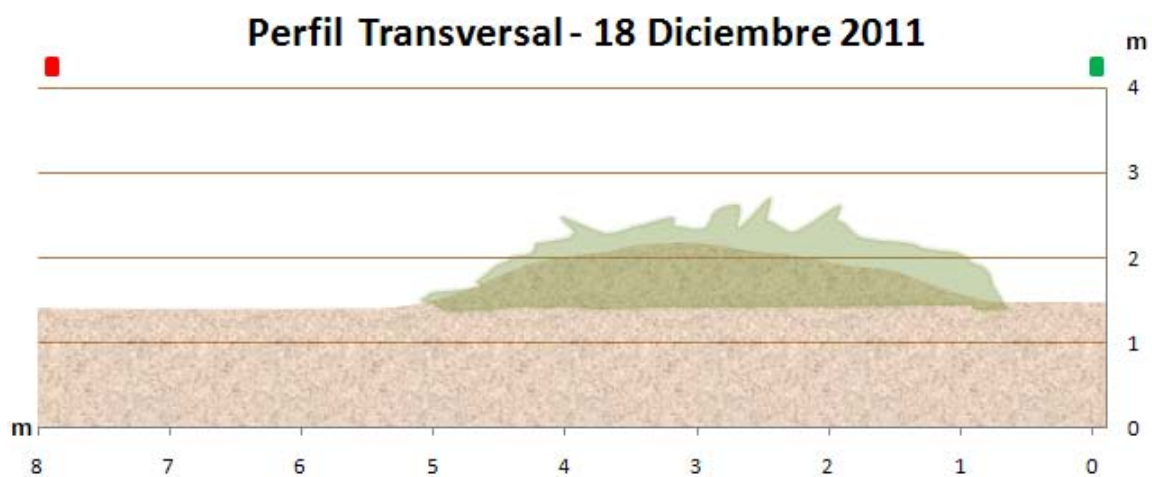


Figura 190: GRID correspondiente al MDE realizado el 18-12-2011.



**Figura 191:** Perfil longitudinal de la subparcela (18-12-2011).

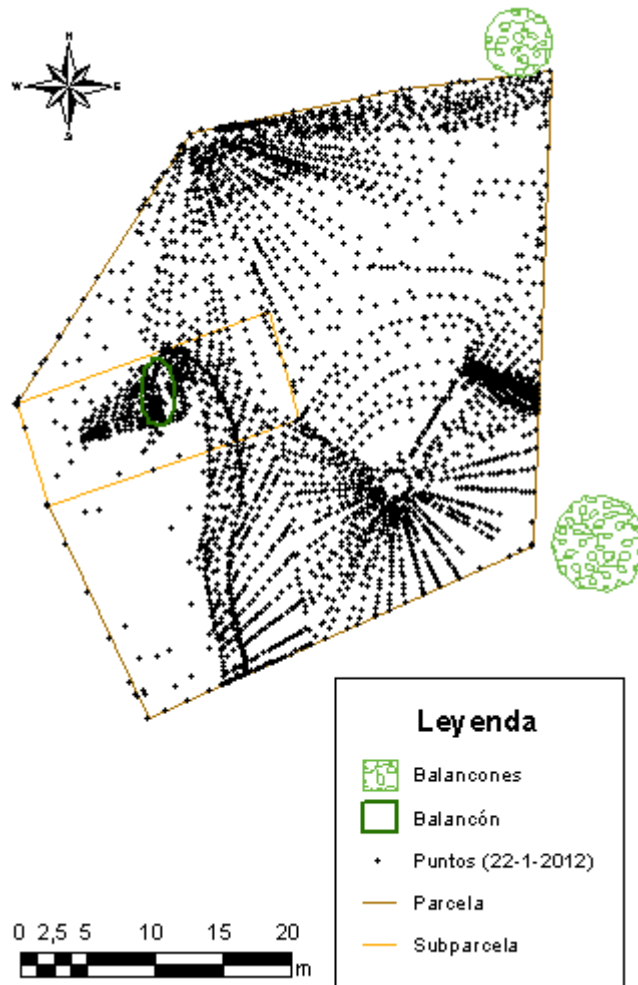


**Figura 192:** Perfil transversal de la subparcela (18-12-2011).

22 de enero de 2012

La duna barjana modifica su morfología, al recibir vientos transversales a su dirección de avance (SO). La duna se divide en dos y desvía ligeramente su dirección de avance hacia el O.

Para la realización del MDE se tomaron 3351 puntos.



**Figura 193:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 22-01-2011 en la parcela 1.

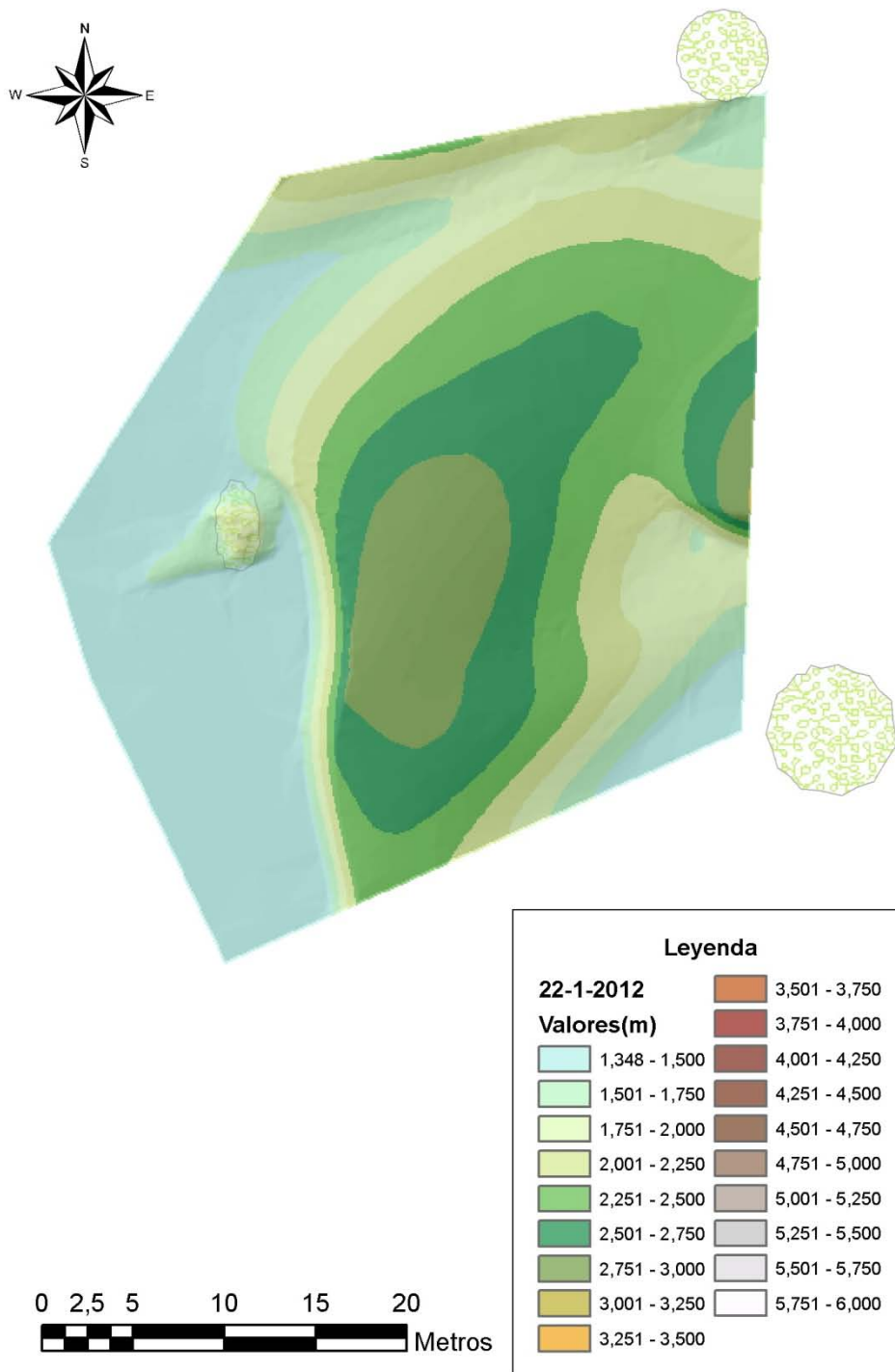


Figura 194: GRID correspondiente al MDE realizado el 22-01-2011.

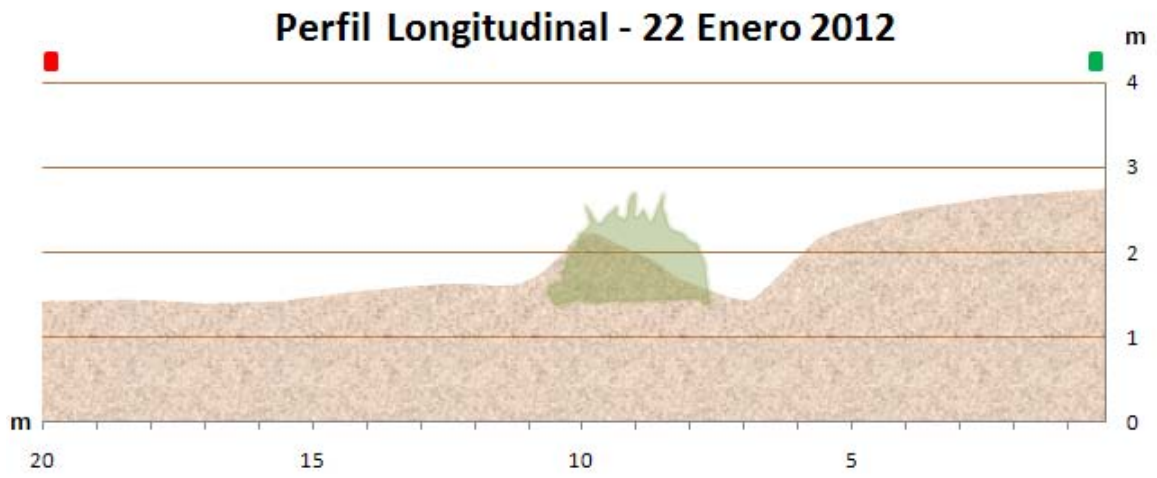


Figura 195: Perfil longitudinal de la subparcela (22-01-2012).

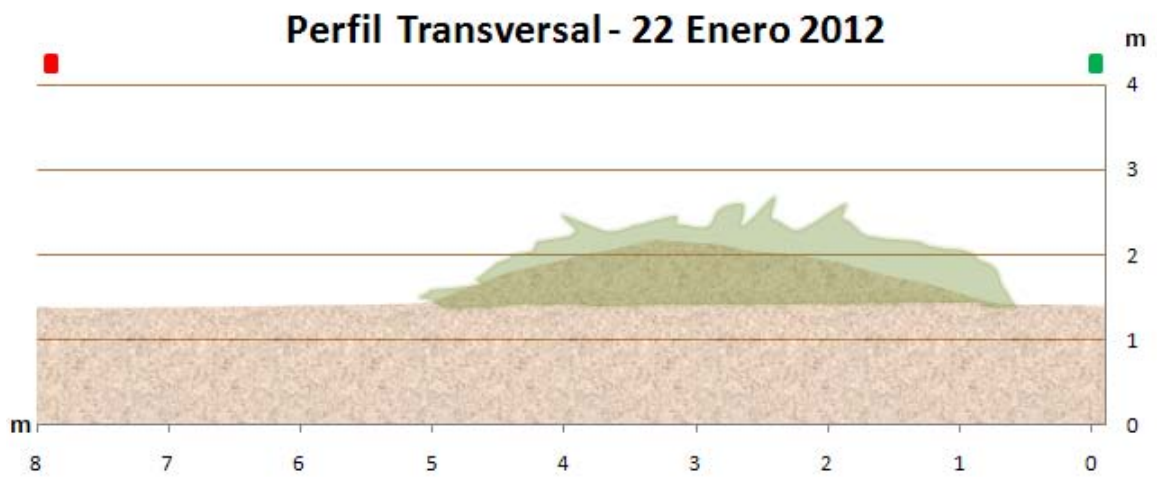


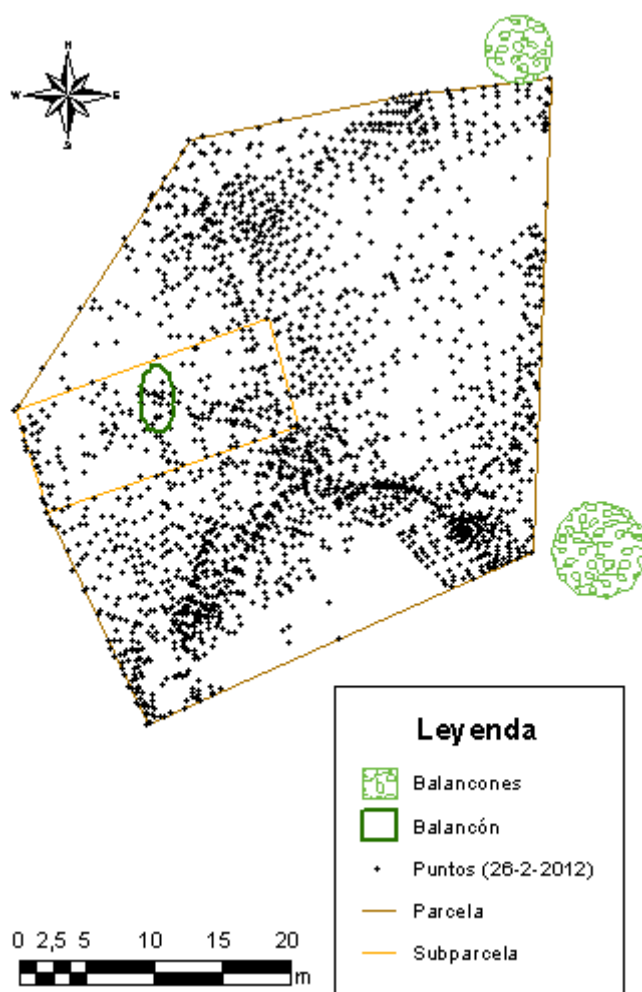
Figura 196: Perfil transversal de la subparcela (22-01-2012).



**26 de febrero de 2012**

El primer frente de la duna atraviesa la parcela, sepultando a su paso al individuo de *Traganum moquinii*, quedando la duna parcialmente retenida en este proceso. El segundo frente avanza libre de obstáculos.

Para la realización del MDE se tomaron 2186 puntos.



**Figura 197:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 26-02-2012 en la parcela 1.

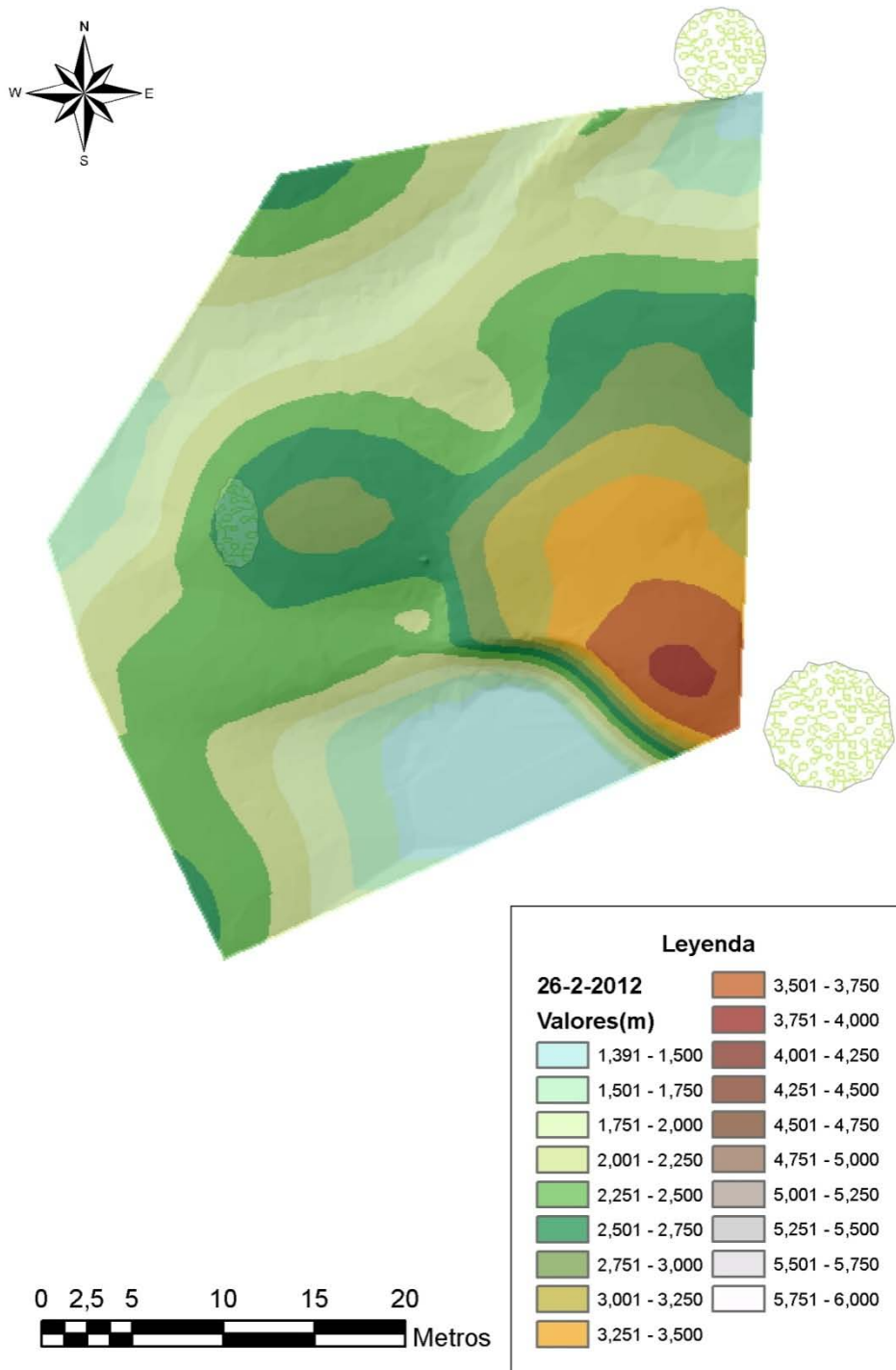
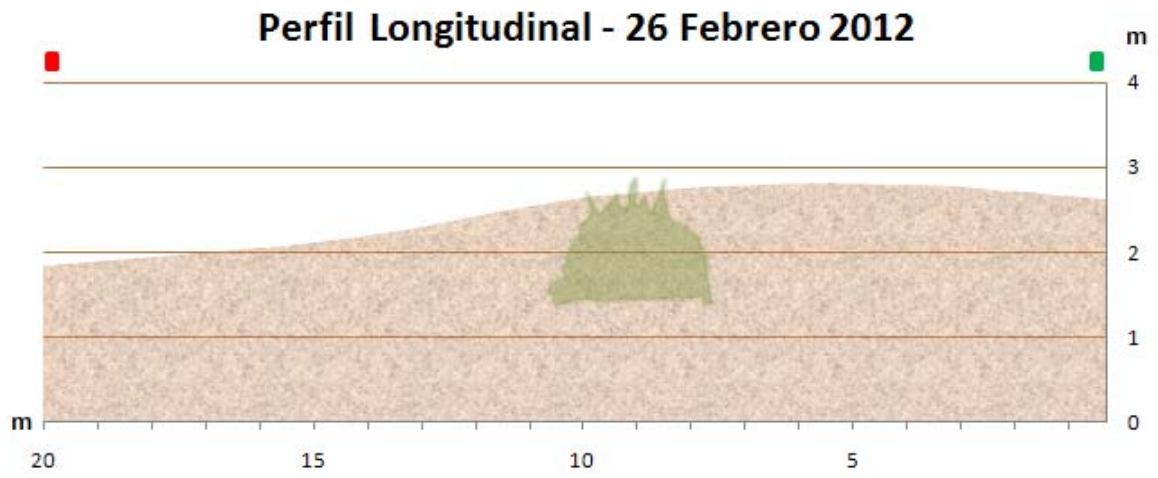
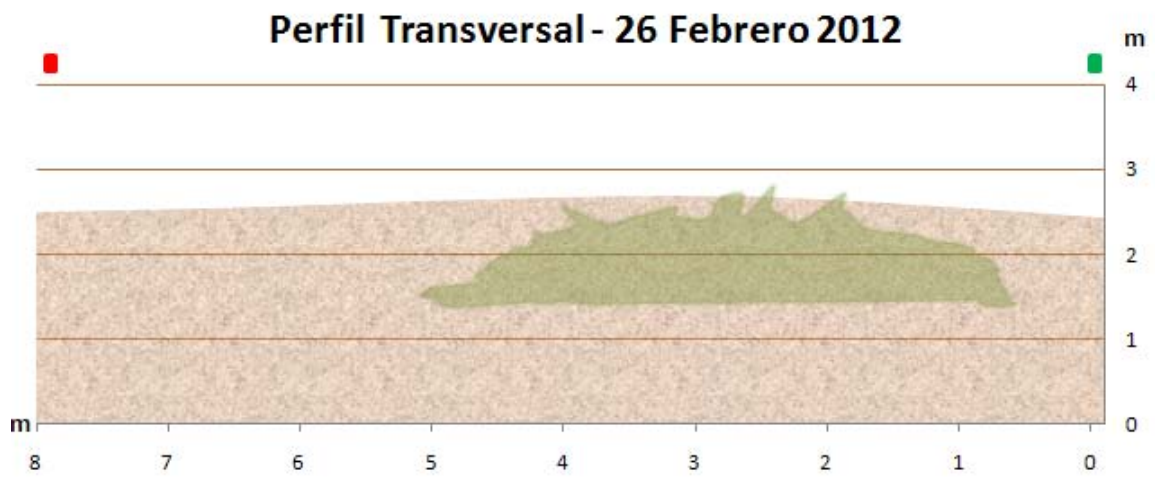


Figura 198: GRID correspondiente al MDE realizado el 26-02-2012.



**Figura 199:** Perfil longitudinal de la subparcela (26-02-2012).

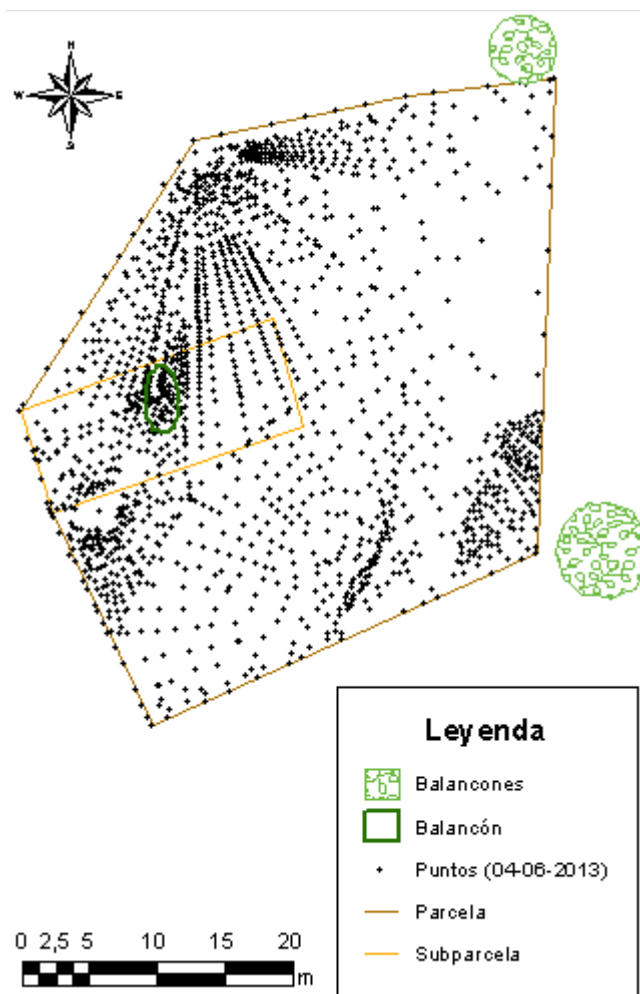


**Figura 200:** Perfil transversal de la subparcela (26-02-2012).

**4 de junio de 2013**

El segundo frente de la duna abandona la parcela, iniciándose el desenterramiento del individuo de *Traganum moquinii*.

Para la realización del MDE se tomaron 1691 puntos.



**Figura 201:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 04-06-2013 en la parcela 1.

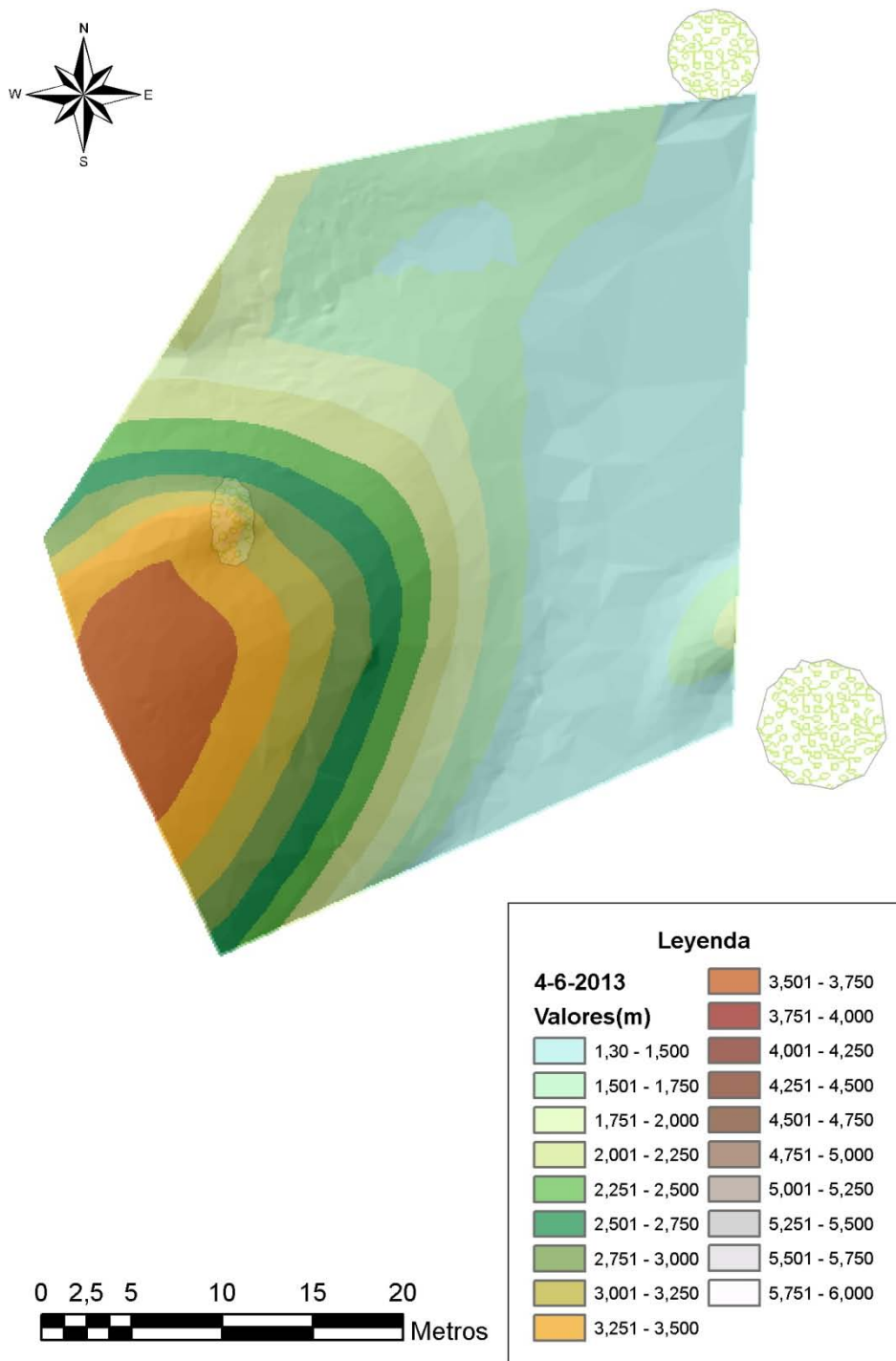


Figura 202: GRID correspondiente al MDE realizado el 04-06-2013.

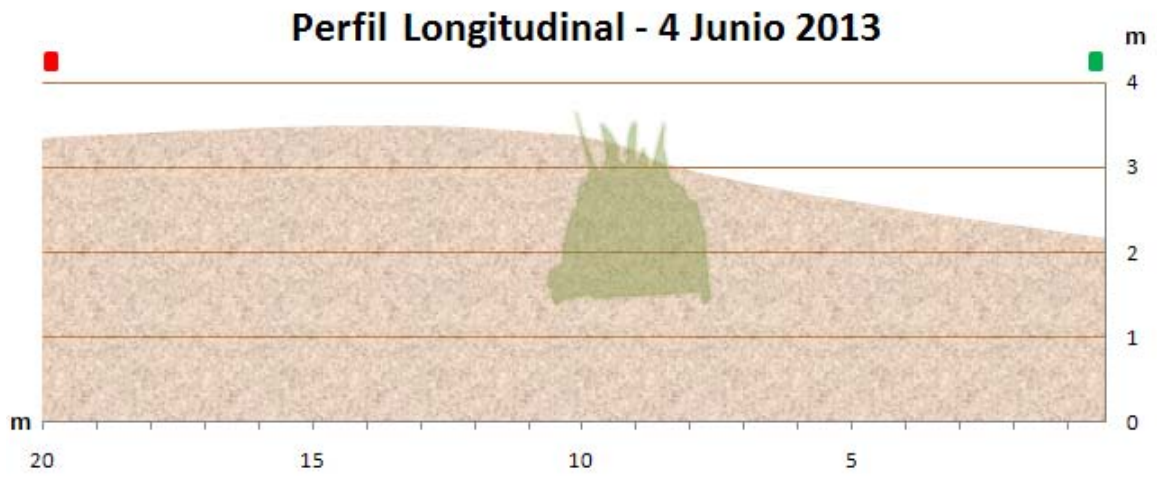


Figura 203: Perfil longitudinal de la subparcela (04-06-2013).

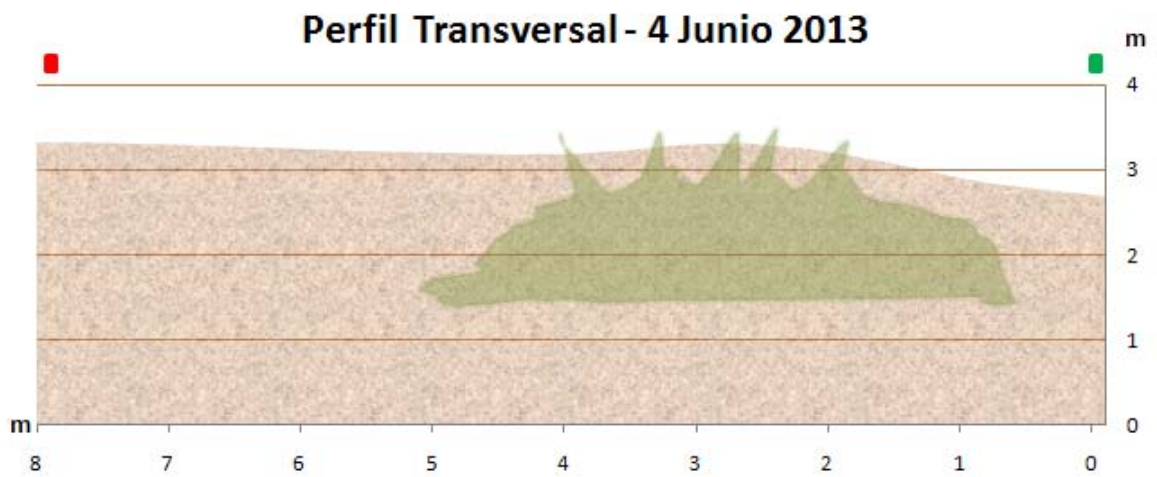


Figura 204: Perfil transversal de la subparcela (04-06-2013).

2 de marzo de 2014

La duna finaliza su paso por la parcela. El individuo de *Traganum moquinii* ha quedado totalmente descubierto con una cola de sedimentos asociada al mismo.

Para la realización del MDE se tomaron 1691 puntos.

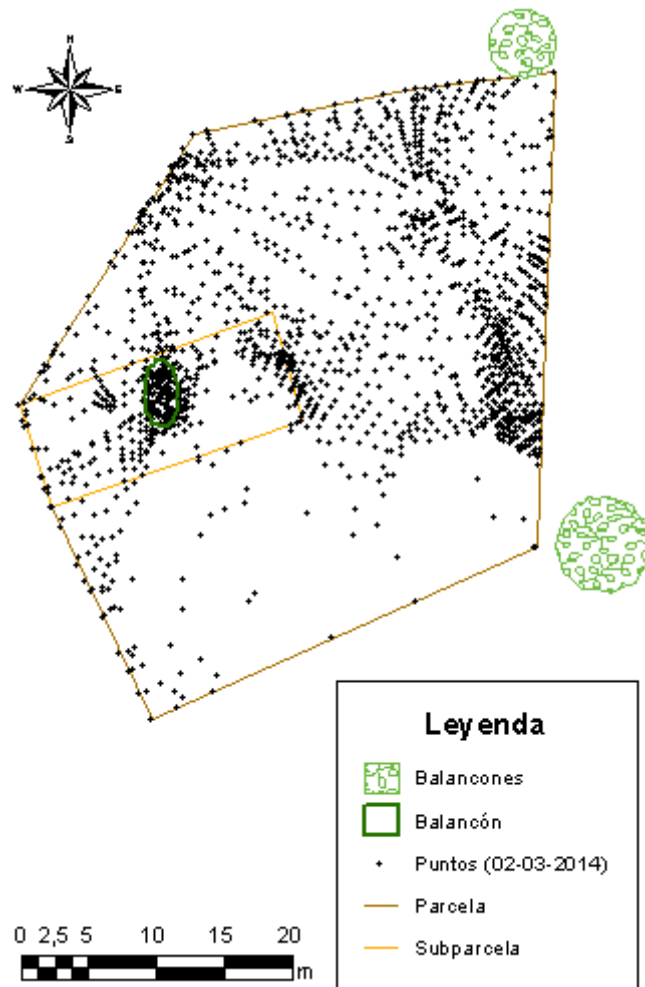


Figura 205: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 02-03-2014 en la parcela 1.



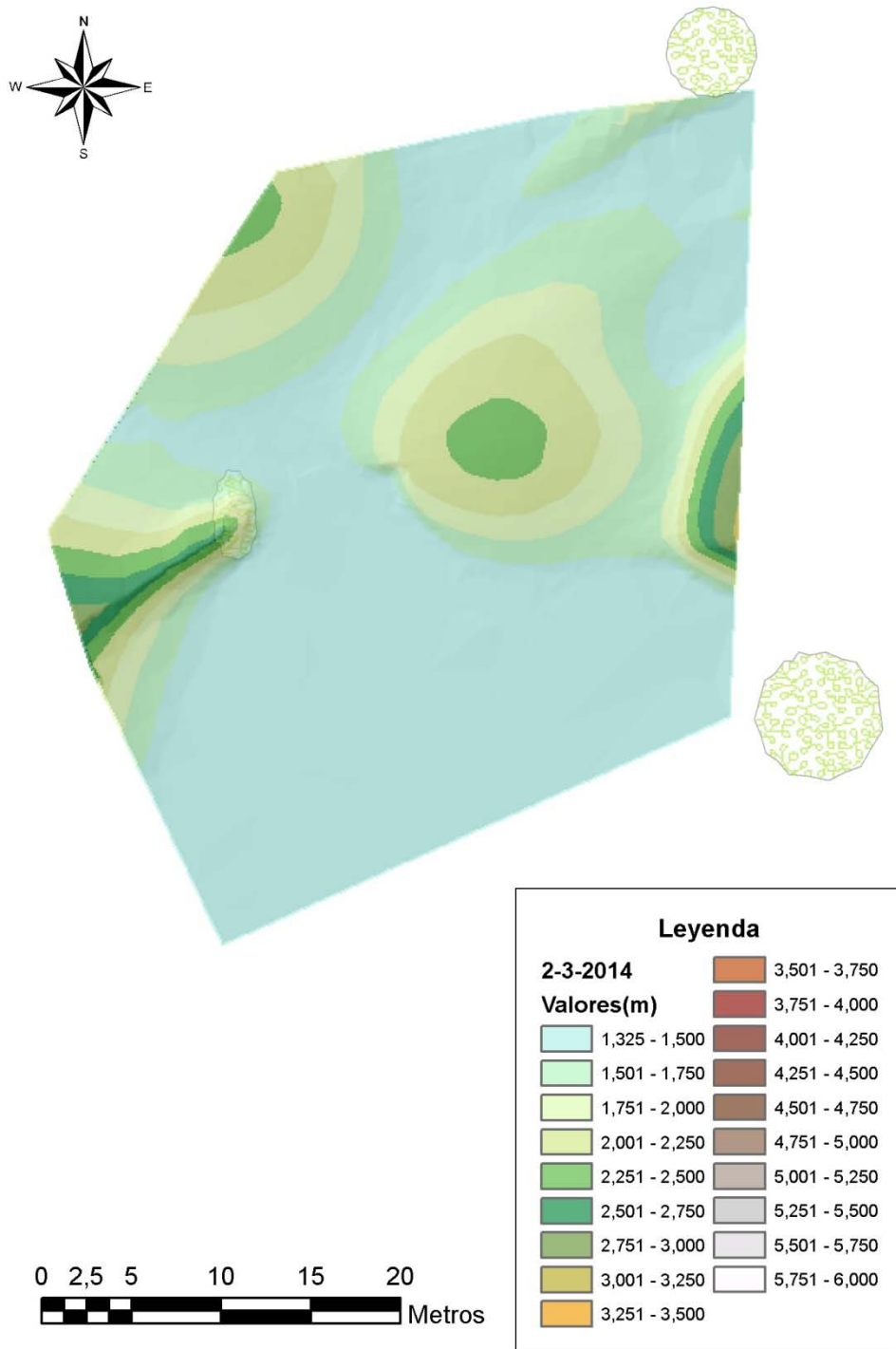
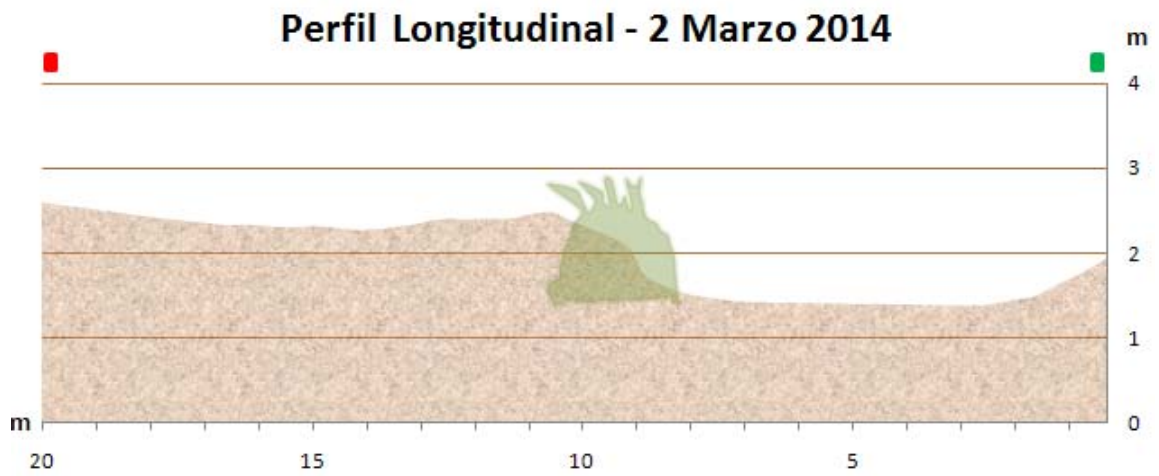
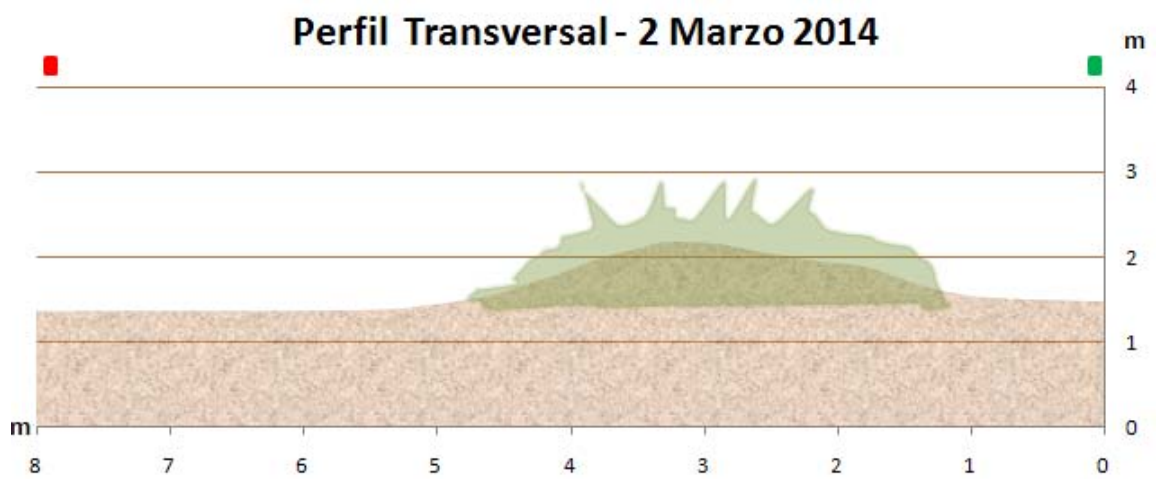


Figura 206: GRID correspondiente al MDE realizado el 02-03-2014.





**Figura 207:** Perfil longitudinal de la subparcela (02-03-2014).



**Figura 208:** Perfil transversal de la subparcela (02-03-2014).

#### 4.2.2.1.2 Análisis de dinámica

En la tabla 56 se muestra los volúmenes de sedimentos obtenidos del estudio de los diferentes MDEs. La cota del plano de referencia, para el cálculo de los volúmenes, es 0.

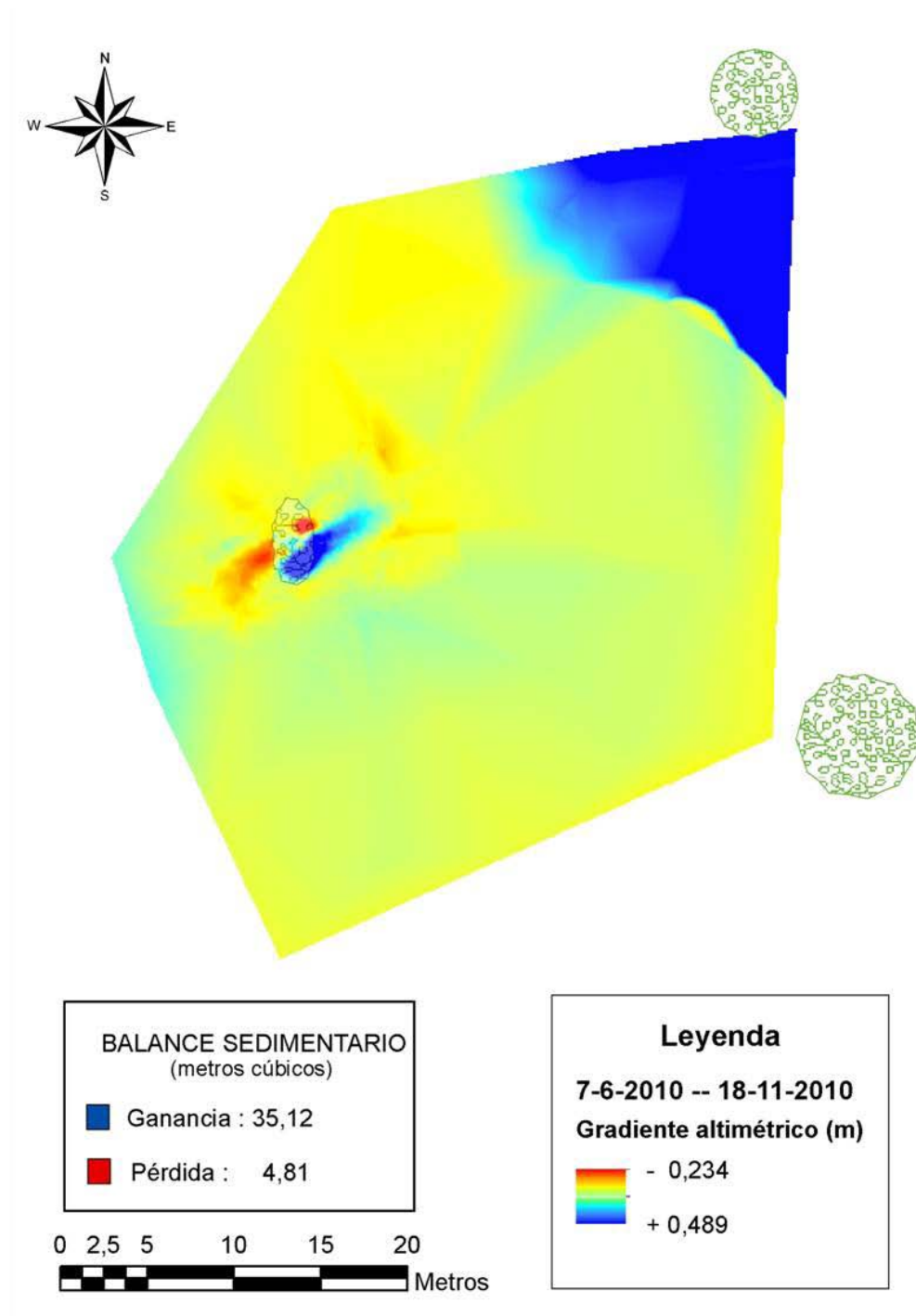
Id	Fecha	Volumen (m <sup>3</sup> )	Id	Fecha	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	7 Junio 2010	1847,07	12	18 Diciembre 2011	2507,62
2	18 Noviembre 2010	1877,02	13	22 Enero 2012	2682,83
3	16 Marzo 2011	2025,36	14	26 Febrero 2012	3074,64
4	13 Abril 2011	2020,18	15	25 Marzo 2012	3083,21
5	16 Mayo 2011	2006,30	16	30 Abril 2012	3101,73
6	14 Junio 2011	2002,17	17	29 Mayo 2012	3104,33
7	19 Julio 2011	2018,90	18	20 Junio 2012	3100,29
8	15 Agosto 2011	2015,07	19	12 Octubre 2012	3121,55
9	15 Septiembre 2011	2015,11	20	30 Diciembre 2012	3144,17
10	16 Octubre 2011	2096,17	21	4 Junio 2013	2682,25
11	17 Noviembre 2011	2171,30	22	2 Marzo 2014	2116,76

**Tabla 56:** Volúmenes de sedimentos correspondientes a cada MDE realizado en la parcela 1 de la playa del Inglés.

Se puede apreciarla pérdida de sedimentos desde el 16 de marzo de 2011 al 15 de septiembre de 2011. A partir de dicha fecha el volumen de sedimento en la parcela fue en aumento, motivado por la entrada de la duna a la parcela, hasta el 30 de diciembre de 2012. A partir de ese instante se inicia la salida de la misma.

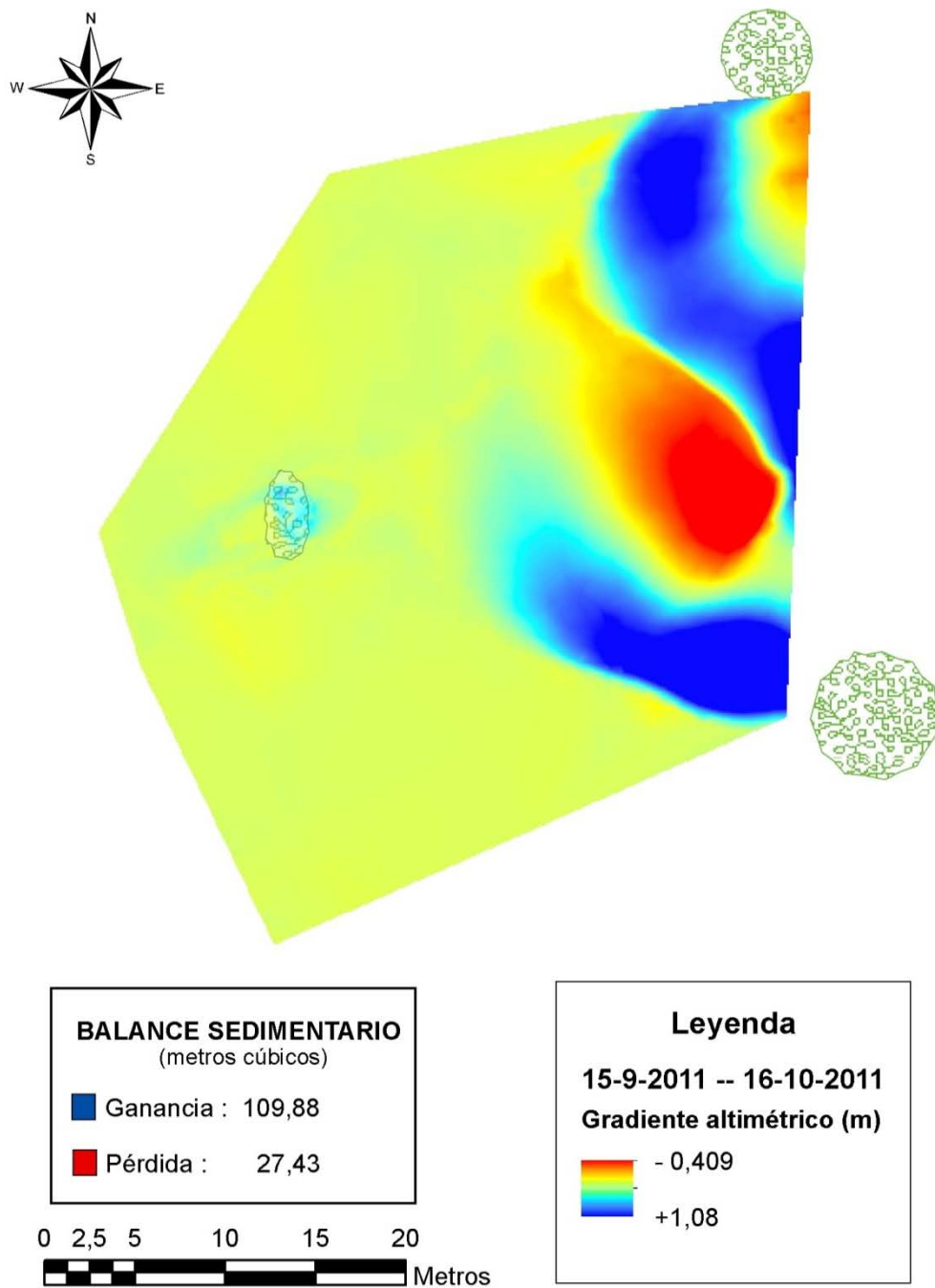
A continuación se muestra, los GRIDs correspondientes a las restas de los MDEs que coinciden con las fechas consideradas como representativas. El resto de estos GRIDs, correspondientes a las restas del resto de los MDEs, se muestran en el Anexo II.

Se ha añadido en cada GRID los datos de ganancia y pérdidas, obtenidos de sus correspondientes operaciones de *cut-fill*. También se muestran las comparativas entre los diferentes perfiles tipo.



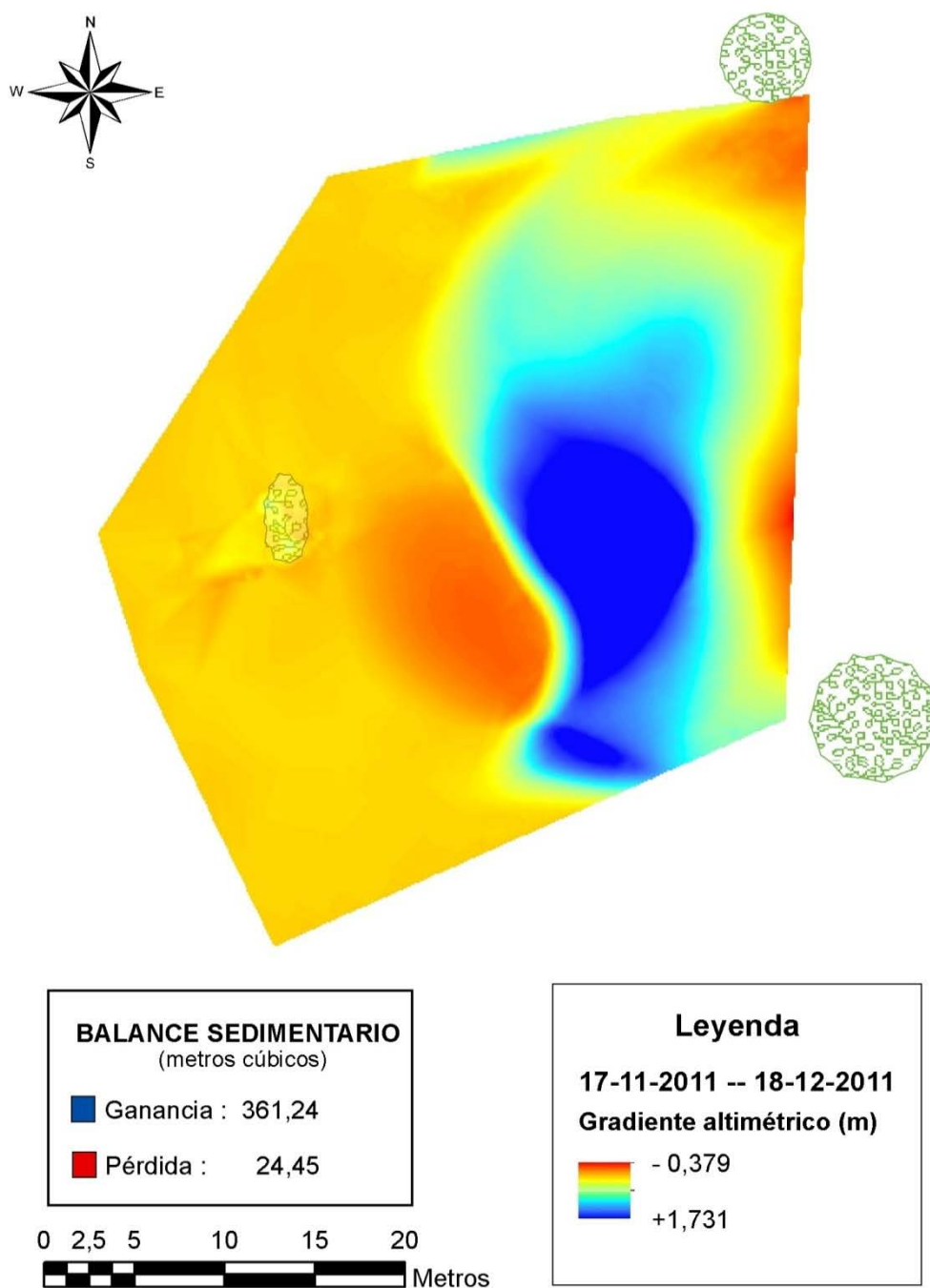
**Figura 209:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 7-6-2010 y el MDE del 18-11-2010.

Se observa un inicio de acumulación de sedimentos en la cara Este del individuo de *Traganum moquinii*, al haber habido vientos efectivos de componente E (obsérvese la línea de rotura perfectamente definida en el borde de la duna en figura 321). Se observa acumulación de sedimento a barlovento del ejemplar de *Traganum moquinii*.



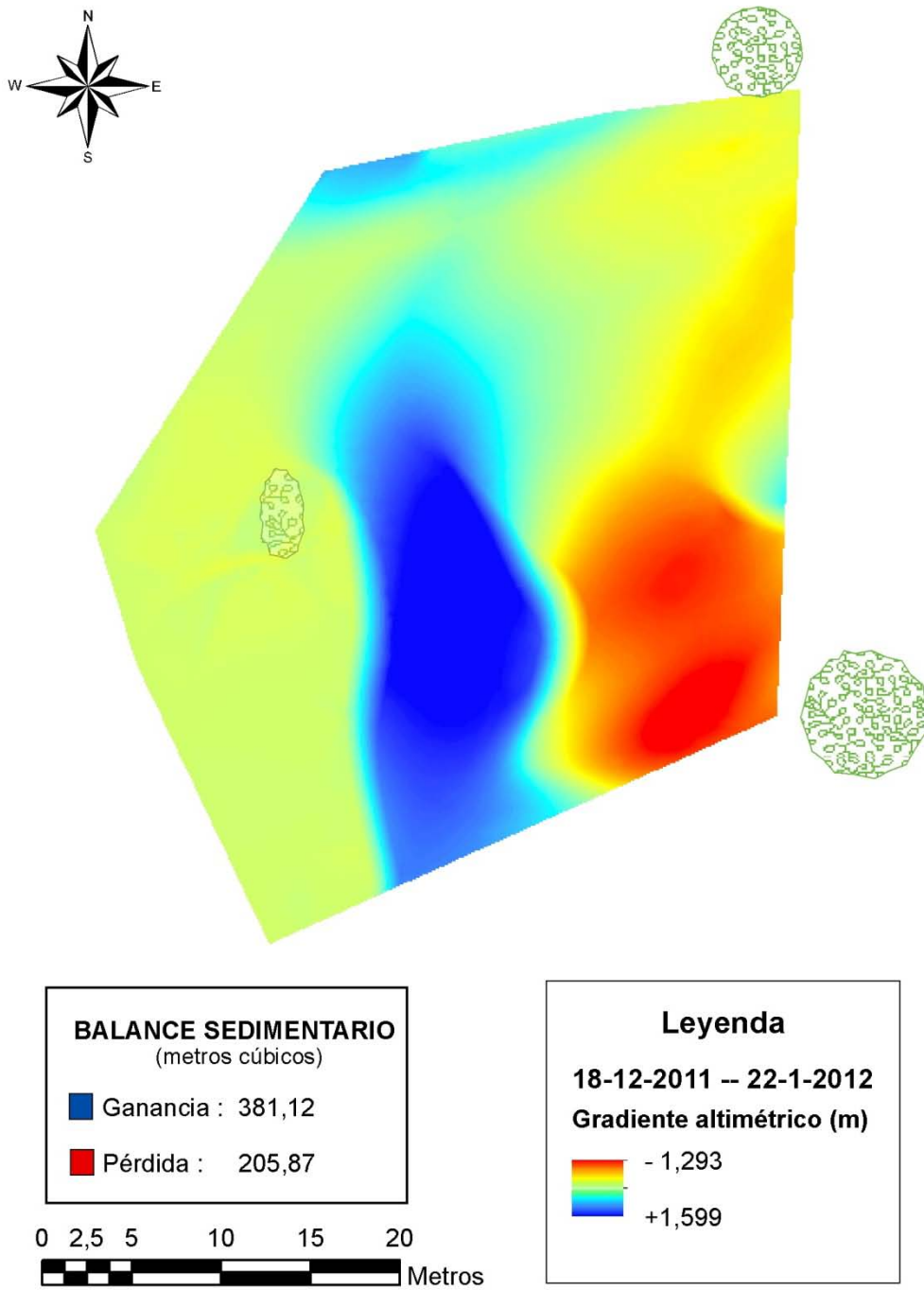
**Figura 210:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 15-9-2011 y el MDE del 16-10-2011.

La duna avanza hacia el interior de la parcela, impulsada por vientos efectivos de componente E. Se aprecia una duna de sombra a sotavento del individuo de *Traganum moquinii*. En la zona de deflación no existe acumulación de sedimentos.



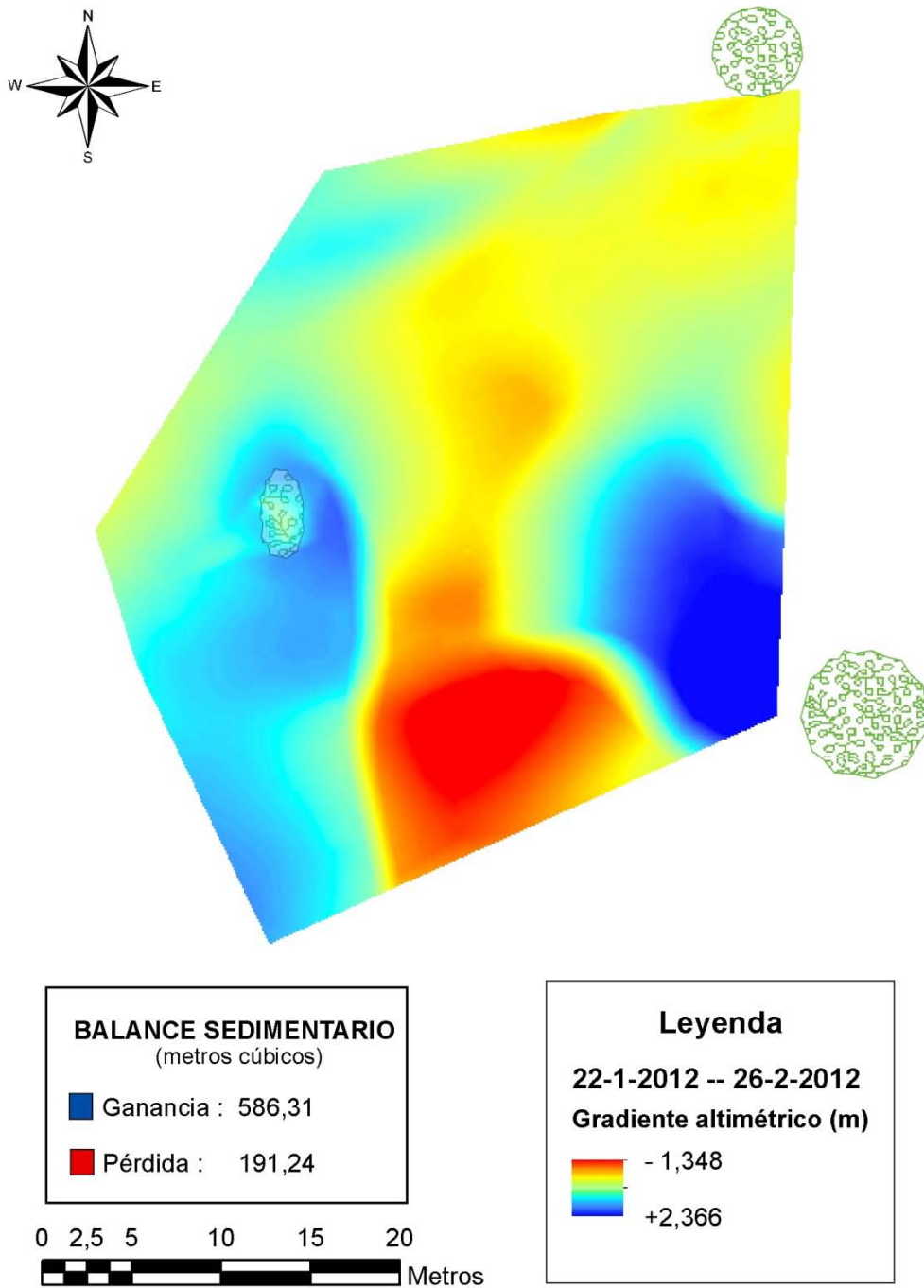
**Figura 211:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 17-11-2011 y el MDE del 18-12-2011.

Tras una elevada entrada de sedimento en la parcela, la duna avanza perfilándose la geoforma de una duna barjana.



**Figura 212:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 18-12-2011 y el MDE del 22-1-2012.

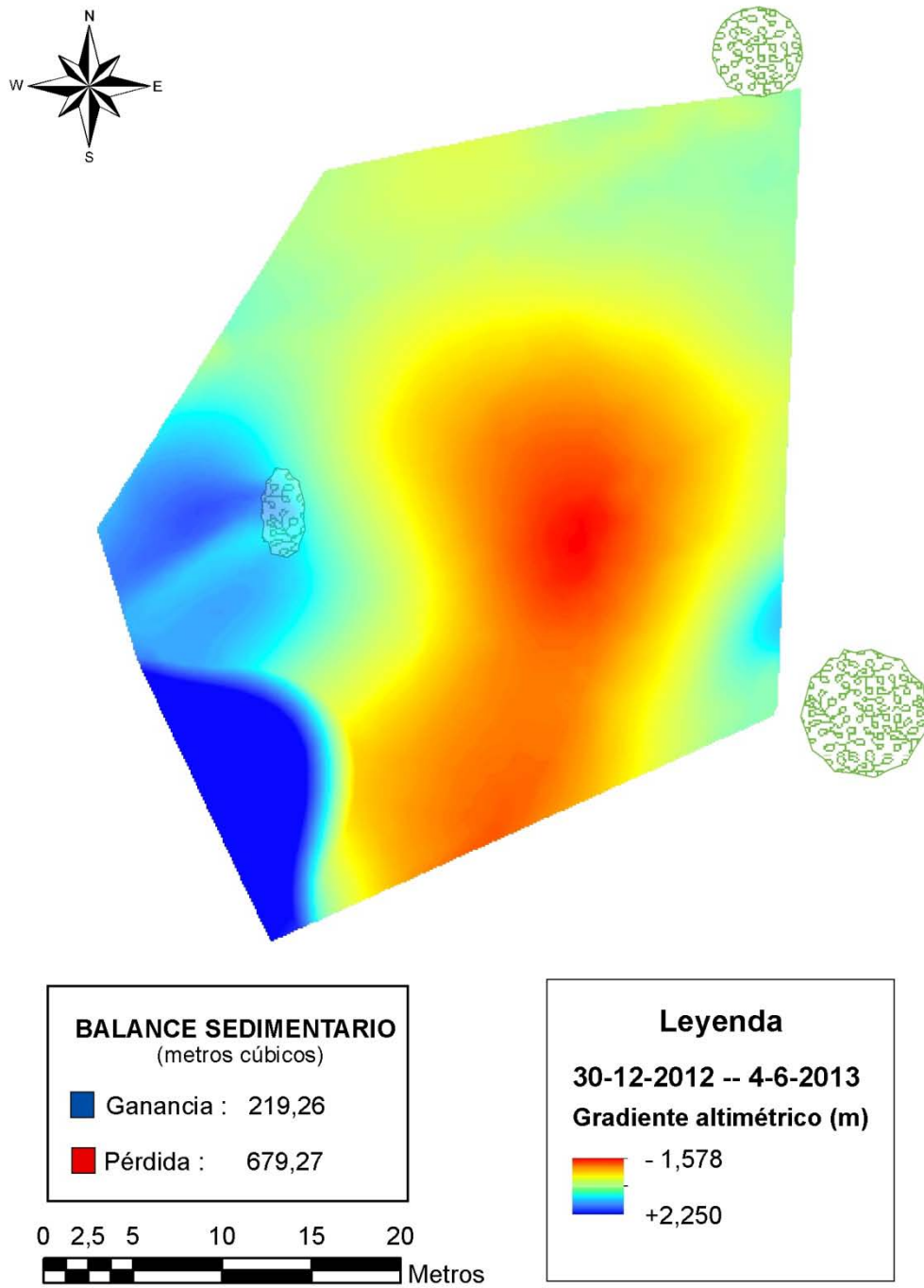
Continúa el avance de la duna, experimentando un desvío en la dirección.



**Figura 213:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 22-1-2012 y el MDE del 26-2-2012.

Una gran cantidad de sedimentos ha accedido a la parcela. Se produce el enterramiento total del individuo de *Traganum moquinii*.

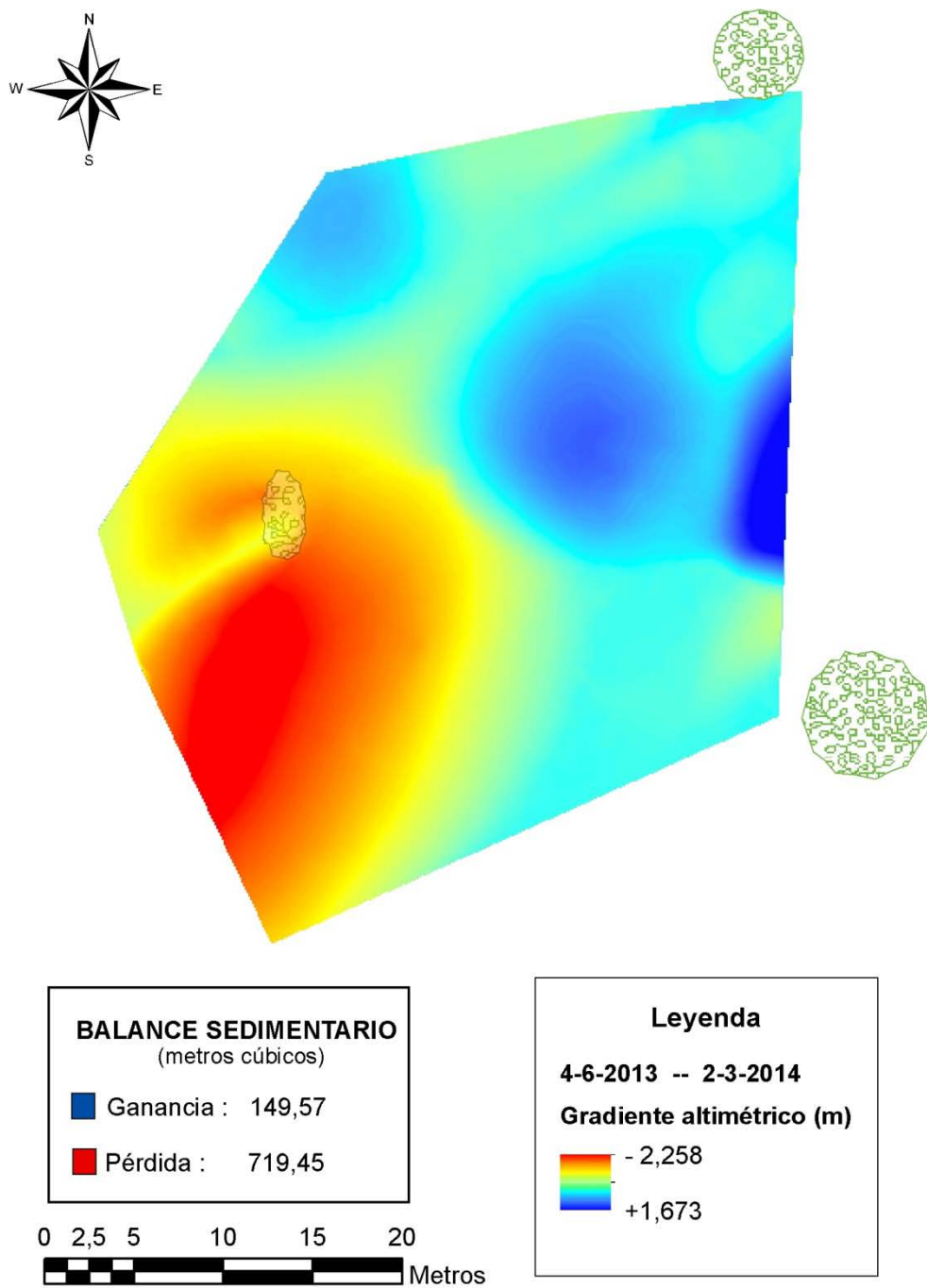




**Figura 214:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 30-12-2012 y el MDE del 4-6-2012.

La parcela comienza a perder sedimento, al avanzar la duna, iniciándose el desenterramiento del ejemplar de *Traganum moquinii*.





**Figura 215:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 4-6-2013 y el MDE del 2-3-2014.

La duna ha abandonado la parcela totalmente, apreciándose una pérdida menor de sedimento a sotavento de ejemplar de *Traganum moquinii*, a la vez que se inicia la entrada de una pequeña duna por el E de la parcela.

En la tabla 57 se muestra los valores de ganancias y pérdidas de sedimentos de la parcela, resultantes de la diferencia entre GRIDs.

Periodo	Ga(m <sup>3</sup> )	Pe(m <sup>3</sup> )	Periodo	Ga(m <sup>3</sup> )	Pe(m <sup>3</sup> )
7 Jun 2010-18 Nov 2010	35,12	4,81	18 Dic 2011-22 Ene 2012	381,12	205,87
18 Nov 2010-16 Mar2011	158,70	9,23	22 Ene 2012-26 Feb 2012	586,31	191,24
16 Mar2011-13Abr 2011	16,79	21,35	26 Feb 2012-25 Mar 2012	255,76	251,26
13Abr 2011-16 May 2011	3,15	16,33	25 Mar 2012-30 Abr 2012	110,33	96,62
16 May 2011-14 Jun 2011	2,87	11,54	30 Abr 2012-29 May 2012	49,89	40,13
14 Jun 2011-19 Jul 2011	21,77	5,18	29 May 2012-20 Jun 2012	20,87	23,09
19 Jul 2011-15 Ago 2011	6,31	10,43	20 Jun 2012-12 Oct 2012	132,76	117,07
15 Ago 2011-15 Sept 2011	8,93	9,49	12 Oct 2012-30 Dic 2012	261,00	235,58
15 Sept 2011-16 Oct 2011	109,88	27,43	30 Dic 2012-4 Jun 2013	219,26	679,27
16 Oct 2011-17 Nov 2011	108,43	33,37	4 Jun 2013-2 Mar 2014	149,57	719,45
17 Nov 2011-18 Dic 2011	361,24	24,45			

**Tabla 57:** Valores de ganancias (Ga) y pérdidas (Pe), de sedimentos durante los diferentes periodos analizados.

En la tabla 58 se muestra los valores de ganancias, pérdidas y gradientes de sedimentos en la subparcela, resultantes de las diferentes restas realizadas entre GRIDs. El volumen de sedimento inicial entorno al ejemplar de *Traganum moquinii* es era de 3,58 m<sup>3</sup>, siendo la cota del plano de referencia de 1,40m.

Periodo	Ga(m <sup>3</sup> )	Pe(m <sup>3</sup> )	Gr(m <sup>3</sup> )	Periodo	Ga(m <sup>3</sup> )	Pe(m <sup>3</sup> )	Gr(m <sup>3</sup> )
7 Jun 2010-18 Nov 2010	2,67	1,32	4,93	18 Dic 2011-22 Ene 2012	57,58	3,29	66,10
18 Nov 2010-16 Mar2011	2,93	1,71	6,15	22 Ene 2012-26 Feb 2012	99,43	2,53	163,00
16 Mar2011-13Abr 2011	0,71	1,24	5,62	26 Feb 2012-25 Mar 2012	28,68	15,57	176,11
13Abr 2011-16 May 2011	0,69	1,06	5,25	25 Mar 2012-30 Abr 2012	21,36	12,37	185,10
16 May 2011-14 Jun 2011	0,52	0,76	5,01	30 Abr 2012-29 May 2012	10,53	2,33	193,30
14 Jun 2011-19 Jul 2011	2,41	0,22	7,20	29 May 2012-20 Jun 2012	5,14	2,31	196,13
19 Jul 2011-15 Ago 2011	0,59	0,78	7,01	20 Jun 2012-12 Oct 2012	28,43	2,51	222,05
15 Ago 2011-15 Sept 2011	0,77	0,39	7,39	12 Oct 2012-30 Dic 2012	34,97	16,02	241,00
15 Sept 2011-16 Oct 2011	3,97	0,18	11,18	30 Dic 2012-4 Jun 2013	51,05	31,17	260,88
16 Oct 2011-17 Nov 2011	3,83	0,84	14,17	4 Jun 2013-2 Mar 2014	0	201,87	59,01
17 Nov 2011-18 Dic 2011	2,67	5,03	11,81				

**Tabla 58:** Valores de ganancias (Ga), pérdidas (Pe) y gradiente (Gr), de sedimentos durante los diferentes periodos en la subparcela del ejemplar de *Traganum moquinii*.

En la figura 216 se muestra la evolución de la cantidad de volumen de sedimento existente en la parcela durante todo el periodo el que se desarrolló el estudio, así como las rosas de vientos efectivos de los periodos que existen datos.

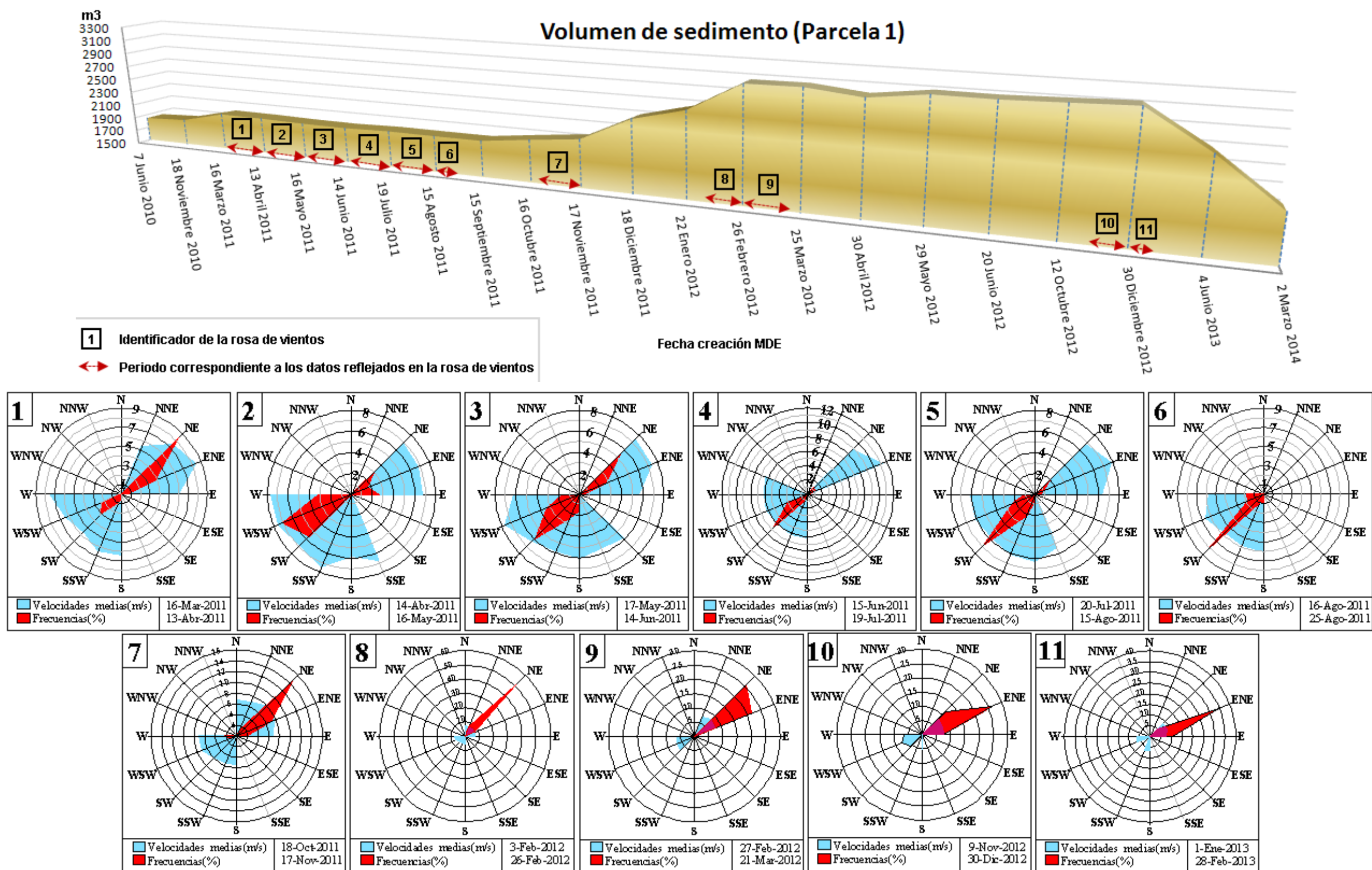
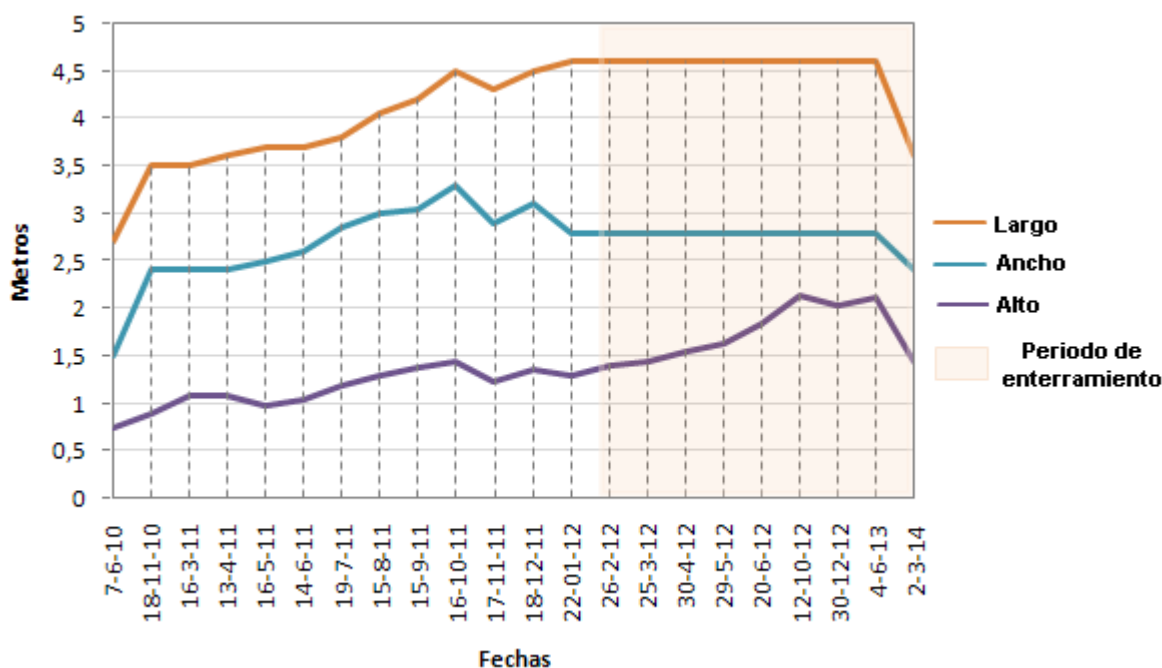


Figura 216: Volumen de sedimentos en la parcela 1 y rosas de vientos efectivos pertenecientes a los periodos en los cuales existen datos de vientos.

#### 4.2.2.1.3 Interacción *Traganum moquinii*-dinámica sedimentaria

Durante el estudio se tomaron medidas del largo, ancho y alto del individuo de *Traganum moquinii* con el objetivo de analizar la evolución del crecimiento vegetativo. Destaca el elevado crecimiento vegetativo en los periodos de mayor temperatura, que puede alcanzar hasta 0,6 cm diarios.



**Figura 217:** Evolución del crecimiento vegetativo del ejemplar de *Traganum moquinii* ubicado en la subparcela.

Dado que el nivel de lignificación en las ramas jóvenes del *Traganum moquinii* no es elevado, se puede observar que después de superar una longitud de aproximadamente 0,5 m, las mismas se inclinan. Dicha circunstancia fuerza que se vean modificados los valores del ancho y largo del individuo, dependiendo el nivel de modificación no solo por el grado de inclinación sino de la dirección de la misma. Dicho fenómeno siempre provoca que se eleve la densidad del follaje, con lo cual aumenta la sombra eólica a sotavento y por extensión, se produce una mayor acumulación de sedimento, en forma de duna de sombra.

La figura 218 muestra la evolución del volumen tanto del sedimento como de la copa del ejemplar de *Traganum moquinii* durante el estudio. El volumen de la copa,

es teórico, y se ha determinado a partir de la fórmula del volumen de un semielipsoide, pues la forma de crecimiento del individuo vegetal objeto de estudio, se asemeja a dicha superficie curva.

$$V_{balancón} = \frac{2\pi}{3}xyz$$

Donde  $x,y,z$ , son los semiejes, coincidiendo el semieje  $z$ , con la altura del ejemplar de *Traganum moquini* con respecto al plano definido por la zona de deflación.

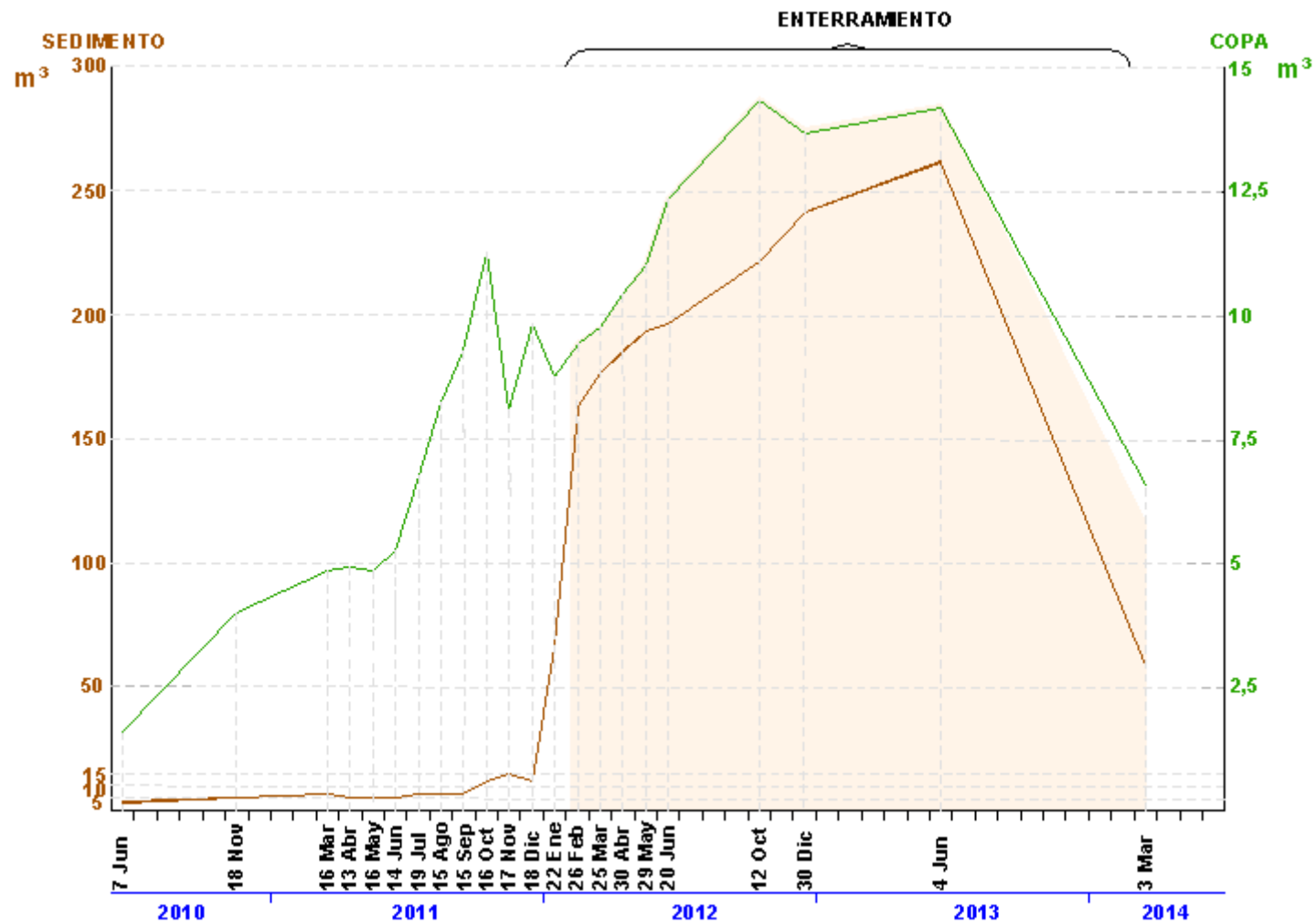


Figura 218: Evolución del volumen de la copa del individuo de *Traganum moquinii* ubicado en la subparcela y del sedimento a lo largo del estudio.

Con el fin de analizar más detalladamente la relación entre la vegetación y la dinámica sedimentaria eólica, mediante el seguimiento del ejemplar de *Traganum moquinii* y el montículo asociado al volumen de arena, se consideró estudiar los perfiles que se extrajeron desde que se inició el estudio hasta el 18 de diciembre de 2011. El resto del periodo, la unidad que conforma el ejemplar vegetal y el montículo de arena estuvo afectado por las siguientes circunstancias: i) parte de la subparcela se ve afectada por acción antropizante (figura 219), ii) se produce afección en la dinámica eólica por parte de una duna barjana muy próxima (22-1-2012), iii) se produce un periodo de 2 años de enterramiento del individuo de *Traganum moquinii*, y iv) se produce afección al generar una ralentización en la dinámica sedimentaria, por retención de sedimentos producida a barlovento por ejemplares de *Traganum moquinii* ubicados a una distancia aproximada de 13 m al SO del individuo objeto del estudio.

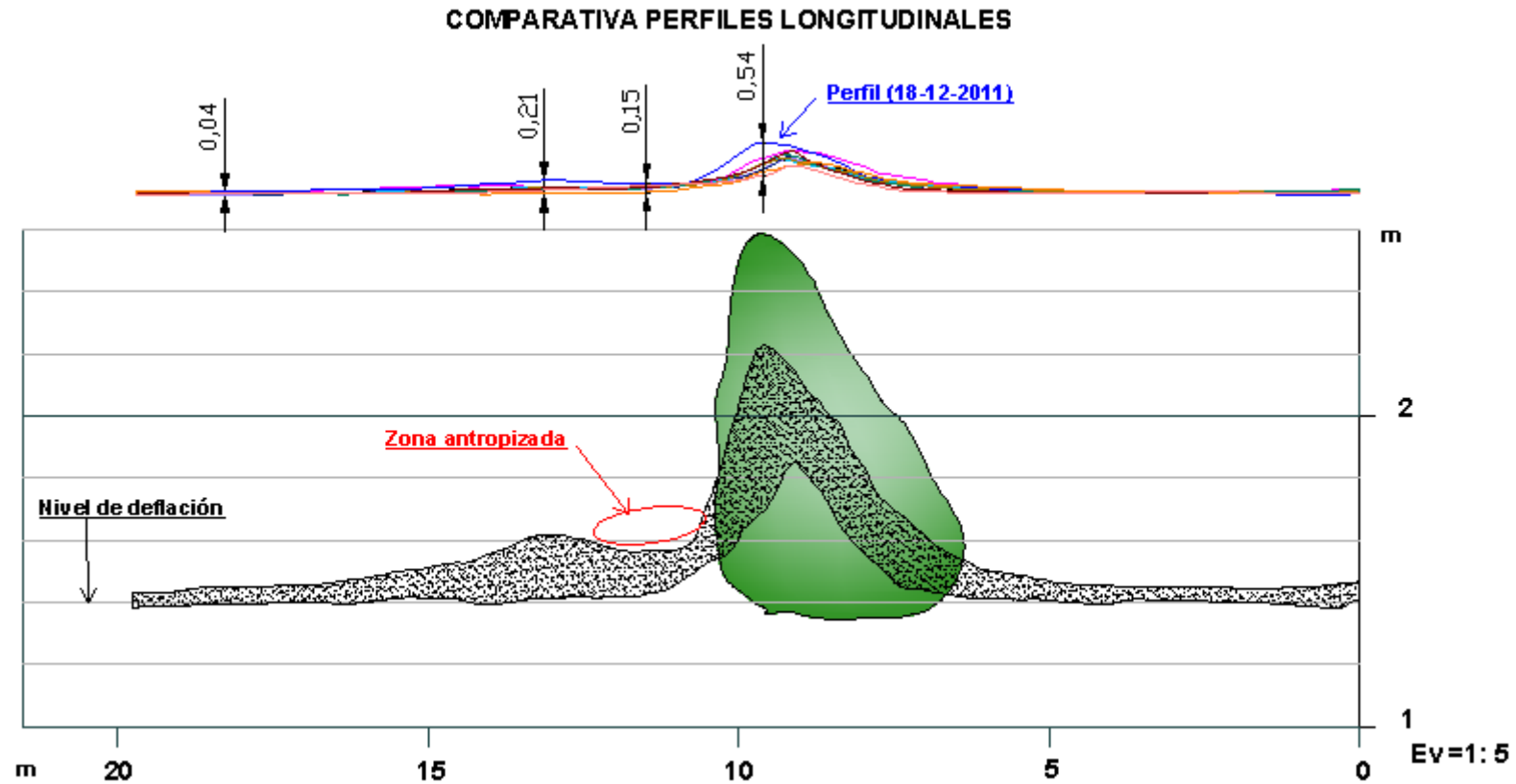
En la tabla 59 se muestra una tabla con los volúmenes correspondientes a los perfiles transversales (PT) y longitudinales (PL), de los MDEs seleccionados.

Fecha	Volumen PT (m <sup>3</sup> )	Volumen PL (m <sup>3</sup> )
7 Junio 2010	1,194	2,888
18 Noviembre 2010	1,220	2,921
16 Marzo 2011	1,286	2,935
13 Abril 2011	1,274	2,934
16 Mayo 2011	1,261	2,926
14 Junio 2011	1,269	2,920
19 Julio 2011	1,277	2,957
15 Agosto 2011	1,278	2,940
15 Septiembre 2011	1,276	2,956
16 Octubre 2011	1,334	3,041
17 Noviembre 2011	1,346	3,032
18 Diciembre 2011	1,353	3,050

**Tabla 59:** Volúmenes de sedimentos correspondientes a los perfiles transversales (PT) y perfiles longitudinales (PL) de cada MDE realizada en la subparcela.

Con el objetivo de analizar las geomorfologías resultantes de la evolución de los diferentes perfiles se definió un área, mediante una polilínea, dentro de la cual fluctuaron los perfiles (figura 219).





**Figura 219:** Perfiles longitudinales seleccionados y superficie que engloba los mismos.

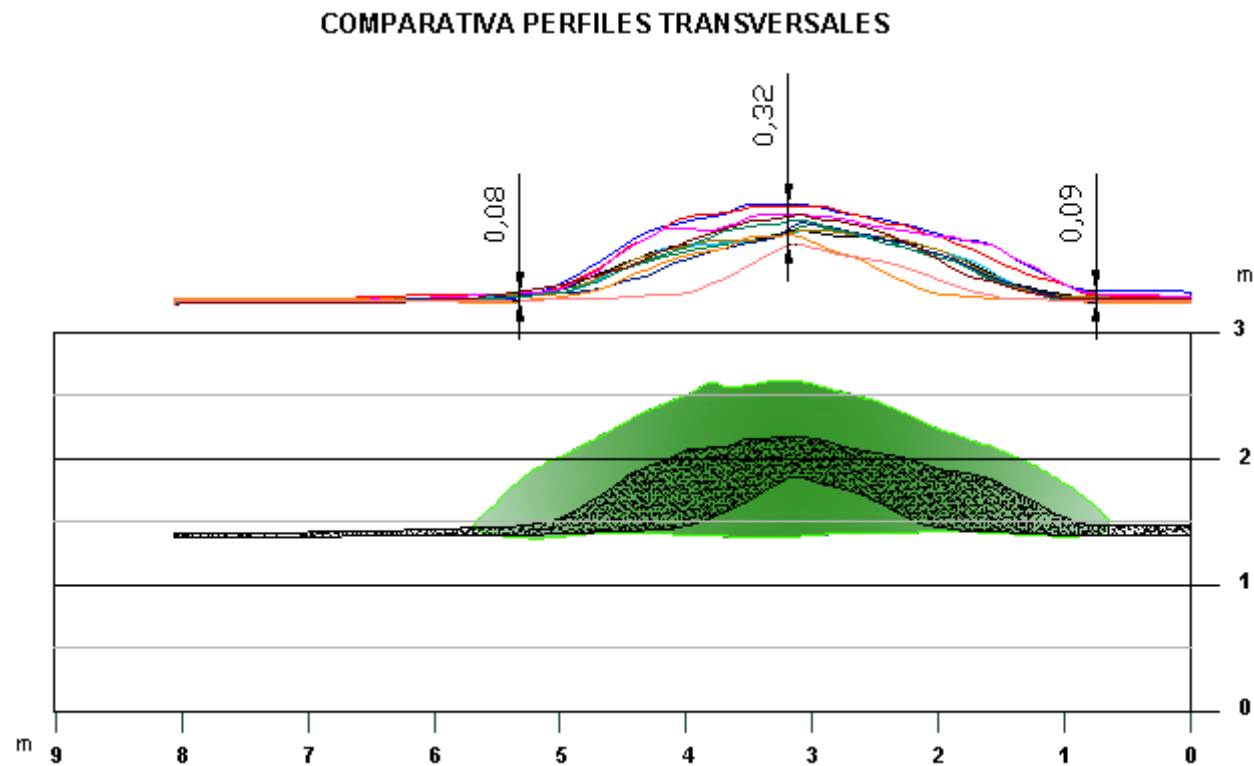
Se aprecia como la zona de fluctuación va en aumento desde barlovento a sotavento, produciendo la vegetación una acumulación de sedimentos a sotavento, al ralentizarse el transporte sedimentario. Según aumenta la distancia de influencia de la vegetación, el área de fluctuación disminuye en altura.

Las geoformas se vieron alteradas por acciones antrópicas, como la ocurrida entre el periodo del 17 de noviembre al 18 de diciembre de 2011, y así se observa en la figura 191 el perfil de dicha fecha. La zona más próxima al individuo de *Traganum moquinii* por el lado de barlovento es utilizado por usuarios de la playa al estar al abrigo de los vientos. Se modificó la geoforma existente (una duna sombra), como se aprecia en la figura 220, en la que además se observan cantos rodados procedentes de una paleobarra próxima, que habían sido transportados con la finalidad de ponerlos sobre las toallas, previo allanamiento del montículo.

Dichas acciones antropizantes no se habían realizado antes, posiblemente debido a que el ejemplar de *Traganum moquinii*, no era lo suficientemente alto para hacer sombra eólica adecuada para los usuarios.



**Figura 220:** Morfología alterada por usuarios de la playa (18-10-2011) en la parcela objeto de estudio.



**Figura 221:** Perfiles transversales seleccionados. En gris se presenta el área de fluctuación de los perfiles.

Se puede observar la homogeneidad de los diferentes perfiles al estar el desarrollo del montículo únicamente afectado por la acción eólica. Dada la orientación del montículo, perpendicular con respecto a los vientos dominantes, no se genera sombra eólica por efecto de la vegetación.

Con el objetivo de analizar si existe una relación entre los volúmenes de los diferentes perfiles y el volumen de la vegetación en cada instante, se realiza un estudio de correlación de Pearson, para un intervalo de confianza del 95% (tabla 60).

Para ello se cruzaron los datos obtenidos anteriormente.

Fecha	Volumen Copa (m <sup>3</sup> )	Volumen PT (m <sup>3</sup> )	Volumen PL (m <sup>3</sup> )
7 Junio 2010	1,59	1,194	2,888
18 Noviembre 2010	3,96	1,220	2,921
16 Marzo 2011	4,79	1,286	2,935
13 Abril 2011	4,93	1,274	2,934
16 Mayo 2011	4,79	1,261	2,926
14 Junio 2011	5,29	1,269	2,920
19 Julio 2011	6,75	1,277	2,957
15 Agosto 2011	8,29	1,278	2,940
15 Septiembre 2011	9,26	1,276	2,956
16 Octubre 2011	11,27	1,334	3,041
17 Noviembre 2011	8,10	1,346	3,032
18 Diciembre 2011	9,86	1,353	3,050

**Tabla 60:** Volúmenes de la copa de *Traganum moquinii*, perfiles transversales (PT) y perfiles longitudinales (PL) realizados en la subparcela.

En la tabla 61 se muestra los datos obtenidos del análisis estadístico.

Perfil Vs Perfil	r	t	df	p-valor
Copa vs PL	0.8491355	5.0839	10	0.0004751
Copa vs PT	0.8321863	4.7459	10	0.000785
PT vs PL	0.9277981	7.8641	10	1.368e-05

**Tabla 61:** Parámetros de la correlación de Pearson entre los volúmenes de los diferentes perfiles seleccionados y obtenidos a partir de todos los MDEs realizados desde el 7-6-2010 al 18-12-2011 en la parcela 1 en la playa del Inglés.

Se observa una alta correlación significativa entre los volúmenes de sedimento de los perfiles longitudinales y transversales, así como entre el volumen de la copa del individuo de *Traganum moquinii* y dichos perfiles.

#### 4.2.2.1.4 Geformas derivadas de la interacción

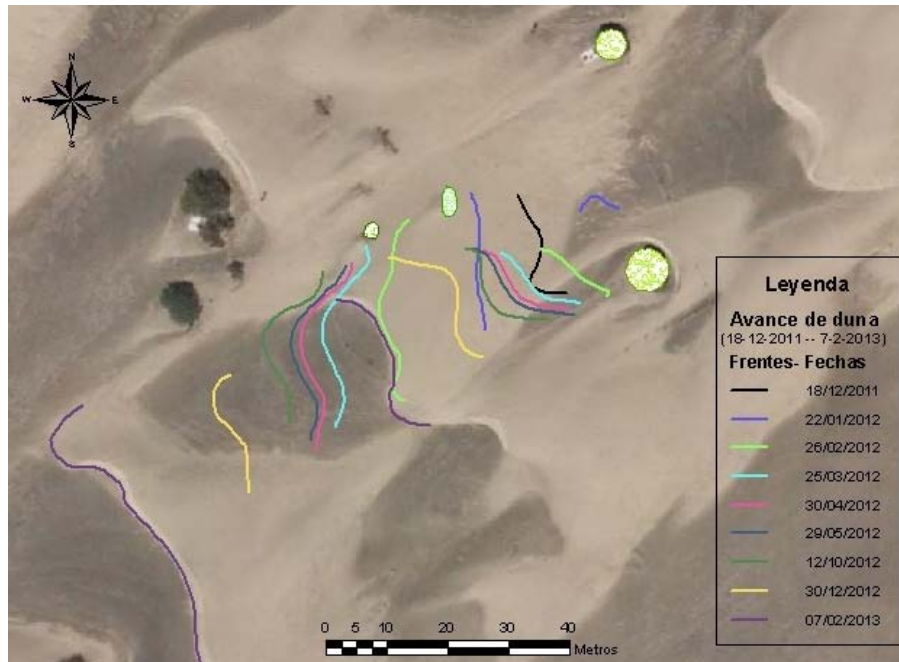
Finalmente, se realiza una aproximación a la evolución de las geoformas a lo largo de un sub-período de estudio, comprendido entre el 18-12-2011 y el 7-02-2013. Se considera tanto el trabajo de campo como el seguimiento mediante MDEs u ortofotos. Este análisis tiene como objetivo conocer las geoformas que se deducen de la interacción entre un ejemplar de *Traganum moquinii* y las dunas barjanas propias de este ambiente interior del complejo de duna costera de este sistema sedimentario eólico árido.

Se inicia este análisis determinando la configuración que tenía el sistema entre las dos primeras fechas analizadas, esto es entre el 18-12-2011 y el 22-01-2012. Al no existir datos de viento durante esos 32 días, se deduce vientos efectivos de componente E y SE a partir de la interpretación de las geoformas (Figuras 190 y 194).



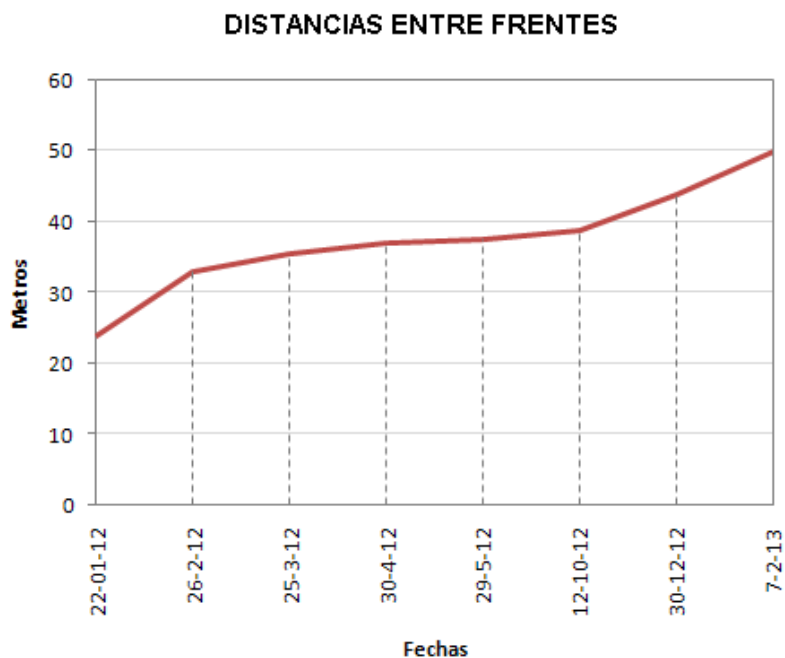
**Figura 222:** Sobre la duna sombra formada a sotavento del ejemplar de *Traganum moquinii* se observan rizaduras perpendiculares a los vientos dominantes en el periodo 18-12-2011/22-1-2012.

La coexistencia de estas dos direcciones, y la influencia en la dinámica eólica de la duna eco asociada al ejemplar vegetal, se produjo un giro en el frente de la duna barjana que avanza sobre la parcela, al tiempo que la duna se divide, apareciendo dos frentes, el inicial (1) y uno nuevo (2), que quedan separados entre sí unos 25 m.



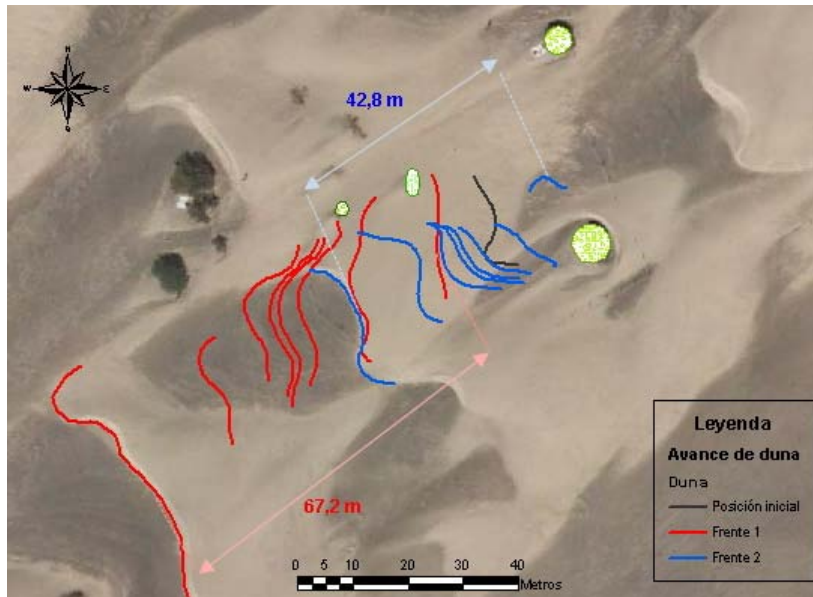
**Figura 223:** Evolución cronológica del avance de los dos frentes por la parcela objeto de estudio desde el 22-1-2011 al 7-2-2013.

A partir de ese momento (22-1-2012) las distancias entre estos dos frentes van en aumento a medida que el frente inicial se va alejando de la influencia de la vegetación, como se puede observar en la figura224.



**Figura 224:** Gráfico de la evolución de las distancias entre frentes desde el 22-1-2011 al 7-2-2013.

Las diferencias se hacen mayores cuando a partir del 30-12-2012 la parte norte del frente principal se despegaba totalmente de la vegetación.



**Figura 225:** Evolución acotada del avance del frente original (en rojo) en relación al avance de segundo frente (en azul).

Al final del estudio el frente 1 principal había avanzado 67,2 m, en cambio el frente 2 lo había hecho 42,8 m.

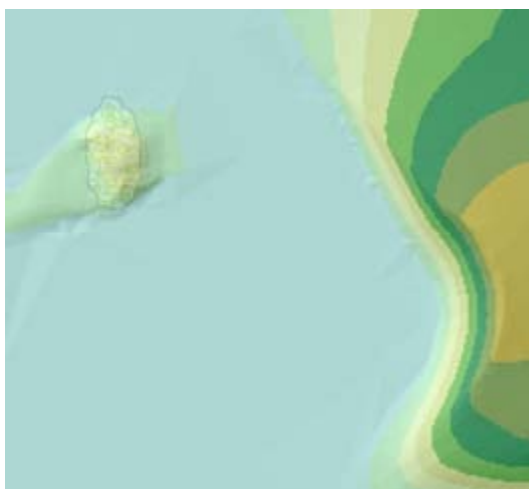
Aparte de esta variación en la velocidad de las dunas, inducida por la presencia del ejemplar de *Traganum moquinii*, se observan transformaciones de otras morfologías, que se presentan a continuación:

i) Duna eco, duna en montículo y duna de sombra. Estas dunas se asocian a individuos de *Traganum moquinii* aislados, debido a la interferencia que producen las plantas en la dinámica sedimentaria eólica, como se ha explicado en este capítulo. Las primeras corresponden a dunas, normalmente barjanas, de tamaño reducido (inferiores en altura al ejemplar de *Traganum moquinii*), quedan parcialmente retenidas en frente del ejemplar vegetal, en la dirección de los vientos efectivos, aunque no en contacto directo con él, debido a un vórtice de viento que se produce en el frente de la planta cuando éste sopla con cierta intensidad. La duna en montículo, por su parte, se forma en contacto directo con la planta, y es el producto de la retención de arena por interferencia de la planta con la dinámica sedimentaria eólica. Finalmente, la duna de sombra se produce a sotavento de la planta, debido al mismo proceso de interferencia.



**Figura 226:** Vista cenital de la parcela 1 el 17-2-2013. Se aprecian las dunas eco, en montículo y de sombra asociadas a un ejemplar de *Traganum moquinii*. Fuente: GRAFCAN.SL.

ii) Duna barjana. Esta duna inicia su recorrido por el interior de la parcela en diciembre de 2001. Se trata de una duna que se ha formado a consecuencia de la interacción, en las primeras dunas en montículo del complejo de duna costera de Maspalomas. Estas dunas en montículo, y la propia duna barjana se producen por la interacción de individuos de *Traganum moquinii* con la dinámica sedimentaria eólica.



**Figura 227:** Parte del GRID que se generó a partir de los datos captados el 18-12-2011 en el cual se observa el desarrollo una duna barjana.

iii) Duna de interferencia. Esta duna se genera cuando dunas barjanas de mayor altura que las descritas anteriormente, contactan con la unidad formada por el ejemplar de *Traganum moquinii* y el montículo de arena asociado a éste. En este caso, no se forman dunas eco, aunque también se produce una clara interferencia, de



forma que el sector de la duna que entra en contacto directo con el obstáculo, queda retenido por éste, mientras que los sectores que no sienten esta interferencia, continúan su avance en la dirección de los vientos efectivos. En ese momento comienza la formación de esta duna de interferencia, que queda establecida más claramente cuando los sectores no retenidos sobrepasan lateralmente la unidad definida por la duna en montículo y el ejemplar vegetal. Dada su morfología en planta, se ha denominado a esta duna “*cola de ballena*”, dado que no se ha encontrado ninguna referencia a su denominación en la bibliografía científica.



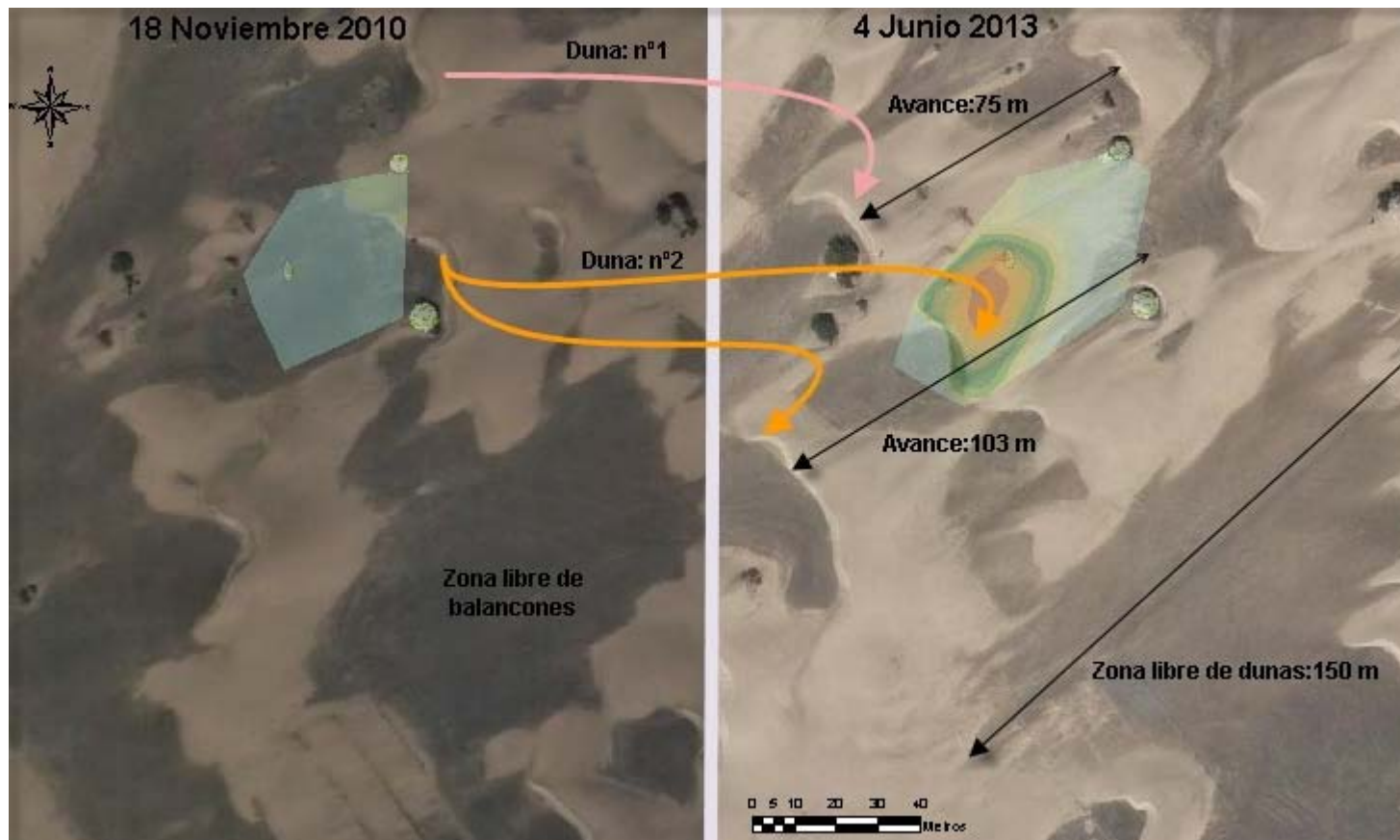
**Figura 228:** Vista de la parcela 1, el 26-2-2012, en la cual ya se aprecia la duna cola de ballena asociada al ejemplar de *Traganum moquinii*.

A medida que la duna *cola de ballena* se aleja de la vegetación, sus dos extremos libres se unen nuevamente para conformar de nuevo un frente único, característico de una duna barjana o de un cordón barjanoide. Se trata, por tanto, la duna *cola de ballena*, de una duna efímera, cuya duración depende, en cualquier caso, de la dirección e intensidad de los vientos efectivos.



**Figura 229:** Vista cenital de la parcela 1, el 9-5-2012, en la cual se aprecia la duna de *cola de ballena* perfectamente formada. Fuente: GRAFCAN S.L.

A modo de modelo resumido de los procesos sedimentarios eólicos acaecidos en el entorno de la parcela 1, se presenta un gráfico (figura 230) en el que se representan las geoformas y su evolución entre el 18-11-2010 y el 4-06-2013. El mayor avance se produce en la zona de deflación, llegando a duplicar la distancia recorrida por otras dunas que han sido retenidas por ejemplares de *Traganum moquini*.



**Figura 230:** Evolución del avance de diferentes dunas. La tasa de avance depende de la densidad de vegetación que se encuentra a su paso.

#### 4.2.2.2 Discusión

El hecho que exista una alta correlación significativa entre los volúmenes de sedimento de los perfiles longitudinales y transversales, así de éstos con el volumen de la copa de los ejemplares de *Traganum moquinii*, da constancia que a mayor volumen de la vegetación, mayor es el montículo que se forma a su alrededor.

Este proceso sinérgico de crecimiento de planta y montículo de arena, generado por la interacción de un ejemplar de *Traganum moquinii* en la dinámica sedimentaria eólica, define un sistema propio, motivado por la reacción de la planta al enterramiento progresivo absoluto y, con ello, una mayor capacidad de retención de arena generada por la planta. A su vez, la mayor retención sedimentaria produce un mayor enterramiento, que, a su vez, producirá una reactivación en el crecimiento de la planta... Se puede definir así un sistema de dunas en montículo de crecimiento progresivo potencial, por interferencia de la especie *Traganum moquinii* en la dinámica sedimentaria eólica, al que denominamos, en esta tesis, “sistema *Traganum*-montículo” (STM, en adelante).

Este sistema genera geoformas dunares propias en las zonas interiores del complejo de duna costero, cuando aparecen conformando morfologías aisladas, ya que a esta distancia de la costa ya aparecen dunas barjanas que interfieren con este sistema. Se generan entonces morfologías características de la interacción entre la vegetación y la dinámica sedimentaria, como dunas eco, en montículo y de sombra. También, si las condiciones son favorables (vientos efectivos y dunas barjanas de cierta altura, en relación con el obstáculo), se producen otras dunas de interferencia, no descritas hasta ahora, a las que hemos denominado dunas *cola de ballena*.

El aprovechar los usuarios de la playa las sombras eólicas generadas por los individuos de *Traganum moquinii*, provocan que el sistema montículo-balancón se vea afectado, ya que al disminuir el montículo en altura, produce que el crecimiento del montículo se ralentice. Con ello interfieren en los procesos de interacción entre el STM y la dinámica sedimentaria eólica, y por consiguiente, en la formación de dunas libres.

### 4.2.3 Parcela N° 2

Se utilizó la misma parcela, de 1782,8 m<sup>2</sup> de superficie, en la cual se desarrolló la toma de datos para la modelización de los vientos dominantes de la duna costera. El lugar seleccionado para la parcela se determinó entre otros por las siguientes circunstancias:

- Los ejemplares de *Traganum moquinii* que ahí se encuentran están vinculados a dunas “estable” (aparentemente consolidadas), de tamaño medio, que se encuentran en crecimiento, determinando dos unidades próximas de STM. Se considera, desde este punto de vista, un conjunto representativo del sistema de duna costera.
- El conjunto está lo suficientemente alejado de las zonas destinadas a hamacas y sombrillas, y retirado del flujo masivo de usuarios de la playa, como para esperar un mínimo riesgo de interacciones derivadas de actividades antrópicas, durante el periodo del ensayo.



Figura 231: Ubicación de la parcela n° 2. Fuente: GRAFCAN S.A.

## Materiales

La zona ha sido vallada por el Grupo de Investigación “Geografía Física y Medio Ambiente” de la ULPGC, para lo que se solicitaron los permisos correspondientes al Cabildo Insular de Gran Canaria.

El vallado es de tipo rústico y ha sido empleado previamente en proyectos de restauración de dunas costeras con éxito (Ley et al., 2007). Se dispone en el perímetro de la zona de estudio e incrustado en el terreno. Para el vallado se utilizaron los siguientes materiales:

- 40 palos de madera de 70 mm de diámetro, con tratamiento en autoclave, de 2,5 m. de altura.
- 12 palos cuadrados de 100 mm de lado, con tratamiento en autoclave, de 3 m de altura.
- 170 m. de malla metálica de alambre galvanizado, tipo cinegética, de hueco 15x20 centímetros, con reforzado triple de 1,5 m de altura.
- 340 m. de alambre galvanizado de 1,5mm.
- 16 tensores galvanizados.



**Figura 232:** Realización de las primeras tareas, en la ejecución del vallado.

En diversos puntos estratégicos del vallado, se colocaron carteles iguales a los colocados en la parcela nº 1, en los que se solicitaba la colaboración de los usuarios de la playa.

Los palos se enterraron lo necesario para que quedaran descubiertos unos 1,50 m sobre la superficie del terreno.



**Figura 233:** Vista parcial del vallado finalizado.

Su implantación no afectó a la dinámica sedimentaria de forma significativa, como se aprecia en la figura 234, en la cual se observa la formación de rizaduras que no modificaron su estructura al atravesar los huecos de la malla cinegética.



**Figura 234:** Rizaduras atravesando la valla cinegética



Su carácter rural implica un mínimo impacto paisajístico y visual, además de ser efectiva, por no ser fácilmente franqueable, como se puede observar en la figura 235.



**Figura 235:** Zona objeto de estudio sin afecciones antrópicas.

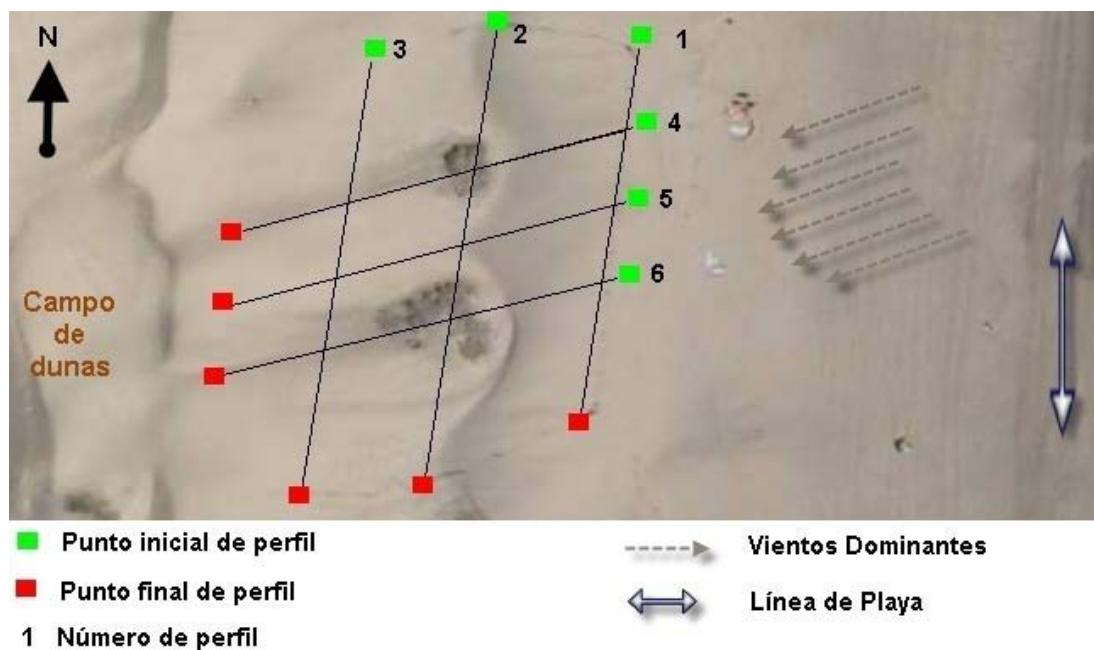
### **Estación y perfiles**

La estación fija definida para la realización de los diferentes MDE tiene las siguientes coordenadas U.T.M.; X=443895,586; Y=3069206,613 en el huso 28 y en el ITRS 93. La Z=1,420, referidas al NMM en el Puerto de la Luz y Las Palmas, tomadas mediante un dispositivo GPS.

Para esta parcela, se definieron en total 6 perfiles, 3 longitudinales, los que van en dirección a los vientos dominantes, y 3 cuasi-transversales a los anteriores.

La ubicación de los mismos se ha determinado en función de la importancia que tuviera la zona elegida, con el objeto de que pudiera aportar información no solo cuantitativa sino también mejor información cualitativa para el estudio de la morfología.





**Figura 236:** Ubicación de los diferentes perfiles.

#### 4.2.3.1 Resultados

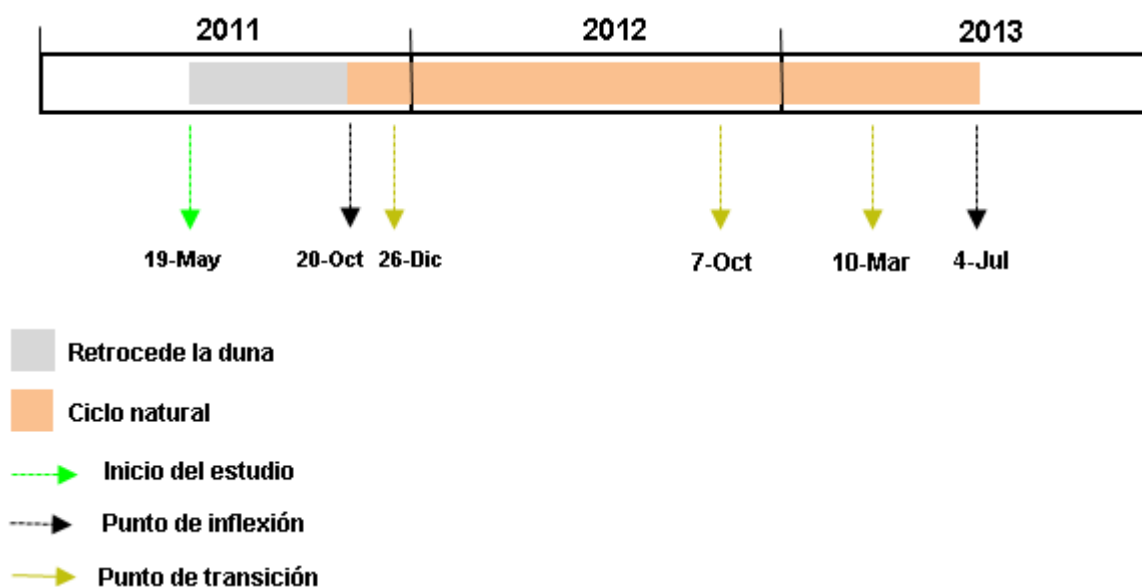
Se realizaron un total de 18 MDEs. Las fechas de su realización de los diferentes MDEs se muestran en la tabla 62.

ID	FECHA	ID	FECHA
1	19 Mayo 2011	10	06 Marzo 2012
2	22 Junio 2011	11	01 Abril 2012
3	21 Julio 2011	12	29 Abril 2012
4	25 Agosto 2011	13	27 Mayo 2012
5	22 Septiembre 2011	14	25 Junio 2012
6	20 octubre 2011	15	07 Octubre 2012
7	27 Noviembre 2011	16	10 Marzo 2013
8	26 Diciembre 2011	17	04 Julio 2013
9	06 Febrero 2012	18	20 Octubre 2013

**Tabla 62:** Fechas de la realización de los MDE realizados en la parcela 2 en Playa del Inglés (Gran Canaria).

#### 4.2.3.1.1 MDEs generados

En este apartado se muestran los MDEs que desde el punto de vista morfológico se consideran más representativos: i) cuando se inicia el estudio, el 19-05-2011;ii) cuando se detecta una inflexión, tras un período de retroceso, con vientos efectivos dominantes del SO, la duna retorna a la posición de dominio de los vientos efectivos del NE, el 20-10-2011;iii) cuando se observa que se inicia un nuevo ciclo de entrada de sedimentos, el 4-07-2013. Se considera el periodo acotado entre estos puntos de inflexión como el correspondiente a un ciclo natural de la duna costera en la Reserva Natural Especial de las dunas de Maspalomas, por la repetición de las geoformas desarrolladas; se incluyen tres instantes considerados de transición entre el inicio y el final del ciclo, como son iv) 26-12-2011;v) 7-10-2012; y vi) 10-03-2013.



**Figura 237:** Escala temporal de los MDEs realizados que se consideraron morfológicamente más representativos.

También se muestran los perfiles generados, obtenidos de estos MDEs. El resto de MDEs se muestran en el Anexo II

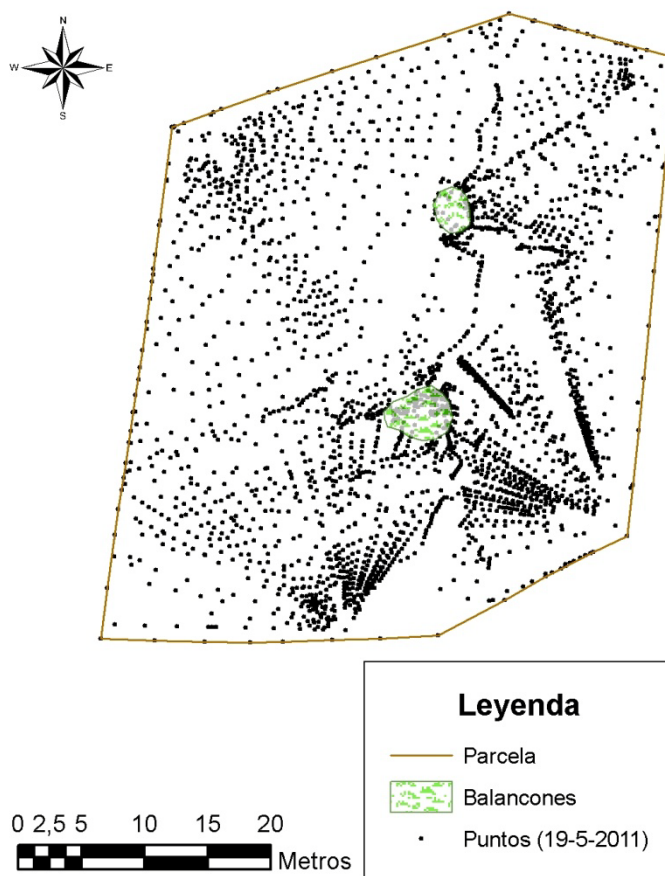
**19 de mayo de 2011**

Se inicia el estudio, con este primer MDE, para cuya elaboración se tomaron 2868 puntos.



**Figura 238:** Vista parcial de la parcela 2 el 19-5-2011.

En la figura 238 se observa lo que queda de la duna parabólica que estaba formada el 29-12-2010, así como una duna de sombra asociada al STM de mayor altura.



**Figura 239:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 19-05-2011 en la parcela 2.

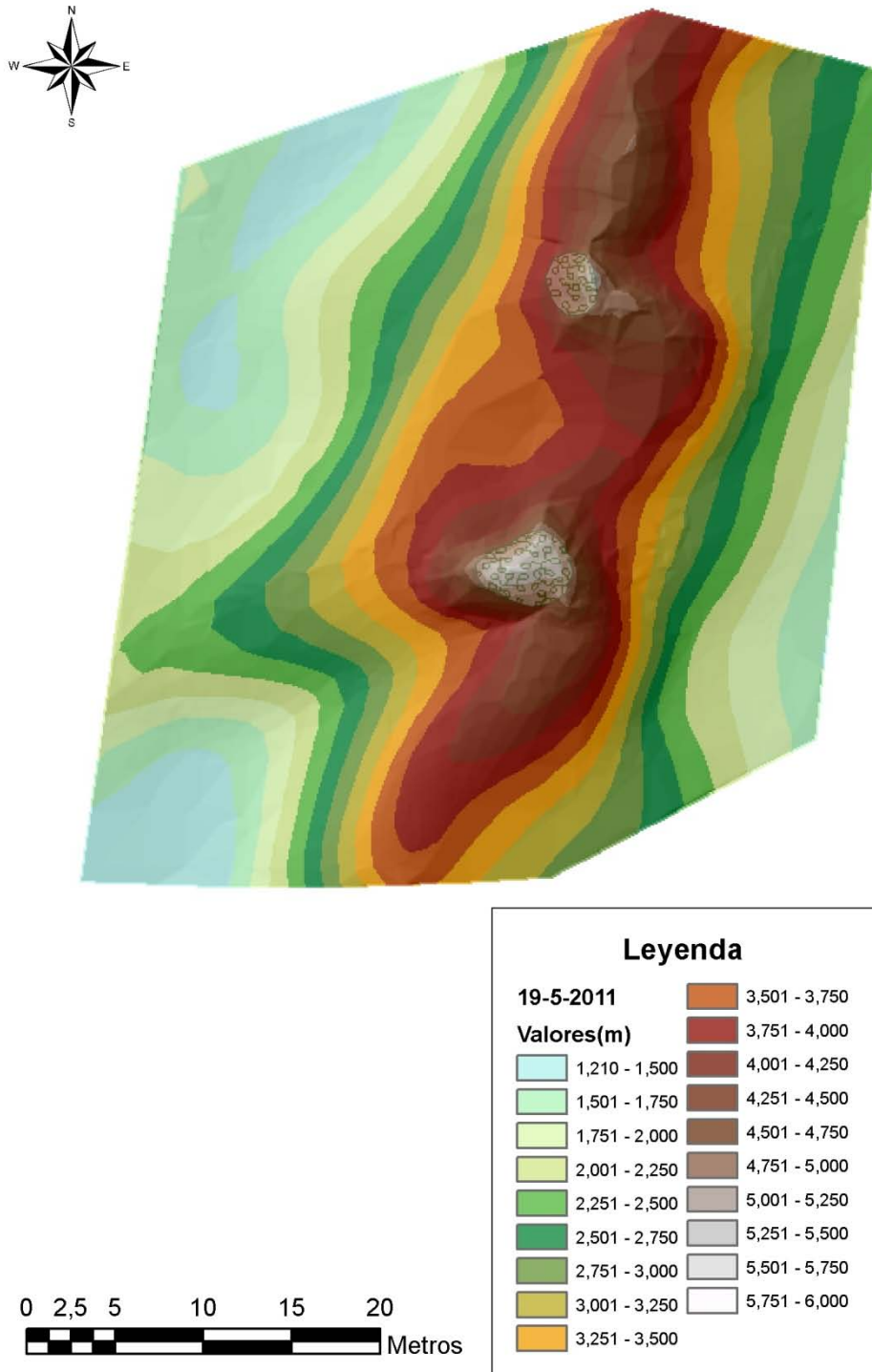


Figura 240: GRID correspondiente al MDE realizado el 19-05-2011.

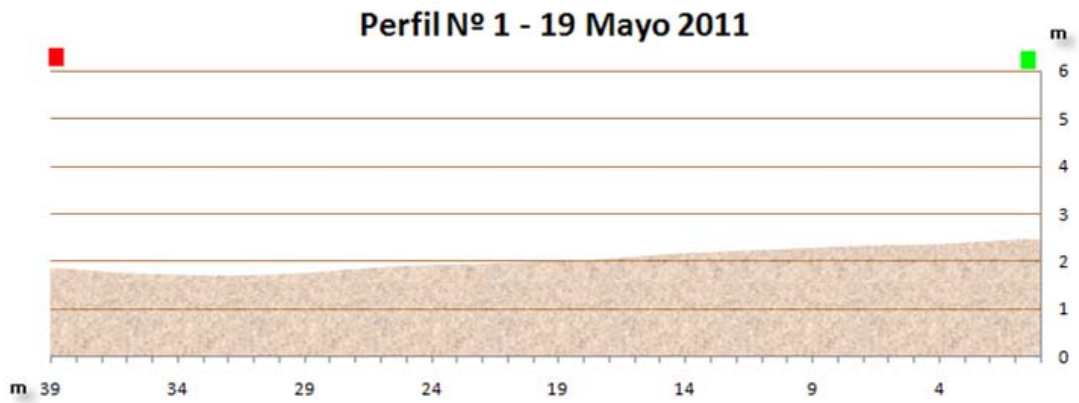


Figura 241: Perfil n° 1 (19-05-2011).

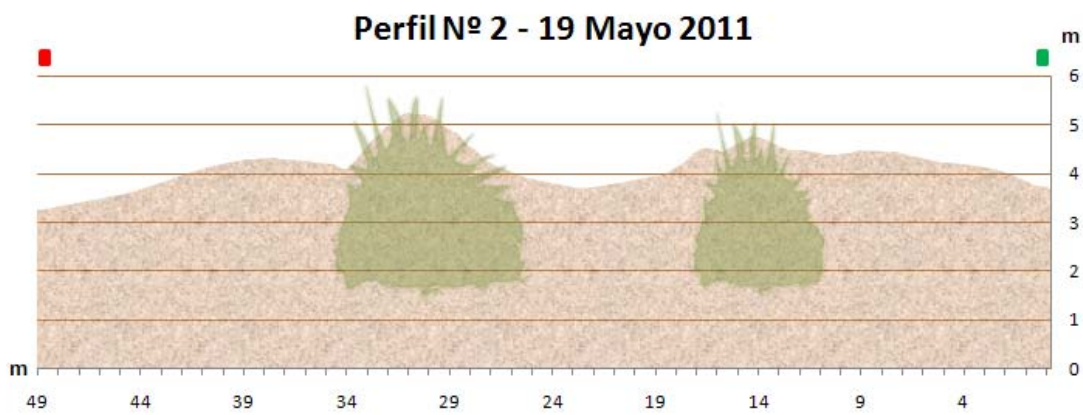


Figura 242: Perfil n° 2 (19-05-2011).

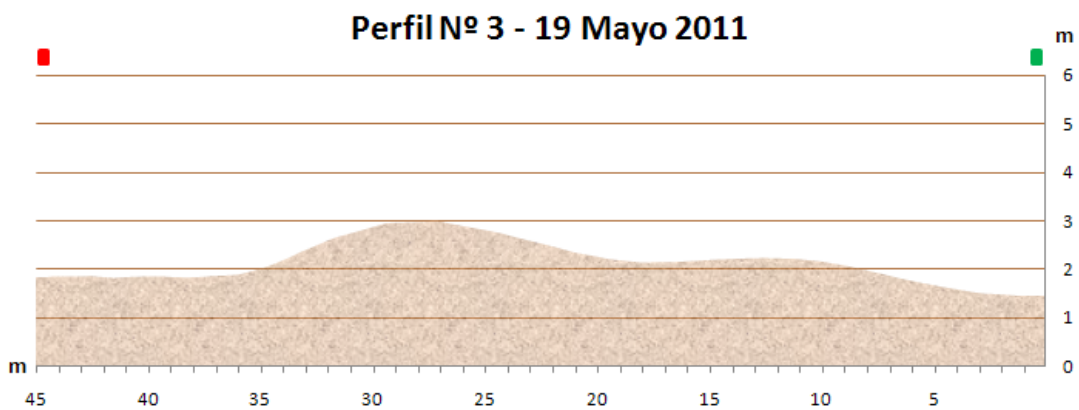
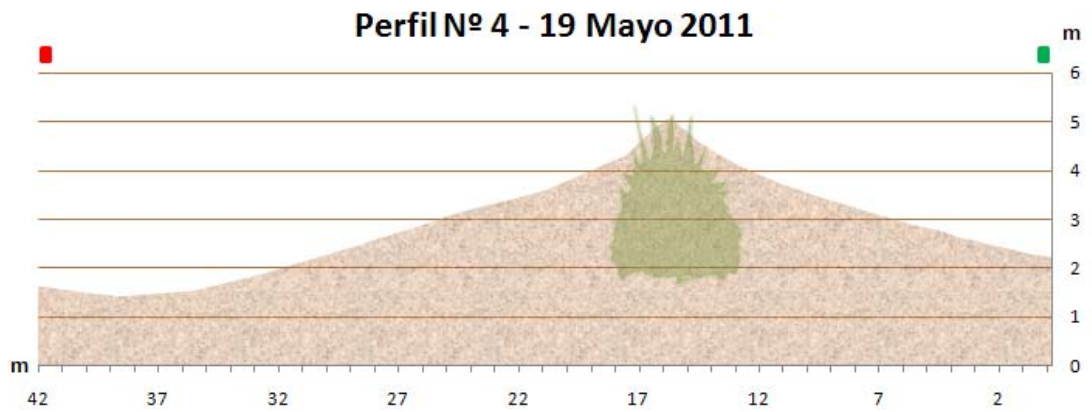
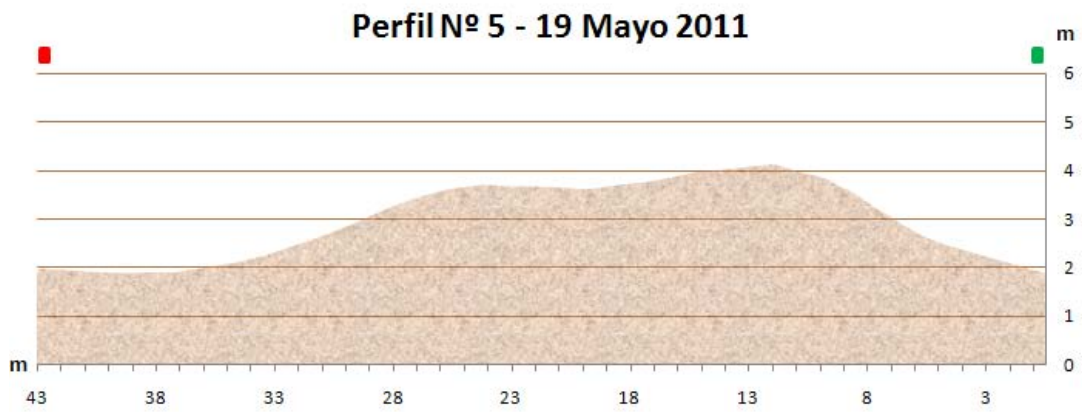


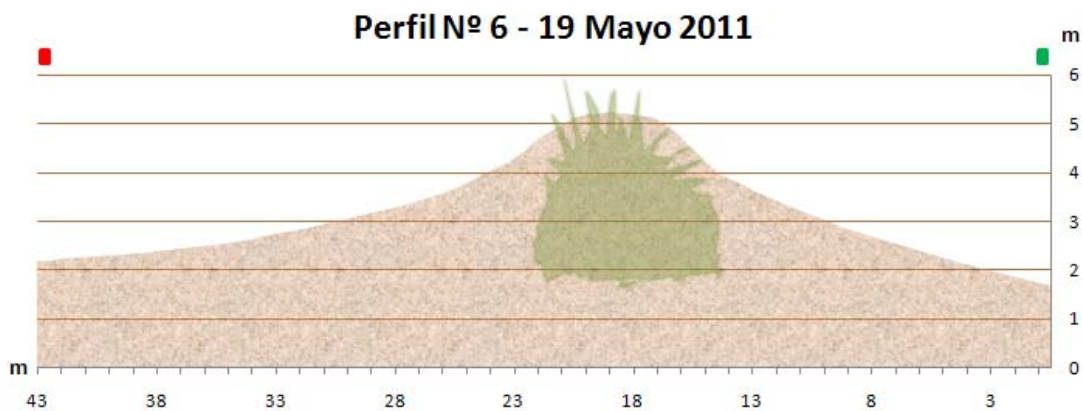
Figura 243: Perfil n° 3 (19-05-2011).



**Figura 244:** Perfil nº 4 (19-05-2011).



**Figura 245:** Perfil nº 5 (19-05-2011).



**Figura 246:** Perfil nº 6 (19-05-2011).



En la figura 240 se puede observar la geoforma de una duna inversa (Mc Kee, 1979), en la figura 245, se observa el frente antiguo con el borde de la duna en el punto métrico (en adelante Pm) 27, más bajo en altura que la cresta invertida en ese momento, Pm 10.

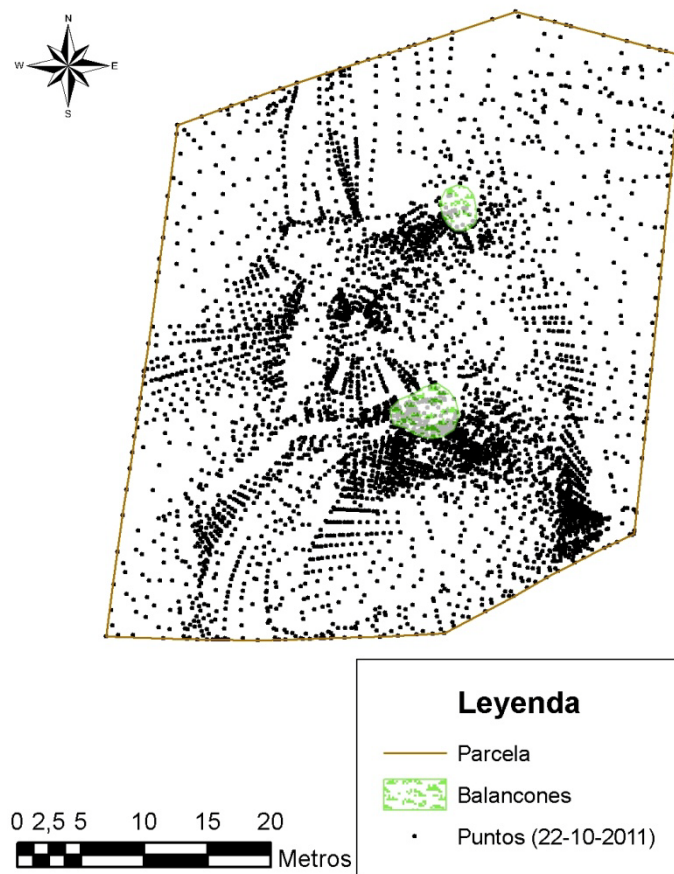
### **20 de octubre de 2011**

Se considera este instante como inicio del ciclo, pues es cuando la duna parabólica retoma su situación “normal”, similar a la que existía un año atrás, después de un retroceso del frente.

Para la realización del MDE se tomaron 4815 puntos, debido a la existencia de amplias zonas con superficies curvilíneas.



**Figura 247:** Vista parcial de la parcela 2 el 20-10-2011.



**Figura 248:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 20-10-2011 en la parcela 2.

En la figura 249 se observa las geoformas del inicio de formación de tres dunas parabólicas, siendo la ubicada entre los dos STM la que mayor altura ha alcanzado. El talud asociado a dicha duna tiene una pendiente de  $28^{\circ}52'41''$  (figura 254).



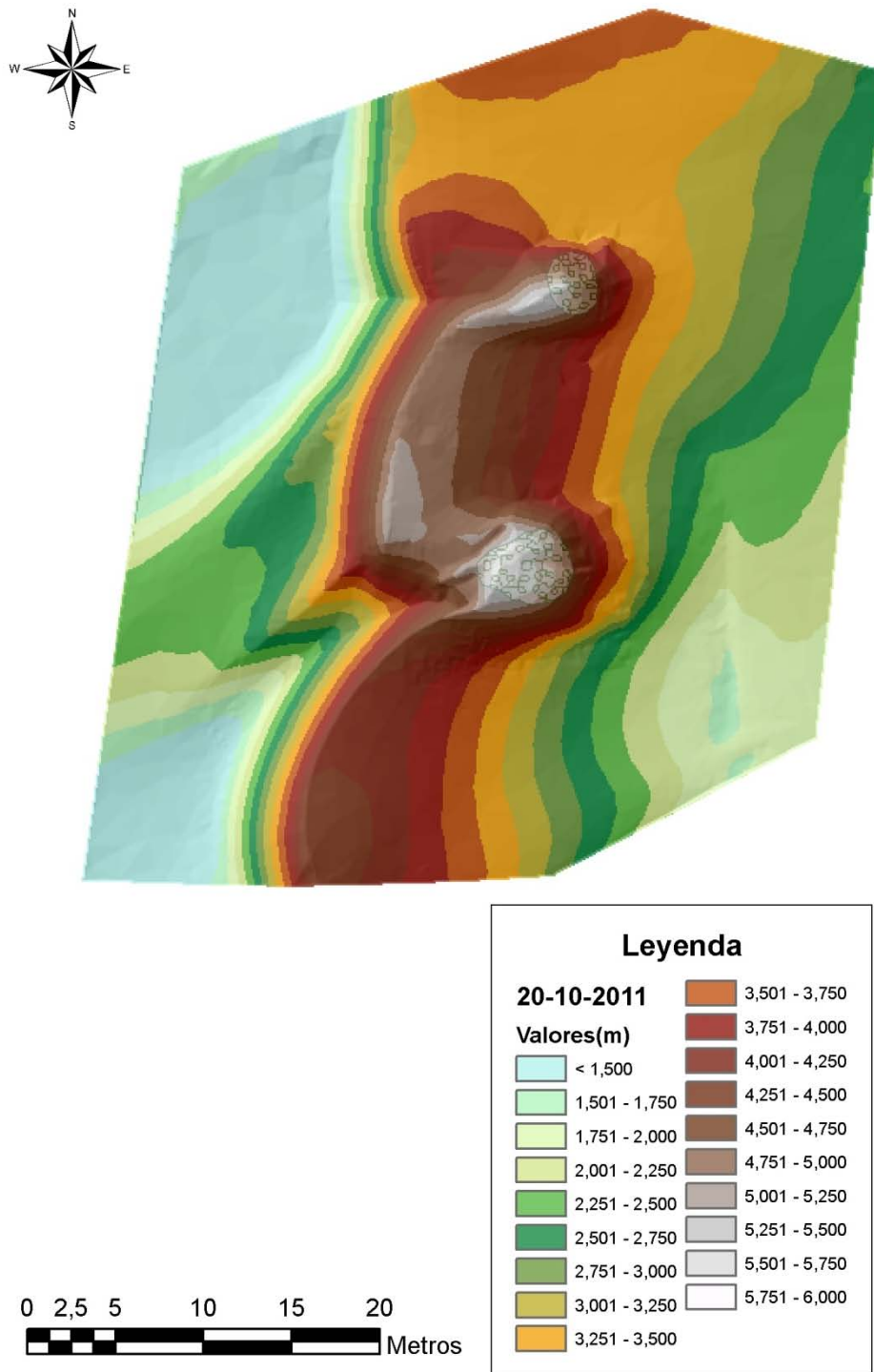
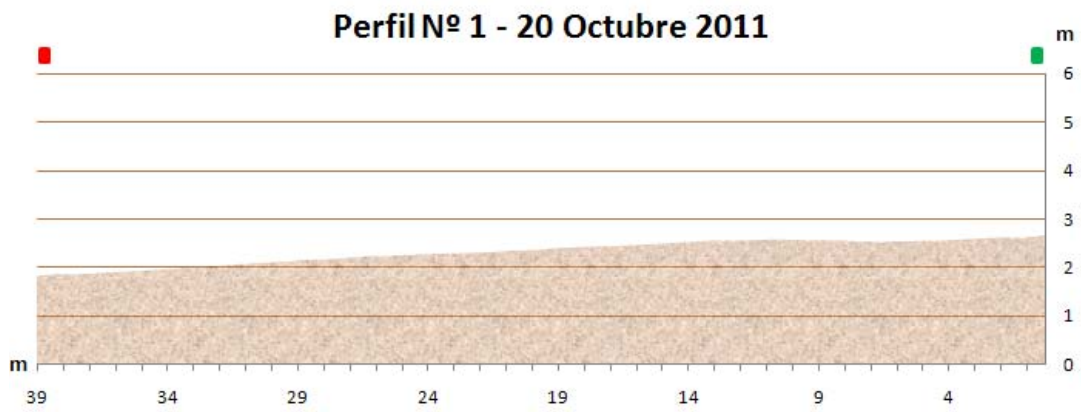
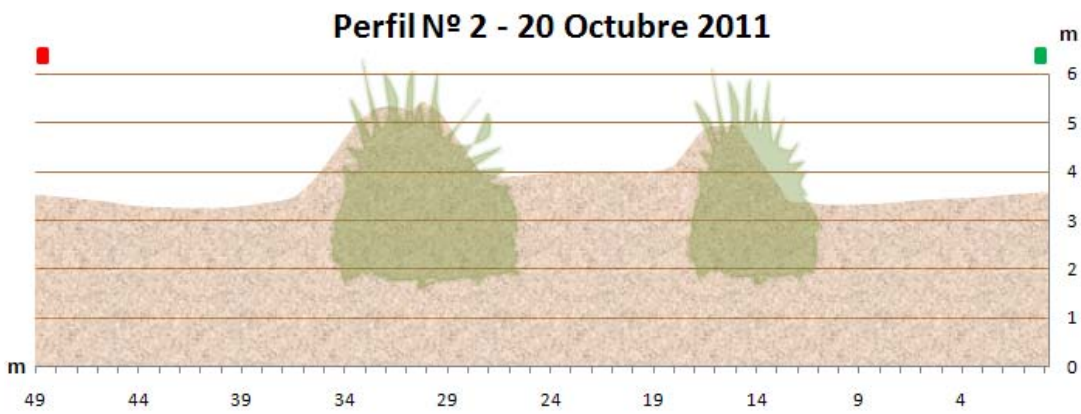


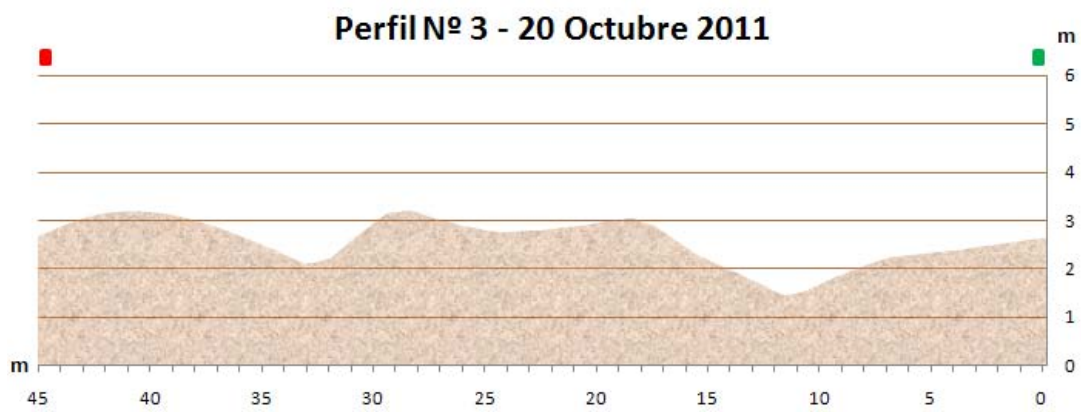
Figura 249: GRID correspondiente al MDE realizado el 20-10-2011.



**Figura 250:** Perfil nº 1 (20-10-2011).



**Figura 251:** Perfil nº 2 (20-10-2011).



**Figura 252:** Perfil nº 3 (20-10-2011).

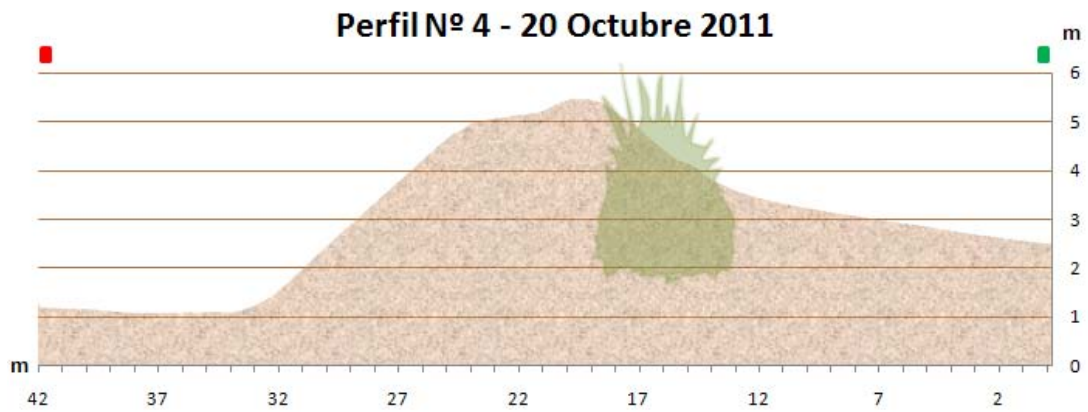


Figura 253: Perfil nº 4 (10-10-2011).

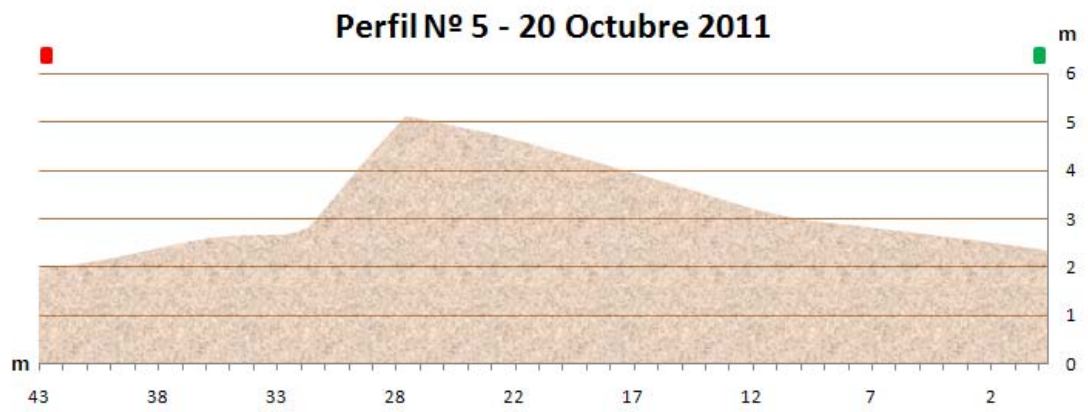


Figura 254: Perfil nº 5 (20-10-2011).

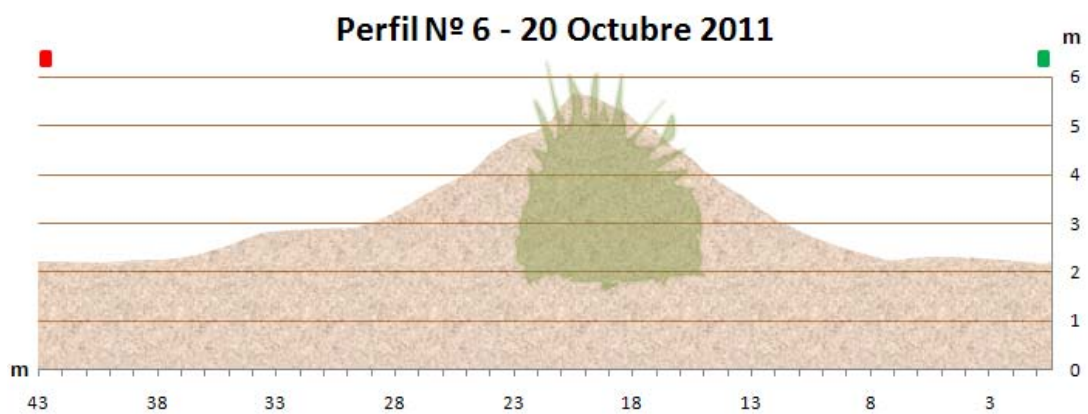


Figura 255: Perfil nº 6 (20-10-2011).

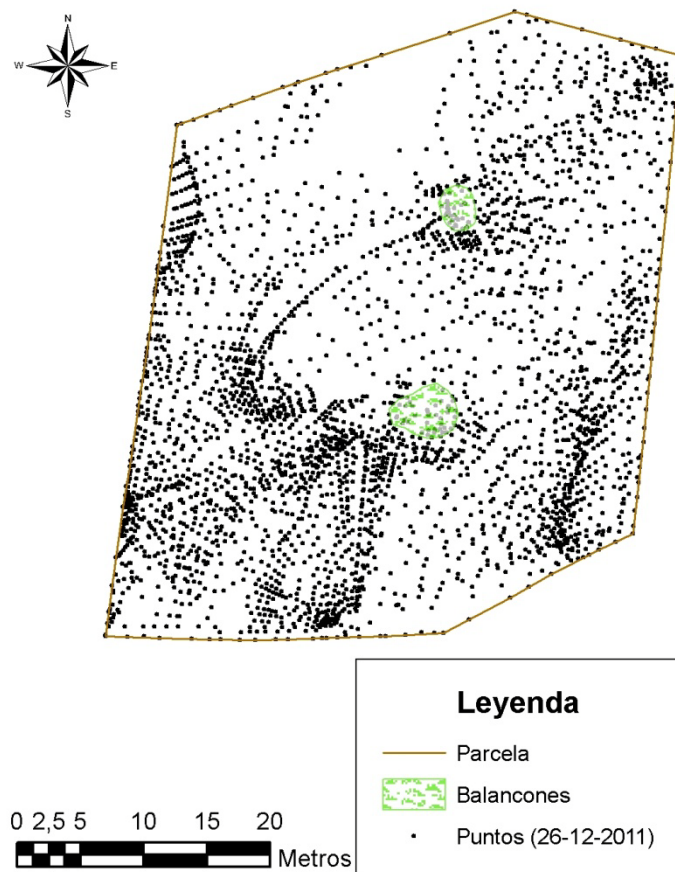
**26 de diciembre de 2011**

En esta fecha se aprecia la duna parabólica adelantada con respecto a los STM, con sus extremos retenidos en éstos.



**Figura 256:** Vista parcial de la parcela 2 el 26-12-2011.

Para la realización del MDE se tomaron 3212 puntos.



**Figura 257:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 26-12-2011 en la parcela 2.

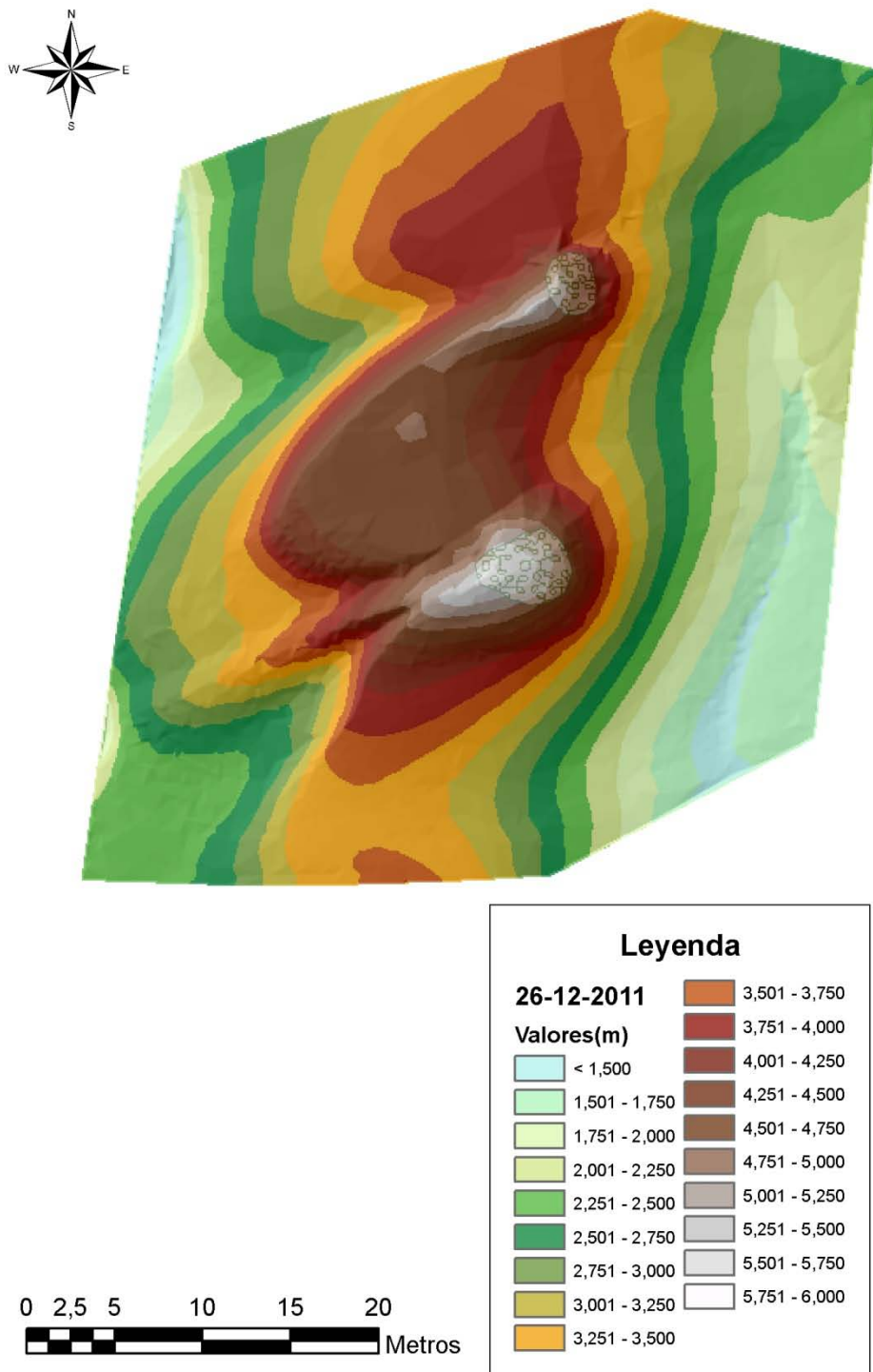
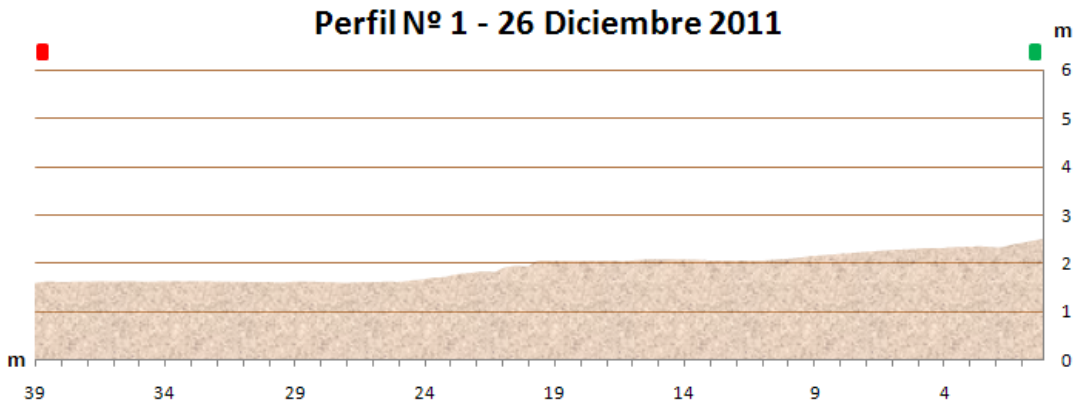
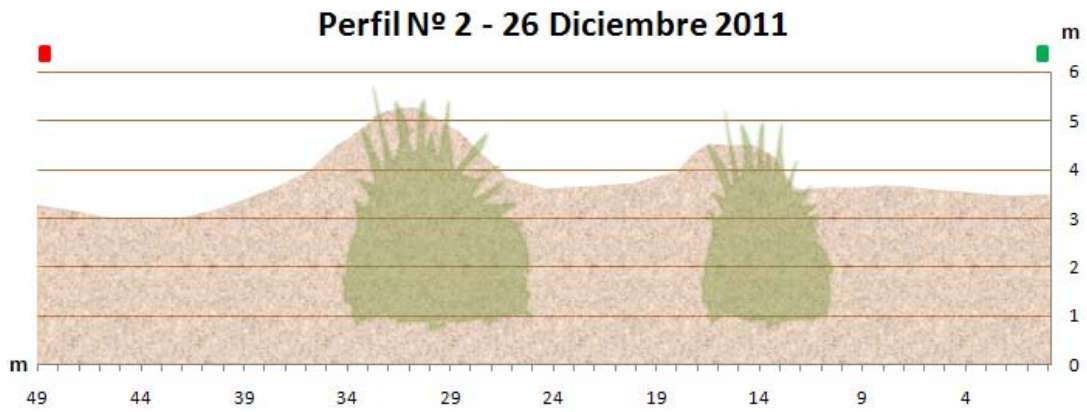


Figura 258: GRID correspondiente al MDE realizado el 26-12-2011.

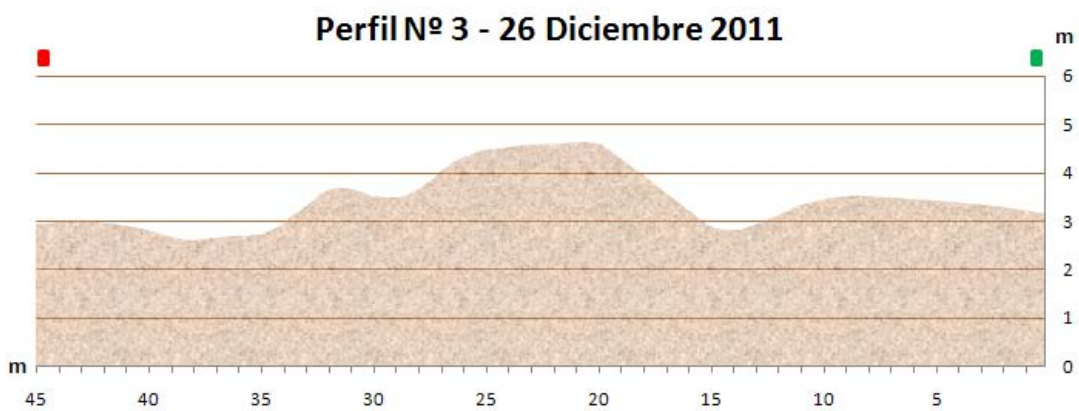




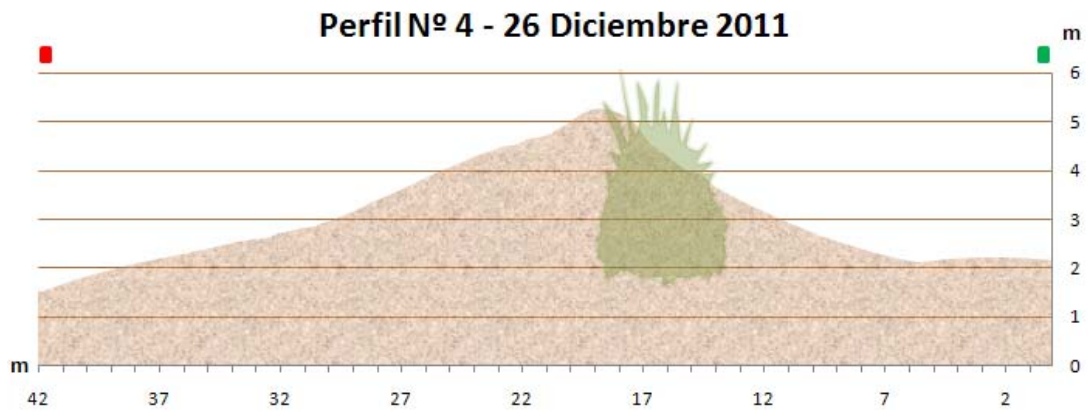
**Figura 259:** Perfil n° 1 (26-12-2011).



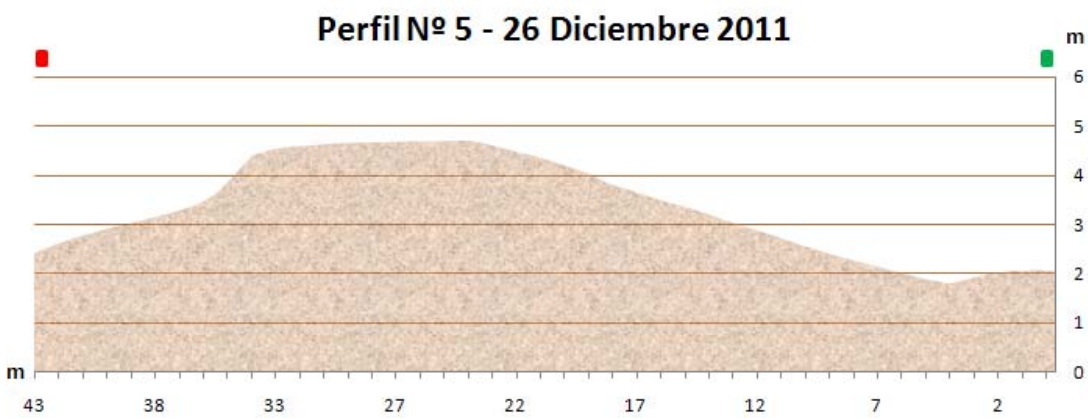
**Figura 260:** Perfil n° 2 (26-12-2011).



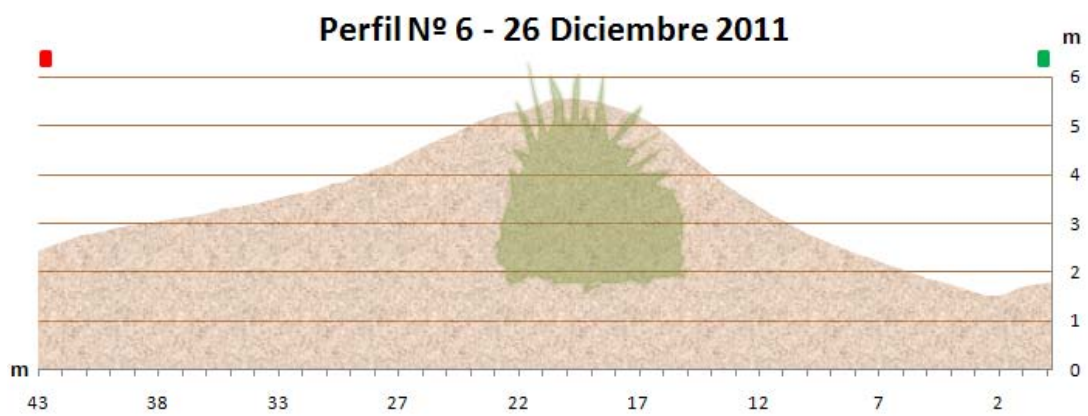
**Figura 261:** Perfil n° 3 (26-12-2011).



**Figura 262:** Perfil nº 4 (26-12-2011).



**Figura 263:** Perfil nº 5 (26-12-2011).



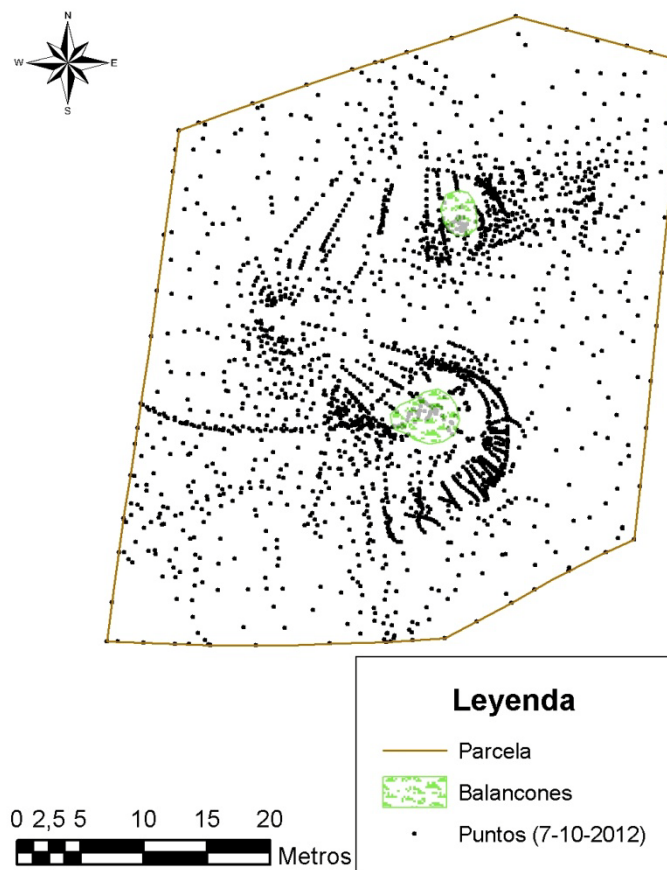
**Figura 264:** Perfil nº 6 (26-12-2011).

**7 de octubre de 2012**

Para la generación del MDE se tomaron 2244 puntos, al haber menos geoformas curvilíneas.



**Figura 265:** Vista parcial de la parcela 2 el 7-10-2012.



**Figura 266:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 7-10-2012 en la parcela 2.

En la figura 267 se observa como el frente de avalancha de la duna parabólica ha avanzado hacia el interior del sistema. También se ha prolongado una duna de sombra, generadas por la interferencia del STM de mayores dimensiones (ubicado al



sur) en la dinámica sedimentaria eólica (figura 270). De igual forma se ha formado una duna eco en el frente de barlovento de este STM (figura 273).

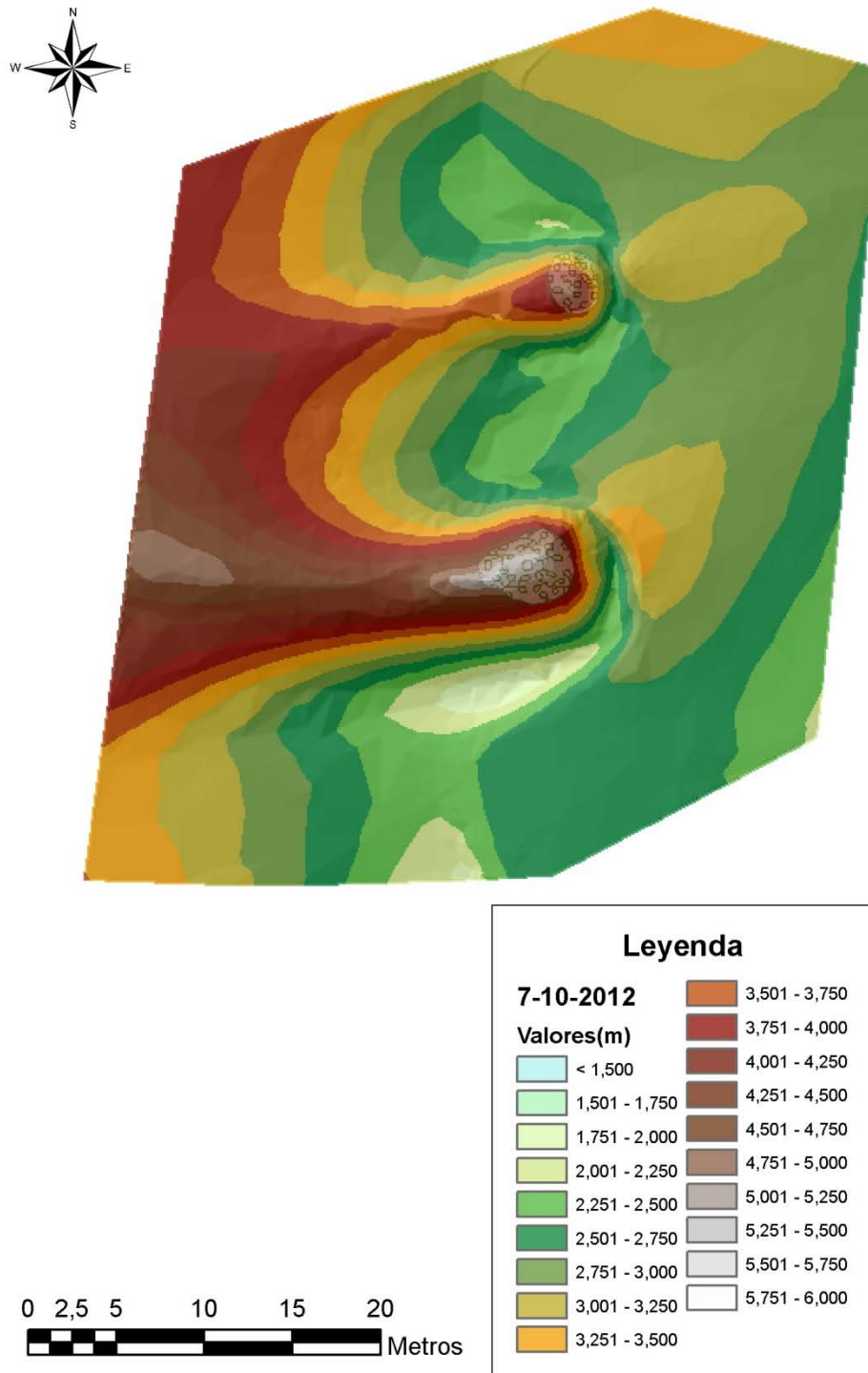
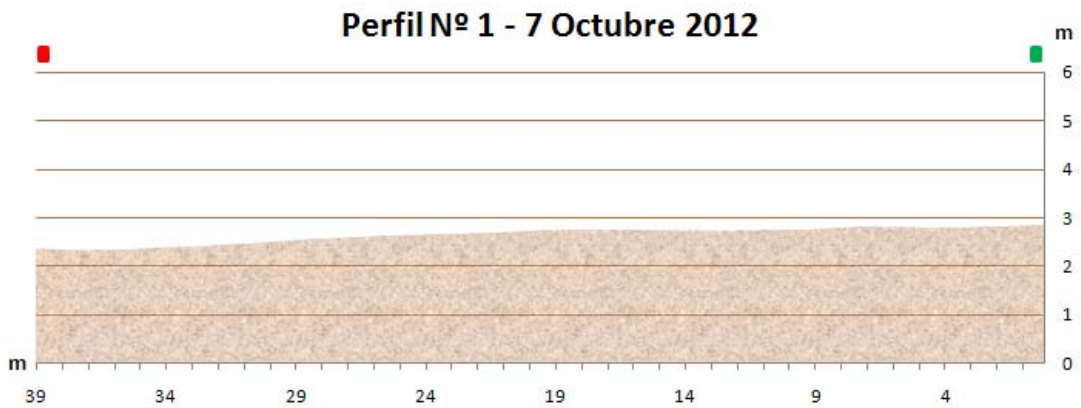
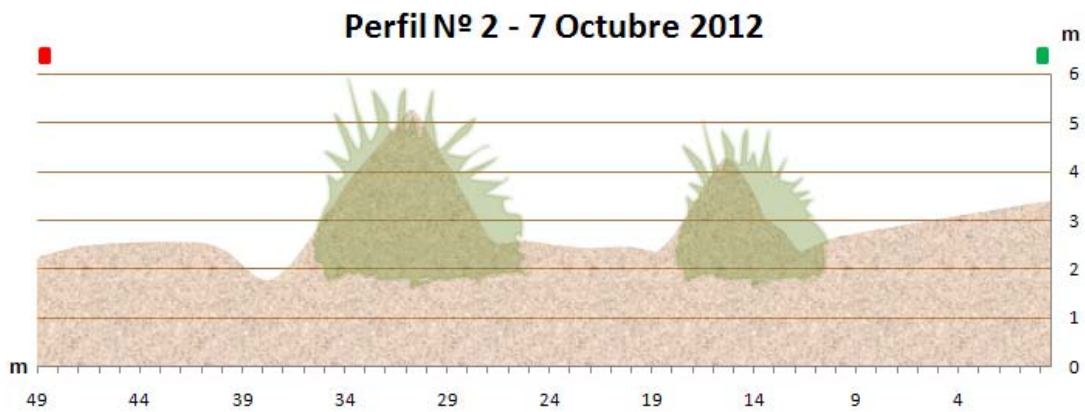


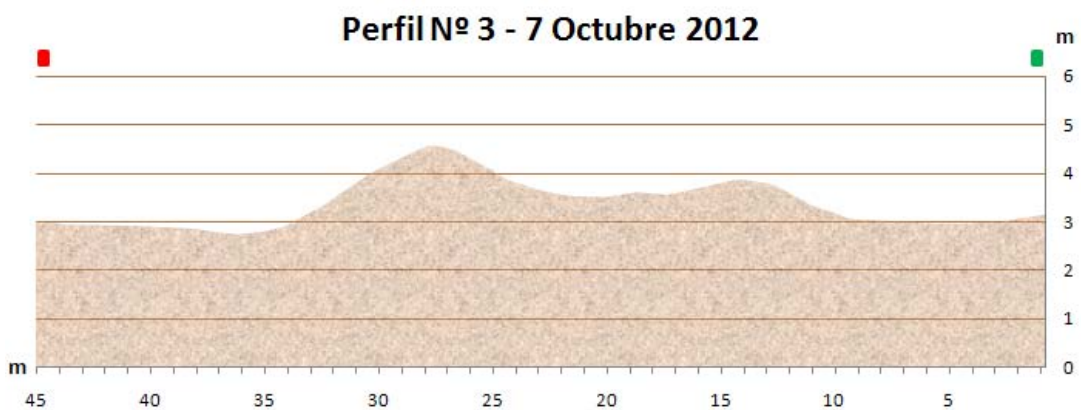
Figura 267: GRID correspondiente al MDE realizado el 7-10-2012.



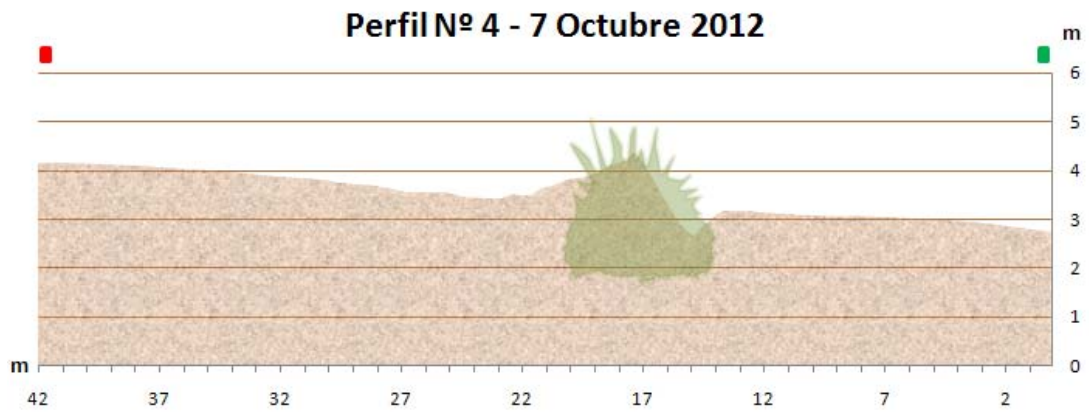
**Figura 268:** Perfil n° 1 (7-10-2012).



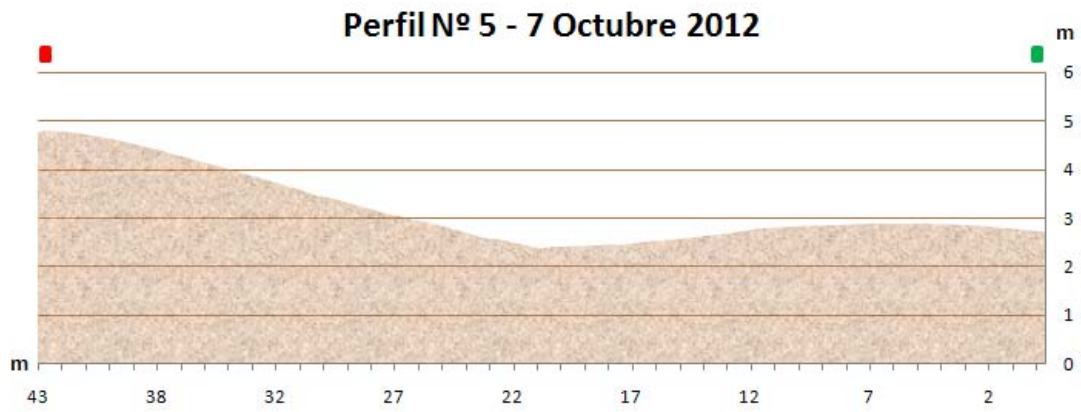
**Figura 269:** Perfil n° 2 (7-10-2012).



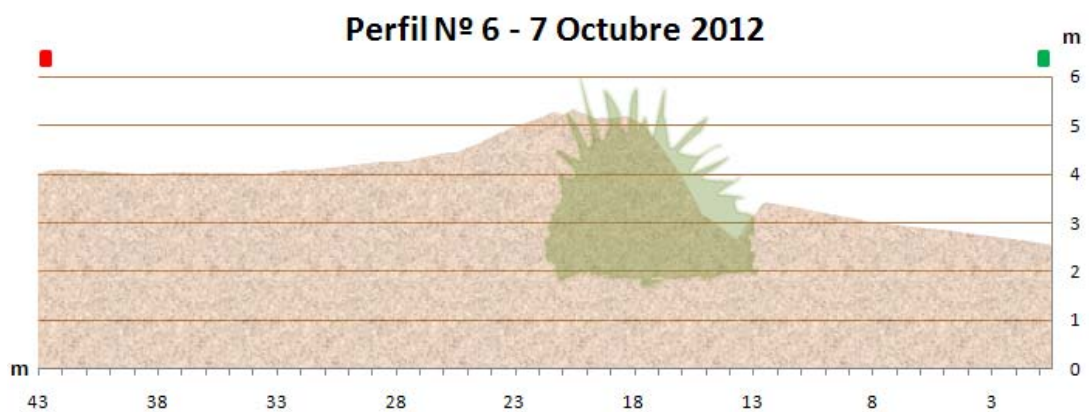
**Figura 270:** Perfil n° 3 (7-10-2012).



**Figura 271:** Perfil n° 4 (7-10-2012).



**Figura 272:** Perfil n° 5 (7-10-2012).



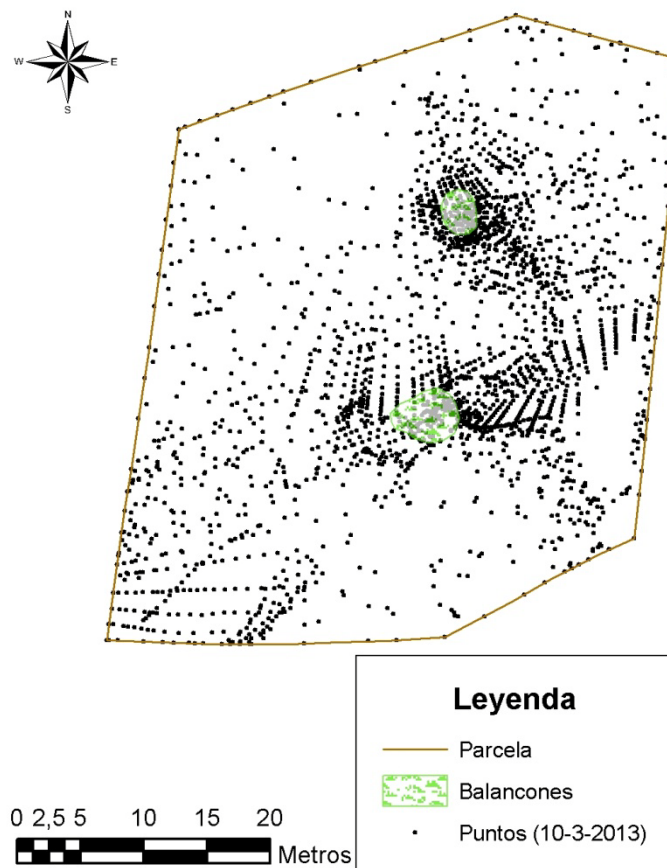
**Figura 273:** Perfil n° 6 (7-10-2012).

**10 de marzo de 2013**

En esta fecha predomina una gran explanada en la parcela, dado que una gran cantidad de sedimento ha accedido a ella, permaneciendo prácticamente todo el vallado semienterrado. Para la generación del MDE se tomaron 2460 puntos.



**Figura 274:** Vista parcial de la parcela 2 el 10 de marzo de 2013.



**Figura 275:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 10-3-2013 en la parcela 2.

En la figura 276 se observa que la duna parabólica ha avanzado hacia el interior del campo de dunas.

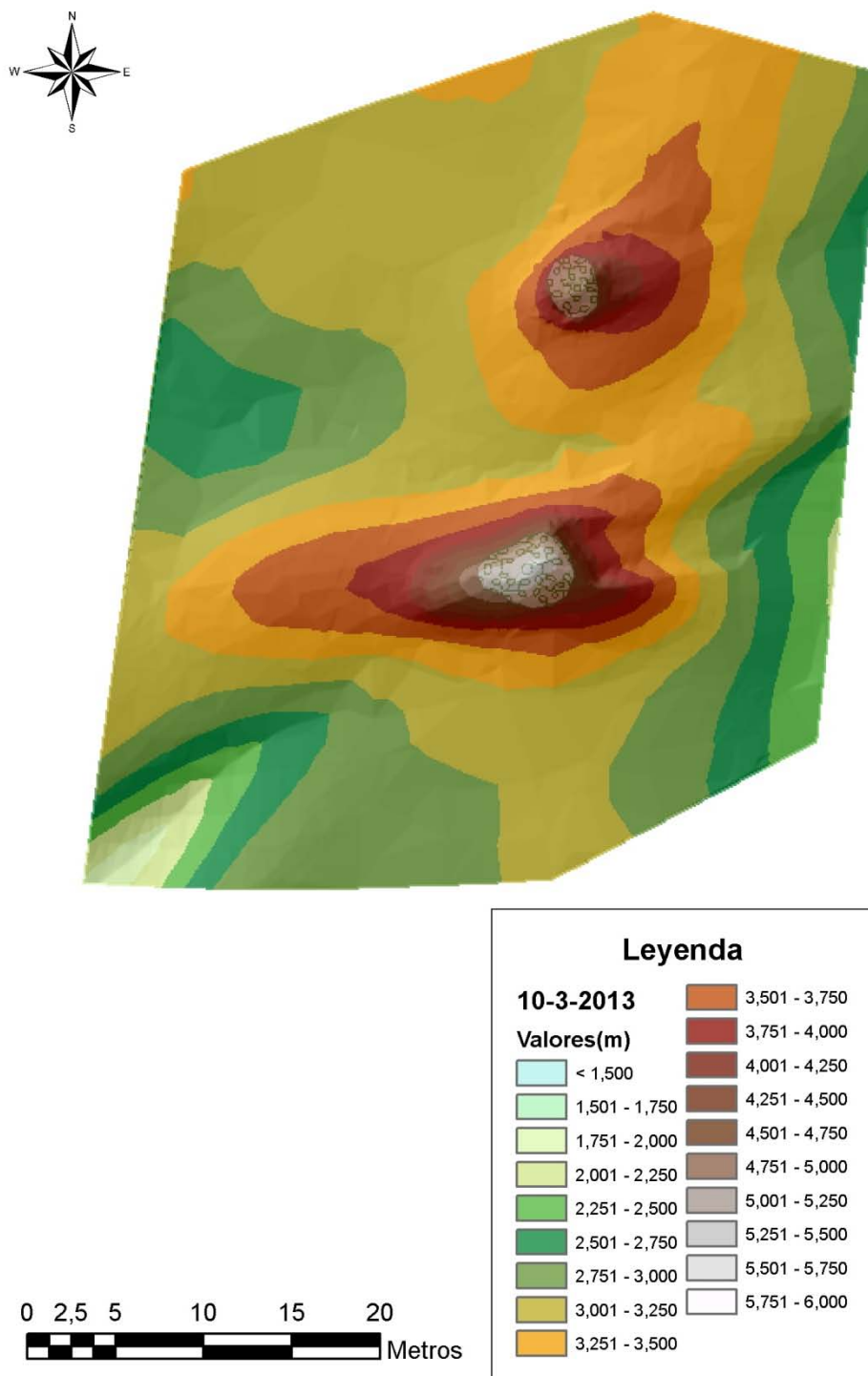
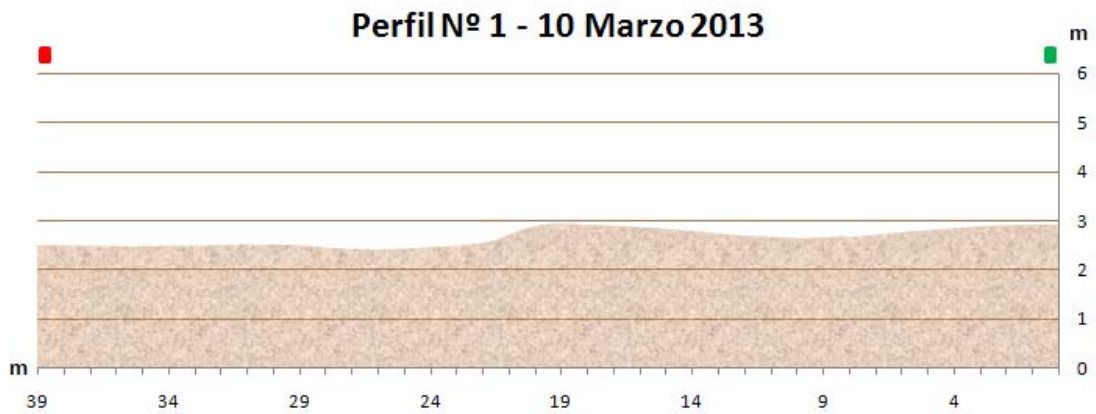
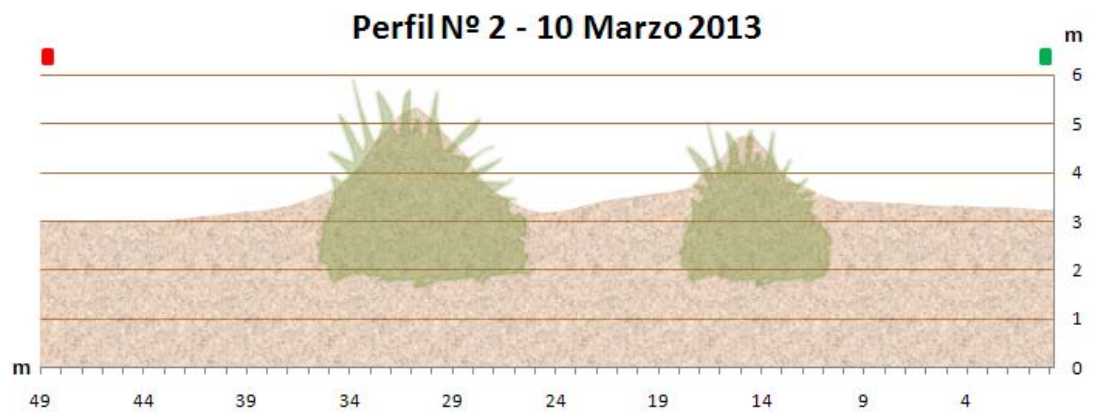


Figura 276: GRID correspondiente al MDE realizado el 10-3-2013.

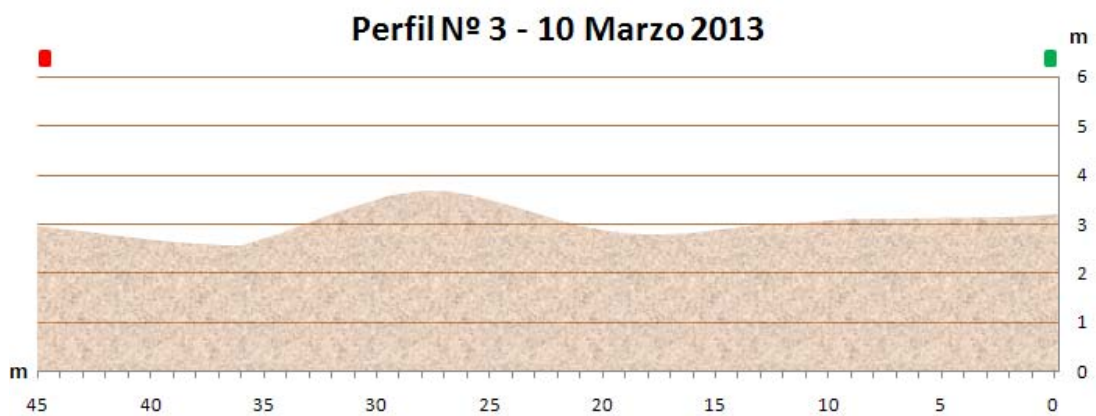




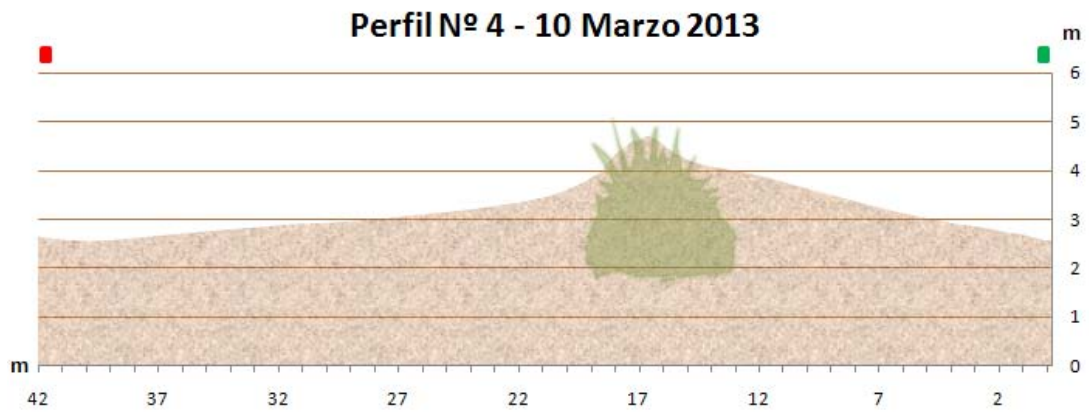
**Figura 277:** Perfil nº 1 (10-3-2013).



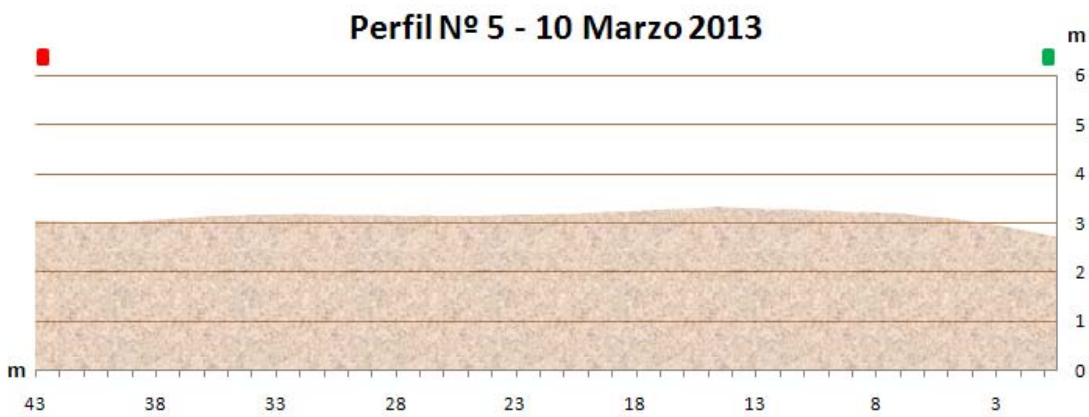
**Figura 278:** Perfil nº 2 (10-3-2013).



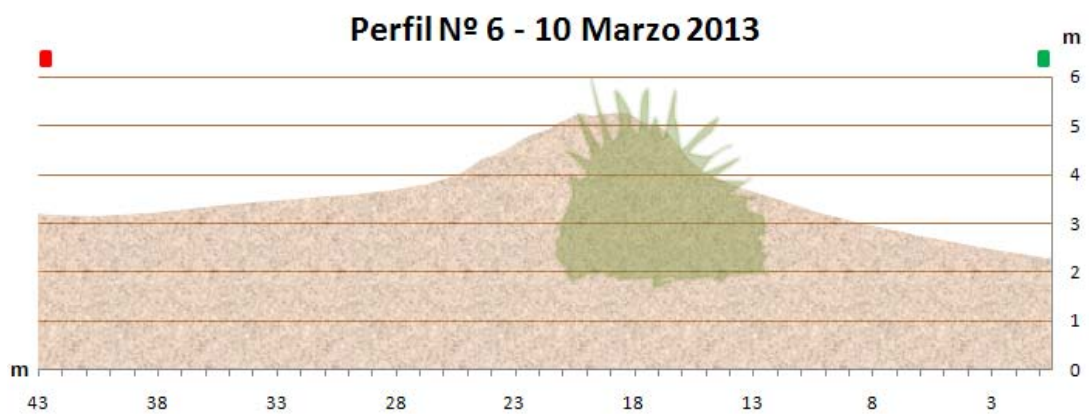
**Figura 279:** Perfil nº 3 (10-3-2013).



**Figura 280:** Perfil nº 4 (10-3-2013).



**Figura 281:** Perfil nº 5 (10-3-2013).



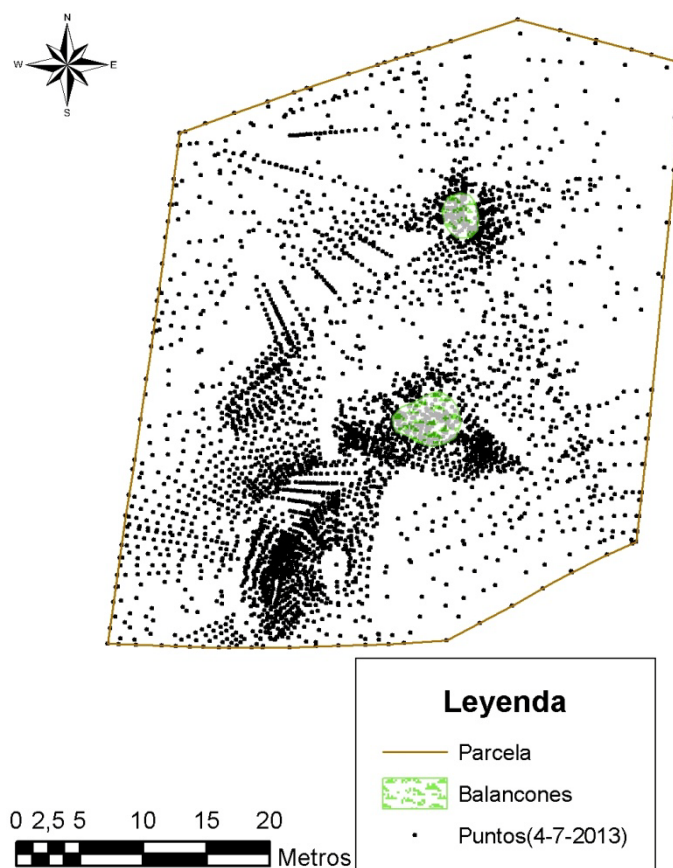
**Figura 282:** Perfil nº 6 (10-3-2013).

#### 4 de julio de 2013

Se inicio un nuevo ciclo sedimentario, al comenzar a formarse las mismas dunas que se describieron el 20-10-2011. En la figura 283 Se observa la nueva duna parabólica formándose entre los dos STM. Para la realización del MDE se tomaron 3789 puntos.



**Figura 283:** Vista parcial de la parcela 2 el 10 de marzo de 2013.



**Figura 284:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 10-3-2013 en la parcela 2.



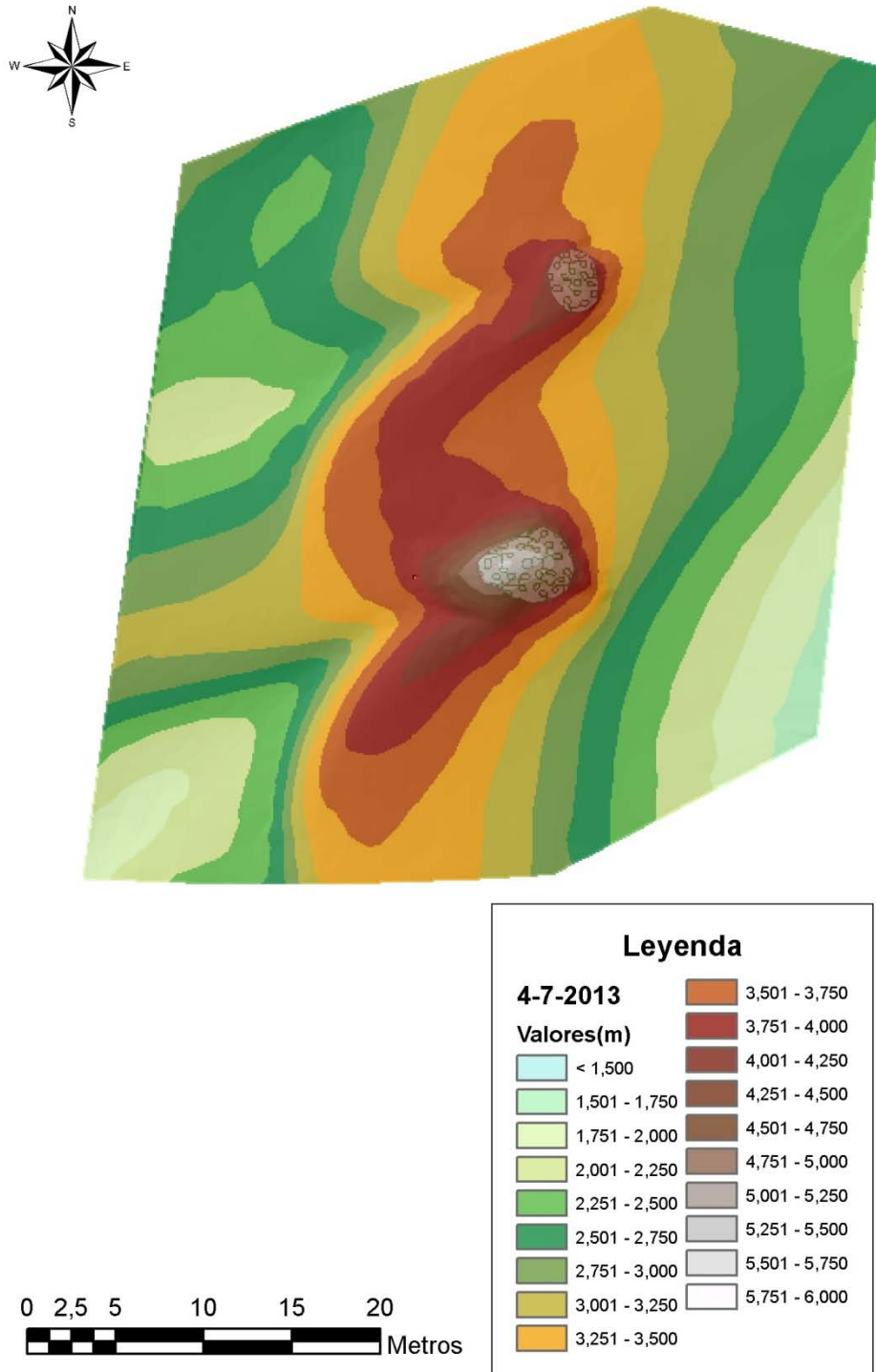
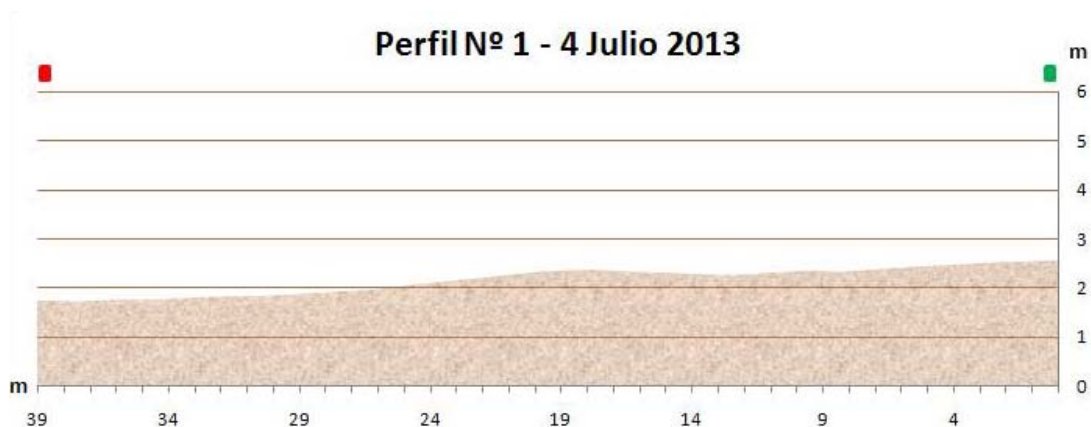
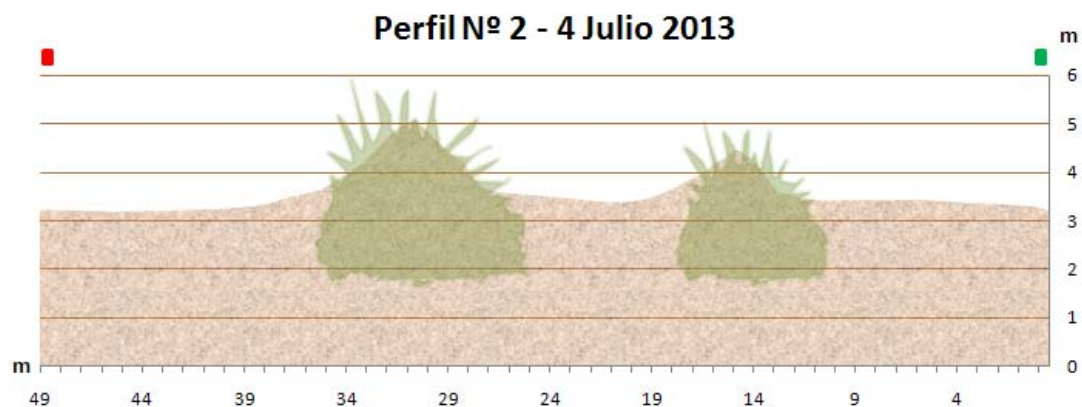


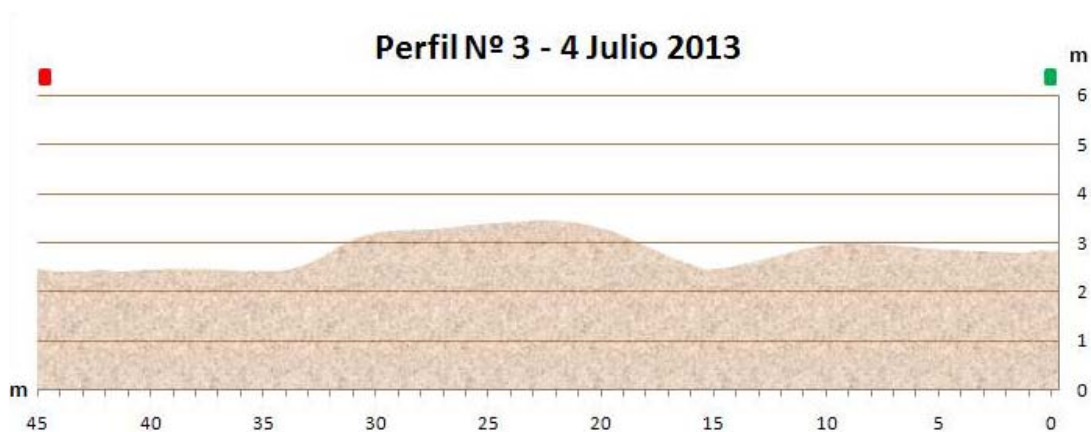
Figura 285: GRID correspondiente al MDE realizado el 10-3-2013.



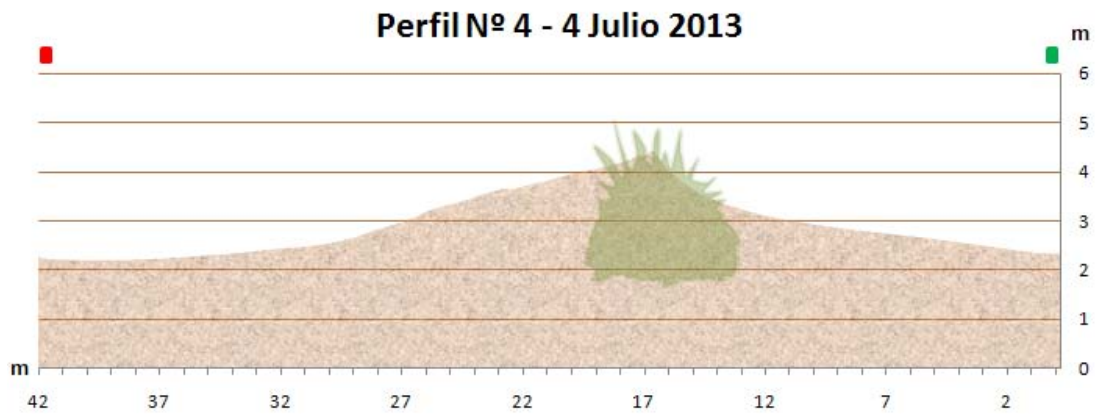
**Figura 286:** Perfil n° 1 (4-7-2013).



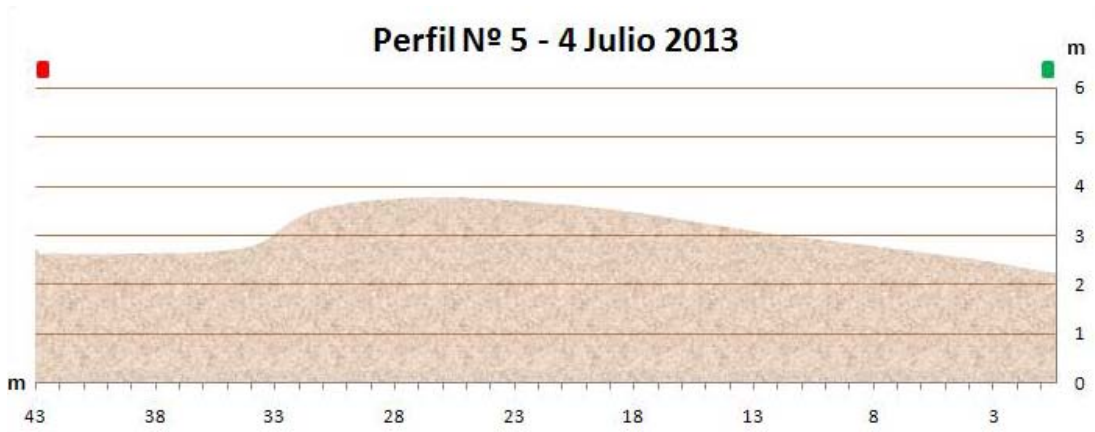
**Figura 287:** Perfil n° 2 (4-7-2013).



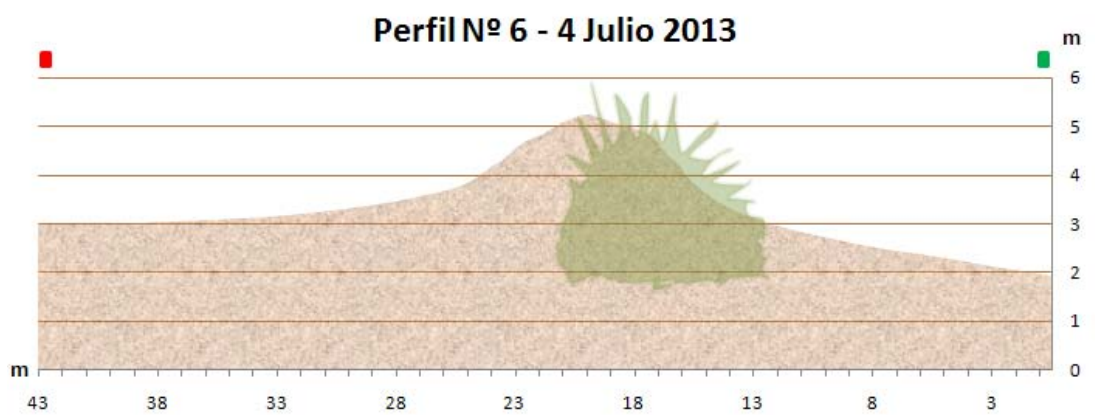
**Figura 288:** Perfil n° 3 (4-7-2013).



**Figura 289:** Perfil n° 4 (4-7-2013).



**Figura 290:** Perfil n° 5 (4-7-2013).



**Figura 291:** Perfil n° 6 (4-7-2013).

#### 4.2.3.1.2 Análisis de dinámica

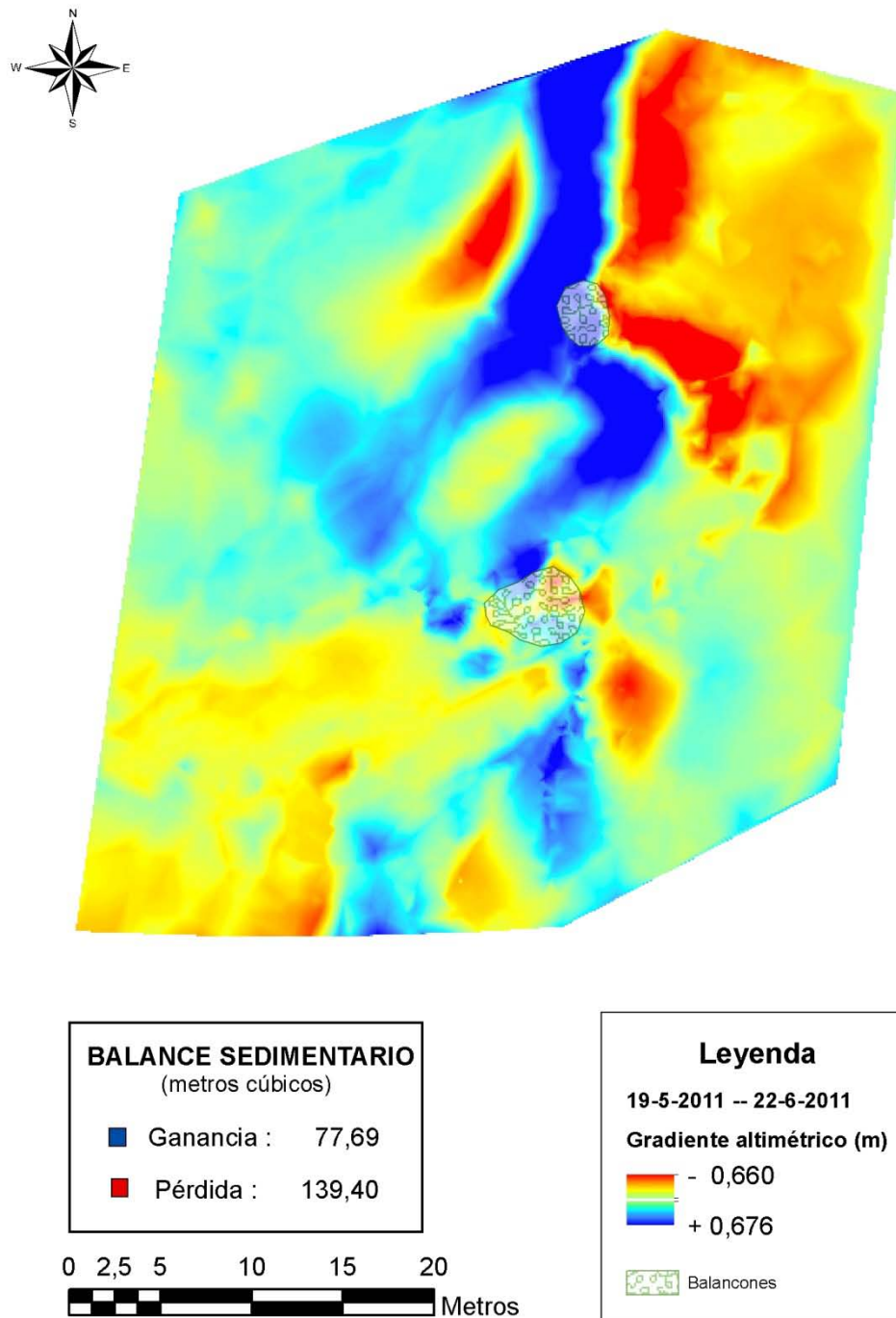
En la tabla 63 se muestra los volúmenes de sedimentos obtenidos del estudio de los diferentes MDEs. La cota del plano de referencia, para el cálculo de los volúmenes, es 0.

Id	Fecha	Volumen (m <sup>3</sup> )	Id	Fecha	Volumen (m <sup>3</sup> )
1	19 Mayo 2011	5072,16	10	06 Marzo 2012	5628,14
2	22 Junio 2011	5010,01	11	01 Abril 2012	5639,29
3	21 Julio 2011	5550,26	12	29 Abril 2012	5582,09
4	25 Agosto 2011	5069,65	13	27 Mayo 2012	5573,04
5	22 Septiembre 2011	6008,87	14	25 Junio 2012	5580,86
6	20 octubre 2011	5222,97	15	07 Octubre 2012	5557,82
7	27 Noviembre 2011	5316,19	16	10 Marzo 2013	5602,57
8	26 Diciembre 2011	5501,00	17	04 Julio 2013	5271,58
9	06 Febrero 2012	5858,51	18	20 Octubre 2013	5394,19

**Tabla 63:** Volúmenes de sedimentos correspondientes a los MDEs realizados en la parcela 2 en la playa del Inglés.

Destaca el elevado aumento de sedimento producido en la parcela el 22-9-2011, motivado por el cambio en la dinámica eólica, cuando se pasa del predominio de la componente SO al de la componente NE. Ello produjo que el sedimento se acumulara en la duna, entre los dos STM, como se puede apreciar en las ilustraciones 249 y 492.

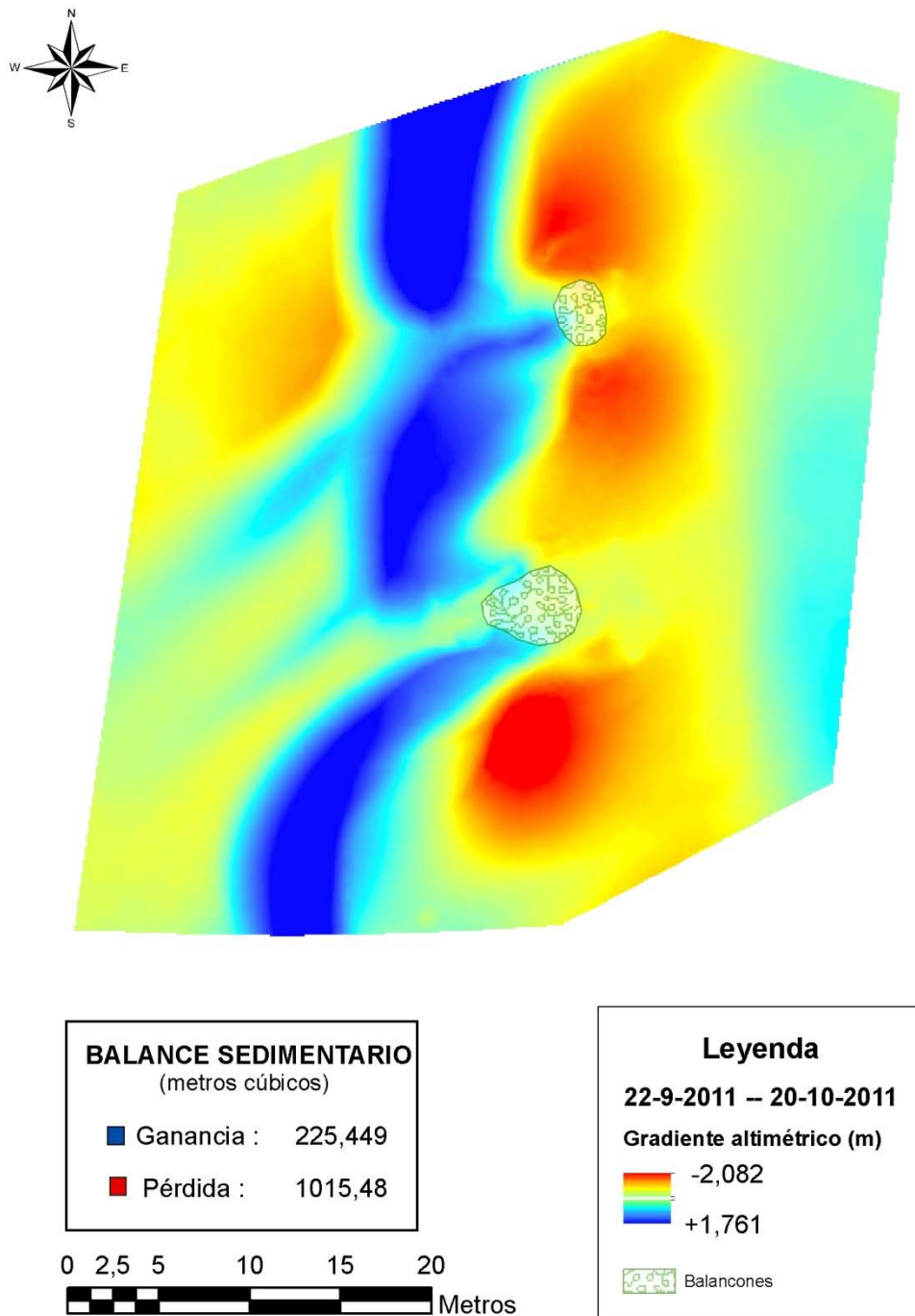
A continuación se muestran los GRIDS correspondientes a las restas de los MDEs que coinciden con las fechas consideradas como representativas. El resto de estos GRIDS, correspondientes a las restas del resto de los MDEs, se muestran en el Anexo III. Al igual que en la parcela 1, se ha añadido en cada GRID los datos de ganancia y pérdidas obtenidos de sus correspondientes operaciones de *cut-fill*. También se muestran las comparativas entre los diferentes perfiles tipo. A su vez se muestran las comparativas entre los diferentes perfiles tipo.



**Figura 292:** GRID correspondiente a la resta obtenido entre el MDE del 19-5-2011 y el MDE del 22-6-2011.

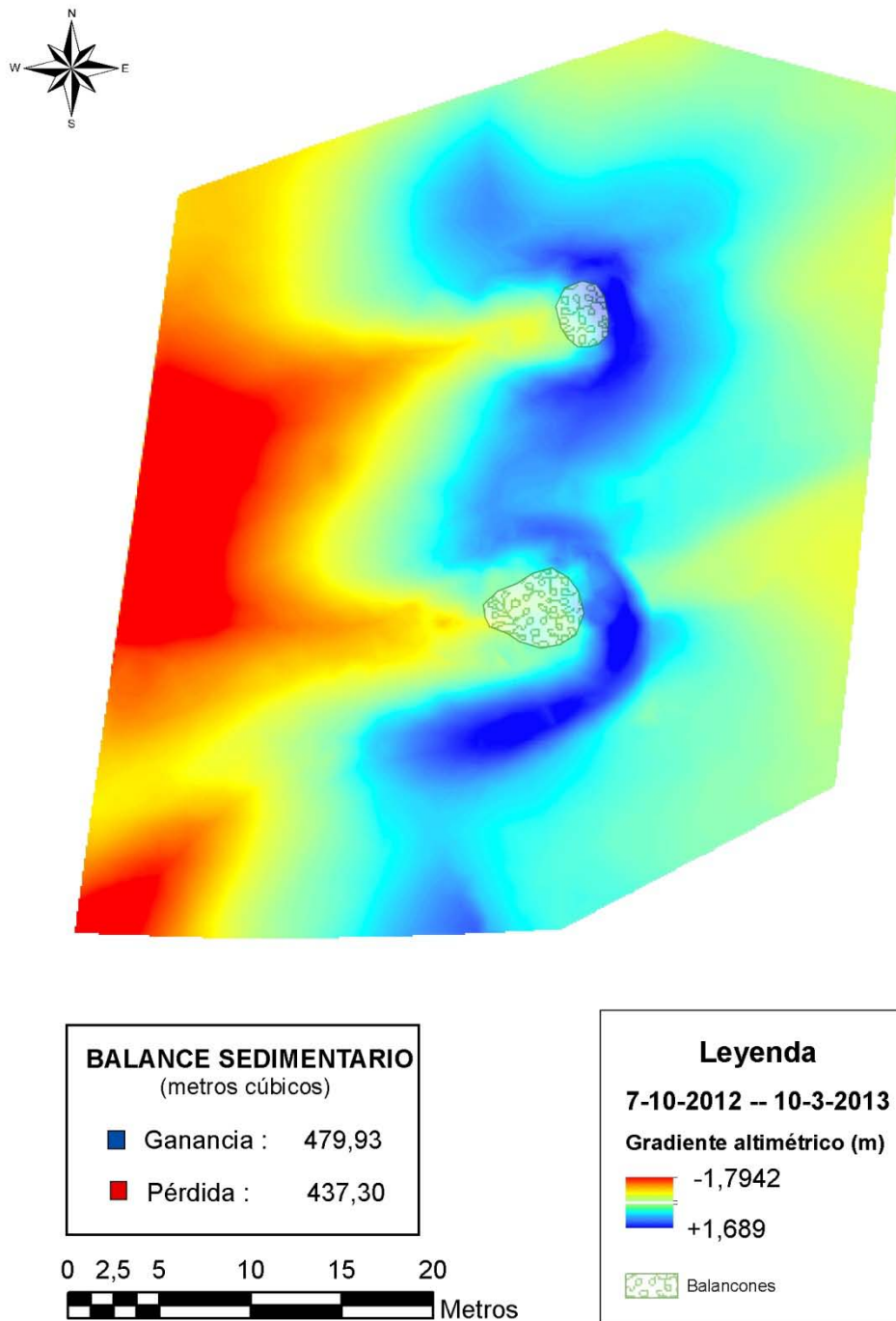
Se observa un avance de la duna hacia el interior del campo de dunas debido a los vientos de componente NE-E. Este hecho produjo un retroceso en la duna parabólica inversa.





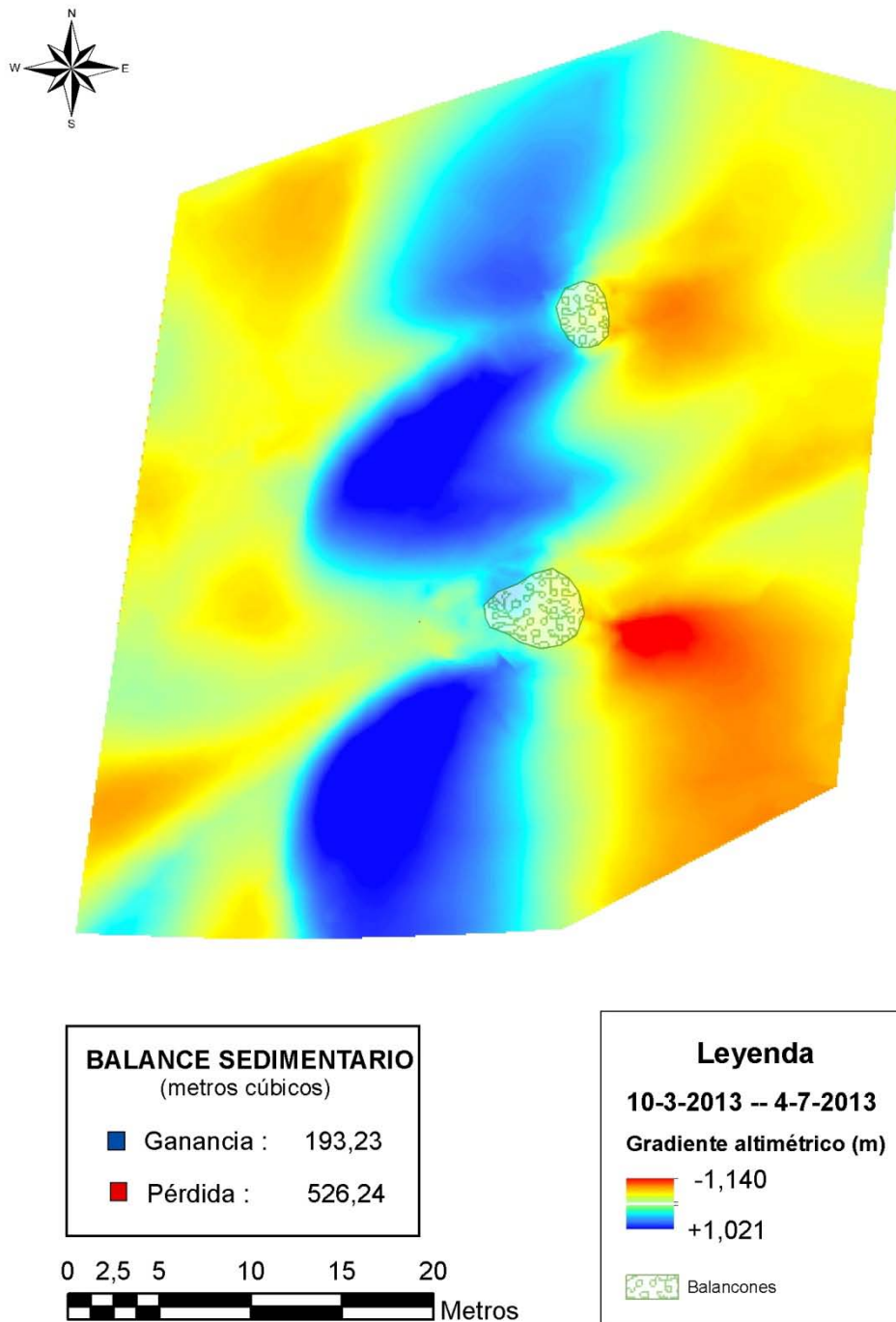
**Figura 293:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 22-9-2011 y el MDE del 20-10-2011.

Se puede observar que la inversión de la duna parabólica ha desaparecido del todo, quedando perfectamente definida la geoforma de una duna parabólica “normal” que avanza el interior del campo de dunas. En este periodo ha existido un elevado transporte de sedimento desde la parcela hacia el interior.



**Figura 294:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 7-10-2012 y el MDE del 10-3-2013.

Se observa cómo la duna parabólica se está alejando de la influencia de los STM, al tiempo que se está desarrollando una nueva duna parabólica entre ambos individuos, produciendo que el balance sedimentario sea equilibrado. Las oquedades de las dunas eco se ha rellenado de sedimentos.



**Figura 295:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 10-3-2013 y el MDE del 4-7-2013.

Destaca la formación de una nueva duna parabólica entre ambos STM, por lo que queda evidenciado el inicio de un nuevo ciclo. La pérdida de sedimento es originado por el avance de la anterior duna desde la parcela hacia el interior del campo de dunas.



En la tabla 64 se muestra los valores de ganancias y pérdidas de sedimentos de la parcela, resultantes de las diferentes restas entre GRIDs realizadas.

Periodo	Ga(m <sup>3</sup> )	Pe(m <sup>3</sup> )	Periodo	Ga(m <sup>3</sup> )	Pe(m <sup>3</sup> )
19 May 2011-22 Jun 2011	77,69	139,40	06 Mar 2012-01 Abr 2012	115,03	293,13
22 Jun 2011-21 Jul 2011	545,48	2,00	01 Abr 2012-29 Abr 2012	125,97	178,87
21 Jul 2011-25 Ago 2011	0,04	483,30	29 Abr 2012-27 May 2012	104,73	112,58
25 Ago 2011-22 Sep 2011	944,26	0,22	27 May 2012-25 Jun 2012	54,22	45,68
22 Sep 2011-20 Oct 2011	225,45	1015,48	25 Jun 2012-07 Oct 2012	200,01	226,97
20 Oct 2011-27 Nov 2011	319,69	226,02	07 Oct 2012-10 Mar 2013	479,93	437,30
27 Nov 2011-26 Dic 2011	527,70	346,12	10 Mar 2013-04 Jul 2013	193,23	526,24
26 Dic 2011-06 Feb 2012	695,37	330,55	04 Jul 2013-20 Oct 2013	281,02	155,86
06 Feb 2012-06 Mar 2012	239,40	473,83			

**Tabla 64:** Valores de ganancias (Ga) y pérdidas (Pe) de sedimentos durante los diferentes periodos analizados.

En la tabla 65 se muestra una tabla con los volúmenes correspondientes a los diferentes perfiles de cada MDE realizado.

Fecha	Perfil n°1(m <sup>3</sup> )	Perfil n°2(m <sup>3</sup> )	Perfil n°3(m <sup>3</sup> )	Perfil n°4(m <sup>3</sup> )	Perfil n°5(m <sup>3</sup> )	Perfil n°6(m <sup>3</sup> )
19 Mayo 2011	7,825	20,649	9,833	12,199	12,798	13,741
22 Junio 2011	7,506	20,914	9,640	12,127	12,798	13,319
21 Julio 2011	8,654	22,639	10,887	13,627	14,164	14,650
25 Agosto 2011	7,708	21,426	8,654	12,440	13,069	13,538
22 Septiembre 2011	9,638	24,882	11,873	14,771	15,518	15,604
20 octubre 2011	8,157	17,005	15,925	12,889	13,455	14,263
27 Noviembre 2011	9,089	18,230	15,794	13,143	14,130	14,459
26 Diciembre 2011	7,464	18,917	15,672	13,178	14,357	15,051
06 Febrero 2012	7,477	18,017	16,335	14,932	14,095	16,808
06 Marzo 2012	7,362	16,967	17,402	14,178	14,116	15,646
01 Abril 2012	9,383	15,473	17,532	15,170	14,233	15,965
29 Abril 2012	9,829	14,492	17,083	14,955	13,733	16,371
27 Mayo 2012	10,068	14,322	16,683	15,103	13,593	16,507
25 Junio 2012	10,122	14,258	16,735	14,791	13,563	16,342
07 Octubre 2012	10,294	14,633	15,416	14,930	13,524	16,579
10 Marzo 2013	10,241	17,764	13,877	13,644	13,398	15,475
04 Julio 2013	8,360	17,905	12,957	12,371	13,199	14,212
20 Octubre 2013	8,157	17,005	15,925	12,889	13,455	14,263

**Tabla 65:** Volúmenes de sedimentos correspondientes a cada perfil asociados a su correspondiente MDE realizado en la parcela 2 de la playa del Inglés.

En la figura 296 se muestra la evolución de las cantidades de volumen de sedimento en la parcela 2 durante el estudio, así como las rosas de vientos efectivos de los periodos en que existen datos.

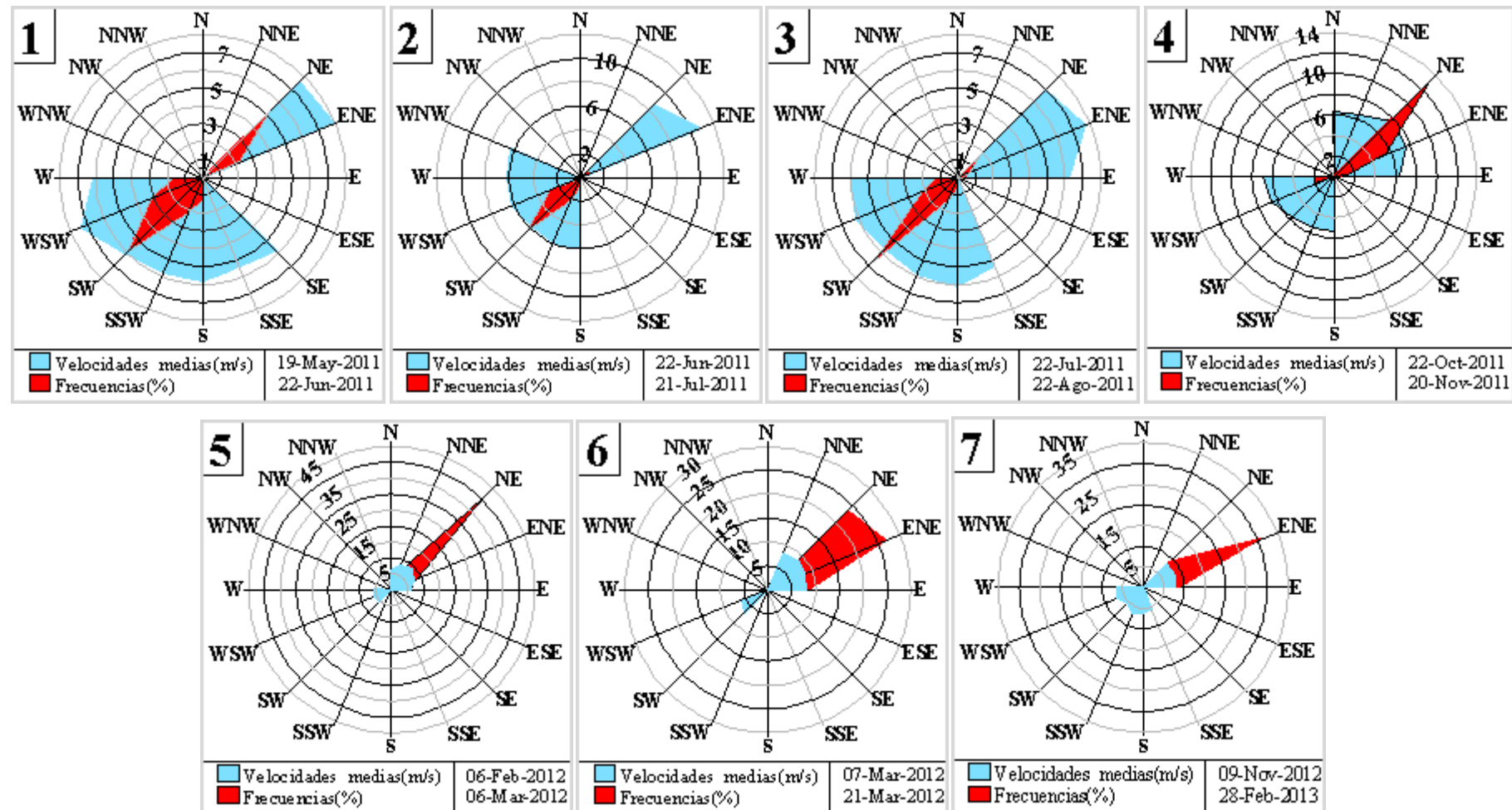
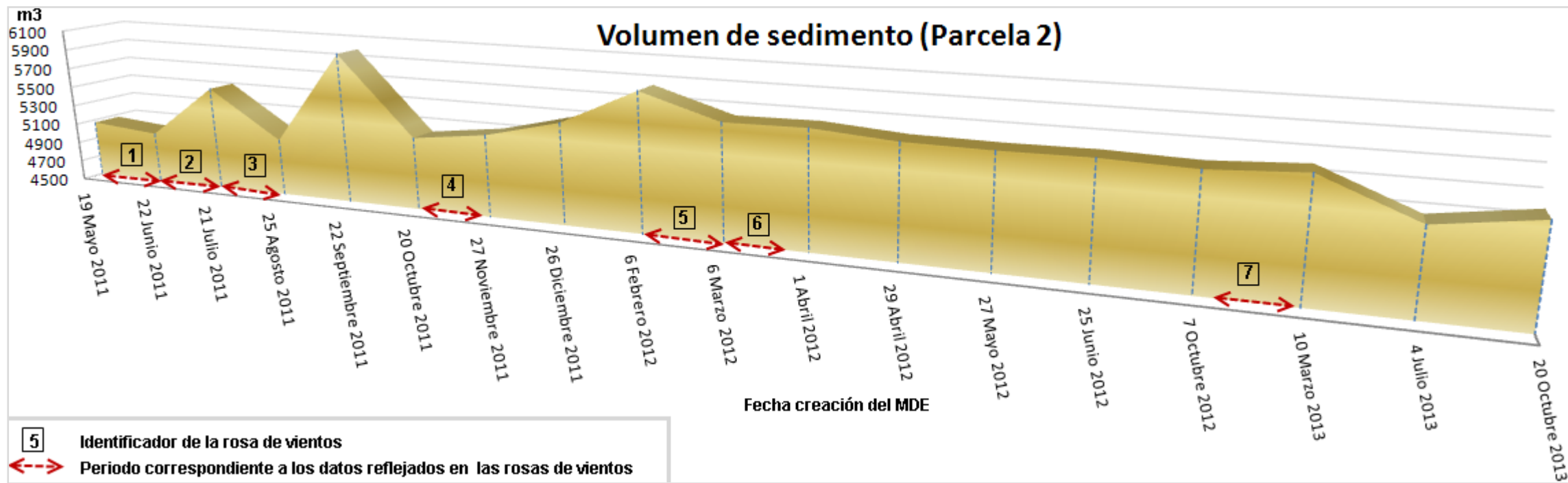
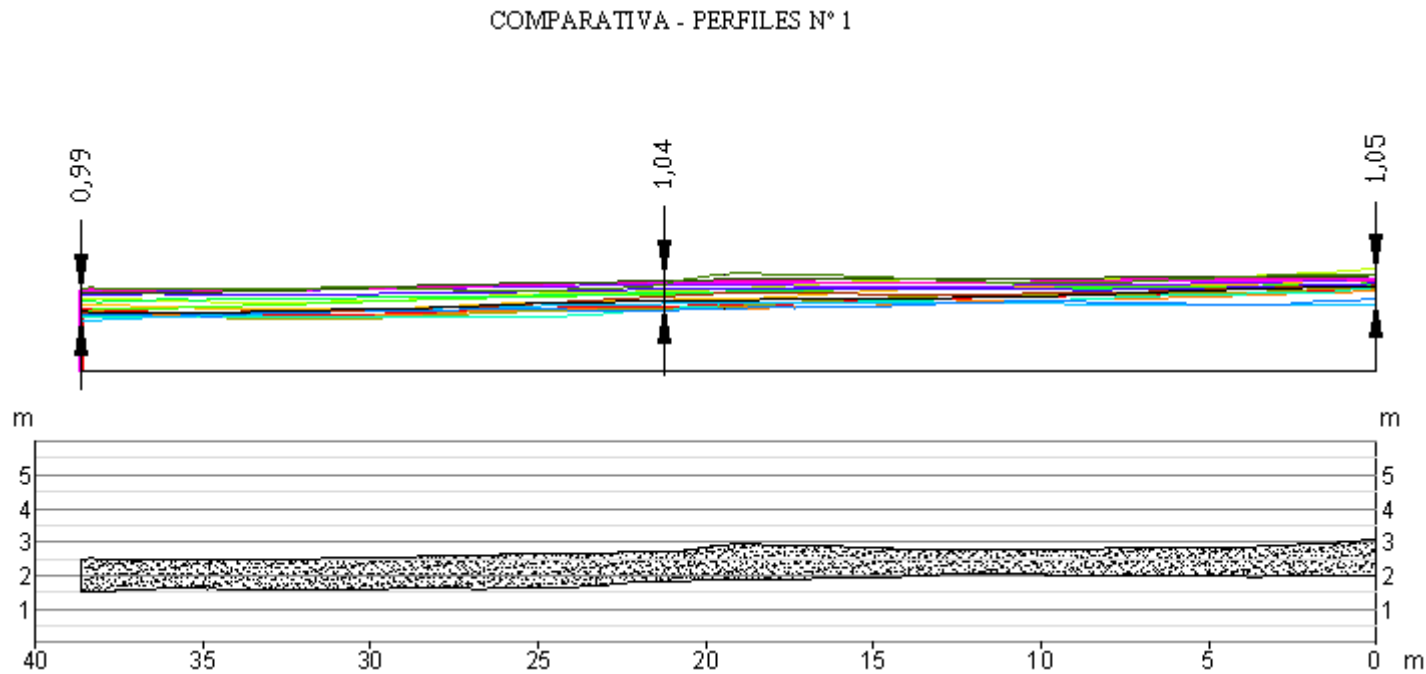


Figura 296: Volumen de sedimentos en la parcela n°2 y rosas de vientos efectivos pertenecientes a los periodos en los cuales existen datos de vientos.

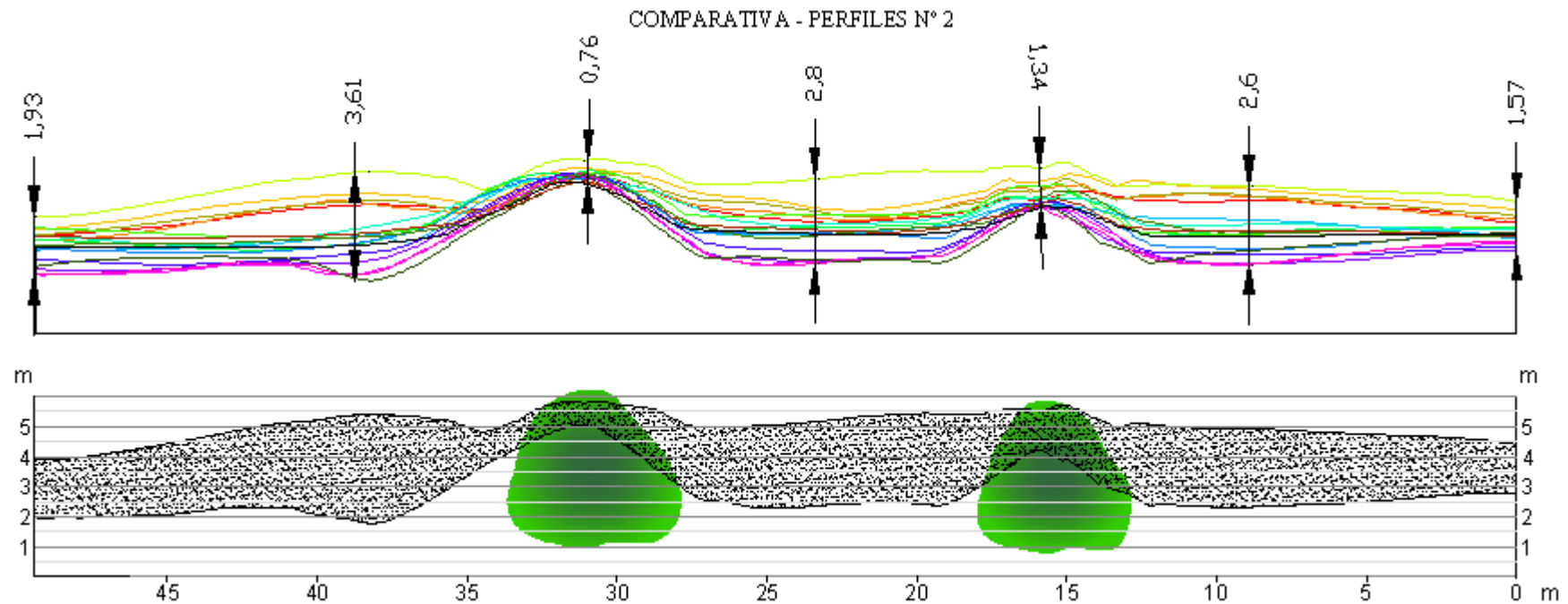
#### **4.2.3.1.3 Interacción *Traganum moquini*-dinámica sedimentaria**

Con el objetivo de analizar las geomorfologías resultantes de la evolución de los diferentes perfiles, se definió un área, mediante una polilínea, dentro de la cual fluctuaron los perfiles referenciados con el mismo número, los gráficos correspondientes a cada uno de ellos se muestran a continuación.



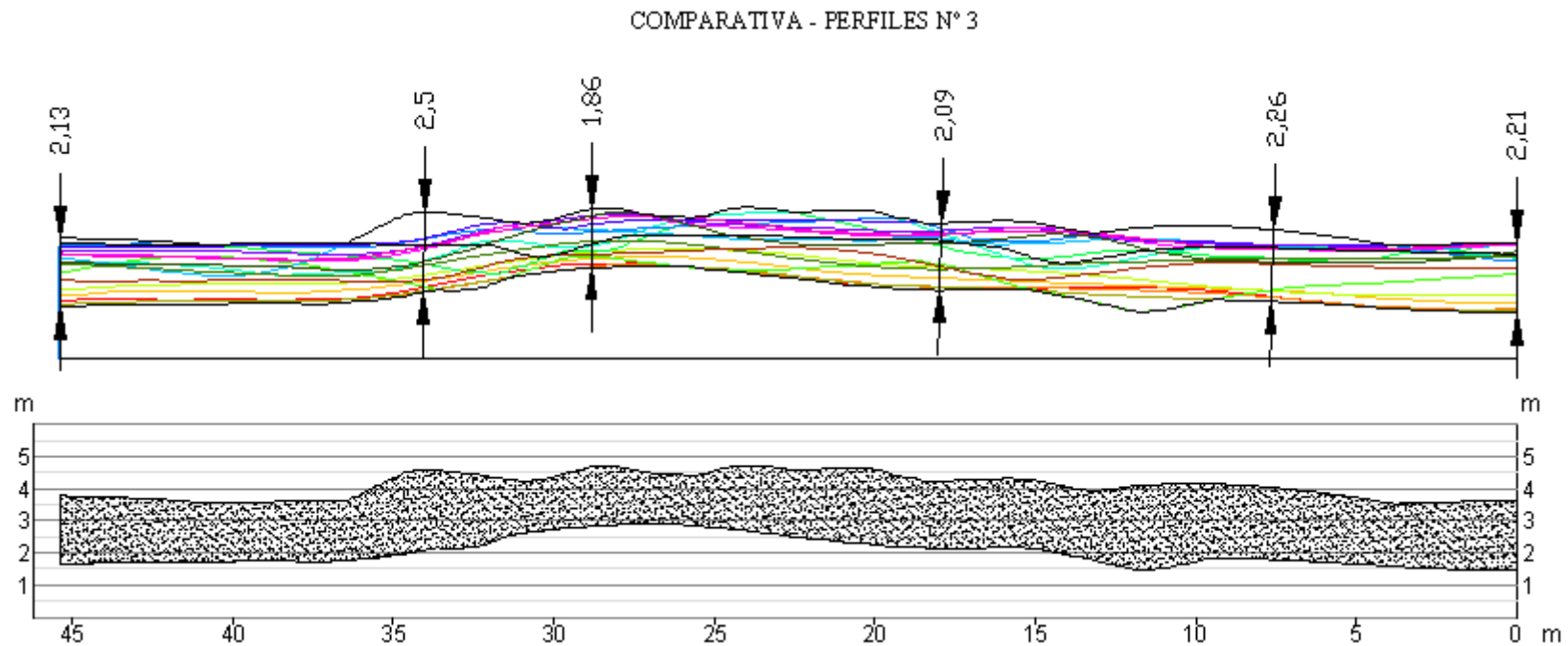
**Figura 297:** Perfiles n°1 de todos los MDEs y superficie que engloba los mismos.

Se puede observar que el aporte sedimentario, desde la playa alta hacia la duna costera, genera cordones longitudinales, antes de acceder a la duna costera, los cuales no superan en líneas generales el metro de altura. La relativa proximidad de la duna costera de la playa alta, no permite que evolucionen a dunas barjanas. El gráfico indica que el tránsito se realiza de forma homogénea, al no haber elementos que de forma extraordinaria, modifiquen la dinámica sedimentaria eólica, independientemente de que actuaciones antrópicas, como allanamientos o cribados realizados por tractores en la playa alta, haya ralentizado o acelerado el tránsito sedimentario.



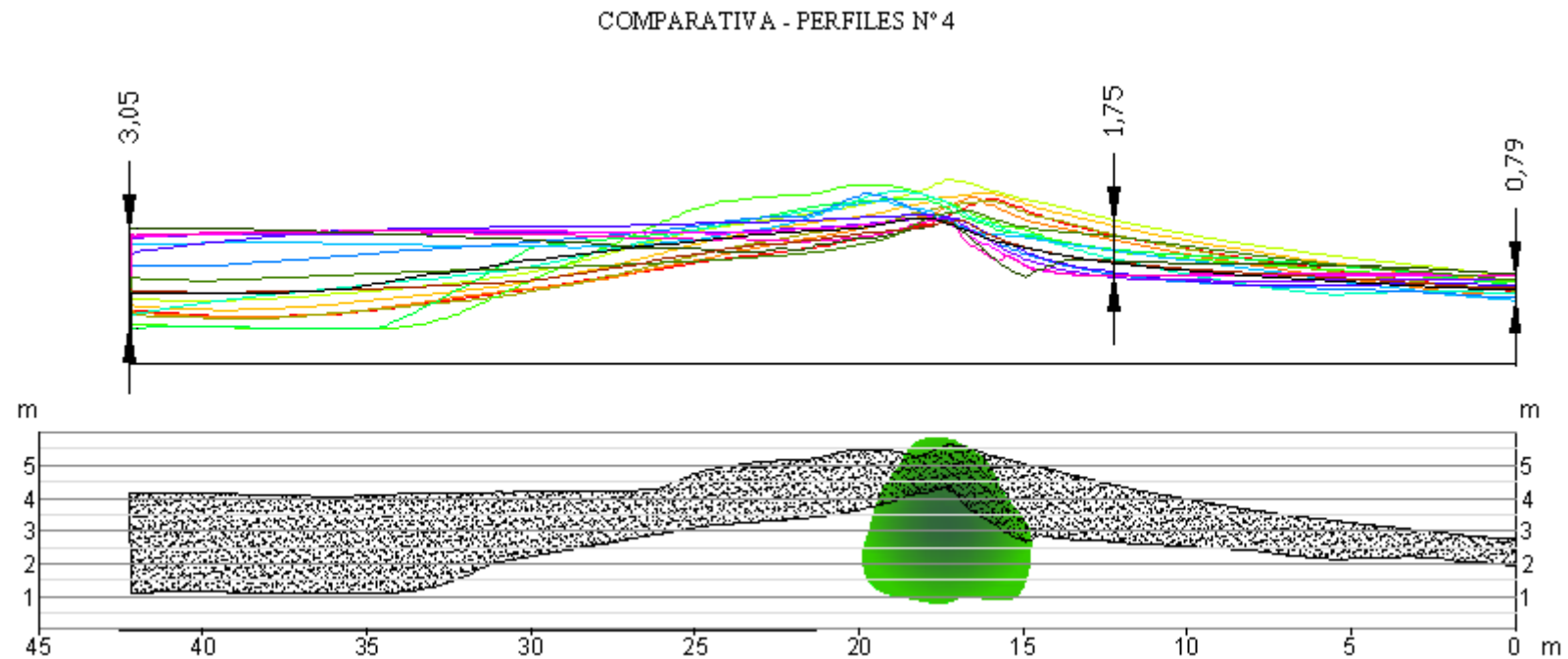
**Figura 298:** Perfiles n°2 de todos los MDEs y superficie que engloba los mismos (en gris).

El perfil n°2 corresponde a la zona ocupada por individuos de *Traganum moquinii*. Se observa la existencia de una zona estable, correspondiente a los montículos asociados a la vegetación. Estos son más altos cuanto mayor es el individuo vegetal. Así mismo se observa que el límite de la cota superior está asociado a la altura de la vegetación, favoreciendo una mayor acumulación de sedimento a medida que la vegetación crece en altura. A medida que nos alejamos de la influencia de la vegetación hacia los laterales, el área de fluctuación disminuye en altura. En conjunto, plantas y montículos, conforman los STM.



**Figura 299:** Perfiles n°3 de todos los MDEs y superficie que engloba los mismos (en gris).

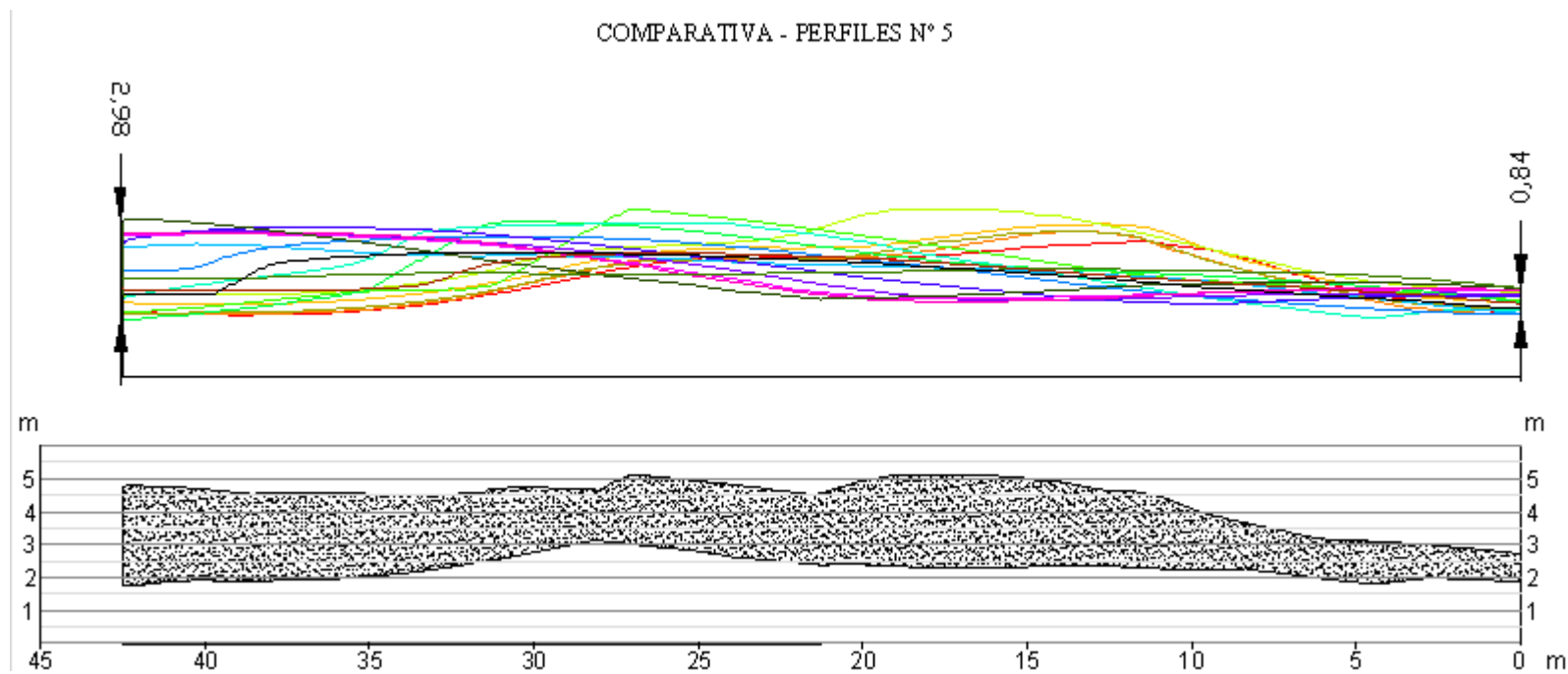
Se observa la homogeneidad generalizada del área de fluctuaciones en alturas. También se observa la existencia de ciertas irregularidades entre el Pm 15 y el Pm 30, franja por la cual avanza la duna parabólica y se desarrollan las dunas de sombra producidas a sotavento de los STM, identificándose la mayor altura de la parte estable, donde se sitúan las plantas con sus montículos.



**Figura 300:** Perfiles n°4 de todos los MDEs y superficie que engloba los mismos (gris).

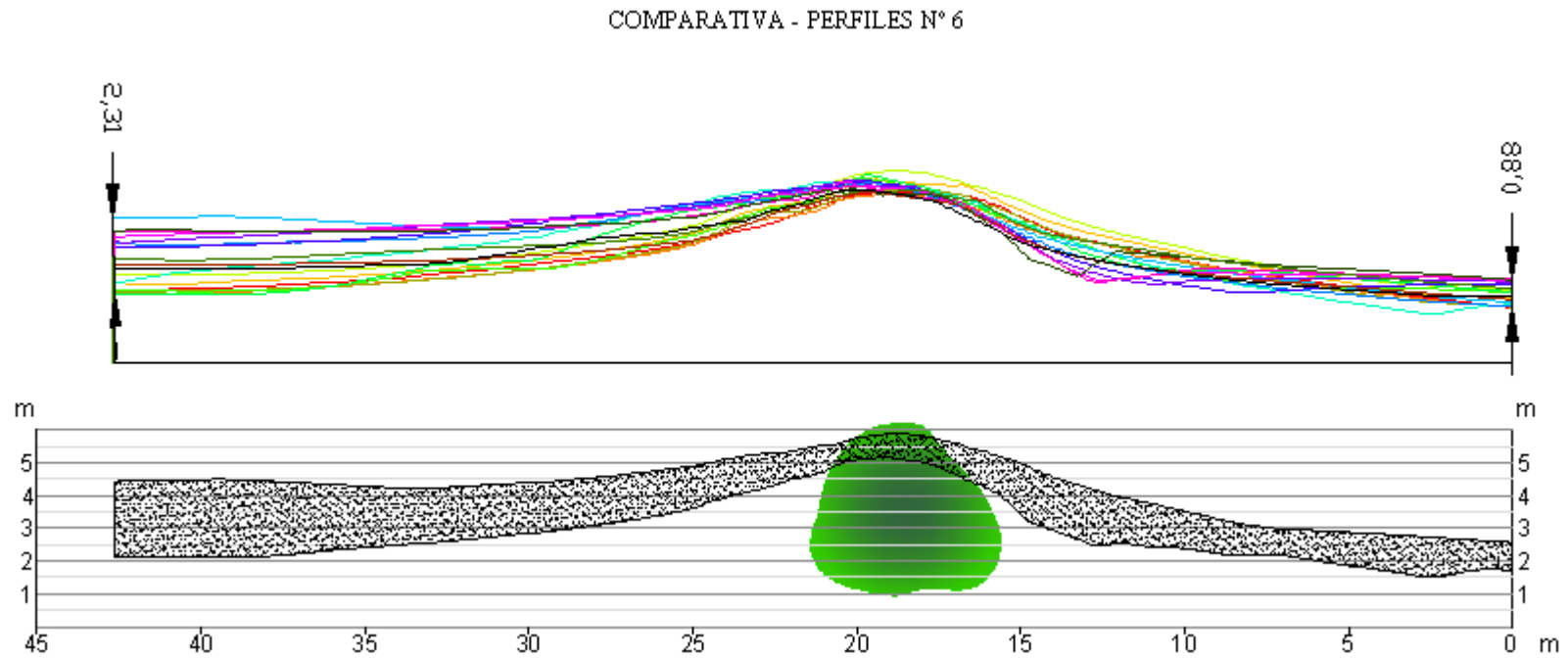
Se aprecia como la zona de fluctuación va en aumento desde barlovento a sotavento, produciendo el STM una acumulación importante de sedimentos a sotavento al ralentizarse el transporte sedimentario, generándose dunas de sombra que alcanzan unos 13 metros. Por otra parte destaca la formación de dunas eco en la cara de barlovento del STM (Pm. 15).





**Figura 301:** Perfiles n°5 de todos los MDEs y superficie que engloba los mismos (gris).

El perfil 5, corresponde a la zona en la cual se desarrolla la duna parabólica, donde la dinámica eólica es más intensa. Se aprecia una línea erosionada desde el Pm. 5 hasta el Pm.21. A partir de ahí, y hasta el Pm 28, se desarrolla una pequeña rampa que sirve de plataforma para sustentar la pendiente más suave de la duna parabólica. El frente de la duna avanza a partir de dicho Pm. hacia el interior del campo de dunas.



**Figura 302:** Perfiles n°6 de todos los MDEs y superficie que engloba los mismos.

El comportamiento del sedimento en este perfil es muy similar al del perfil n° 4 pues en ambos casos existe un individuo de *Traganum moquinii* que condiciona la dinámica sedimentaria eólica, salvo que la duna de sombra generada en este caso a barlovento, es de aproximadamente 16 metros derivado de una mayor altura del STM.

Con el objetivo de analizar si existe una relación entre los volúmenes de los diferentes perfiles obtenidos a partir de todos los MDEs, se realiza un estudio de correlación de Pearson entre los mismos (Tabla 66).

Perfil Vs Perfil	r	t	df	p-valor
1 Vs 2	-0,4259855	-1,8834	16	0,07796
1 Vs 3	0,3214587	1,3579	16	0,1933
1 Vs 4	0.5948864	2,9603	16	0.00921
1 Vs 5	0,1739763	0,7067	16	0,4899
1 Vs 6	0.5294421	2,4963	16	0.02385
2 Vs 3	-0,7934898	-5.2153	16	8.5e-05
2 Vs 4	-0.4943516	-2.2748	16	0.03703
2 Vs 5	0.24566	1.0137	16	0.3258
2 Vs 6	-0.5935125	-2.9498	16	0.009415
3 Vs 4	0.6958723	3.8758	16	0.00134
3 Vs 5	0.3094625	1.3018	16	0.2114
3 Vs 6	0.7674543	4.7883	16	0.0002011
4 Vs 5	0.5273999	2.483	16	0.0245
4 Vs 6	0.9446546	11.5178	16	3.718e-09
5 Vs 6	0.3924564	1.7068	16	0.1072

**Tabla 66:** Parámetros de la correlación de Pearson entre los volúmenes de los diferentes perfiles obtenidos a partir de todos los MDEs realizados desde el 19-5-2011 al 20-10-2013 en la parcela 2 en Playa del Inglés (Gran Canaria).

De los resultados obtenidos del estudio de correlación del periodo analizado (19-5-2011 al 20-10-2013), se puede extraer las siguientes observaciones:

- Destaca la muy alta correlación significativa entre los perfiles 4 y 6, evidenciando que las geoformas (dunas de sombra) que se han desarrollado asociadas a los STM, no es casual, sino causal, de modo que cuanto más sedimento hay en una cola, más hay en la otra.
- Asimismo se aprecia una correlación significativa de los perfiles 4 y 6 con el perfil 1. De ello se deriva que lo que ocurre a barlovento de la duna costera afecta a las dunas de sombra generadas a sotavento, es decir, que cuanto más sedimento existe delante de los STM, más se acumulará en las dunas de sombra.

- Se observa que existe una correlación negativa y significativa entre el perfil 2 y los perfiles 3,4 y 6, por lo que cuanto más sedimento se retenga entre los STM, menos habrá en las dunas de sombra y menos se habrá desplazado hacia el interior del campo de dunas.
- Existe una correlación positiva significativa entre el perfil 3 y los perfiles 4 y 6, deduciéndose que cuanto más sedimento hay a sotavento de los STM, más sedimento habrá en las dunas de sombra.

Con el fin de analizar el comportamiento del volumen sedimentario durante el ciclo sedimentario, se procede a realizar un nuevo estudio de correlaciones del periodo que comprende dicho ciclo (tabla 67).

Perfil Vs Perfil	r	t	df	p-valor
1 Vs 2	-0.6509239	-2.7115	12	0.02188
1 Vs 3	-0.01224546	-0.0387	12	0.9699
1 Vs 4	0.3683659	1.253	12	0.2387
1 Vs 5	-0.5717526	-2.2038	12	0.05211
1 Vs 6	0.2721714	0.8944	12	0.3921
2 Vs 3	-0.6035624	-2.3938	12	0.03771
2 Vs 4	-0.7936106	-4.1248	12	0.002061
2 Vs 5	0.3693423	1.2568	12	0.2374
2 Vs 6	-0.7404581	-3.4839	12	0.005883
3 Vs 4	0.7422996	3.5032	12	0.005696
3 Vs 5	0.3405749	1.1455	12	0.2787
3 Vs 6	0.7396024	3.475	12	0.005971
4 Vs 5	0.05574063	0.1765	12	0.8634
4 Vs 6	0.9189348	7.3678	12	2.403e-05
5 Vs 6	-0.09158208	-0.2908	12	0.7771

**Tabla 67:** Parámetros de la correlación de Pearson entre los volúmenes de los diferentes perfiles obtenidos a partir de todos los MDEs realizados desde el 20-10-2011 al 4-7-2013 en la parcela 2 en Playa del Inglés (Gran Canaria).

De los resultados obtenidos del estudio de correlación del ciclo natural, se puede extraer las siguientes observaciones:

- Se reiteran los resultados de todas las correlaciones anteriores, a excepción de las del perfil 1 con el 4 y el 6.

- Se observa una alta correlación negativa significativa entre el perfil 1 y el 2, lo que explicaría que cuando el volumen de sedimento acumulado delante de la duna costera disminuye, es porque ha sido transportado a la zona existente entre los STM.
- Se observa una alta correlación negativa y no significancia entre el perfil 1 y el perfil 5

Las coincidencias de las correlaciones significativas de los perfiles entre ambos estudios estadísticos, se refleja en tabla 68.

Perfil Vs Perfil	Periodo completo	Ciclo Natural	Coincidentes
1 Vs 2		X	-
1 Vs 3			-
1 Vs 4	X		-
1 Vs 5		X	-
1 Vs 6	X		-
2 Vs 3	X		-
2 Vs 4	X	X	<b>X</b>
2 Vs 5			-
2 Vs 6	X	X	<b>X</b>
3 Vs 4	X	X	<b>X</b>
3 Vs 5			-
3 Vs 6	X	X	<b>X</b>
4 Vs 5	X		-
4 Vs 6	X	X	<b>X</b>
5 Vs 6			-

**Tabla 68:** Análisis de coincidencia de las correlaciones significativas entre el periodo completo estudiado y el periodo considerado como ciclo natural en la parcela 2 en la playa del Inglés.

De la tabla de coincidencia se extrae que independientemente de la dirección del viento, lo que ocurra en la parte alta o tras los STM afecta a las dunas de sombra localizadas a sotavento.

#### 4.2.3.1.4 Geformas derivadas de la interacción

Con el objetivo de hacer una composición de lo acontecido meses atrás de la fecha de inicio del estudio, se analizaron las geformas desarrolladas a partir de imágenes cenitales. Por otra parte, de los datos de vientos obtenidos de la estación meteorológica ubicada en la caseta n° 5 de la playa del Inglés, se obtuvieron los regímenes de vientos.

En la figura 303, correspondiente a un vuelo fotogramétrico realizado el 29-9-2010 por GRAFCAN S.A., se identifican dos dunas parabólicas que se estaban formando en el interior de la parcela.



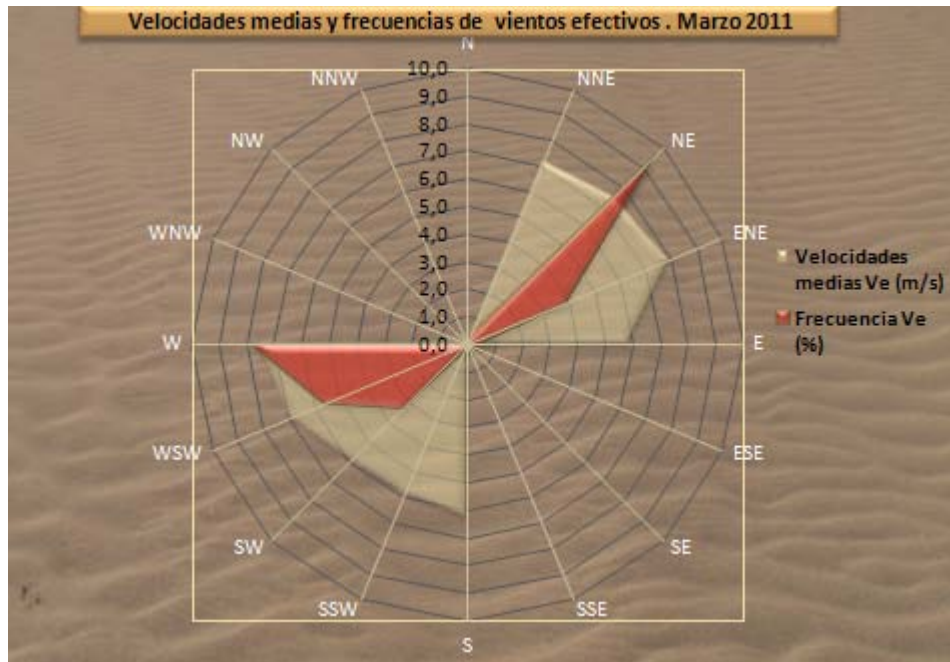
**Figura 303:** Dunas parabólicas el 29-9-2010. Fuente: GRAFCAN S.A.

Los vientos de componente SO, persistentes durante el período que dista entre la figura 303 y la figura 304, del 23-02-2011, produjeron la inversión de las crestas de las dunas, apareciendo geformas redondeadas, mientras que el sedimento era transportado, de nuevo hacia la línea de playa, como se aprecia en la figura 304.



**Figura 304:** Dunas parabólicas retrocediendo hacia la playa el 23-2-2011. Fuente: GRAFCAN S.A.

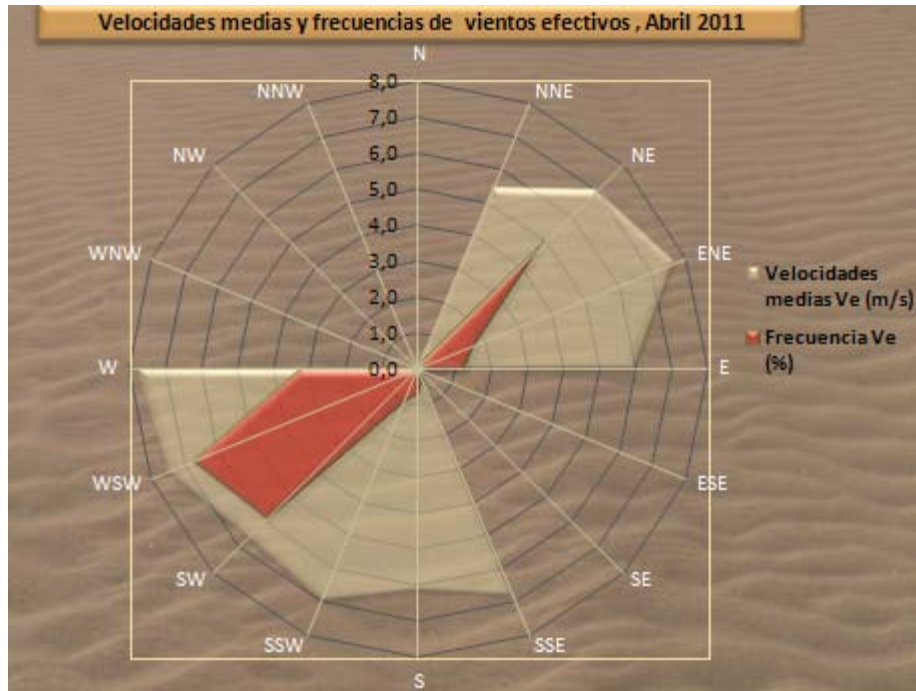
Los vientos efectivos existentes en el mes de marzo de 2011 son; el 14% de componente E-NNE con velocidades medias de 7,1 m/s, el 17,2% de componente S-O con velocidades medias de 6,5 m/s.



**Figura 305:** Velocidades medias y frecuencias de vientos efectivos durante el mes de marzo de 2011 en la playa del Inglés.

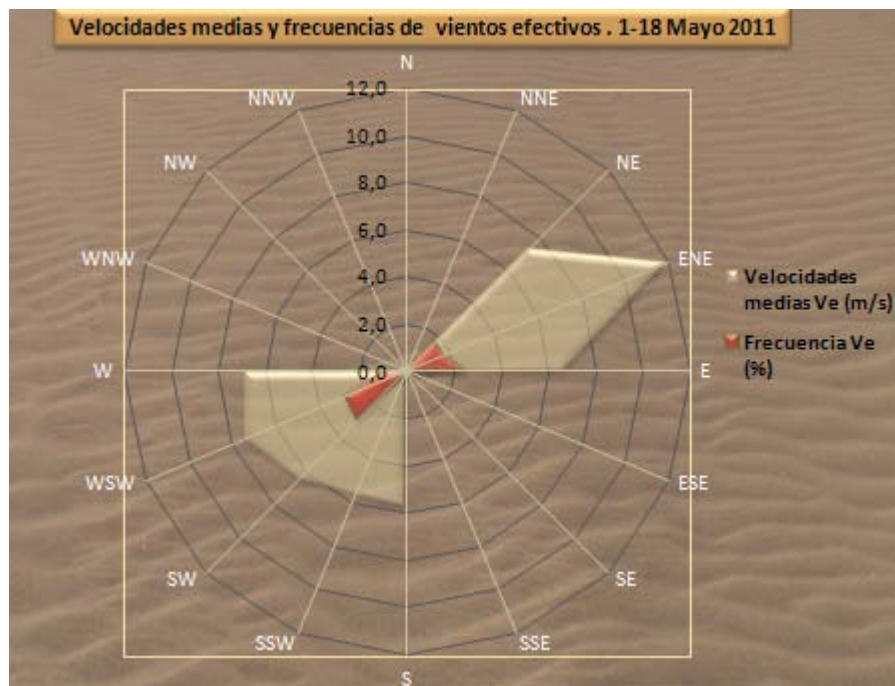
Los vientos efectivos existentes en el mes de abril de 2011 fueron; el 7,8% de componente E-NNE con velocidades medias de 6,5 m/s, y el 17,7% de componente S-O con velocidades medias de 7,0 m/s.





**Figura 306:** Velocidades medias y frecuencias de vientos efectivos durante el mes de abril de 2011 en la playa del Inglés.

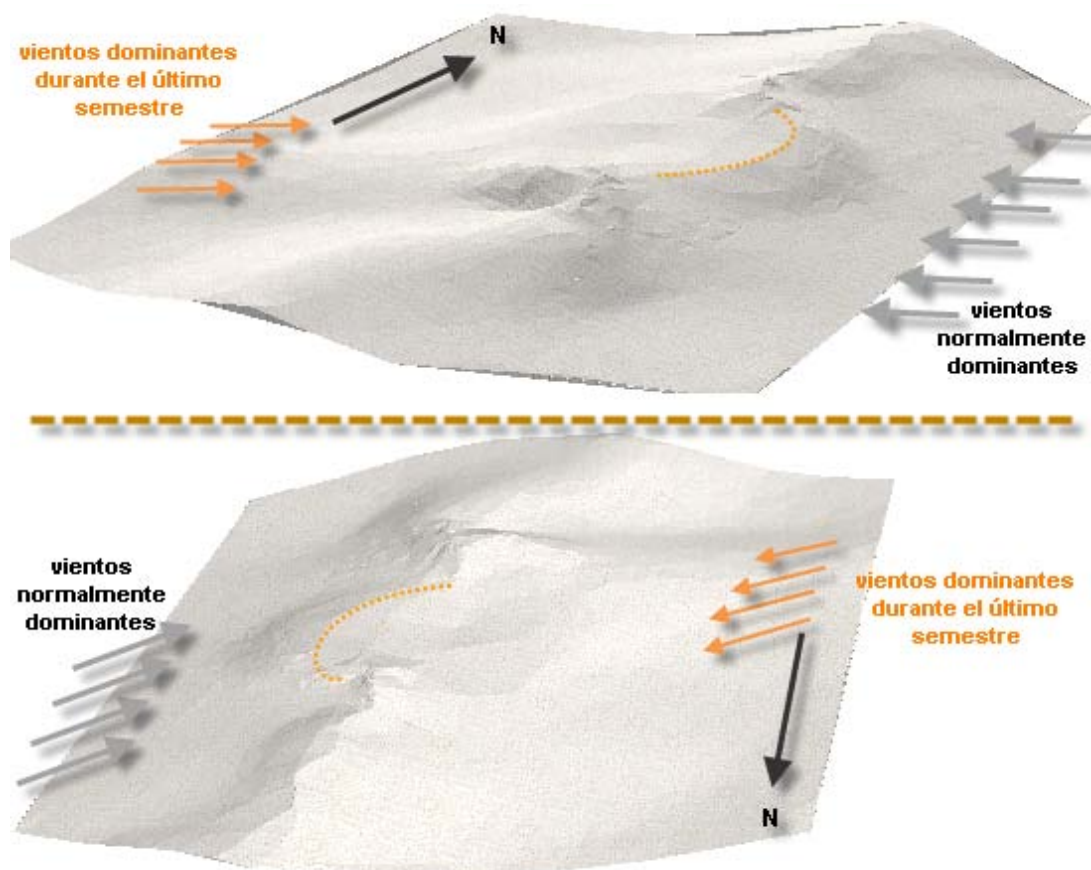
Los vientos efectivos existentes desde el día 1 hasta el 18 del mes de mayo de 2011 fueron; el 5,8% de componente E-NE con velocidades medias de 8,7 m/s, el 7,2% de componente O-S con velocidades medias de 6,4 m/s.



**Figura 307:** Velocidades medias y frecuencias de vientos efectivos desde el 1 al 18 de mayo de 2011 en la playa del Inglés.

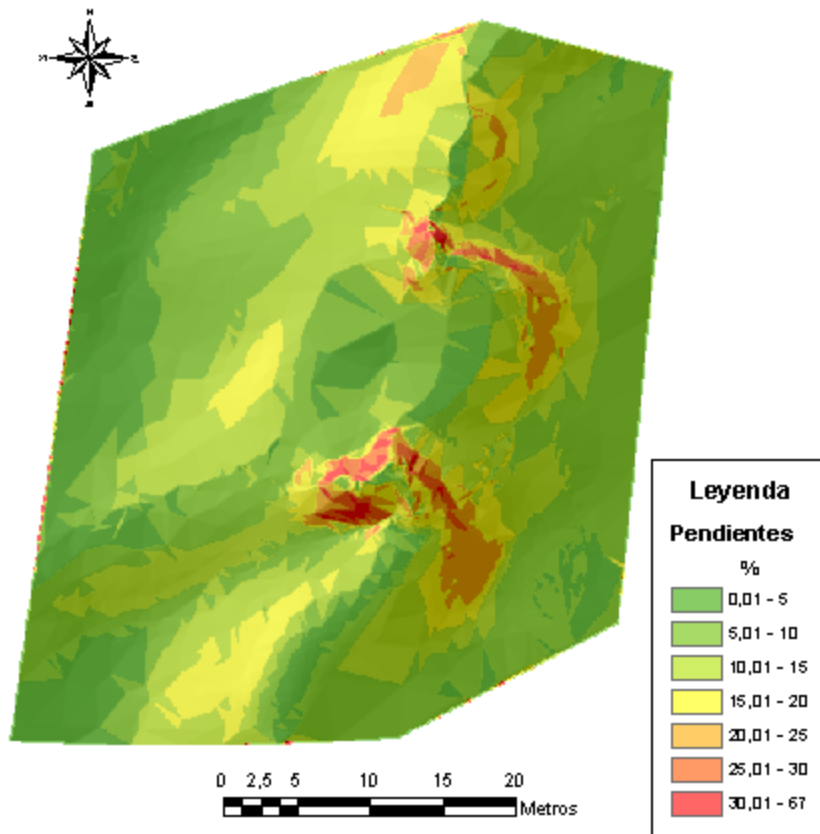


De todo ello se deriva que en la parcela, en la fecha de inicio del estudio, el 19 de mayo de 2011, se está produciendo un retroceso de la duna parabólica, desarrollándose, por ello, una duna parabólica inversa, como se aprecia en el TIN de la figura 308.



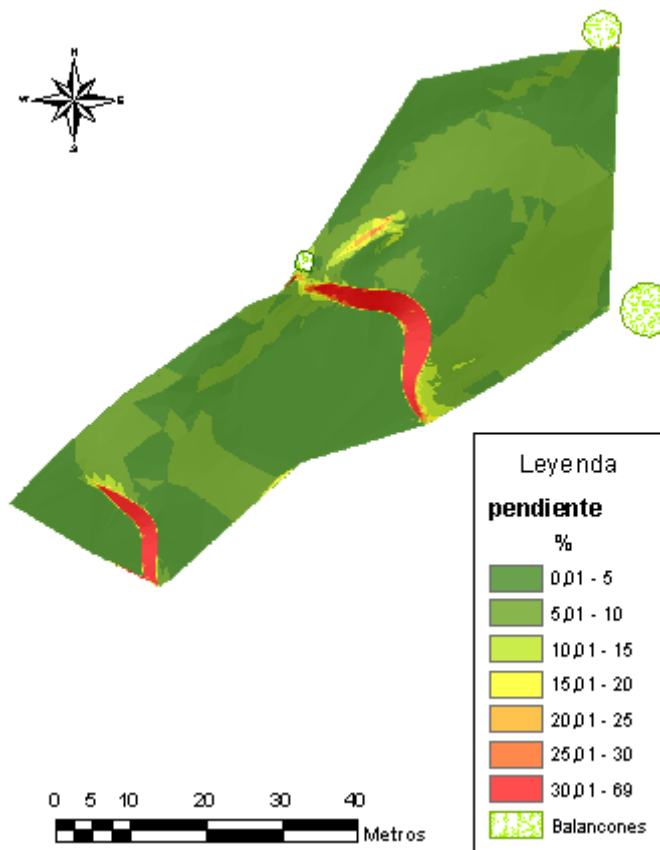
**Figura 308:** Vistas isométricas del TIN mostrando la duna parabólica inversa.

Como se puede apreciar en la figura 309, el talud de la duna parabólica inversa está orientado al ENE, y sus valores de pendiente superan el 20 %.



**Figura 309:** GRID de pendientes correspondiente al MDE realizado el 19-5-2011.

En contraste con lo anterior, en la figura 310 se muestra dos dunas barjanas, de diferente altura, que se desarrollaron en la parcela 1, con dirección de avance NE-SO. La ubicada más al Este, tiene un frente de 2,40 m de altura y la más avanzada 1,10 m. En ambos casos las pendientes de barlovento, son suaves y no superan el 10%.



**Figura 310:** GRID de modelos de pendientes correspondiente al MDE realizado el 30 diciembre de 2012, en la parcela 1.

En la figura 311 se puede observar una duna parabólica inversa orientada hacia la costa, desarrollada tres años después (2014) en el mismo lugar, al coincidir las mismas condiciones meteorológicas de vientos efectivos de orientación Oeste, a los dominantes durante un periodo relativamente largo.



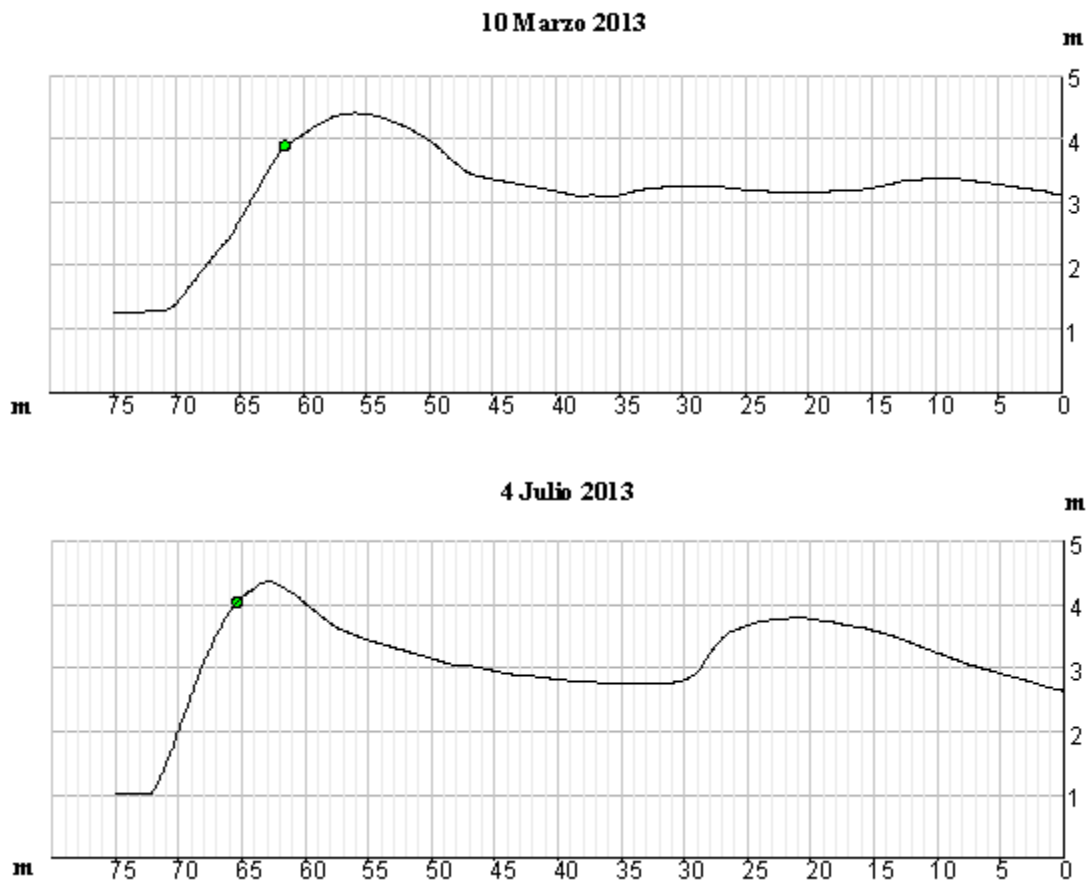
**Figura 311:** Duna parabólica inversa desarrollada en la duna costera en marzo 2014.



**Figura 312:** La entrada de vientos contrarios a los dominantes, durante un periodo relativamente largo, favorece el desarrollo de un talud al pie del ya formado por vientos dominantes.

Durante esta última fase, en la parcela 2 se desarrolló un talud secundario con sedimentos provenientes del interior del campo de dunas como se observa en la figura 312.

Destaca la formación de una duna cabalgante entre el 10 de marzo de 2013 y el 4 de julio de 2013, probablemente, al haber elevados vientos efectivos dominantes (figura 313).



**Figura 313:** Perfil topográfico en el que se observa el desarrollo de una duna cabalgante entre el 10-3-2013 y el 4-7-2013 en la duna costera. Al haber vientos efectivos dominantes.

Con el objetivo de analizar la evolución del frente de la duna parabólica durante el ciclo natural, es decir desde que se inicia su desarrollo hasta que atraviesa la zona de la duna costera, se procedió a identificar los puntos que identifican dichos frentes en los diferentes MDEs realizados. Con el objetivo de analizar la evolución del frente de la duna parabólica durante el ciclo natural, es decir desde que se inicia su desarrollo hasta que sale de la parcela de observación, se procedió a identificar los puntos que marcaban dichos frentes en los diferentes MDEs. La metodología fue la siguiente:

- Se proyecta una línea, por la cual se trazan los perfiles. La misma se definió de tal forma que atravesara la zona más avanzada de la duna en

el instante inicial y en instante final, mediante observación de sus correspondientes GRIDS.

- Una vez realizados los diferentes perfiles, se procesaron los datos para escalar el eje vertical en la proporción 1:5, con el objetivo de identificar mejor los puntos de ruptura de las pendientes.
- Se realizó una primera identificación de los puntos de ruptura. Si se observaban geoformas atípicas, se analizaban los datos de viento disponibles, así como la secuencia de los GRIDS, con el objetivo de identificar lo ocurrido durante cada periodo.
- Una vez esclarecidas las circunstancias atípicas, se definieron los puntos de ruptura de forma definitiva, para, a partir de ellos, definir el frente de la duna, y determinar los siguientes datos asociados a cada punto: i) distancia al origen; ii) avance parcial; iii) avance final; iv) cota; v) incremento de cota; y vi) coordenadas UTM, a partir del acimut de la línea proyectada inicialmente.

En la figura 314 se muestra un gráfico resumen de toda la información, tanto la obtenida mediante observación, como la calculada.

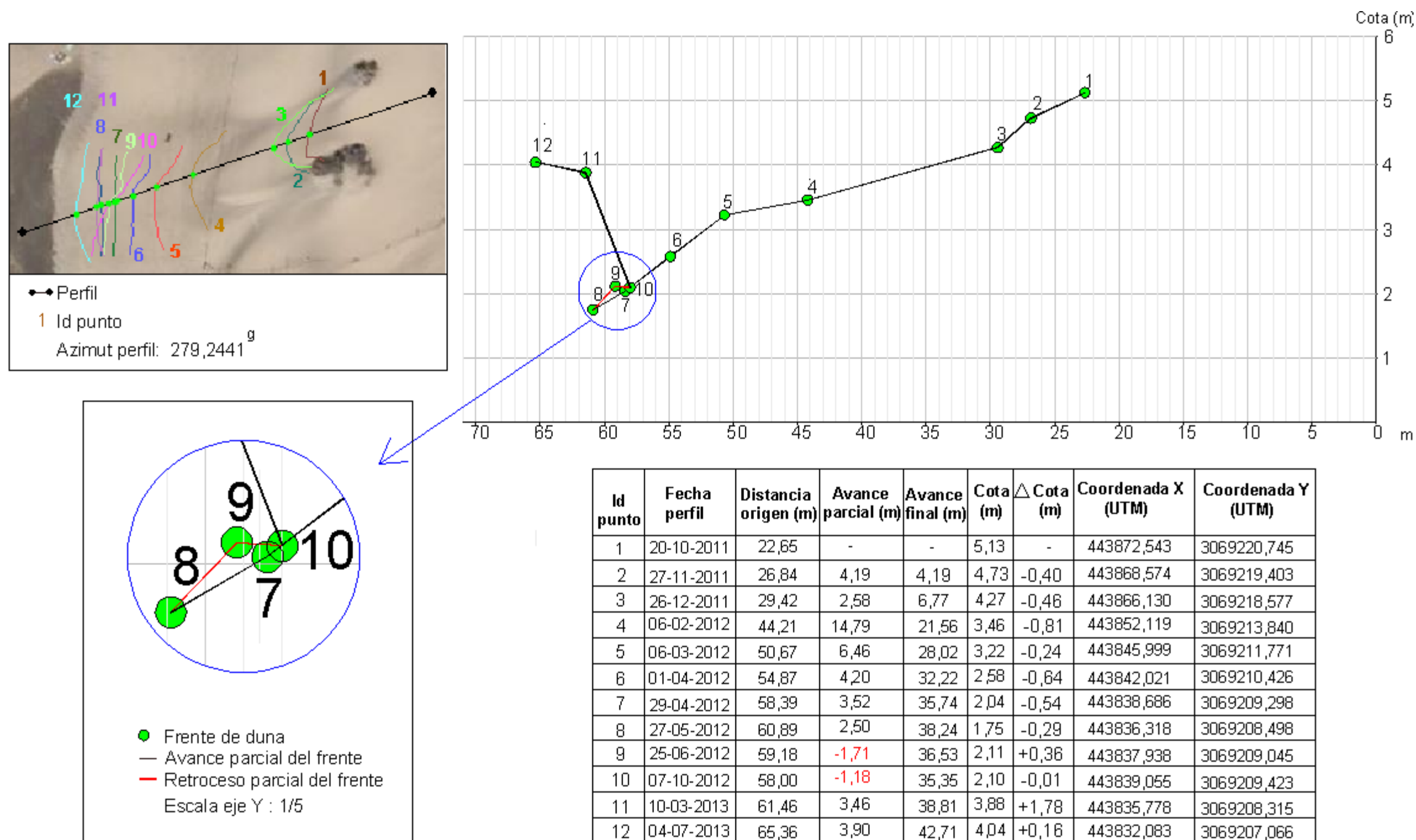


Figura 314: Evolución del frente de la duna parabólica, desde que se forma hasta que atraviesa la duna costera.

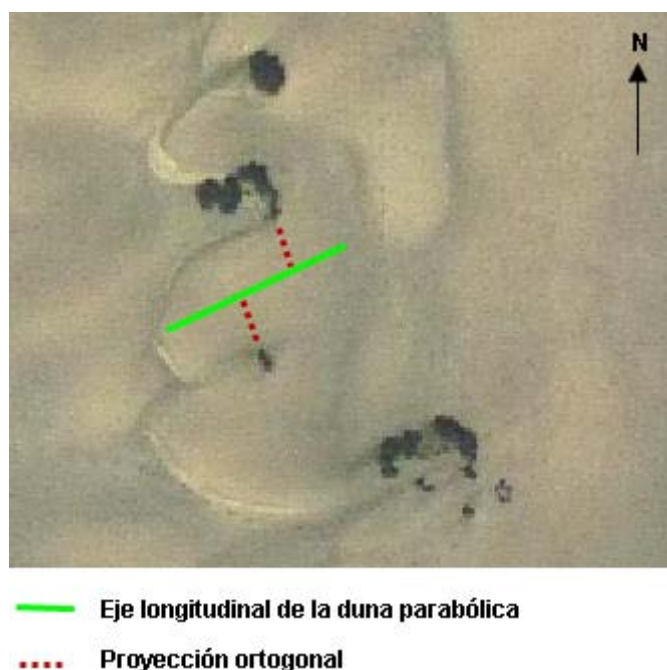
Destaca la elevada distancia (28,97m) que avanzó el frente de la duna en 4 meses (26/12/2011 - 29/4/2012) con vientos efectivos del NE, en relación al avance total (42,71m). El 67,82 % del avance se produjo en ese periodo. Se observa que durante dicha fase, el frente disminuyó en altura 2,23m. Sin embargo, en prácticamente 6 meses (29/4/2012 - 10/10/2012), al haber alternancia de vientos del NE y del SO, el frente retrocedió 0,39m (ver detalles en cuadro inferior izquierdo).

#### 4.2.3.1.4.1 Distancias entre individuos de *Traganum moquinii*

Con el objetivo de analizar la relación existente entre las distancias de los STM y el desarrollo de dunas parabólicas en la duna costera de la playa del Inglés, se realiza un análisis de diferentes ortofotos correspondientes a diversos años. La distancia entre STM tiene especial interés de cara a la gestión, en caso de ser necesaria una regeneración de la duna costera en aquellos lugares en la que hayan desaparecido los montículos asociados a la vegetación.

#### Material y métodos

Se seleccionaron las siguientes ortofotos: 1961,1998, 2004-06, 2007, 2008 y 2009. El procedimiento seguido fue definir un eje a lo largo de la duna parabólica y, sobre el mismo, proyectar ortogonalmente las distancias hasta ambos STM. La distancia total es definida por la suma de la longitud de ambas proyecciones.



**Figura 315:** Representación gráfica del método empleado para determinar las distancias entre STM que han favorecido la formación de dunas parabólicas. Fuente: GRAFCAN S. L.

Se consideraron las tres zonas de la playa del Inglés que se habían establecido en otras partes de esta investigación, acorde con el tamaño y densidad de los



ejemplares de *Traganum moquinii*: norte, centro y sur. Los límites de las mismas quedan definidos por la componente Y (UTM) (Tabla 69). Cabe indicar que en la zona norte la identificación de las dunas parabólicas es compleja, dado el elevado nivel de solape de las diferentes geoformas que se desarrollan.

Zona	Límite inferior Y(UTM)	Límite superior Y(UTM)
Sur	>3068400	<3068902
Centro	>3068902	<3069454
Norte	>3069454	<3069874

**Tabla 69:** Coordenadas de los límites de las zonas para identificar dunas parabólicas

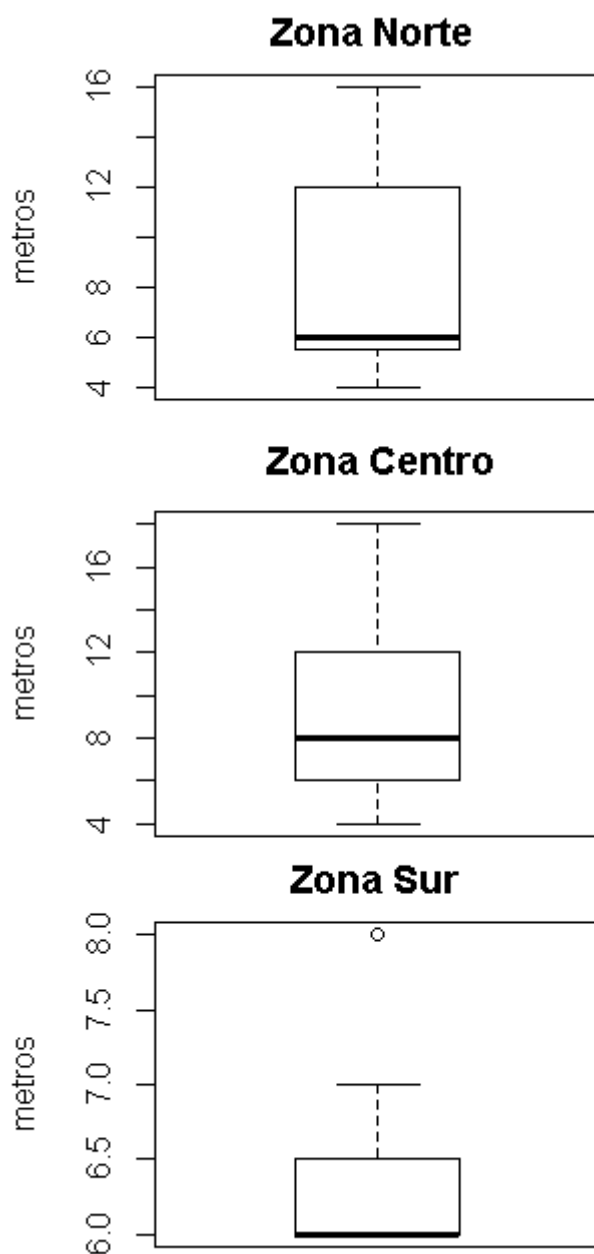
## Resultados

En la tabla 70 se muestra las coordenadas X e Y (UTM), distancias de los individuos vegetales y años a los que corresponden las ortofotos de las dunas parabólicas identificadas.

Año	X(UTM)	Y(UTM)	Dist. (m)	Año	X(UTM)	Y(UTM)	Dist. (m)
1961	443874	3069295	6	2009	443882	3069206	8
1961	443887	3069401	4	2009	443880	3069222	6
1961	443937	3069660	4	2011	443761	3068413	6
1961	443955	3069704	12	2011	443758	3068434	8
1961	443953	3069798	8	2011	443839	3068605	6
1961	443965	3069856	6	2011	443875	3068878	6
1961	443967	3069872	4	2011	443808	3068966	6
1961	444014	3070044	6	2011	443874	3069024	12
1961	444078	3070219	12	2011	443784	3069037	6
1998	443836	3069622	16	2011	443877	3069144	12
2004-06	443882	3069010	6	2011	443876	3069203	12
2004-06	443781	3069016	12	2011	443876	3069226	6
2004-06	443876	3069023	10	2011	443889	3069267	13
2004-06	443876	3069007	6	2011	443896	3069434	5
2004-06	443784	3069035	6	2011	443900	3069457	6
2004-06	443891	3069244	8	2011	443902	3069475	6
2007	443875	3069023	8	2011	443891	3069503	16
2007	443883	3069185	16	2011	443912	3069551	6
2007	443880	3069199	10	2011	443995	3069661	5
2007	443758	3068414	6	2012	443834	3068608	6
2008	443810	3068967	6	2013	443844	3068628	6
2008	443798	3068981	8	2013	443876	3069221	8
2008	443881	3069144	10	2013	443890	3069263	16
2008	443879	3069200	12	2013	443835	3069640	12
2008	443882	3069224	8	2014	443847	3068630	7
2008	443878	3069293	6	2014	443878	3069009	6
2008	443880	3069180	18	2014	443875	3069025	12
2008	443880	3069200	12	2014	443876	3069225	8
2009	443888	3069187	10	2014	443895	3069457	4
Zona Sur		Zona Centro			Zona Norte		

**Tabla 70:** Datos de las dunas parabólicas identificadas en las diferentes ortofotos.

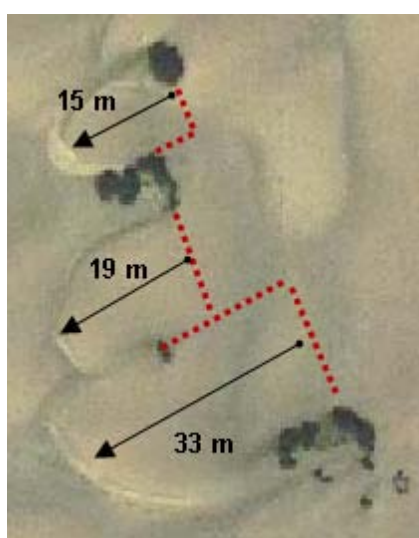
La distancia media entre STM que forman dunas parabólicas en cada zona es de: 6,4 m en la zona sur; 9,1 m en la zona centro; y 8,2 m en la zona norte. El valor de la moda es de 6 m en todas las zonas. Sin embargo, aun siendo la muestra menor en la zona sur, es en dicha zona donde el valor de la moda representa un mayor porcentaje de las distancias, con un 75%.



**Figura 316:** Diagramas de caja de las distancias entre ejemplares de *Traganum moquinii* que han favorecido dunas parabólicas en las diferentes zonas.

Como se observa en la figura 316, existe una mayor dispersión en la zona centro y norte, inexistencia de valores atípicos en las tres zonas y gran asimetría positiva en las zonas sur y norte.

Por lo que respecta a la disposición de los STM, se observa que la disposición no lineal y paralela a la línea de playa, favorece que las dunas parabólicas que se desarrollan tengan mayor longitud, al igual que la proximidad entre los ejemplares, al tardar más tiempo en soltarse los brazos de las dunas. Ello conlleva una ralentización del transporte sedimentario, favoreciendo a su vez que se desarrolle un frente con mayor altura.



**Figura 317:** Vista de dunas parabólicas con diferentes longitudes, dependiendo de las distancias entre STM, dispuestos de forma no lineal. Fuente: GRAFCAN S.L.

Otras observaciones realizadas, relativas a esta temática, derivan del conteo de STM en 1961, cuando el sistema estaba menos impactado por acciones antrópicas, y de forma comparativa en 2014. Al respecto, cabe advertir que el método aplicado, de recuento de los individuos mediante el uso de ortofotos, no es muy preciso. Su limitación viene determinada, principalmente, por dos circunstancias: i) la escala de las diferentes ortofotos limita la visualización de los individuos jóvenes, que no ocupan una superficie suficientemente grande como para que puedan ser identificados; y ii) se da la posibilidad de que en el instante de realizarse la imágenes existan individuos de *Traganum moquinii* enterrados por dunas móviles.

No obstante lo anterior, se determina que la densidad de STM de la duna costera es aproximadamente, en la zona sur, de un ejemplar cada 538 m<sup>2</sup>, en la zona centro de uno cada 905 m<sup>2</sup> y de uno cada 747 m<sup>2</sup> en la zona norte. En el año 2014 se observa una reducción significativa en el sur (más de 50%), de STM, pues la densidad actual es de un ejemplar cada 1196m<sup>2</sup>.

#### **4.2.3.2 Discusión**

Se aborda en este apartado la discusión de los resultados de la parcela 2, así como en comparación con algunos resultados de la parcela 1.

Por lo que respecta a los STM, definidos en el apartado anterior, se comprueba que también en la duna costra cumplen una función determinante, al interferir en la dinámica sedimentaria eólica. De esta interferencia se generan geoformas dunares propias, como son dunas parabólicas entre pares de STM y dunas de sombra a sotavento de cada STM.

La altura de la acumulación que se produce por la interferencia de los STM en la dinámica sedimentaria eólica parece estar limitada por la propia altura de los STM. Considerando que los STM son sistemas de crecimiento potencialmente continuo, como respuesta a procesos de enterramiento progresivo absoluto, cabe plantearse que, también de forma inversa, la entrada de sedimentos en el sistema determina la altura de los STM.

La formación de dunas parabólicas se produce cuando los STM no aparecen aislados, sino próximo a otros, a una distancia no superior a 30 metros. Una distancia de 13 metros entre STMs en la zona centro de la playa del Inglés permite la formación de dunas parabólicas. La distancia entre STMs para que se desarrollen dunas parabólicas en la zona sur de la playa del Inglés es de 6 a 7 metros.

Las dunas parabólicas pueden mostrarse inversas, si las condiciones de viento efectivo son contrarias a los vientos dominantes, es decir, que durante un período relativamente largo de tiempo (meses) los vientos efectivos tengan procedencia SO. En ese caso, las dunas parabólicas se invierten y avanzan (retroceden) hacia la playa.

Se configuran, entonces, morfológicamente, semejantes a dunas barjanas, pudiendo llevar a confusiones en su identificación, si se consideran exclusivamente desde la planimetría, tal y como sucede en Cabrera et al. (2013). Por ello se hace necesario, en este tipo de análisis de detalle, estudiar con rigurosidad la altimetría y hacer uso de análisis de pendientes, de forma asociada a su situación en relación a la dirección de los vientos.

La disposición de los STM en la duna costera determina algunos parámetros de la duna parabólica, de forma que STM más próximos entre sí y con una disposición no lineal, facilita que las dunas parabólicas se desarrollen más alargadas, al retener el sedimento durante más tiempo.

Otros patrones morfológicos de estas dunas parabólicas son determinados por la dirección del viento y su interacción con los STM. Así, cuando el viento entra en el dominio de la duna costera de componente NE, aun con escasa intensidad, los vectores con mayores módulos se concentran en la zona más meridional del borde de la duna parabólica, que avanza más rápidamente. Sin embargo, cuando el viento que entra en el dominio de la duna costera de la playa del Inglés es de componente Este, los vectores a lo largo de todo el frente de la duna son más homogéneos, no solo en magnitud, sino también en dirección. Ello provoca que la duna parabólica adquiera una forma más simétrica. Dado que los vientos efectivos en la playa del Inglés suelen tener componente NE, las dunas parabólicas se presentan asimétricas, desviadas hacia su frente meridional.

La densidad de STM en la duna costera ha experimentado cambios significativos, por impactos antrópicos, como ya había sido puesto de relieve por otros autores (Hernández Calvento, 2002; ley et al, 2007; Hernández-Cordero, 2012). La mayor densidad de STM en la zona sur, en 1961, explicaría por el hecho de que en esta zona se localizan los mayores espacios interdunares y superficies de deflación, lo que pudiera estar facilitando la germinación de las semillas. De igual forma, en esta zona el transporte sedimentario eólico es más rápido, por lo que los enterramientos se prolongan menos en el tiempo, y como consecuencia la tasa de supervivencia sería mayor. Esto, a su vez, produciría que los individuos vegetales no

crecieran con la rapidez que lo hacen aquellos que se ven enterrados durante más tiempo. A su vez, el hecho de que los STM se presenten muy próximos entre sí, pudiera estar provocando que las dunas no se desarrollen en altura, y por lo tanto presenten unas mayores tasas de movilidad.

En 2014, la menor densidad de STM en la zona sur, favorece el escaso desarrollo de dunas parabólicas, ocasionando que el transporte sedimentario por dicha área se produzca a mayor velocidad, en forma de láminas de arena.

Por lo que respecta a la comparación entre los resultados obtenidos en la parcela 1 y los obtenidos en la parcela 2, cabe destacar que existe una marcada diferencia entre el volumen de sedimento por  $m^2$  retenido en una zona bajo la influencia de un solo STM y el retenido por dos STM (Figura 318). Así, al inicio del estudio, entre ambas parcelas existía una diferencia de  $1,33 m^3/m^2$  de sedimento acumulado. El sedimento que fue desplazando desde el 16 de mayo al 25 de agosto, por vientos de componente SO. En la parcela ubicada en la duna costera (2), esto provocó que el sedimento se desplazara hacia la línea de costa, invirtiendo la duna parabólica formada con anterioridad. Gran parte del sedimento quedó retenido por los STM. Por el contrario, en la parcela ubicada en la zona de deflación (1) el sedimento no fue retenido.

Cuando los vientos modificaron su dirección a componente NE (22/9/2011), el sedimento que había sido desplazado en la zona de la duna costera, quedando parcialmente retenido, de nuevo, por los STM, y produciendo un aumento de  $0,25 m^3/m^2$  de sedimentos, de media, en esta parcela, si bien no ocurrió lo mismo en la zona de deflación, donde prácticamente fue inapreciable el volumen de sedimento retenido.

A partir del 20/10/2011 coinciden dos hechos, motivado por la existencia de vientos de componente NE: i) una vez normalizado el sistema, en la duna costera entra sedimento desde la playa alta; y ii) en la parcela 1 una duna barjana entra en la parcela.

Dado que se aprecia gráficamente una posible relación entre ambos volúmenes de sedimento por metro cuadrado entre ambas parcelas desde el 20-10-2011 y el 6-

02-2012, se realiza una correlación de Pearson, obteniéndose una alta correlación significativa ( $r = 0,67$ ,  $p\text{-valor} = 0,03$ ).

Del análisis realizado anteriormente, y de los datos obtenidos en el estudio de los avances de los diferentes frentes en ambas parcelas entre el 16-10-2011 y el 7-10-2012 en la parcela ubicada en la duna costera, se determina que aun entrando aproximadamente el mismo volumen de sedimento por  $m^3/m^2$  en ambas parcelas, el frente de la duna parabólica, en la parcela 2, avanzó 1,8 veces más lento que el frente de la duna barjana en la parcela 1. Se evidencia una vez más la importancia que tienen los STM en la ralentización del avance del sedimento en la duna costera.



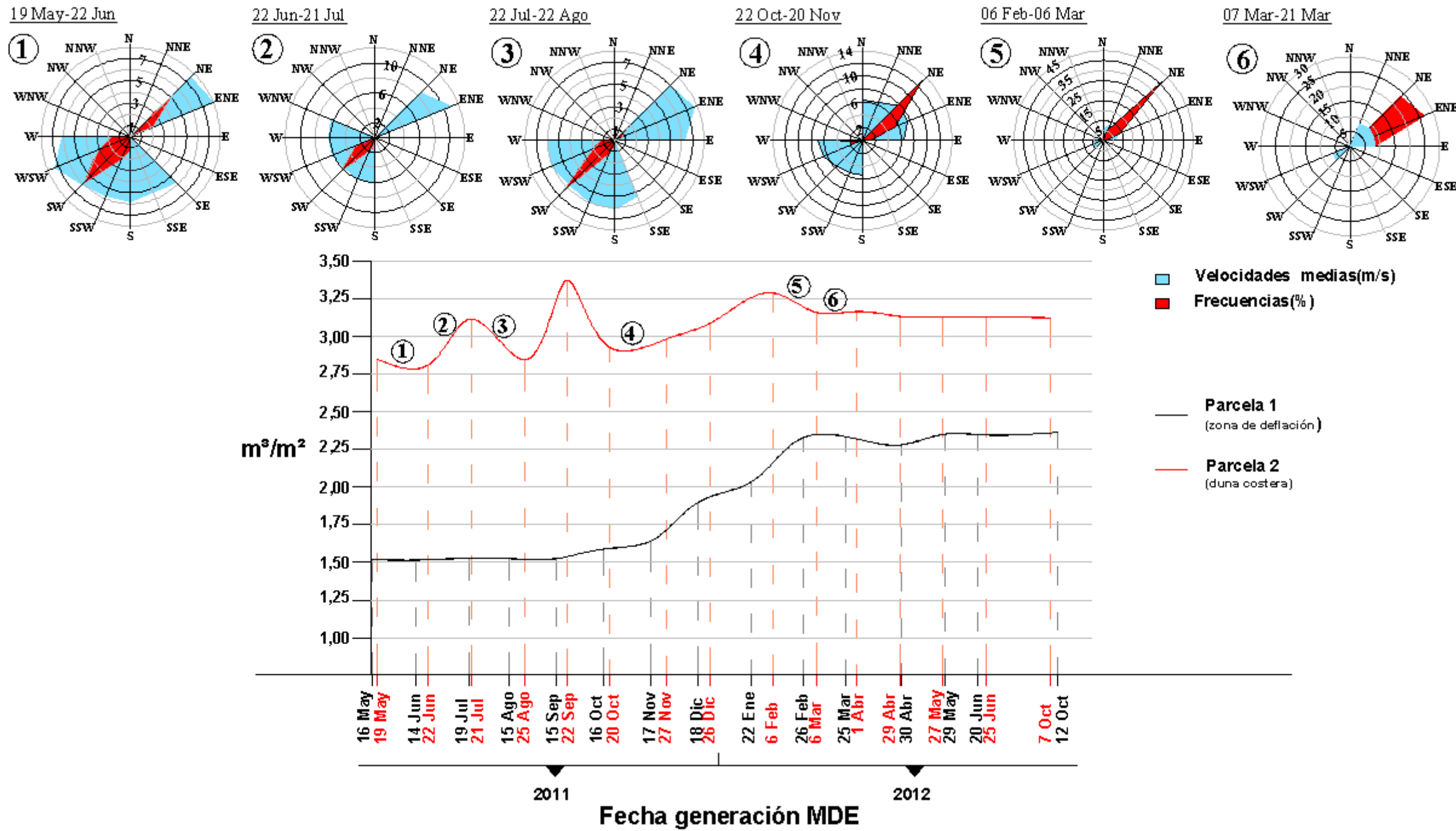


Figura 318: Gráfico de la evolución de volumen de sedimento por superficie (metros cúbicos/metro cuadrado) en cada una de las parcelas en diferentes periodos de tiempo y rosa de vientos efectivos de los periodos con datos.

## 5 DISCUSIÓN GENERAL, CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

### 5.1 DISCUSIÓN GENERAL

Se presenta a continuación una discusión general, de marcado sentido académico, sobre el trabajo realizado.

Por lo que respecta a los objetivos, se trataba, con esta tesis, de cumplir un objetivo principal, como era **conocer el estado de la población de *Traganum moquinii* en la playa del Inglés, sus posibilidades de reproducción y el papel que tiene esta especie en la formación de la duna costera**. Esto implicaba, por un lado, dar respuesta a los siguientes objetivos específicos, relacionados con cuestiones relacionadas directa o indirectamente con la ecología y la autoecología de *Traganum moquinii*:

- *Analizar el estado vital de los individuos, mediante un estudio radiométrico*. Este trabajo se desarrolló por medio de la toma de datos con un radiómetro de campo. Se establecieron firmas espectrales para varios estadios de *Traganum moquinii* y se analizó su estado por medio de índices de vegetación.
- *Elaborar un protocolo para reproducir asexualmente la especie*. El trabajo realizado para dar cumplimiento a este objetivo específico consistió en diversos experimentos que llevaron a definir el protocolo, que se presenta en el siguiente apartado, y puede constituir una herramienta clave para la regeneración de *Traganum moquinii* en aquellos sistemas de dunas áridas en donde la especie esté presente, y se requiera su reintroducción.
- *Abordar un estudio sobre la reproducción sexual*. Este trabajo llevó a describir distintos aspectos de la especie que no se habían visto referenciados hasta ahora, especialmente en relación al papel que determinados insectos juegan en la autoecología de *Traganum*

*moquinii*. Con ello, también se definió el interés ecológico de la especie.

- *Abordar un estudio de las consecuencias de las afecciones de la iluminación artificial sobre los individuos de *Traganum moquinii* próximos al centro comercial Anexo II.* El estudio llevado a cabo, por medio de toma de datos en el campo y trabajo de laboratorio, permitió determinar la existencia, efectivamente, de un impacto lumínico, con consecuencias para la ecología de los ejemplares más afectados.
- *Conocer los factores que producen una reacción de crecimiento vegetativo por parte de *Traganum moquinii* al enterramiento.* Este trabajo, también desarrollado mediante experimentos, ha sido determinante, por cuanto a permitido conocer la reacción de *Traganum moquinii* al enterramiento, definiéndose sus límites y tolerancia a tal proceso, y siendo fundamental en la determinación de un sistema, que forman los ejemplares vegetales con las acumulaciones de arena que se forman, por su interacción con la dinámica sedimentaria eólica, el sistema *Traganum*-montículo (STM).

Por otro lado, se trataba de dar respuesta, igualmente, a otros tres objetivos específicos, relacionados con la dinámica sedimentaria eólica, y con ello, con la formación de la duna costera. Éstos eran los siguientes:

- *Analizar, de forma multiescalar, la dinámica eólica en la playa del Inglés.* Este trabajo se desarrolló mediante la utilización de datos de viento a escala insular y local. En relación a los últimos, cabría destacar el trabajo realizado con sensores elaborados en exclusiva para el desarrollo de esta investigación, que permitieron definir el comportamiento del viento en una parcela experimental de la duna costera, con apoyo de modelos informáticos.
- *Abordar un estudio detallado de dinámica morfológica de la duna costera.* Este estudio se desarrolló por medio de dos análisis parciales:

*el seguimiento de la interacción de un individuo de Traganum moquinii en la dinámica sedimentaria*, que permitió definir, de forma complementaria al estudio sobre el enterramiento, el sistema *Traganum*-montículo (STM), así como conocer los tipos de dunas que se conforman a partir de la interacción de un STM con la dinámica sedimentaria eólica. Por otro lado, se trataba de realizar *un seguimiento de la interacción de dos individuos de Traganum moquinii en la dinámica sedimentaria*. Este trabajo permitió caracterizar detalladamente esta interacción, así como las geoformas que se establecen a partir de la distribución espacial de los STM.

Visto que el grado de cumplimiento de los objetivos parciales ha sido el adecuado, se estima que se ha cumplido también adecuadamente el objetivo principal de esta investigación, de modo que podemos afirmar que a partir de esta tesis se conoce el estado de la población de *Traganum moquinii* en la playa del Inglés, sus posibilidades de reproducción y el papel que tiene en la formación de la duna costera.

Con ello, también se da respuesta a la hipótesis de partida de esta tesis, que planteaba *que la interacción de los ejemplares de Traganum moquinii en la dinámica sedimentaria eólica de la duna costera de la playa del Inglés genera procesos propios, que se ven condicionados en su desarrollo por agentes naturales y antrópicos*. Considerando el trabajo en su totalidad, la hipótesis queda confirmada: la interacción señalada, efectivamente, genera procesos propios, no sólo desde la perspectiva de la geomorfología, sino también desde la de la vegetación. Ambos tipos de procesos se ven integrados en el nuevo STM descrito. Además, se generan otros procesos geomorfológicos, como la formación de dunas características, que no habían sido analizadas con suficiente detalle hasta este momento. En su desarrollo, estos procesos se ven alterados por agentes naturales, como son los insectos que desarrollan su vida en estos STM, y que le aportan valor ecológico. También por agentes antrópicos, como las luces artificiales que condicionan el normal desarrollo de la especie analizada, *Traganum moquinii*.

Considerando, finalmente, las preguntas que se pretendían responder, todas y cada una de ellas obtienen respuesta desde esta investigación. Así, a la primera pregunta, doble, que se planteaba, relativa a *¿Cómo es la ecología de *Traganum moquinii*? Y, conociéndola, ¿Podemos definir un protocolo de reproducción de ejemplares de esta especie en condiciones óptimas para ser plantadas, con el fin de regenerar una duna costera en los sistemas de dunas de Canarias?* Cabe decir que se produce, con esta tesis, un adelanto en la ecología y autoecología de la especie, que lleva a plantear un protocolo de reproducción que puede ser de utilidad para la reintroducción de la especie, si fuera preciso, en los sistemas de dunas de Canarias, o en los de otros territorios próximos, en los que también esta especie juegue el papel de formador de la duna costera.

En esta primera pregunta se advertía que cabía incluir otras preguntas complementarias, *sobre el estado en que se encuentra la población de *Traganum moquinii* en la actualidad, respecto a las consecuencias que sobre ellos puedan tener determinados factores externos, como si la iluminación artificial del centro comercial Anexo II supone una afección a las plantas de esta especie, de modo que condicione su ciclo biológico allí donde le afecta más intensamente, o si el pisoteo de algunos usuarios de las playas puede estar afectando a la ecología de *Traganum moquinii*.* Todas estas preguntas encuentran respuesta: el estado vital de los ejemplares de *Traganum moquinii* en la playa alta del Inglés es adecuado, en cuanto a los individuos vivos en la actualidad, pero deficitario en cuanto al número de individuos vegetales que deberían conformar su población para que los procesos ecológicos y geomorfológicos que se deberían desarrollar fueran los óptimos para el mantenimiento de las funciones que cumple la duna costera, y por prolongación, todo el sistema de dunas de Maspalomas. Las acciones antrópicas han sido determinantes para que el sistema presente este déficit ecológico, y por tanto, en las funciones que el ecosistema aporta a la sociedad, lo cual no es más que un caso más, paradójico y paradigmático, del conflicto entre el desarrollo y la conservación, que finalmente concluye con afecciones hacia la sociedad, y que exige de medidas de sostenibilidad adecuadas. El conflicto permanece y las acciones de los usuarios, mediante su pisoteo, y de los servicios, como las luces del centro comercial Anexo II, influyen de forma negativa, pues inducen cambios en las plantas de *Traganum moquinii*, impiden

su crecimiento, o alteran los montículos que éstos inducen, por interferencia en la dinámica sedimentaria eólica, modificando la funcionalidad de los STM, fundamentales es en el mantenimiento de los procesos geomorfológicos de la totalidad del campo de dunas activo de Maspalomas.

A la pregunta 2, sobre *¿Cómo se produce la interacción entre la dinámica sedimentaria eólica y los ejemplares de *Traganum moquinii* en estos espacios, que dan lugar a la duna costera, considerando desde el contacto de las formas libres con los ejemplares vegetales, hasta la formación de dunas barjanas, a sotavento de la duna costera, propiamente dicha?* Cabría contestar que la interacción entre los ejemplares vegetales y la dinámica sedimentaria eólica se produce a distintos niveles. Desde que una planta de esta especie comienza su desarrollo en la playa alta del Inglés, se ve condicionada por multitud de agentes, como el viento, la humedad del sustrato, la dinámica de las arenas, las acciones de los seres humanos... Sus capacidades son limitadas, y se ciñen a conseguir superar la altura de la arena, pero se ven anuladas cuando acciones exteriores, perpetradas por usuarios de otros servicios de la playa, merman sus capacidades.

Las que consiguen desarrollarse, se integran de tal forma en la dinámica natural de las arenas, conformando unidades ecológicas aisladas, en las que plantas, arenas e insectos quedan integrados. Son los sistemas *Traganum*-montículo, STM, cuya multiplicación en el espacio termina por conformar un ecosistema único, el complejo de duna costera de Maspalomas.

La interacción entre estos STM y la dinámica sedimentaria eólica determina muchos de los procesos que, finalmente, condicionan distintos aspectos, desde funcionales hasta geomorfológicos y paisajísticos, en la totalidad del sistema de dunas de Maspalomas. Por ello, su protección y regeneración, si fuera preciso, debería ser una prioridad, no ya sólo desde el punto de vista ecológico, sino también desde el económico. Porque, pensando en términos de sostenibilidad, cuesta menos dinero la protección activa y la regeneración, allí donde haga falta, de este complejo de dunas costero, que la pérdida del paisaje de dunas de Maspalomas.

## 5.2 CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados y discusiones planteadas en los apartados precedentes, se alcanzan las siguientes conclusiones:

1. El índice de vegetación más adecuado para conocer el estado vital de los ejemplares de *Traganum moquinii* en la duna costera de la playa del Inglés es el MSAVI, siendo el NDVI el menos adecuado. Considerando su respuesta espectral, estos ejemplares se encuentran, a nivel general, en buen estado fisiológico.
2. Las condiciones en las que se produce el mayor éxito de enraizamiento de esquejes de *Traganum moquinii* corresponden a temperatura baja, fase de crecimiento medio y esquejes de 15 cm de longitud. Esquejes cultivados bajo cubierta presentan un desarrollo de  $1,196e^{0,0033x}$  centímetros por cada centímetro de esquejes cultivados al aire libre (donde representa los días transcurridos).
3. *Traganum moquinii* no es una especie xerófita, pues para sobrevivir requiere altas dosis hídricas, por lo que se debe considerar como una especie meso-xerofítica, al depender su supervivencia de la existencia de humedad procedente del nivel freático. Así mismo las raíces de dicha especie no tienen capacidad para atravesar suelos saturados.
4. *Traganum moquinii* no puede sobrevivir con aportes hídricos provenientes del mar, debiendo recibir aportes de aguas relativamente dulces. Existe, en este sentido, una relación inversamente proporcional entre salinidad del sustrato y vitalidad del individuo.
5. El sistema radicular de individuos de *Traganum moquinii* plantados en contenedores, se desarrolla principalmente en la zona externa del sustrato, de lo que se deriva una alta capacidad de retención de sedimentos en un medio natural arenoso.
6. *Traganum moquinii* es dicógama, geitonogama y protándrica. El principal vector de polinización de esta especie en la playa del Inglés es *Haplothrips sventenii* zur Strassen.
7. Ejemplares de *Traganum moquinii* del complejo de duna costera de la playa del Inglés pueden producir más de 100.000 flores por m<sup>3</sup> de dosel.

8. El periodo de madurez de la semilla de *Traganum moquinii* es aproximadamente de 220 días. Las mismas no presentan dormancia.
9. Las especies de insectos *Haplothrips sventenii* zur Strassen, 1966, *Sphaericus (Sphaericus) gibbicollis* Wollaston, 1862, y *Ancylois arenosella* desarrollan su ciclo biológico sobre ejemplares de *Traganum moquinii* en la playa del Inglés.
10. El ciclo de vida de *Ancylois arenosella* está íntimamente relacionado con la velocidad de enterramiento que pueda sufrir *Traganum moquinii* en la playa del Inglés, ya que si la planta reacciona con brotes nuevos próximos a la superficie, *Ancylois* desarrolla las diferentes etapas de su ciclo biológico sobre dichos brotes.
11. Las especies de insectos *Calliptamus plebeius*, *Canarichelifer teneriffae* desarrollan parcialmente su ciclo biológico sobre ejemplares de *Traganum moquinii* en la playa del Inglés, puesto que no dependen de esta planta en concreto.
12. Los ejemplares de *Traganum moquinii* que conforman la duna costera de la playa del Inglés constituyen nichos ecológicos aislados que albergan poblaciones de insectos que desarrollan la totalidad o parte de su vida en estas plantas.
13. Las luces del entorno del centro comercial Anexo II, especialmente las provenientes de las luminarias del paseo, y que están dirigidas hacia la playa, modifican el ciclo biológico de los ejemplares de *Traganum moquinii*, pues los individuos más expuestos producen menos flores y están más afectados por insectos.
14. Un enterramiento parcial de individuos de *Traganum moquinii* no produce reacción al mismo por parte de las plantas.
15. El enterramiento progresivo absoluto de ejemplares de *Traganum moquinii* provoca que brotes laterales nuevos se desarrollen próximos a la yema terminal. Estos brotes lo hacen con un gran crecimiento vegetativo, lo cual provoca que el ejemplar sobreviva al enterramiento. Cuanto mejor sea el estado fisiológico de los individuos que sufran un enterramiento progresivo



- absoluto, más brotes laterales producirán y, además, presentarán mayor vigorosidad.
16. El fenómeno de enteramiento progresivo absoluto que sufren ejemplares adultos de *Traganum moquinii* favorece su rejuvenecimiento.
  17. Los ejemplares de *Traganum moquinii* que han sufrido enterramiento progresivo absoluto reaccionan de diferente forma a los que han sido cubiertos de forma instantánea.
  18. La reacción al enterramiento de *Traganum moquinii* no está motivada por el aumento de humedad, el aumento de la temperatura y el tipo de sustrato natural.
  19. El alto porcentaje de vientos de componente Oeste que afecta a la RNE de las dunas de Maspalomas tienen su origen en los vientos alisios de componente Norte.
  20. El desarrollo de modelos de dinámica sedimentaria eólica en la playa del Inglés requiere de equipamientos experimental avanzado y fácil despliegue en el campo. El uso de dispositivos inalámbricos *lowcost* se considera una opción óptima, por cuanto permiten obtener datos de detalle.
  21. El desarrollo de simulaciones de campos de viento se muestra como una herramienta de gran utilidad para comprender la dinámica eólica en la duna costera de la playa del Inglés.
  22. Existe una muy alta correlación positiva significativa entre el volumen de copa de *Traganum moquinii* y el volumen de sedimento, tanto el retenido como el acumulado a sotavento, de modo que a mayor volumen de la vegetación, mayor es el montículo que se forma.
  23. El conjunto que forman los ejemplares de *Traganum moquinii* con las dunas en montículo que éstos generan, por interacción en la dinámica sedimentaria eólica de la playa del Inglés, determinan un sistema natural, que se ha definido como “sistema *Traganum*-montículo” (STM), caracterizado por un crecimiento de la vegetación, inducido por el enterramiento por una duna, y a su vez, un aumento en el montículo arenosos generado por la mayor altura de la planta.

24. Los STMs localizados en la playa del Inglés son determinantes en la ralentización del transporte sedimentario eólico, tanto hacia el campo de dunas, como hacia la costa, dependiendo de la dirección de los vientos.
25. El STM genera geoformas diferenciadas cuando se muestra aislado, como son dunas *cola de ballena*, definidas en esta tesis. Este tipo de dunas de sombra se desarrollan al confluir, en los laterales de un ejemplar de *Traganum moquinii*, los extremos de dos dunas que avanzan en el mismo sentido. Al quedar retenido uno los extremos de cada duna, los extremos que quedan libres avanzan más rápidamente. Una vez que dichos extremos libres sobrepasan la vegetación, se genera dicha geoforma.
26. El STM genera geoformas diferenciadas cuando no aparece aislado, sino próximo a otros de estos sistemas a una distancia no superior a 30 metros. En ese caso se forman dunas parabólicas. Una distancia de 13 metros entre STMs en la zona centro de la playa del Inglés permite la formación de dunas parabólicas. La distancia entre STMs para que se desarrollen dunas parabólicas en la zona sur de la playa del Inglés es de 6 a 7 metros. Dicha distancia debe ser la sumatoria de las dos proyecciones ortogonales, sobre la línea definida por la dirección de los vientos dominantes, de cada ejemplar.
27. En la duna costera de la playa del Inglés se forman dunas parabólicas inversas con cierta regularidad, asociadas a los vientos efectivos de componente Oeste, por la interferencia conjunta de dos STMs.
28. La longitud de la duna parabólica se ve modificada en función de la distancia que existe entre STMs.
29. La disposición no lineal de STMs a lo largo de la duna costera, facilita que las dunas parabólicas se desarrollen más alargadas, al retener el sedimento durante más tiempo.
30. La disposición de los STMs determina cambios morfológicos, dependiendo de la dirección del viento, de tal forma que cuando el viento entra en el dominio de la duna costera de componente NE, que son las circunstancias dominantes, las dunas parabólicas se presentan asimétricas, desviadas hacia su frente meridional. Cuando el viento que entra en el dominio de la duna

- costera de la playa del Inglés es de componente Este, provoca que la duna parabólica adquiera una forma más simétrica.
31. En la duna costera, la máxima altura alcanzada por una duna parabólica es directamente proporcional a la altura de la vegetación a la que esté asociada, pero en ningún caso superior.
  32. Durante parte de un ciclo natural de formación y desarrollo de una duna parabólica, con vientos efectivos de componente NE, la tasa de avance de esta geoforma en la duna costera de Maspalomas fue de 6,07m/mes, con máximas de 10,56 m/mes, e inversión en otros meses de hasta 1,71 metros. Ello pone de relieve la alta movilidad sedimentaria de este sistema árido, en determinadas épocas del año.
  33. En la playa alta de la playa del Inglés, el sistema genera cordones longitudinales, las cuales no superan el metro de altura. Estos cordones determinan directamente la formación de montículos en la duna costera, dándose una alta correlación negativa significativa entre el volumen de arena existente en la zona en la cual se desarrolla estos cordones de playa y el volumen de arena existente que conforma el montículo en el STM.
  34. En la zona interior del complejo de duna costera de la playa del Inglés (superficies de deflación) las dunas avanzan 1,8 veces más rápido que en la duna costera.
  35. El seguimiento de la dinámica sedimentaria eólica en la playa del Inglés requiere de la realización de modelos digitales de elevaciones muy próximos en el tiempo. El periodo mensual, utilizados en esta tesis, ha sido determinante para obtener un mejor conocimiento de esta dinámica.
  36. La valla cinegética instalada en la parcela experimental de la playa del Inglés ha demostrado ser efectiva a la hora de limitar el tránsito de los usuarios, de modo que las geoformas han sido escasamente alteradas.
  37. La realización de un estudio en el que se aborden aspectos relativos a la morfología de dunas, especialmente si se trata de ambientes áridos, con altas tasas de movilidad sedimentaria, requiere el análisis de cuatro dimensiones: las dos planimétricas, la altitudinal y la temporal. Ello exige la implementación de herramientas tecnológicas que faciliten la toma de datos

precisos y exactos, así como su procesamiento. El uso de estación total con laser, modelos digitales de elevaciones y pendientes, perfiles y álgebra de mapas ha permitido abordar estos niveles de detalle en esta tesis.

### 5.3 RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta tesis, así como las discusiones y conclusiones planteadas en los apartados precedentes, se realizan las siguientes recomendaciones:

1. Para obtener plantas nuevas de *Traganum moquinii*, de cara a una posible repoblación, se aconseja aplicar el **protocolo para la reproducción asexual** definido en el apartado 5.3.1 de este documento.
2. Las plantas nuevas se deben obtener a partir de esquejes de 25 cm de longitud a temperatura baja y en fase de crecimiento medio, pues aunque el porcentaje de enraizamiento de los esquejes de 15 cm es dos puntos porcentuales superior al obtenido con esquejes de 25 cm la diferencia no es significativa en relación a la ventaja de llevar a campo una planta de mayor tamaño.
3. Estudiar la posibilidad de desviar las aportaciones de agua relativamente dulce que se realiza al norte de la playa del Inglés, hacia el campo de dunas, mediante trasvase con tubería, con el objetivo de aumentar la disponibilidad de agua de los ejemplares de *Traganum moquinii* existentes en dicha playa.
4. Poner en marcha un sistema efectivo de protección de los STMs que conforman el complejo de duna costera del sistema de dunas de Maspalomas, y muy especialmente los que conforman la duna costera de la playa del Inglés, pues no solo determinan cuestiones relativas a su funcionalidad geomorfológica y servicios de ecosistemas (protección de la playa y formación de dunas libres), sino que, además constituyen nichos ecológicos para diversos insectos.
5. Limitar el alcance de las luces artificiales ubicadas en el entorno del centro comercial Anexo II de la playa del Inglés y su paseo, cambiando, además el

espectro de sus luces. El espectro de luz comprendida entre 500nm y 560 nm es el que produce menores alteraciones al ciclo biológico de los ejemplares de *Traganum moquinii*. También los establecimientos comerciales que lindan con la Reserva deberían reducir, en la medida de lo posible, el uso de letreros o iluminarias que emitan longitudes de onda entre 650 nm y 800 nm., o limitar su alcance, dirigiendo la luz hacia el suelo.

6. Considerando que el proceso de enterramiento progresivo absoluto que sufre los ejemplares de *Traganum moquinii* en la playa del Inglés no solo no es un hecho puntual y negativo, sino al contrario, constituye una forma natural de rejuvenecimiento de estos ejemplares, y que además estos constituyen un nicho ecológico de la especie *Ancylolysis arenosella*, se deben proteger los renuevos del pisoteo de los usuarios mediante elementos disuasorios. En este sentido, la valla cinegética utilizada en este estudio ha sido determinante en la limitación del número de usuarios que pueden alterar el entorno de estos ejemplares vegetales. El apoyo con medidas informativas podría ser determinante para su protección.
7. Se debería prohibir a los usuarios de la playa del Inglés utilizar los STMs como enclaves de protección frente al viento y la arena, pues sus acciones provocan que su afección, ya que al disminuir el montículo en altura, produce una ralentización en la formación de dunas.
8. Se debería evitar que los días en que hayan vientos efectivos en la playa del Inglés, se instalen elementos que modifiquen la dinámica sedimentaria eólica en las inmediaciones de la duna costera.



Vista de la zona sur de la playa del Inglés, en la cual se observa el uso indiscriminado de obstáculos que ubicados próximos a la duna costera impiden el normal desarrollo natural de la dinámica sedimentaria eólica.

9. Para una posible revegetación, en la zona sur, se debe ubicar los individuos a una distancia entre 6 y 7 metros, con el objetivo de favorecer el desarrollo de dunas parabólicas. Asimismo se deberá proteger dichos ejemplares vegetales mediante el vallado con orificios de al menos 15cm x 15 cm de hueco para evitar acciones antrópicas.
10. Se recomienda, igualmente, revegetar las zonas de deflación localizadas tras la duna costera, con la intención de aumentar la capacidad de retención en las mismas. En todo caso se deberán estudiar con exactitud el lugar, método y época de abordar tales tareas de la revegetación.
11. Dado que las actividades de roturado y/o tamizado de la arena existente en la zona intermareal de la playa del Inglés, efectuadas por maquinaria pesada, acelera el secado de la misma, y por consiguiente se acelera la velocidad de desplazamiento desde dicha zona a la playa alta, se recomienda, con el objetivo de minimizar al máximo el impacto de dichas actividades, que estas no se realicen una vez haya finalizado la pleamar. De igual forma se recomienda que dichas actividades se inicie tres horas antes de que ocurra la pleamar. En caso de no ser así, se recomienda que la maquinaria tenga los medios necesarios para humedecer y compactar el sedimento ya roturado y/o tamizado.
12. Con la intención de garantizar la obligatoriedad de tener que realizar el protocolo definido anteriormente, se recomienda que se incluyan las

“Actividades de roturado y/o tamizado de sedimento en playas” en el Anexo II, relativo a Planes, Proyectos y Actividades Sujetas a Evaluación Detallada de Impacto Ecológico cuando se proyecten realizar en Área de Sensibilidad Ecológica, en la Ley 11/1990 de 13 de Julio, de Prevención del Impacto Ecológico.

### **5.3.1 Protocolo para la reproducción asexual de *Traganum moquinii***

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto y analizado los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, se determina que el protocolo más adecuado para obtener plantas nuevas, con el objetivo de llevar a cabo una correcta gestión en las posibles revegetaciones en la RNE de las Dunas de Maspalomas es el siguiente:

- Emplear como contenedores bolsas negras de polietileno de aproximadamente 40 cm de longitud (nunca inferior a 35 cm) y un diámetro aproximado de 7 cm.
- Como sustrato emplear arena de África.
- El método de irrigación debe ser por capilaridad, debiendo ser la altura de agua, en el contenedor utilizado para tal fin, no superior a 5 cm. El aporte hídrico debe ser constante.
- Utilizar material vegetal con yemas terminales, con crecimiento medio de 25 cm de longitud y en perfecto estado fisiológico.
- Durante las labores de recolección del material en campo, los esquejes deberán ser introducidos en bolsas de plástico. Para evitar deshidratación de los mismos estas se cerraran totalmente al finalizar dicha labor. Los esquejes deben permanecer en las bolsas hasta que se inicie las labores de preparación del material. Se recomienda que dicho periodo no supere las 24 h.
- Para preparar el material, se deberá eliminar las hojas existentes en los primeros 5 cm de la base del esqueje. Hecho esto, se le aplicará hormonas de enraizamiento. En caso de usar productos hormonales en

polvo, se deberán humedecer los esquejes previamente, y dejar escurrir los mismos durante unos minutos antes de ser introducidos en el producto, golpeándose posteriormente el esqueje de forma suave, para eliminar el exceso de producto existente.

- Los esquejes deberán ser enterrados en el sustrato 5 cm. Para ello se deberá humedecer previamente el sustrato y realizar los huecos con una vitola con dicha longitud, y que tenga al menos el mismo diámetro que los esquejes, para evitar que al introducir los esquejes se eliminen las hormonas. Una vez insertados los esquejes, se compactará el sustrato alrededor para evitar cámaras de aire. Es recomendable al finalizar, aportar una pequeña cantidad de agua, siempre pulverizada, sobre el sustrato para garantizar la compactación.
- La temperatura del habitáculo en el que se colocarán los esquejes, no deberán superar los 25°C de media, y no se deberán superar valores de 30°C. Para garantizar esto se recomienda el uso de malla y dispositivos electrónicos con sistemas extractores de aire.
- La época del año para realizar la recolección del material vegetal no es vinculante, aunque sí se debe evitar recolectar material con órganos florales (como referencia, véase figura del ciclo vegetativo de *Traganum moquinii*). Se debe tener en cuenta las temperaturas medias del lugar donde se realice los trabajos, pues se recomienda que en la etapa más crítica del proceso existan temperaturas suaves.
- Para garantizar el éxito de los enraizamientos, se recomienda esperar 60 días desde que se inicie el proceso de reproducción vegetativa.
- Una vez se haya conseguido el enraizamiento de los esquejes, se deben retirar los elementos sombreantes, si los hubiera, e ir permitiendo que las temperaturas asciendan sin superar valores de 35°C, al menos durante el primer mes. Pudiéndose superar valores de 40°C a partir del segundo mes, con la finalidad de favorecer el crecimiento de los esquejes enraizados e iniciar el proceso de aclimatización a temperaturas extremas.



- Si los individuos que se han obtenido, debieran permanecer en el vivero durante un largo periodo de tiempo, se recomienda realizar cada 4 meses una reducción de la concentración en sales del sustrato de los contenedores. Para ello se debe llenar de agua el recipiente utilizado normalmente para las aportaciones hídricas por capilaridad. Pasadas 24 h. se deberá sustituir el agua existente por agua nueva, repitiendo dicha operación al día siguiente. Se debe tener en cuenta que a mayor concentración de sales en el agua utilizada para el riego, con más frecuencia se debe realizar dicha tarea.
- El procedimiento para realizar un correcto trasplante de *Traganum moquinii* en la zona seleccionada para realizar la revegetación, dado el comportamiento del sistema radicular en los contenedores, es el siguiente:
  - Realizar un hoyo de aproximadamente 30 cm de diámetro por 40 cm de profundidad en la zona de deflación.
  - Recortar y retirar totalmente, con un objeto punzante, el fondo del contenedor.
  - Una vez colocado el contenedor, desprovisto del fondo, en el hoyo, se procederá a realizar un corte vertical en el plástico, antes de retirarlo. Realizando dicha labor con extremo cuidado para no cortar las raíces que se han desarrollado en el exterior del sustrato. La labor se facilita introduciendo dos dedos por el interior del plástico a medida que se avanza en el corte, para así garantizar que no se dañan las raíces.
  - Se debe rellenar con arena, ya sea seca o húmeda, el resto del hoyo. Preferiblemente con arena seca, pues quedan menos poros en el sustrato. Para garantizar que no queden cámaras de aire, sobre todo si se emplea arena húmeda, se debe aportar agua con generosidad. Ésta podrá ser extraída, con relativa facilidad, del propio nivel freático existente en la playa del Inglés.

#### 5.4 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

De cara a seguir profundizando en el conocimiento sobre la duna costera de sistemas sedimentarios eólicos áridos, se proponen las siguientes líneas de investigación posibles:

1. Intentar obtener plantas vigorosas con una mayor longitud mediante la técnica de etiolación.
2. Realizar un estudio sobre el despunte de ramas de *Traganum moquinii* como vía de rejuvenecimiento de ejemplares de dicha especie, que estén muy degradados por acciones antropizantes.
3. Determinar la concentración de citoquinina que activa la producción de brotes laterales en las zonas apicales de las ramas de *Traganum moquinii*.
4. Encontrar vías de forzado de crecimiento de determinados ejemplares de *Traganum moquinii* que estén en condiciones de desaparecer por avances de dunas, mediante técnica de enterramiento progresivo absoluto.
5. Avanzar en el estudio de la dinámica sedimentaria eólica en todo el frente de la playa del Inglés, así como en determinados punto de interés de la playa de Maspalomas, mediante el uso de dispositivos inalámbricos y el desarrollo de modelos digitales de viento ajustados con datos reales.
6. Identificar con exactitud la relación entre volumen de arena que accede a la duna costera y volumen de los STMs, y distancia entre pares, para que se desarrollen dunas parabólicas.

## BIBLIOGRAFÍA

ABC, 2010. Edición digital. Recuperado el 3 de octubre de 2012 de <http://www.abc.es/20101129/comunidad-canarias/vientos-huracanados-mucha-lluvia-20101129.html>.

Alonso, I. et al. (2007). Aeolian dynamic changes due to the obstacle generated by *Traganum moquinii*. In: *Proceeding of International Conference on Management and Restoration of Coastal Dunes ICCD 2007*, Santander, pp. 11-18.

Alonso, I., Hernández, L., Alcántara, J., Cabrera, L., Yanes, A. (2011). Los grandes campos de dunas actuales de Canarias. En: Sanjaume, E. y Gracia F.J.(Eds.). *Las dunas de España*. Sociedad Española de Geomorfología. Madrid. Pp 467-500.

Ansorena Miner, J. (1994). *Sustratos: Propiedades y Caracterización*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 172 p.

AEMET, Canarias (2014). Avance climatológico octubre 2014, Delegación en Canarias.  
[http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia\\_clima/resumenes\\_climat/ccaa/canarias/avance\\_climat\\_coo\\_oct\\_2014.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes_climat/ccaa/canarias/avance_climat_coo_oct_2014.pdf).

Baez, M. (1998). *Mariposas de Canarias*. Editorial Rueda, S. L., Madrid. 216 pp.

Baker, H. & Hieton, T. E. (1952). Traps have some value. In: USDA. Insects, *The Yearbook of Agriculture*, U.S. Gov. Print Office, Washington, D.C. pp. 406-411.

Balcells, R., Barrera, J.L., Gómez, J.A. & Cueto, L.A. 1990. MAGNA. Memoria y mapa geológico a escala 1:25 000, hoja de Maspalomas (83-86). ITGME. Madrid.

Barbour, M. G., de Jong, T. M. and Pavlik. B. M. (1985). Marine beach and dune plant communities. - In: Chabot, B. F. and Mooney, H. A. (Eds), *Physiological ecology of North American plant communities*. Chapman and Hall, New York, N. Y.

Báscones, E. (2013). Análisis de suelo y consejos de abonado. Excma. Diputación Provincial de Valladolid. INEA. Recuperado el 8 Octubre 2014 de <http://es.slideshare.net/cjdrowski/interpretacin-de-analisis-de-suelos>.

Bauer, B. D. y Sherman, D.J. (1999). Coastal dune dynamics: problems and prospects; En: Goudie, A.S.; Livingstone, I. y Stokes, S. (Eds.): *Aeolian environments, sediments and landforms*; John Wiley and sons, London: 71-104.

Belford, A., Kenbeek, S.D., Vanhorn, J. and Van Dijk, D. (2014). Using remote and geospatial analysis to understand changes to Lake Michigan dunes, in Fisher, T.G., and Hansen, E.C. eds, *Coastline and Dune Evolution along the Great Lakes: Geological Society of America Special Paper 508* p. 217-228, DOI: 10.1130/2014.2508(12).

Belles, X. 1996. Catálogo geográfico de los Ptinidae (Coleoptera) de las islas Canarias. *Vieraea* 25: 213-226.

Bertin, R. I. (1993). Incidence of monoecy and dichogamy in relation to self-fertilization in angiosperms. *Amer. J. Bot.* 80(5): 557-560

Berzosa, J. (2000) Los tisanópteros (Insecta, Thysanoptera) de las Islas Canarias. Distribución geográfica, plantas hospedantes y referencias bibliográficas. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Biol.)* 96 (1-2).

Brady, N.C. *The Nature and Properties of Soils*. New York, Macmillan. 1984. 750p.

Bramwell, D. y Bramwell, Z. I. (1990). Flores silvestres de las Islas Canarias. ISBN: 9788472070622, 392 p. Rueda. Madrid.

Brown JF. (1997). Effects of experimental burial on survival, growth, and resource allocation of three species of dune plants. *Journal of Ecology* 85: 151–158.

Brown, D.G y Arbogast A.F. (1999). Digital photogrammetric change analysis as applied to active coastal dune in Michigan. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 65(4):467-474.

Buide, M. L. & Guitián, J. (2000). Receptividad del estigma y crecimiento del tubo polínico en el endemismo *Silene Acutifolia* Link ex Rohrb. *Portugaliae Acta Biol.* 19: 97-106.

Burkhardt, D. (1964). Colour discrimination in Insects. In: *Advances in Insect Physiology.* Academic press, London and New York. Pp 131-173.

Cabildo de Gran Canaria, (2008). *Programa Anual de Trabajo.* Gran canaria. Recuperado el 4 de mayo de 2011 de <http://cabildo.grancanaria.com/>.

Cabrera, L.L.; Hernández, A.I.; Viera, M.; Cruz, N.; Hernández, L. (2013). Caracterización de una duna costera de zona árida: Maspalomas (Gran Canaria). *VII Jornadas de Geomorfología Litoral.*, 107-110.

Cabrera, L.L., Hernández, L., Cruz, N., Hernández, A.I. & Fernández-Cabrera, E. (2013). Morphological changes in dunes as an indicator of anthropogenic interferences in arid dune fields. *Journal of Coastal Research* SI 65:1271-1276

Canarias. Orden 12 de marzo de (1999). *Plan Director de la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas* (B.O.C. 51, de 26.4.99: c.e. B.O.C. 59. De 12.5.99).

Canarias. Decreto Legislativo 1/2000, 8 de mayo. *Texto Refundido de las Leyes de Ordenación del Territorio de Canarias y de Espacios Naturales.* (BOC 60, de 15.5.200)

Casierra-Posada, F. y J. Rojas. (2009). Efecto de la exposición del semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Agronomía Colombiana* 27(1): 49-55.

Casierra-Posada, F.; Nieto, P.J.; Ulrichs, Ch. Crecimiento, producción y calidad de flores en calas (*Zantedeschia aethiopica* (L.) K. Spreng) expuestas a diferente calidad de luz. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 15(1): 97 - 105, 2012.

Chippendale, H.G. 1932. The operation of interspecific competition in causing delayed growth of grasses. *Annals of Applied Biology*, 19, 221-242.

Chuvieco, E. (2006). *Teledetección ambiental.* 2ª edición actualizada. Ed. Ariel, S. A. ISBN-13:97884344-80728. Barcelona. 586 p.

Daniel A. Martinez et al. 2006. Propiedades físicas e hidráulicas de perlita en cultivos de rosas y sus variaciones temporales. *Ciencia del suelo* v.24 n.2 Buenos Aires ago/dic 2006.

De Candolle, A.L.P.P. (1849). *Prodromus Systematis Naturalis Regni Vegetabilis* [...] Pars decima tertia sectio posterior. Parisiis : Sumptibus Victoris Masson foro dicto de l'École-de-Médecine, N°. 17 venitque apud eundem Lipsiae, Procurante L. Michelsen 1849.

Domínguez, J., González, J. and Parreño, J., 2011. Tourism and Human Mobility in Spanish Archipelagos. *Annals of Tourism Research*, 38(2), 586-606

Donea J. y Huerta A., (2003). *Finite Element Methods for Flow Problems*. John Wiley & Sons, Chichester, 362 p.

Devlin R. (1980). *Fisiología vegetal*. Barcelona: Ed. Omega, S.A. ISBN: 84-282-0212-5.

Eldred, R.A. and Maun, M.A. (1982). A multivariate approach to the problema of decline in vigor of *Ammophila*. *Canadian Journal of Botany*, 60, 1371-1380.

España. Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas. BOE, 29 de julio de 1988, núm. 181, pp. 23386-23401.

Excmo. Ayuntamiento de Valencia. Ordenanza. Protección lumínica del Parque Natural de La Albufera incluido en el término municipal de Valencia. BOP de Valencia, nº 53, pp. 12-31, 3 de marzo de 2007. Recuperado el 3 de diciembre de 2013 de [http://www.celfosc.org/biblio/legal/ord\\_albufera.pdf](http://www.celfosc.org/biblio/legal/ord_albufera.pdf).

Fernández, E., Cruz, N., Hernández, A., Viera, M., Hernández, L. y Pérez-Chacón, E. (2011). Diseño experimental y seguimiento de captadores para la regeneración de la duna costera de playa del Inglés (Gran Canaria). *XI Jornadas españolas de Costas y Puertos*. Las Palmas de Gran Canaria.

Ferragut L., Montenegro R., Montero G., Rodríguez E., Asensio M. y Escobar J.M., (2010). Comparison between 2.5-D and 3-D realistic models for wind field adjustment. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 548- 558, 98.

Gates, D. M.; Keegan, H. J.; Schleter, J. C. y Weidner, V. R. (1965): Spectral properties of plants. *Applied Optics*, 4, 99.11-20.

García, R. y Peña, M. A. (1995). Contribución al conocimiento de la fauna coleopterológica en los ecosistemas dunares de Gran Canaria (Islas Canarias). Patronato de la « Casa de Colón » . *Anuario de estudios atlánticos*. 41.

Géhu, J. M. & Biondi E. (1998). Nature et limites de quelques végétations littorales de type Macaronésien sur les côtes Sud occidentales du Maroc. *Acta Botanica Barcinonensia* 45: 439-453.

GRAFCAN, S.A. - Gobierno de Canarias: Visor IDE Canarias. Ortofotos. Recuperado el 10 de marzo de 2015, <http://visor.grafcan.es/visorweb/>

Hare, P. y Cres, W. 1997. Metabolic implications of stress-induced proline accumulations in plants. *Plant Growth Regul.* 21: 79-102.

Hartmann, T. y Kester, D. (1999). *Propagación de plantas. Principios y Prácticas*. Séptima reimpresión. Compañía Editorial Continental, México. 757 p.

Hendricks, S. y Borthwick, H. A. (1954). Photoperiodism in plants. *Proc. Intern. Photobiol. Congr.* 23.

Hernández, L. (2002): *Análisis de la evolución del sistema de dunas de Maspalomas, Gran Canaria, Islas Canarias (1960-2000)*. Tesis Doctoral (inérita). Departamento de Geografía. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 408 pp.

Hernández, L. (2006): *Diagnóstico sobre la evolución del sistema de dunas de Maspalomas (1960-2000)*. Cabildo de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. 361 pp.

Hernández-Calvento, L., D.W.T. Jackson, R. Medina, A.I. Hernández-Cordero, N. Cruz, S. Requejo, (2014). Downwind effects on an arid dunefield from an evolving urbanised area. *Aeolian Research*, 15: 301-309.

Hernández, L.; Alonso, I.; Ruiz, P.; Pérez-Chacón, E.; Suárez, C. y Alcántara-Carrió, J. (2002): Decadal environmental changes on the dune field of Maspalomas

(Canary Islands): evidence of an erosive tendency. *Littoral 2002. The Changing Coast. EUROCOAST/EUCC*. Porto, Portugal. 293-297.

Hernández, L.; Ruiz, P.; Pérez-Chacón, E.; Alonso, I.; Alcántara-Carrió, J. y Suárez, C. (2006): Transformaciones ambientales en ecosistemas dunares inducidas por el desarrollo turístico: el ejemplo de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias); En: Sanjaume, E. y Mateu, J.F. (Eds.): *Geomorfología litoral y Cuaternari*. Homenaje al profesor Vicenç M. Rosselló i Verger. Universidad de Valencia. 203-214.

Hernández, L.; Ruiz, P.; Pérez-Chacón, E.; Alonso, I.; Alcántara-Carrió, J. y Suárez, C. (2006). Transformaciones ambientales en ecosistemas dunares inducidas por el desarrollo turístico: el ejemplo de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias); En: Sanjaume, E. y Mateu, J.F. (Eds.): *Geomorfología litoral y Cuaternari*. Homenaje al profesor Vicenç M. Rosselló i Verger. Universidad de Valencia. 203-214.

Hernández, L. (2006): Diagnóstico sobre la evolución del sistema de dunas de Maspalomas (1960-2000). Cabildo de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. 361 pp.

Hernández, L.; Ojeda, J.; Sánchez, N. y Máyer, P. (2007b): Aproximación al análisis del desplazamiento de las dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias); En: Gómez-Pujol, L. y Fornós, J.J. (Eds.): *Investigaciones Recientes (2005-2007) en Geomorfología Litoral*. Universitat de les Illes Balears. 107-111.

Hernández-Cordero, A. I., F. Javier Gracia Prieto, L. Hernández-Calvento, E. Pérez-Chacón Espino, I. Alonso, 2015. Proposal for new EU habitats associated with coastal dune fields of the Macaronesian region. A case study in the Canary Islands (Spain). *Journal of Coastal Conservation*. <http://dx.doi.org/10.1007/s11852-015-0382-z>.

Hernández, A.I.; Hernández, L.; Pérez-Chacón, E.; Máyer, P.; Romero, L.E.; Alonso, I.; Sánchez, I.; Martín, M.; Medina, S. y Miranda, Y. (2006a): Seguimiento de la dinámica de dunas litorales en la playa de Maspalomas (Gran Canaria, Islas



Canarias, España); En: *Actas de la IX reunión nacional de Geomorfología*. Universidad de Santiago de Compostela. 389-400.

Hernández, A.I.; Pérez-Chacón, E. y Hernández, L. (2008): Evolución de las poblaciones de *Traganum moquinii* en la playa del Inglés (Dunas de Maspalomas, Gran Canaria, Islas Canarias): una aproximación mediante Sistemas de Información Geográfica; En: Redondo, M.M.; Palacios, M.T.; López, F.J.; Santamaría, T. y Sánchez, D. (Eds): *Avances en Biogeografía*. Universidad Complutense de Madrid. 399-406.

Hernández Cordero, A.I. (2012): *Análisis de la vegetación como indicadora de las alteraciones ambientales inducidas por la actividad turística en la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas*. Tesis Doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 574 p

Hendricks, S. B. and H. A. Borthwick, (1954). Photoperiodism in plants. Proc. Intern. Photobiol. Congr. 23.

Herrans, C. Aspectos científicos de la contaminación lumínica. CONAMA. Cumbre del Desarrollo Sostenible. Recuperado el 2 de noviembre de 2012 de <http://www.celfosc.org/biblio/general/conama92008.pdf>

Hesp, P.A. (1988): Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in southeast Australia. *Sedimentary Geology* 55: 17-41.

Hesp, P.A. (1989). A review of biological and geomorphological processes involved in the initiation and development of incipient foredunes; En: Gimingham, C.H.; Ritchie, W.; Willetts, B.B. y Willis, A.J. (Eds.): *Coastal sand dunes*. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, vol 96B. Roy Soc. Edinb, Edinburgh, 181-201.

Hesp, P.A.; Davidson-Arnott, R.; Walker, I.J. y Ollerhead, J. (2005b): Flow dynamics over a foredune at Prince Edgard Island, Canada. *Geomorphology* 65:71-84.

Hesp, P. (1991). Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. *Journal of Arid Environments*, 21: 165-191.

Horler, D. N. H.; Dockray, M. y Barber, J. (1983). The red edge of plant leaf reflectance. *International journal of remote Sensing*, 4, 99.273-288.

Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sensing of Environment*, 25, pp. 295-309.

Hunt, E.R. y Rock, B. N. (1989). Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 30, 99. 43-54.

Hutchinson, T.C. (1967) Comparative studies of the ability of species to withstand prolonged periods of darkness. *Journal of Ecology*, 55, 291-299.

Instituto de Astrofísica de Canarias, Islas Canarias, España. Contaminación lumínica. Recuperado el 15 de noviembre de 2011, de <http://www.iac.es/enophp?op1=4&op2=10>.

Instituto Tecnológico de Canarias. Recurso eólico de Canarias. Recuperado el 5 de febrero de 2015, de <http://www.itccanarias.org/MapaEolicoCanarias/>

Izquierdo, I., J.L. Martín, N. Zurita y M. Arechavaleta (Eds.). (2004). Lista de especies silvestres de Canarias (hongos, plantas y animales terrestres). Consejería de medio Ambiente y ordenación Territorial, Gobierno de Canarias. 500 pp.

Jackson, N.L. and Nordstrom, K.F., (2011). Aeolian sediment transport and landforms in managed coastal systems: A review. *Aeolian Research*, 3, 181-196.

Jennifer F. Brown. (1997) Effects of Experimental Burial on Survival, Growth, and Resource Allocation of Three Species of Dune Plants. *The Journal of Ecology*, Vol. 85, No. 2, pp. 151-158.

J.M. Cascón, E. Rodríguez, J.M. Escobar and R. Montenegro, (2015). Comparison of the meccano method with standard mesh generation techniques. *Engineering with Computers*, 161-174, 31.

Klee, H. y Estelle, M. (1991). Molecular genetic approaches to plant hormone biology. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol.* 42: 529-551

Kunkel, Gunther et al, (1991). Diccionario de botánica. Edirca, Las Palmas de Gran Canaria.

Leidi, E. y Pardo, O. (2002). Tolerancia de los cultivos al estrés salino: qué hay de nuevo. *Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias-UNR-Año 2- n°2- 69-90*

Ley, C.; J. Gallegos y C. Vidal (2007). *Manual de restauración de dunas costeras*. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Costas, España. Santander.251 pp.

Lems, K.(1960). *Floristic Botany of the Canary Islands: A Compilation of the Geographic Distribution, Dispersal Types, Life Forms*. Editor Institut botanique de l'Univ. de Montréal, 188 pp..

Liu, L. H.; Zabarás, D.; Bennett, L.E.; Aguas, P. and Woonton, B.W. (2009). Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry* 115(2): 495-500.

Martín-Closas, L y Recasens. X. ( 2001). Effect of Substrate Type (Perlite and Tuff). In the Water and Nutrient Balance of a Soilless Culture Rose Production System.*Acta Hort.* 559(II): 569-574.

Martinez, M.L., J.B. Gallego-Fernandez and Hesp, P.A. Ed., (2013).*Restoration of Coastal Dunes*.Springer, 347pp.

Masahiro T.and Koichiro G. (2004).Light and atmospheric pollutionaffect photosynthesis of street tres in urban environments.*Urban Forestry & urban Greening*.2 (2004): 167–171.

Maun M.A. (1994). Adaptations enhancing survival and establishment ofseedlings on coastal dune systems. *Vegetatio* 111: 59–70.

Maun M.A. (1998). Adaptations of plants to burial in coastal sand dune systems.*Canadian Journal of Botany* 76: 713–738.

Maun, M.A. & Lapierre, J. (1984).The effects of burial by sand on *Ammophila breviligulata*. *J. Ecol.*, 72, 827-839.

Maun, M.A. & Lapierre, J. (1986).The effects of burial by sand on germination and seedling emergence of four dune species.*Am. J. Bot.* 73:450-455.

Marshall, J.K.(1965). *Corynephorus canescens* ( L.) P. Beauv. As a model for the *Ammophila* problem. *Journal of Ecology*, 53, 447-463.

Massoud, F. I. (1971). A note on the need for accepted definitions and methods of characterization of salt affected Soils. *IRYDA: Información Internacional Society of Soils Science*. Reunión de la subcomisión de suelos salinos, Sevilla.

Mayert, P. et al. (2012). Características del viento en el campo de dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias, España). *Nimbus*, 29-30, ISSN 1139-7136, 381-397.

McLachlan, A.(1990). Dissipative beaches and macrofaunal communities on exposed intertidal sands. *Journal of Coastal Research* 6, 57–71.

McSteen P, Zhao Y (2008). Plant hormones and signaling: common themes and new developments. *Developmental Cell* 14: 467–473.

Mehran Maghsoudi, Ghasem Lorestani, Ali Shahriar and Ahmad Hosainzadeh, (2010). Relationships Between Effective Parameters in Barchans' Shape (Case Study: South-West of Maranjab). *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 8 (3): 245-252. ISSN 1818-6769.

Melián, B, et al. (2005). Evolución freática en los espacios interdunares en las dunas de Maspalomas: resultados preliminares. *Tendencias actuales en Geomorfología Litoral*. Las Palmas de GC. ULPGC. ISBN: 84-689-1543-2. 143-147.

Mesa, R. (2005). “Recuperación de los balcones de las Dunas de Maspalomas (Observatorio Dunas)”. Informe inédito. Cabildo de Gran Canaria.

Miranda, J. H. y Williams, R. (2007). Developmental influence of in vitro light quality and carbon dioxide on photochemical efficiency of PS II of strawberry leaves (*Fragaria x ananassa*). *Journal of Applied Horticulture* 9(1): 13-16.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España. Impactos en la costa española por efecto del cambio climático, (2004) Recuperado el 22 de octubre de 2012, de [http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/fase3\\_costas\\_tcm7-12443.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/fase3_costas_tcm7-12443.pdf)].

Mitasova, H., Overton, M. y Harmon, R. S. (2005): «Geospatial analysis of a coastal sand dune field evolution: Jockey's Ridge, North Carolina». *Geomorphology*, 72,págs. 204-221.

Montero G., Rodríguez E., Montenegro R., Escobar J.M. and González-Yuste JM., (2005). Genetic algorithms for an improved parameter estimation with local refinement of tetrahedral meshes in a wind model. *Advances in Engineering Software*, 3-10, 36.

Moreno, J.M., (2005). *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Proyecto ECCE. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España.

Muns R.(2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* Feb.; 25(2):239-250.

Sykes, M. T. y Bastow J.(1990).Dark Tolerance in Plants of Dunes. *Functional Ecology*, Vol. 4, No. 6, pp. 799-805.

Neumann, P.M. (1997). Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant Cell Environ.* 20:1193-1198.

Nordstrom, K. (1994): Beaches and dunes of human-altered coasts; *Progress in Physical Geography*, 18 (4): 497-516.

Nordstrom KF. (2000). *Beaches and Dunes of Developed Coasts*. Cambridge University Press: Cambridge.

Ojeda, J.;Vallejo, I.;Hernández, L.;Álvarez, J. (2007). Fotogrametría digital y LIDAR como fuentes de información en geomorfología litoral (marismas mareales y sistemas dunares): el potencial de su análisis espacial a través de SIG. *Boletín de la A.G.E.*, nº 44.

Olson, J. S. (1958). Rates of succession and soil changes on southern Lake Michigan sand dunes. - *Bot. Gaz.* 119: 125-170.

Pastor Y., (2009). Estudio de la interacción salinidad x fitoregulator en *Chrysanthemum coronarium* L. cultivado en maceta. Universidad politécnica de

Cartagena. España. Recuperado el 2 de noviembre de 2014, de <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/handle/10317/1808>].

Paskoff, R. (1998): Les littoraux. Impact des aménagement sur leur évolution. Armand Colin, París, 260 pp.

Pérez-Chacón, E., (2007). *Maspalomas: claves científicas para el análisis de su problemática ambiental*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria. ISBN: 978-84-690-6266-1.

Perumal V.J. (1994). *Effects of burial in sand on dune plant communities and ecophysiology of component species*. Ph.D. Thesis, University of Western Ontario, London, Ontario.

Perumal V.J. and Maun M. A. (2006). Ecophysiological response of dune species to experimental burial under field and controlled conditions. *Plant Ecology*. 184:89-104.

Pinheiro J.C. y Bates, D.M. (2000). *Mixed-effects models in S and S-PLUS*. Springer Verlag.

Pinheiro J., Bates, D., Saikat DebRoy, Deepayan Sarkar, y R Development Core Team. Nlme. (2011). *Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*, R package version 3.1-102.

Pinilla, C. (1995). *Elementos de teledetección*. Rama. Madrid.

Pye, K., Tsoar, H., (1990). *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Unwin Hyman, London. 396 pp.

Qi, J.; Chehbouni; Huete, A. R.; Kerr, Y. H. and Sorooshian, S. (1994). A modified Soil Adjusted Vegetation Index. *Remote Sens. Environ.* 48: 119-126

R Development Core Team. R. (2011). A language and environment for statistical computing. R. *Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0.

Rodríguez, I; Sánchez, M. J.; Montoya, I.; Gómez, D.; Martín, T.; Serra, J. (2009). Internal structure of the Aeolian sand dunes of El Fangar spit, Ebro Delta (Tarragona, Spain). *Geomorphology*, Vol.104, 238-252.

Roesler, R.U. (1973) Phycitinae. In: Amsel, H.G., Gregor, F., Reisser, H. (Eds.), *Microlepidoptera Palaearctica 4. Vol. 1. & 2.* Georg Fromme & Co., Wien, i-xvi, 752 pp. & 137 pp., pls. 1-170.

Sakakibara, H. (2006). Cytokinins: activity, biosynthesis, and translocation. *Annual Review of Plant Biology*. 57:431-49.

Santana Cordero A., Monteiro Quintana, M. L, Hernández Calvento, L., Pérez-Chacón Espino, E, García Romero, L (2015). Long-term human impact on the coast of La Graciosa, Canary Islands. *Land Degradation & Development*. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2369>

Saye, S.E y otros (2006): «Beach-dune morphological relationships and erosion/accretion: an investigation at five sites in England and Wales using LIDAR data». *Geomorphology*, 72 (1-4), págs.128-155.

Srivastava, L.M. (2002). *Plant growth and development. Hormones and the environment*. Oxford: Academic Press. 772 pp.

Stephenson, W. J. y Branderb, R. W. (2003): Coastal geomorphology the twenty-first century. *Progress in Physical Geography*, 27, 4, págs.607-623.

Sykes, M. T. and Wilson, J. B. 1990. Dark tolerance in plants of dunes. *Funct. Ecol.* 4: 799-805.

Tournois, J. (1912). Influence de la lumière sur la floraison du houblon japonais et du chauvre. *Comp. Rend. Acad. Sci. (Paris)* 155:297.

Travis L. y Catherine, R. 2004/5. Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol 2, nº4, pag 191-198.

Vaartaja, O. (1962). The relationship of fungi to survival of shaded tree seedlings. *Ecology*, 43, 547-549.

Vallejo, I. (2007): *Caracterización Geomorfológica y análisis de la evolución reciente del sistema de dunas activas del Parque Nacional de Doñana (1956-2001)*. Tesis Doctoral (Inédita). Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Sevilla. 468 pp.

Vallejo, I., Hernández Calvento, L., Ojeda, J., Mayer, P. y Gómez Molina, A. (2009): Caracterización morfométrica y balance sedimentario en el sistema de dunas de Maspalomas (Gran Canaria) a partir de datos LIDAR. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 22 (1-2): 57-65

Van der Valk, A.G. (1974). Environmental factors controlling the distribution of forbs on coastal foredunes in Cape Hatteras national Seashore. *Can J. Bot.*, 52, 1057-1073.

Wallen, B. (1980). Changes in structure and function of *Ammophila* during primary succession. *Oikos* 34:227-238.

Wang, H., M. Gu, J. Cui, K. Shi, Y. Zhou and J. Yu. (2009). Effects of light quality on CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 96(1): 30-37.

Wang Ya-Jun. (2004). Light pollution and prevention countermeasures., *CNKI Journal, China* Vol.1, 2004, Recuperado el 10 de marzo de 2012, de [www.cnki.com.cn](http://www.cnki.com.cn).

Wigglesworth, V. B. (1953). The origin of sensory neurones in an insect *Rhodnius prolixus* (Hemiptera). *Q. Jl microsc. Sci.* 94, 3-112.

Wild, A. (1988). *Russell's soil conditions and plant growth*. Eleventh Edition, Longman Scientific and Technical. 991 pp.

Wickson, M. y Thimann, K. V. (1958). The antagonism of auxin and kinetin in apical dominance. *Physiol. Plant*, 11; 62.

Woodhouse, W. y W. Jr. (1982). *Coastal sand dunes of the U.S.* In: Lewis, R. R. (Eds.), *Creation and restoration of coastal plant communities*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Zhang, J. and Maun, M. A. (1990). Effects of sand burial on seed germination, seedling emergence, survival, and growth of *Agropyron psammophilum*. -*Can. J. Bot.* 68: 304-310.



Zhang, J. and Maun, M. A. (1991). Establishment and growth of *Panicum virgatum* L. on a Lake Erie sand dune. -*Bull. Torrey Bot. Club* 118: 141-153.

Zhang, J. and Maun, M. A. (1992). Effects of burial in sand on the growth and reproduction of *Cakile edentula*. - *Ecography* 15: 296-302.

Zuur A.F.; Ieno, E.N; Walker, N.J; Saveliev. A, and Smith G. *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. (2009). Statistics for Biology and Health, DOI 10.1007/978-0-387-87458-6\_1, Springer Science+Business media, LLC 2009.

## 6 ANEXOS

### 6.1 ANEXO I: CÁLCULOS

En este se desarrolla todos los cálculos necesarios para la realización de los MDEs, la precisión de los mismos viene dada por la máxima incertidumbre de posición absoluta de la red de menor orden generada, en este caso se trata de la red de relleno. Para ello se debe planificar para conseguir que, una vez realizado, la máxima incertidumbre absoluta de los puntos radiados, sea inferior a la precisión.

#### 6.1.1 Estudio previo de incertidumbres

El estudio previo al trabajo de campo ayuda a estimar, a priori, las incertidumbres máximas de posicionamiento absolutas que se van a obtener tras realizar el levantamiento. Los resultados obtenidos aseguran la viabilidad de las tolerancias preestablecidas y que incertidumbre máxima se obtendrá en el caso más desfavorable.

Este estudio se realiza partiendo de las características técnicas de la instrumentación a utilizar, el tipo de red a materializar, la metodología de observación y la escala de representación.

Aunque en las condiciones previas, el paso de malla del GRID sea 0.10m, se ha decidido realizará el levantamiento a una escala más restrictiva por lo que se efectuara a escala 1:200 con equidistancia entre curvas de nivel de 0,20m.

Teniendo en cuenta que la tolerancia del levantamiento ( $T_{Lev}$ ), en este caso, depende de la escala de representación, se tiene:

En planimetría: **la tolerancia planimétrica** es igual a la incertidumbre gráfica que viene dada por 0,2mm a escala.

$$T_{Lev(plan)} = 0,2_{(mm)} M = 0,2 \times 200 = 40mm = 0,04m$$

Donde M es el denominador de la escala: E=1:200.

En altimetría: **la tolerancia altimétrica** es igual a  $\frac{1}{4}$  de la equidistancia de las curvas de nivel.

Equidistancia de las curvas de nivel = M/1000, donde M es el denominador de la escala, E=1:200.

$$T_{Lev(alt)} = \frac{1}{4} \text{Equidistancia} = \frac{1}{4} \cdot 0.2 = 0.050m$$

### 6.1.2 Distancia máxima de radiación

Se requiere que el valor de la máxima incertidumbre de posición relativa planimétrica y altimétrica de la radiación  $IR_{(Rad)}$  no supere el 80% de la tolerancia del levantamiento y se tiene que las máximas incertidumbres relativas, tanto planimétrica como altimétrica, de una red de relleno, dependen de la distancia a la cual se realiza ésta y de las incertidumbres asociadas a las observaciones.

Incertidumbre máxima en planimetría =80%  $T_{Lev(plan)} = 0,032$  m

Incertidumbre máxima en altimetría =80%  $T_{Lev(alt)} = 0,040$  m

Incertidumbre planimétrica

Como el radio de la circunferencia de la máxima incertidumbre asociada a la radiación es el mayor de los valores entre la incertidumbre longitudinal y la incertidumbre transversal, a continuación se han hallado éstas y determinado la distancia máxima de radiación en los dos casos:

Incertidumbre longitudinal

$$I_{Long} = I_D = \sqrt{(I_e + I_s)^2 + a^2 + (b * D_r)^2}$$

La distancia máxima a la que debe radiarse para que la incertidumbre longitudinal no supere el 80% de la tolerancia del levantamiento.

$$I_D = \sqrt{(I_e + I_s)^2 + a^2 + (b * D_r)^2} \leq 80\% T_{Lev(plan)}$$

Los valores de  $I_e$ ,  $I_s$ ,  $a$  y  $b$  deben introducirse en las mismas unidades lineales,  $D$  debe hacerse en Km. Si se introduce en metros, se puede proceder de la siguiente manera:

$$\frac{(bD)^2}{10^6}$$

$$I_D = \sqrt{(I_e + I_s)^2 + a^2 + \left(\frac{b * D_r}{10^3}\right)^2} = 80\% T_{Lev(plan)}$$

Despejando  $D_r$  se obtiene:

$$D_r = \frac{10^3}{b} * \sqrt{(80\% T_{Lev(plan)})^2 - (I_e + I_s)^2 - a^2}$$

Sustituyendo los siguientes valores:

$$80\% T_{Lev(plan)} = 32 \text{ mm} = 0.032 \text{ m}$$

Considerando la incertidumbre de la estación más la incertidumbre de la señal  $(I_e + I_s) = 10 \text{ mm}$ , al no utilizar equipo de poligonación (Al observar una poligonal con equipo de poligonación se aplica  $(I_e + I_s) = 5 \text{ mm}$ , si no se utiliza dicho equipo suele tomarse  $(I_e + I_s) = 10 \text{ mm}$  que es el caso).

$$(I_e + I_s) = 10 \text{ mm} = 0.01 \text{ m}$$

Según característica de la estación total, su desviación típica es  $:2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$

$$a = 2 \text{ mm} = 0.002 \text{ m}$$

$$b = 2 \text{ pmm} \text{ ó } \text{mm/Km} = 0.002 \text{ m/Km}$$

Se obtiene que:

$$D \leq 15.165,751 \text{ m}$$

Incertidumbre transversal

$$I_{Trans} = D \cdot \sqrt{I_{\theta_{REF}}^2 + 2I_{Laz}^2} \leq 80\% T_{Lev(plan)}$$

Incertidumbre del acimut de referencia:  $I_{\theta_{REF}} = 0$

$$\text{Incertidumbre de la lectura acimutal } I_{Laz} = \sqrt{I_v^2 + I_p^2 + I_l^2 + I_d^2}$$

Donde:

$I_v$ , Incertidumbre de verticalidad, en este caso se trata de la precisión de estabilización del aparato,  $I_v = 1'' = 3,086^{\text{CC}}$

$$I_p, \text{ Incertidumbre de puntería viene dada por } I_p = \frac{C}{A} \left( 1 + \frac{4A}{100} \right) = 2,2^{\text{CC}},$$

siendo A los aumentos del instrumento topográfico  $A=30$  X y C es una constante que vale  $C= 10'' = 30^{\text{CC}}$ .

$I_l$ , Incertidumbre de lectura viene dada por la apreciación del instrumento,  $I_l = a = 1^{\text{CC}}$ .

$I_d$ , Incertidumbre de la dirección se expresa  $I_d = \frac{I_e + I_s}{D}$ , siendo  $I_e + I_s$  la incertidumbre de estacionamiento más la incertidumbre de la señal y D la distancia que se quiere obtener.

$$I_{Laz} = \sqrt{I_v^2 + I_p^2 + I_l^2 + \left( \frac{I_e + I_s}{D} \right)^2}$$

$$I_{Trans} = D \cdot \sqrt{2I_{Laz}^2} \leq 80\% T_{Lev(plan)}$$

$$\begin{aligned} I_{Transv} &= D \sqrt{\left( 2 \sqrt{I_v^2 + I_p^2 + I_l^2 + \left( \frac{I_e + I_s}{D} \right)^2} \right)^2} = \\ &= 2D \sqrt{I_v^2 + I_p^2 + I_l^2 + \left( \frac{I_e + I_s}{D} \right)^2} = 80\% T_{Lev(plan)} \end{aligned}$$

Donde:

$$I_e + I_s = 10 \text{ mm} = 0,010 \text{ m}$$

Los valores angulares se pasan a radianes obteniéndose:

$$I_v^2 = 2,350443126 * 10^{-11} \text{ rad}$$

$$I_p^2 = 1,194222133 * 10^{-11} \text{ rad}$$

$$I_l^2 = 2,467401101 * 10^{-10} \text{ rad}$$

$$(I_e + I_s)^2 = 0,0001 \text{ m}^2$$

Despejando D de la formula anterior e introduciendo los valores, se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{(80\% T_{Lev(plan)})^2 - 2(I_e + I_s)^2}{2(I_v^2 + I_p^2 + I_l^2)}}$$

$$D \leq 3296,465 \text{ m}$$

Incertidumbre altimétrica

$$I_z = \sqrt{\cos^2 v I_D^2 + D_g^2 \text{sen}^2 v I_{lv}^2 + I_{instr}^2 + I_{pris}^2} \leq 80\% T_{Lev(plan)}$$

Donde:

v, el ángulo vertical medio (El ángulo vertical se toma como medio de todos en un mismo sentido, observado en campo(al ser un medio muy dinámico)).

$I_D$ , Incertidumbre de la distancia, se expresa

$$I_D = \sqrt{(I_e + I_s)^2 + a^2 + (b * D_g)^2}$$

$I_{LV}$ , Incertidumbre de la lectura vertical viene dada por =

$$I_{lv} = \sqrt{I_v^2 + I_p^2 + I_l^2}$$

$I_{istr}$  = Incertidumbres del instrumento = 0,01 m

$I_{pris}$  = Incertidumbres del prisma = 0,01 m

Se introduce en la expresión de las expresiones de  $I_{zy}$   $I_{LV}$  y se despeja D, obteniendo así la máxima distancia a la que debe radiarse para que la incertidumbre altimétrica no supere el 80 % de la Tolerancia del levantamiento.

$$D = \sqrt{\frac{(80\% T_{Lev(alt)})^2 - \cos V^2 \left( (I_e + I_s)^2 + a^2 \right) - I_{instr}^2 + I_{pris}^2}{\left( \cos V^2 \cdot \left( \frac{b^2}{10^6} \right) \right) + \left( \text{sen} V^2 \cdot (I_v^2 + I_p^2 + I_l^2) \right)}}$$

Sustituyendo los siguientes valores:

$$80\% T_{\text{Lev(alt)}}=0,020\text{m}$$

$$V= 120^{\text{g}}$$

$$(I_e + I_s) = 10 \text{ mm} = 0.01 \text{ m}$$

$$a= 2 \text{ mm} = 0.002 \text{ m}$$

$$I_{\text{istr}} = I_{\text{pris}} = 0,01 \text{ m}$$

$$b = 2 \text{ mm/Km} = 0.002\text{m/Km}$$

Los siguientes valores se deben introducir en la fórmula en radianes

$$I_v = \text{precisión del estabilización del aparato} = 2'' = 6,17^{\text{CC}}$$

$$I_p = \frac{C}{A} \left( 1 + \frac{4A}{100} \right) = 4,4^{\text{CC}}, \text{ siendo } A = 30 \text{ X; y en altimetría } C = 20'' = 60^{\text{CC}}$$

$$I_1 = a = 1^{\text{CC}}$$

De los cálculos anteriores obtenemos una distancia máxima de radiación en altimetría de:

$$D \leq 4552,167 \text{ m}$$

La distancia máxima de radiación es la menor entre las siguientes:

Distancia Máxima de Radiación	
Distancias	Metros
Distancia obtenida en Incertidumbre longitudinal	15165,751
Distancia obtenida en incertidumbre transversal	3296,465
Distancia. obtenida en incertidumbre altimétrica	4552,167
Distancia que nos permite el alcance del distanciómetro	1800
Distancia estimada en el reconocimiento cartográfico	50,000

**Tabla 71:** Distancia máxima de radiación.

### 6.1.3 Comprobación de la planificación

Una vez determinada la distancia máxima de radiación, debe comprobarse que efectivamente cumple la condición:

$$\sqrt{I_{R(RAD)}^2} \leq T_{Lev}$$

Incertidumbres estimadas a priori para la radiación

Se debe ahora comprobar que la distancia elegida cumple lo requerido tanto en altimetría como en la planimetría, por lo que se procede a sustituir los valores en las diferentes incertidumbres.

Para  $D_r = 50$  m. en planimetría y  $D_g = 52,573$  men altimetría (para  $V=120^{\text{g}}$ ).

Incertidumbre longitudinal

$$I_{LONG} = I_D = \sqrt{(I_e + I_s)^2 + a^2 + \frac{(b * D)^2}{10^6}} \leq 80\% T_{Lev(plan)}$$

$D$  es introducida en metros. Las unidades de  $I_D$  se estarán en función de las unidades de  $I_e + I_s$ ,  $a$  y  $b$  que deben ser las mismas, luego si se introduce en mm se obtendrá:

$$I_{Long} = 10,199 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm}$$

Incertidumbre transversal

$$I_{TRANS} = D \cdot \sqrt{I_{\theta_{REF}}^2 + 2I_{L,az}^2} \leq 80\% T_{Lev(plan)}$$

Tomando como incertidumbre del acimut de referencia ( $I_{\theta_{REF}} = 0$ )

$$I_{Laz} = \sqrt{I_v^2 + I_p^2 + I_l^2 + I_d^2} = \sqrt{I_v^2 + I_p^2 + I_l^2 + \left(\frac{I_e + I_s}{D}\right)^2}$$

$$D \cdot \sqrt{\left(2\sqrt{I_v^2 + I_p^2 + I_l^2 + \left(\frac{I_e + I_s}{D}\right)^2}\right)^2} = 2D \cdot \sqrt{I_v^2 + I_p^2 + I_l^2 + \left(\frac{I_e + I_s}{D}\right)^2}$$

Donde:

$$I_v = \text{Precisión de Estabilización del aparato} = 2'' = 6,17^{\text{CC}}$$



$$I_p = \frac{C}{A} \left( 1 + \frac{4A}{100} \right) = 2,2^{\text{CC}}; \text{ siendo } A = 30 \text{ X}; C = 10'' = 30^{\text{CC}}$$

$$I_l = a = 10^{\text{CC}}$$

$$I_e + I_s = 10 \text{ mm}$$

$$D = 52,573 \text{ m}$$

$I_v, I_p$  e  $I_l$  deben pasarse a radianes

$I_e + I_s$  y  $D$  deben ser iguales, si se realiza en m, el resultado de  $I_{\text{TRANSV}}$  se obtendrá en metros.

El resultado de  $I_{\text{TRANSV}}$  se pasa en mm para comparar

$$I_{\text{TRANSV}} = 14,149 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm}$$

Incertidumbre altimétrica

$$I_z = \sqrt{\cos^2 v I_D^2 + D_g^2 \text{sen}^2 v I_{lv}^2 + I_i^2 + I_p^2} \leq 80\% T_{\text{Lev(alt)}}$$

siendo;

$$v = 120^{\text{g}}$$

$$I_{\text{inst}} = I_{\text{prism}} = 0,01 \text{ m}$$

$$I_{L_v} = \sqrt{I_v^2 + I_p^2 + I_l^2}$$

donde:

$$I_v = \text{Precisión de Estabilización del aparato} = 1'' = 3,086^{\text{CC}}$$

$$I_p = \frac{C}{A} \left( 1 + \frac{4A}{100} \right) = 4,4^{\text{CC}}; \text{ siendo } A = 30 \text{ X}; \text{ y en altimetría } C = 20'' = 60^{\text{CC}}$$

$$I_l = a = 1^{\text{CC}}$$

las unidades de  $I_{L_v}$  deben ser radianes

$$I_D = \sqrt{(I_e + I_s)^2 + a^2 + (b * D_g)^2}$$

Se deben introducir las unidades de  $I_e + I_s$ ,  $a$  y  $b$  en metros, así  $I_{D(\text{alt})}$  se obtiene en metros.

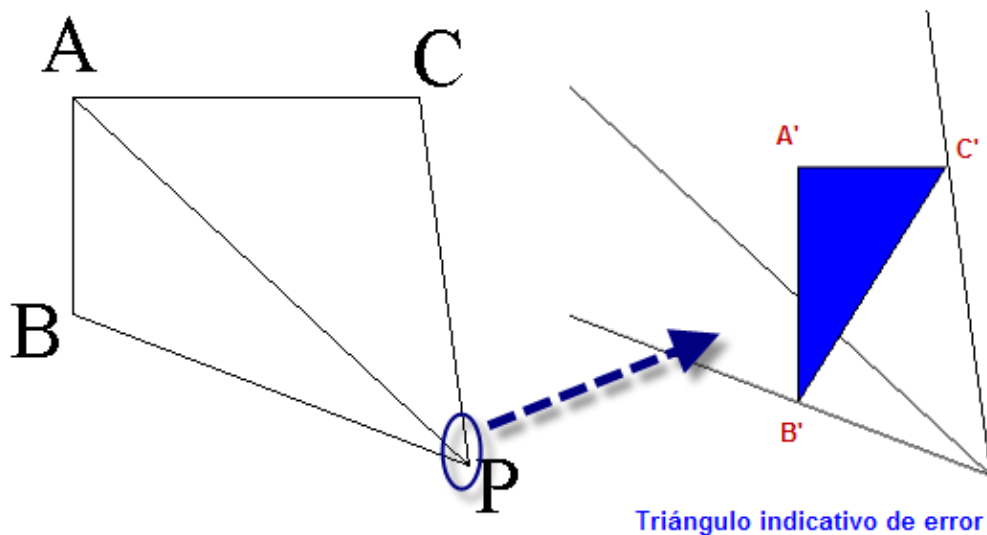
Si se introduce D en metros, se puede operar:  $\frac{(bD)^2}{10^6}$ .

Las unidades de  $I_z$  se obtienen en metros, con lo que si se multiplica por mil se expresa el resultado en mm facilitando la comparación:

$$I_z = 14,494 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm.}$$

Incertidumbres estimadas a priori para la Intersección Inversa

La incertidumbre existente en un punto P determinado por el método de intersección inversa, se analiza estudiando el desplazamiento de las tangentes al arco capaz en el punto de intersección.



**Figura 319** Triángulo indicativo de error (Intersección Inversa).

Los lados  $A'B' = 1/AB$  y  $A'C' = 1/AC$

Los valores de  $AC = 20\text{m}$  y  $AB = 10$

Se debe ahora comprobar que las distancias elegidas cumplen lo requerido en la planimetría, por lo que se procede a sustituir los valores en las diferentes incertidumbres.

$$I_{Interlv} = \frac{e_a * \sqrt{2}}{2 * S} \sqrt{(\text{lado}_{mayor})^2 + (\text{lado}_{intermedio})^2}$$

Como:

El error angular es la incertidumbre transversal calculada en la radiación, ya que es el valor mayor.

Lado mayor y lado intermedio del triangulo indicativo en mm.

S es la superficie del triángulo indicativo en mm<sup>2</sup>.

$$I_{InterInv} = \frac{14,149 * \sqrt{2}}{2 * 3100} \sqrt{(117,9)^2 + (100)^2} = 0,499 \text{ mm}$$

$$I_{IntInv} = 0,499 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm}$$

### Componente cuadrática

Una vez introducidos los valores en las diferentes incertidumbres para la radiación se procede a realizar la comprobación, tanto en planimetría como en altimetría teniendo en cuenta que siempre se tomarán los valores mayores obtenidos.

Componente Cuadrática para la Planimetría.

De los valores obtenidos anteriormente en la incertidumbre para la radiación en la planimetría se toma el mayor de ellos.

$$I_{LONG} = 10,199 \text{ mm} \text{ y } I_{TRANSV} = 14,149 \text{ mm}$$

$$I_{mpa} = 14,149 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm}$$

Componente Cuadrática para la Altimetría.

Sabiendo que el valor obtenido es:

$$I_Z = 14,494 \text{ mm}$$

$$I_{mpa} = \sqrt{(I_{Rad})^2} \leq T_{Lev(alt)}$$

$$I_{mpa} = 14,494 \text{ mm}$$

$$I_{mpa} = 14,494 \text{ mm} \leq 40 \text{ mm}$$

Una vez introducidos los valores en las diferentes incertidumbres para la intersección se procede a realizar la comprobación planimetría.

Componente Cuadrática para la Planimetría.

De los valores obtenidos anteriormente en la incertidumbre para la intersección en planimetría.

$$I_{mpa} = \sqrt{(I_{InterIn})^2} \leq T_{Lev(alt)}$$

$$I_{mpa} = 0,499 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm}$$

### Conclusión

De los diferentes datos obtenidos se extrae que las condiciones impuestas se cumplen perfectamente.

#### 6.1.4 Precisión del trabajo topográfico

La precisión de un trabajo topográfico viene dada por la máxima incertidumbre de posición absoluta de la red de menor orden generada, en este caso se trata de la red de relleno.

La máxima incertidumbre de posición absoluta de una red es la componente cuadrática de la máxima incertidumbre de posición relativa de la propia red con la máxima incertidumbre de posición absoluta de la red en la que se apoya.

La máxima incertidumbre de posición relativa.

La máxima incertidumbre de posición relativa de una red de relleno se determina por la máxima incertidumbre de posición relativa planimétrica y la máxima incertidumbre de posición relativa altimétrica de la red de relleno, de forma independiente.

La máxima incertidumbre de posición relativa planimétrica de la red de relleno.

Viene dada por el radio de la circunferencia de incertidumbre asociada a la radiación determinado por el caso más desfavorable. El radio de la circunferencia de la máxima incertidumbre asociada a la radiación es el mayor de los valores entre la incertidumbre longitudinal y la incertidumbre transversal asociada a la radiación.

$$\text{Incertidumbre longitudinal} = I_{Long} = I_D = \sqrt{(I_e + I_s)^2 + a^2 + (b * D)^2}$$

$$(I_e + I_s) = 10 \text{ mm}$$

$$a = b = 2 \text{ mm}$$

$$D = 20 \text{ m}$$

Se deben introducir las unidades de  $I_e + I_s$ , a y b en las mismas unidades.

$$\text{Si se introduce D en metros, se puede operar: } \frac{(bD)^2}{10^6}$$

$$I_{Long} = I_D = 10,198 \text{ mm}$$

$$\text{Incertidumbre transversal} = I_{Transv} = D \cdot \sqrt{I_{\theta ref}^2 + 2I_{Laz}^2}$$

$$D = 20 \text{ m}$$

$$(I_{\theta REF}) = 0$$

$$I_{Laz} = \sqrt{I_v^2 + I_p^2 + I_l^2 + I_d^2}$$

donde:

$$I_v = \text{Precisión de Estabilización del aparato} = 1'' = 3,086^{\text{CC}}$$

$$I_p = \frac{C}{A} \left( 1 + \frac{4A}{100} \right) = 2,2^{\text{CC}}; \text{ siendo } A = 30 \text{ X}; C = 10'' = 30^{\text{CC}}$$

$$I_l = a = 10^{\text{CC}}$$

$$I_d = \frac{I_e + I_s}{D} * r^{\text{CC}}$$

El valor de  $I_{Laz}$  se expresa en radianes

$$I_{Transv} = D \cdot \sqrt{2I_{Laz}^2} = D \cdot \sqrt{2 \cdot (I_v^2 + I_p^2 + I_l^2 + I_d^2)} =$$

$$= D \cdot \sqrt{2 \left( I_v^2 + I_p^2 + I_l^2 + \left( \frac{I_e + I_s}{D} \right)^2 \right)} = 14,143 \text{ mm}$$

Para el cálculo de la incertidumbre máxima de posicionamiento en planimetría se tomó la incertidumbre transversal al ser la mayor de ellas.

$$I_{Rplan(relleno)} = I_{Transv} = 14,143mm$$

La máxima incertidumbre de posición relativa altimétrica de la red de relleno.

Viene dada por la máxima incertidumbre asociada al desnivel obtenido por nivelación trigonométrica simple. Los desniveles de los puntos están afectados de un error, el efecto de refracción, que es imposible de eliminar. No se puede determinar el valor del ángulo  $r$  de refracción en una nivelación trigonométrica simple. Pero si se sabe que para un valor del ángulo de refracción, sea cual sea, su efecto es mayor a mayor distancia de radiación. Por tanto el efecto de la refracción se minimiza disminuyendo la distancia de radiación.

$$I_{R(relleno)} = I_z$$

$$I_z = \sqrt{\cos^2 v I_D^2 + D_g^2 \operatorname{sen}^2 v I_{Lv}^2 + I_{inst}^2 + I_{prism}^2}$$

siendo;

$$v=120^\circ$$

$$I_{inst} = I_{prism}=0,01 \text{ m}$$

$$I_{Lv} = \sqrt{I_v^2 + I_p^2 + I_l^2}$$

donde:

$$I_v = \text{Precisión de Estabilización del aparato} = 1'' = 3,086^{\text{CC}}$$

$$I_p = \frac{C}{A} \left( 1 + \frac{4A}{100} \right) = 4,4^{\text{CC}}; \text{ siendo } A = 30 \text{ X}; \text{ y en altimetría } C = 20'' = 60^{\text{CC}}$$

$$I_l = a = 10^{\text{CC}}$$

las unidades de  $I_{Lv}$  deben ser radianes

$$I_D = \sqrt{(I_e + I_s)^2 + a^2 + (b * D_g)^2}$$

Se deben introducir las unidades de  $I_e + I_s$ , a y b en metros, así  $I_{D(\text{alt})}$  se obtiene en metros.

Si se introduce D en metros, se puede operar:  $\frac{(bD)^2}{10^6}$

$$I_{R(\text{relleno})} = 14,489\text{mm}$$

La máxima incertidumbre de posición relativa planimétrica de la intersección, para Los valores de AC= 16m y AB= 8

$$I_{A(\text{InterInv})} = \frac{e_a * \sqrt{2}}{2 * S} \sqrt{(\text{lado}_{\text{mayor}})^2 + (\text{lado}_{\text{intermedio}})^2} = 0.481\text{mm}$$

La máxima incertidumbre de posición absoluta

La máxima incertidumbre de posición absoluta de una red es la componente cuadrática de la máxima incertidumbre de posición relativa de la propia red con la máxima incertidumbre de posición absoluta de la red en la que se apoya.

$$I_{A(\text{relleno})} = \sqrt{I_{R(\text{relleno})}^2 + I_{A(\text{InterInv})}^2}$$

La máxima incertidumbre de posición absoluta planimétrica de la red de relleno

$$I_{A_{\text{plan}}(\text{relleno})} = \sqrt{I_{R_{\text{plan}}(\text{relleno})}^2 + I_{A_{\text{plan}}(\text{InterInv})}^2 + I_{A_{\text{plan}}(\text{Re planteo})}^2}$$

donde:

$I_{R_{\text{plan}}(\text{relleno})}$  es la máxima incertidumbre de posición relativa planimétrica de la red de relleno.

$I_{A_{\text{plan}}(\text{InterInv})}$  es la máxima incertidumbre de posición absoluta planimétrica de la intersección inversa.

$I_{A_{\text{plan}}(\text{Replanteo})}$  es la máxima incertidumbre de posición absoluta planimétrica del replanteo, considerándose el replanteo como una radiación, por lo que es igual al valor de  $I_{R_{\text{plan}}(\text{relleno})}$ .

$$I_{A_{\text{plan}}(\text{relleno})} = \sqrt{2 * I_{R_{\text{plan}}(\text{relleno})}^2 + I_{A_{\text{plan}}(\text{InterInv})}^2} = 20,00\text{mm}$$

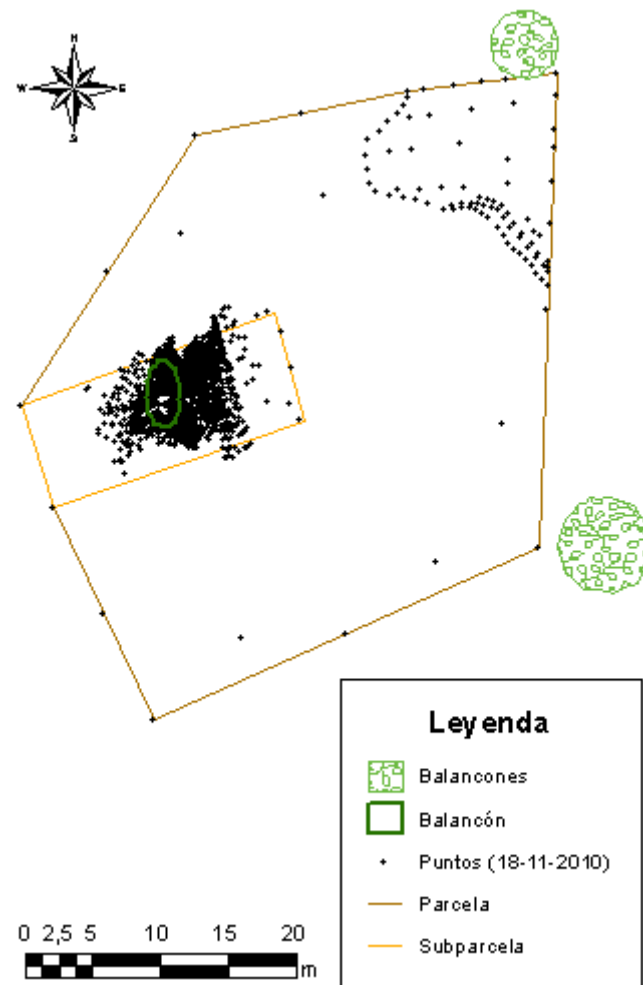
La máxima incertidumbre de posición absoluta altimétrica de la red de relleno

$$I_{AAlt(relleno)} = \sqrt{2 * I_{RAlt(relleno)}^2 + \left( \frac{I_{AAlt(InterInv)}^2}{2} \right)^2} = 20,49mm$$



## 6.2 ANEXO II: NUBE DE PUNTOS, MDES, PERFILES Y GRIDS DE LA PARCELA 1

18 de noviembre de 2010



**Figura 320:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 18-11-2010 en la parcela 1.

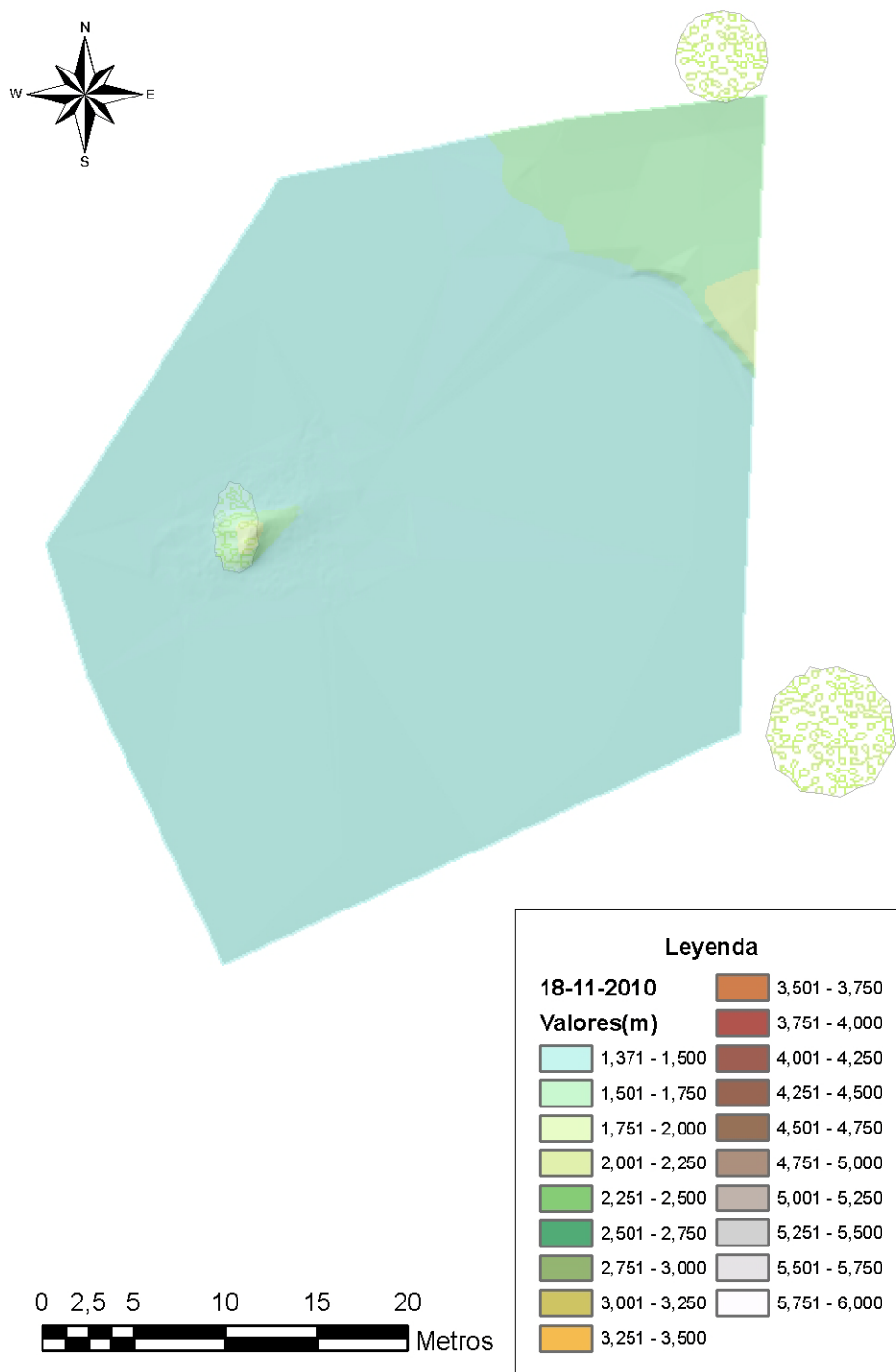


Figura 321: GRID correspondiente al MDE realizado el 18-11-2010.

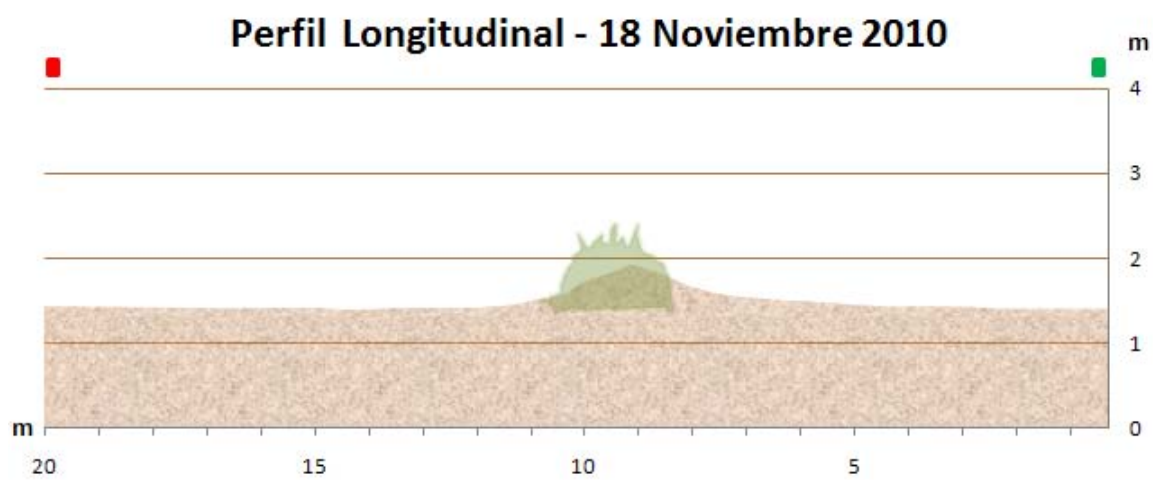


Figura 322: Perfil longitudinal (18-11-2010).

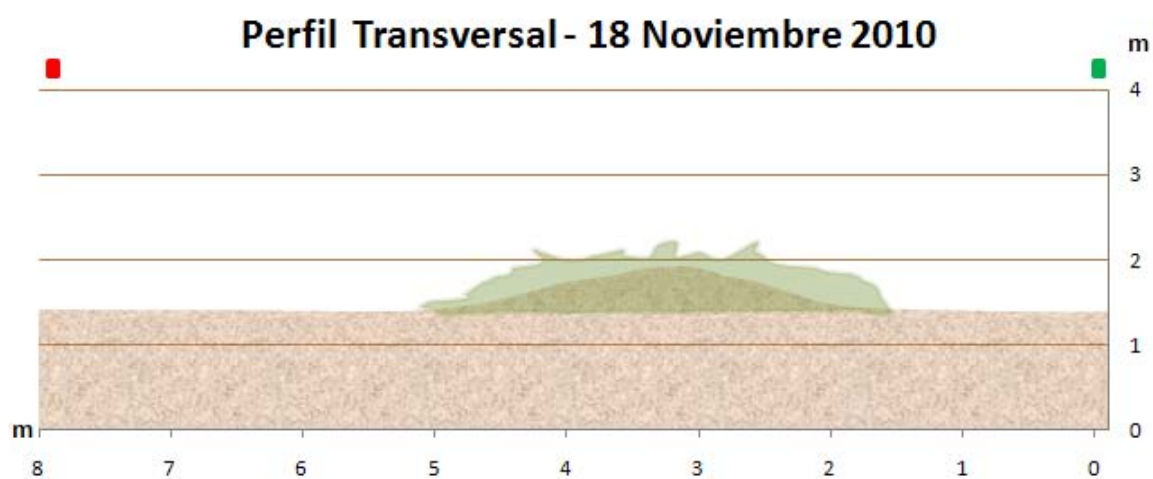
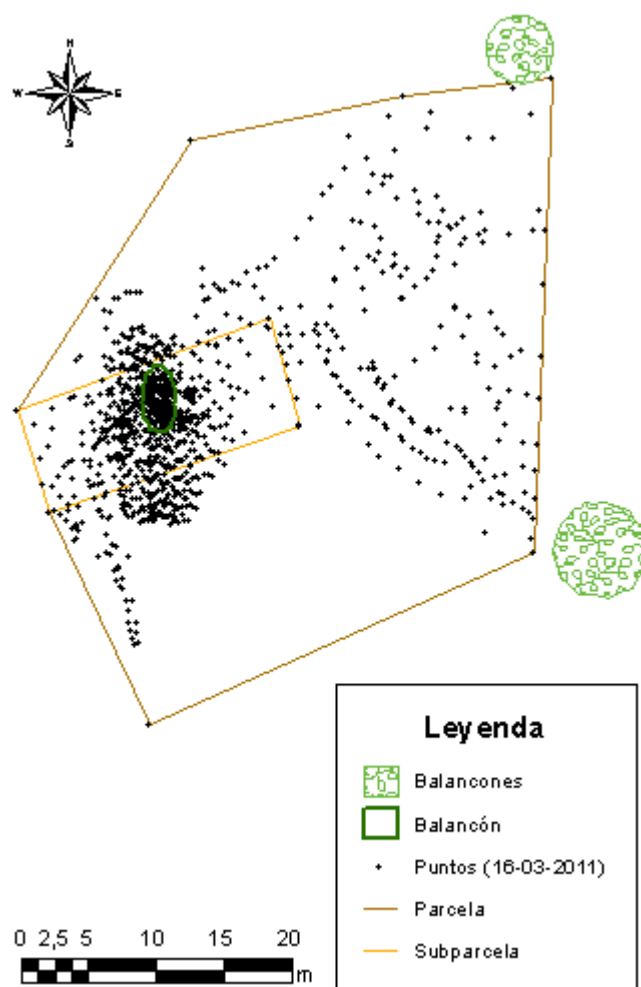
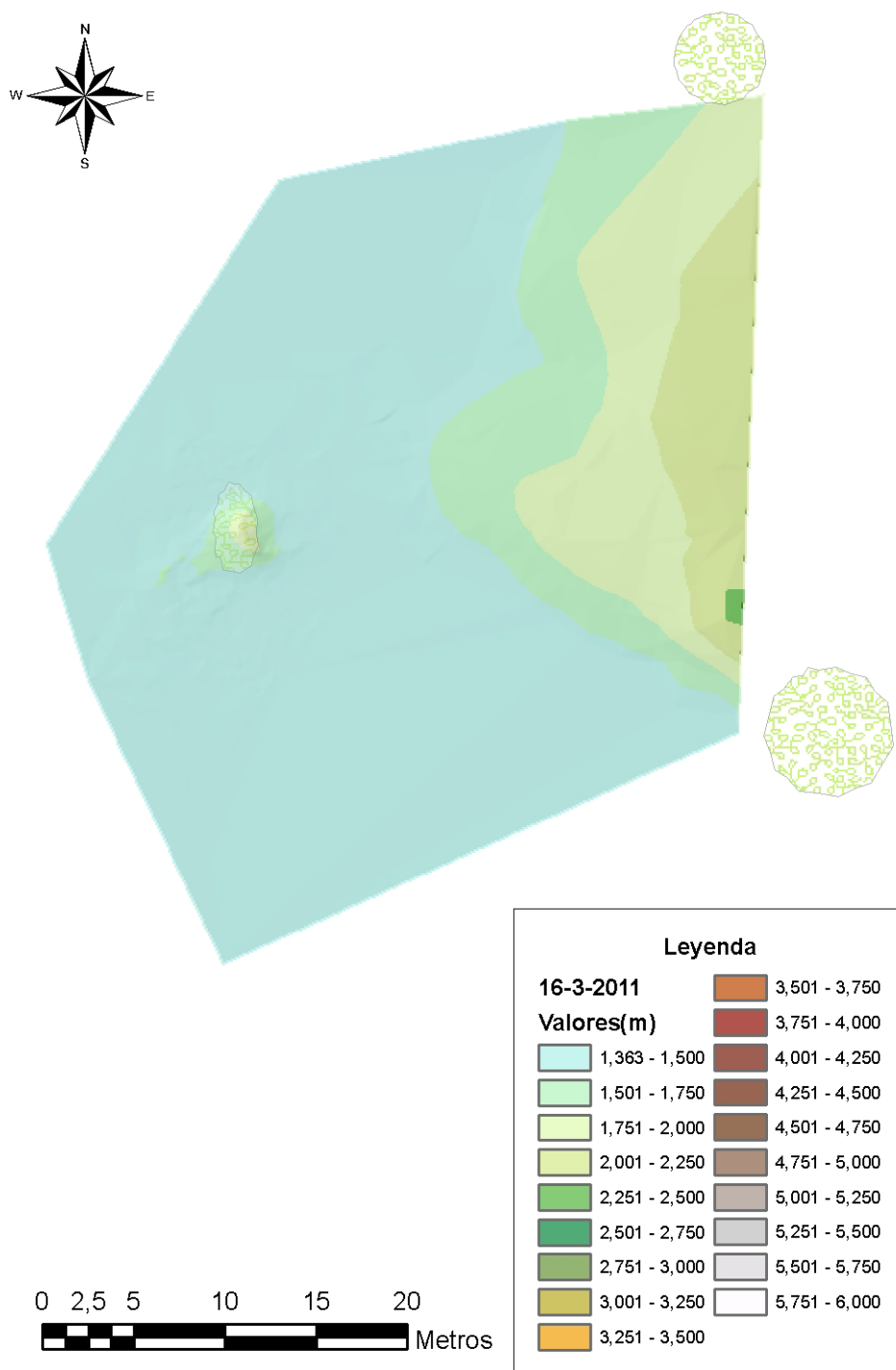


Figura 323: Perfil transversal (18-11-2010).

16 de marzo de 2011



**Figura 324:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 16-03-2011 en la parcela 1.



**Figura 325:** GRID correspondiente al MDE realizado el 16-03-2011.

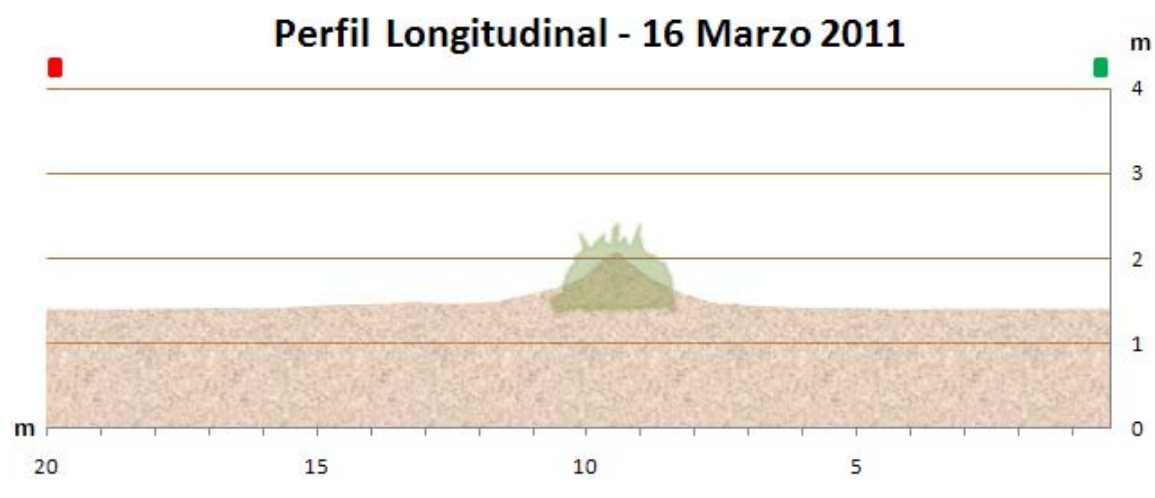


Figura 326: Perfil longitudinal (16-03-2011).

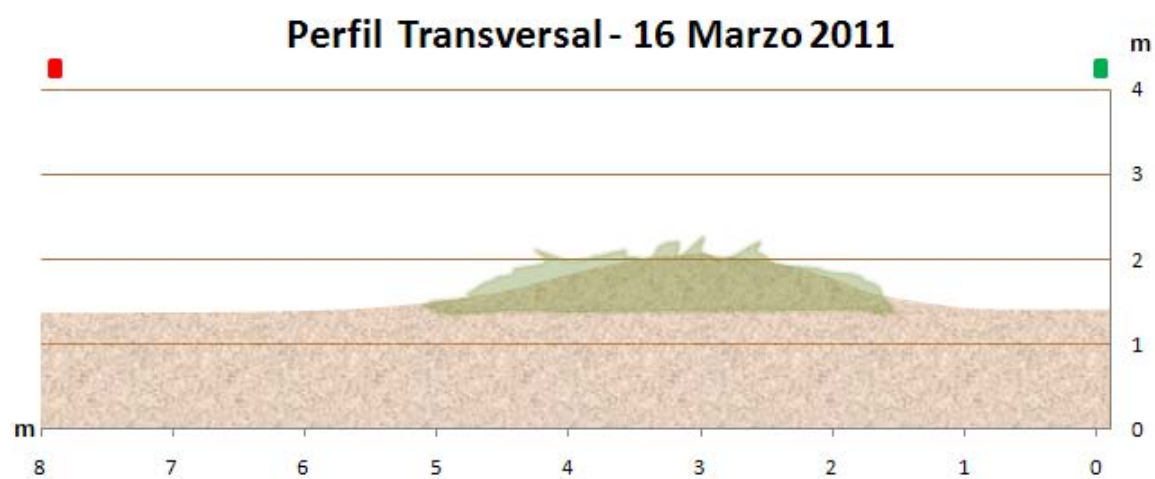
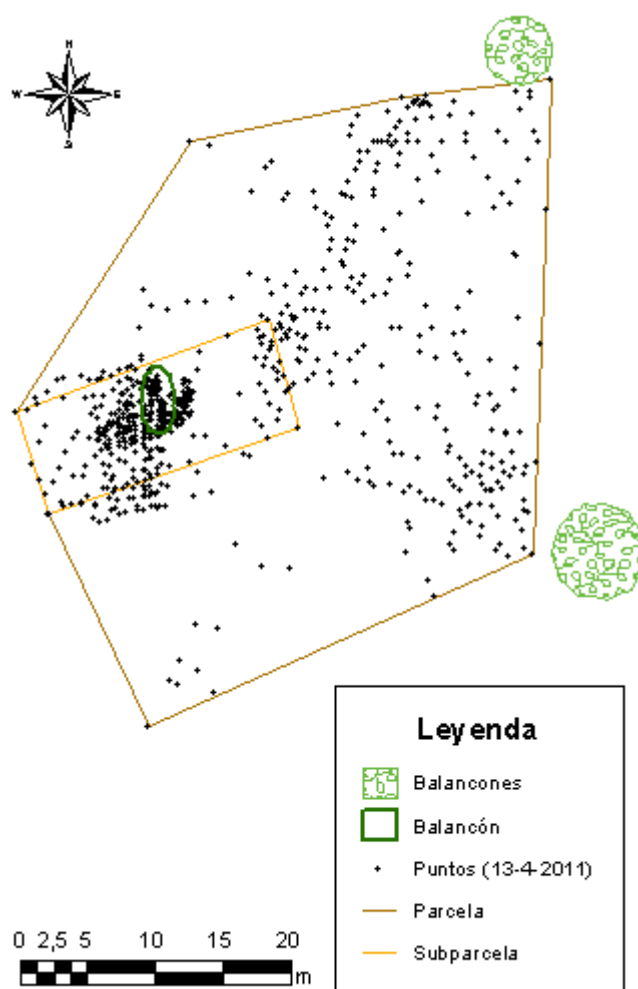
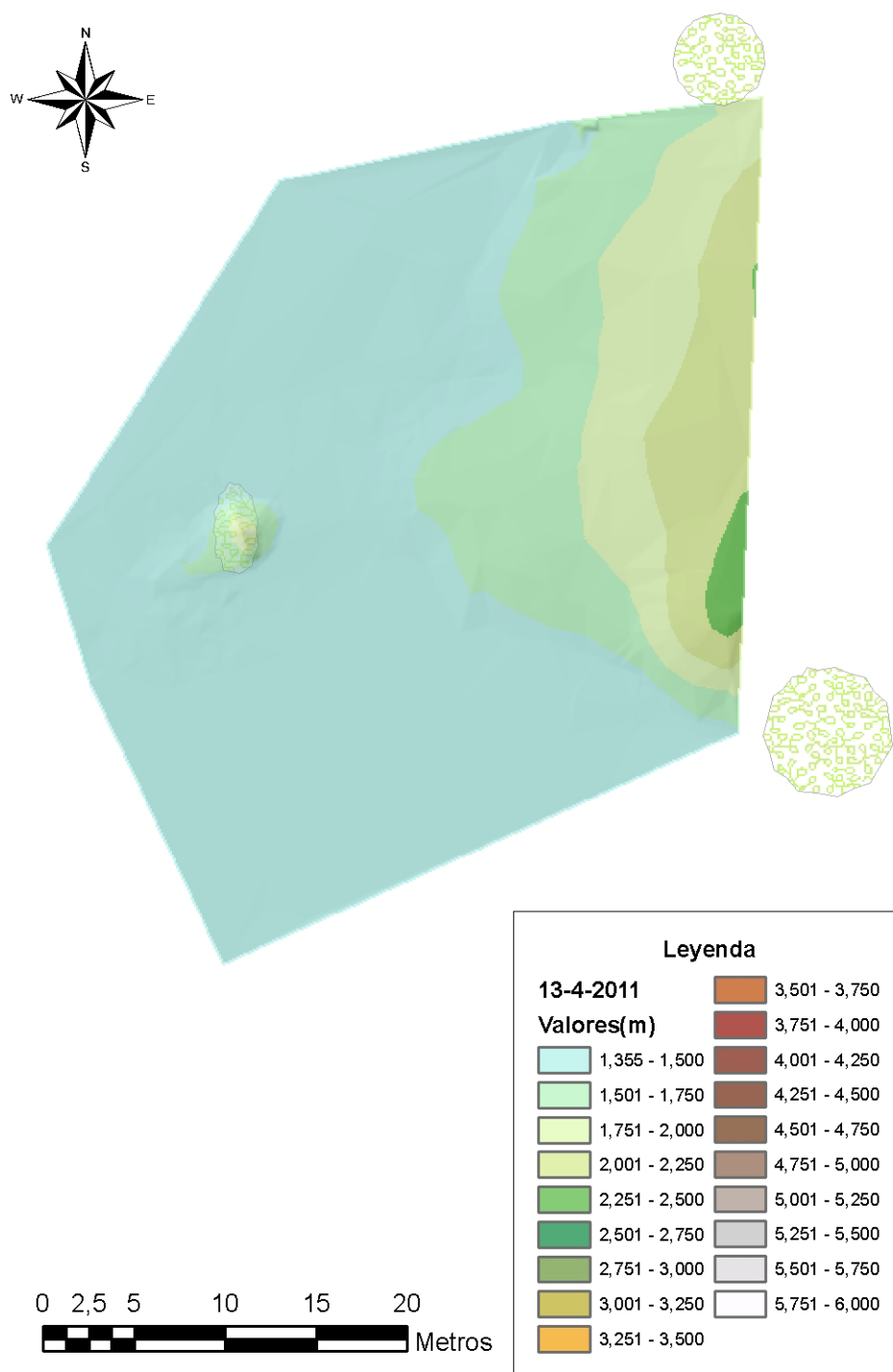


Figura 327: Perfil transversal (16-03-2011).

13 de abril de 2011

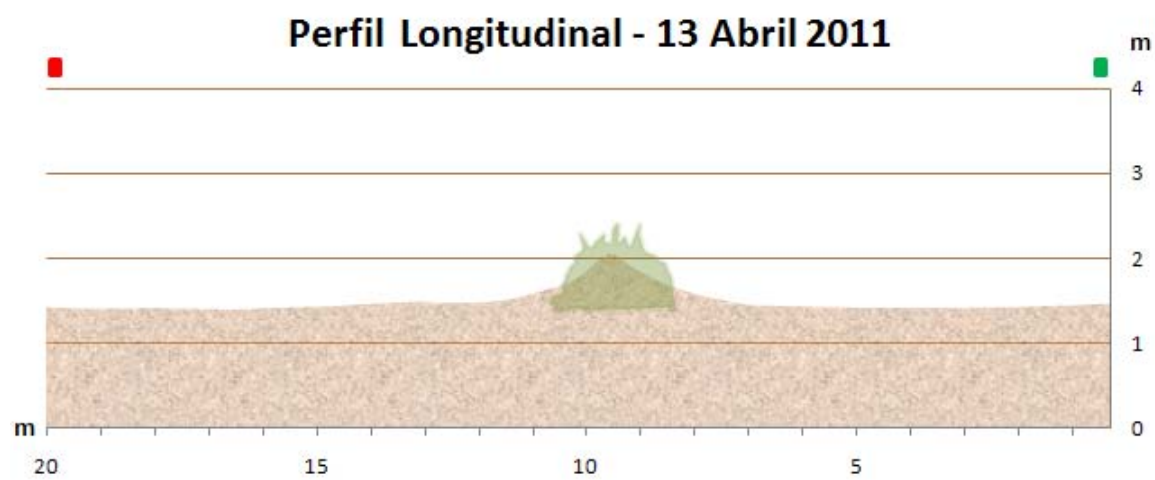


**Figura 328:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 13-04-2011 en la parcela 1.

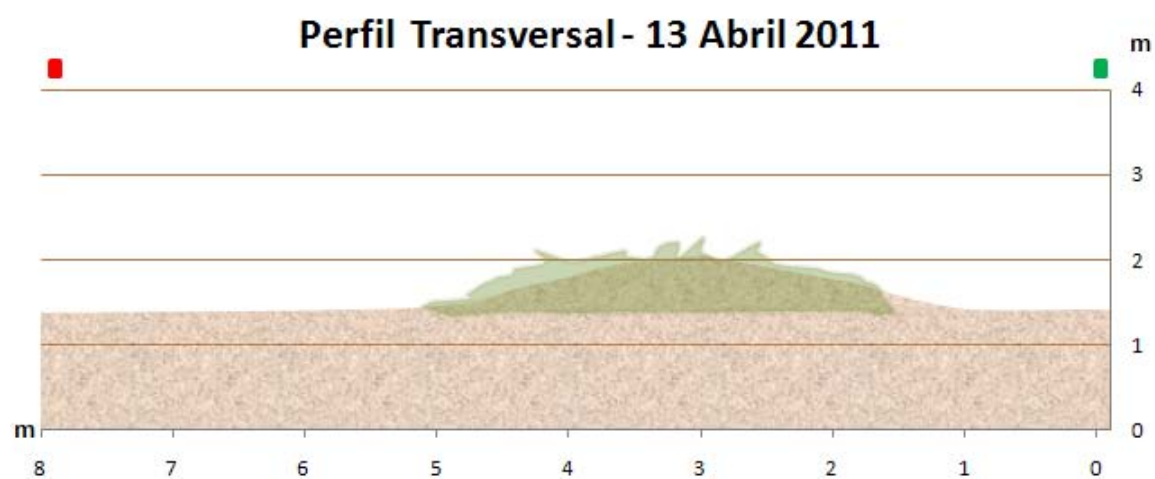


**Figura 329:** GRID correspondiente al MDE realizado el 13-04-2011.



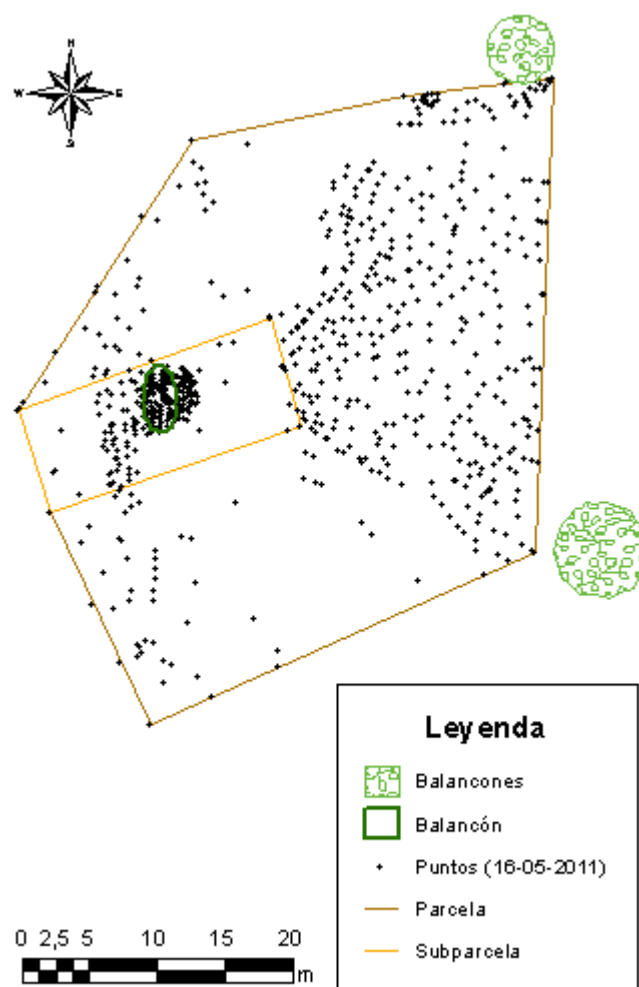


**Figura 330:** Perfil longitudinal (13-04-2011).

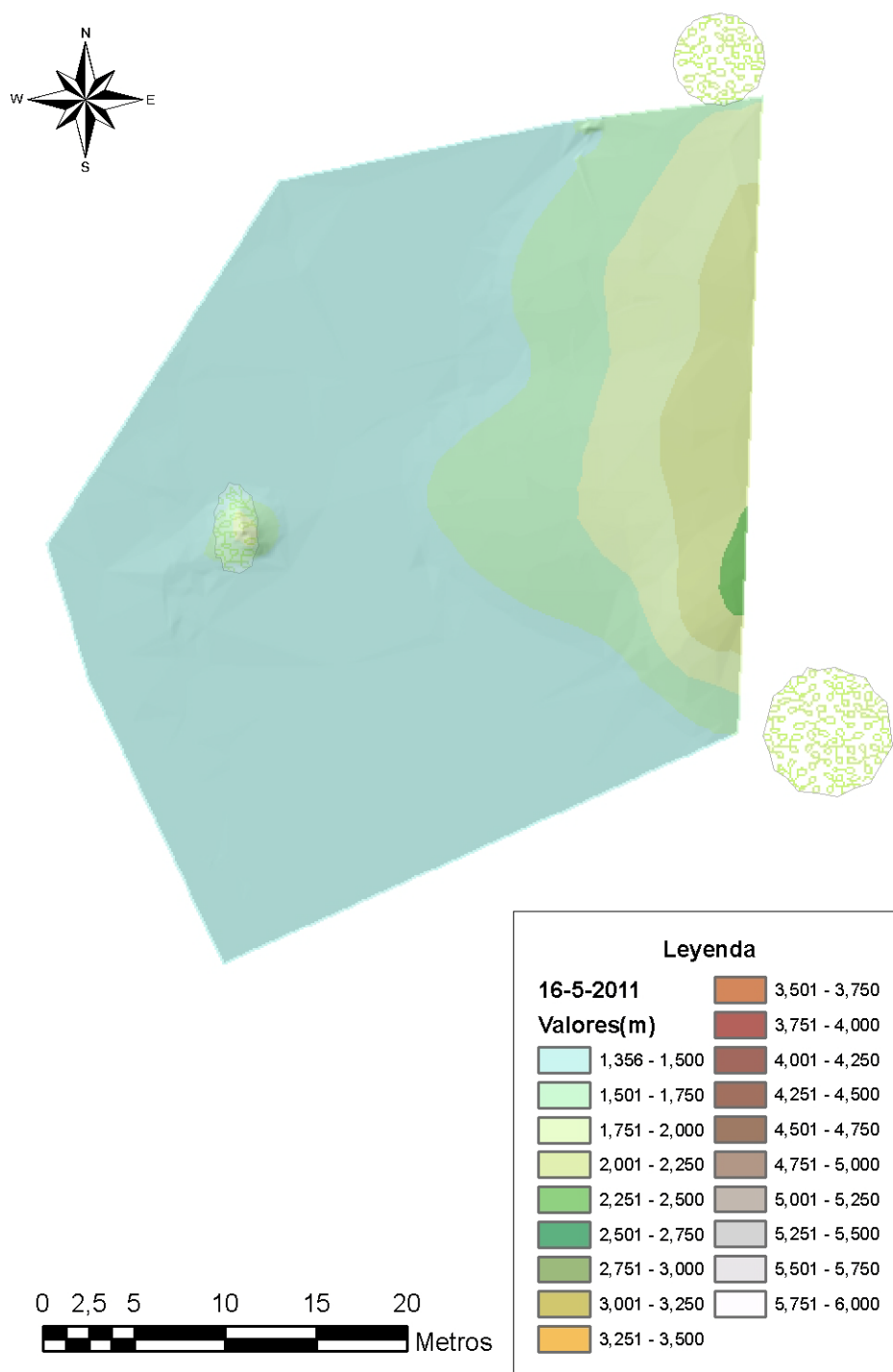


**Figura 331:** Perfil transversal (13-04-2011).

16 de mayo de 2011



**Figura 332:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 16-05-2011 en la parcela 1.



**Figura 333:** GRID correspondiente al MDE realizado el 16-05-2011.

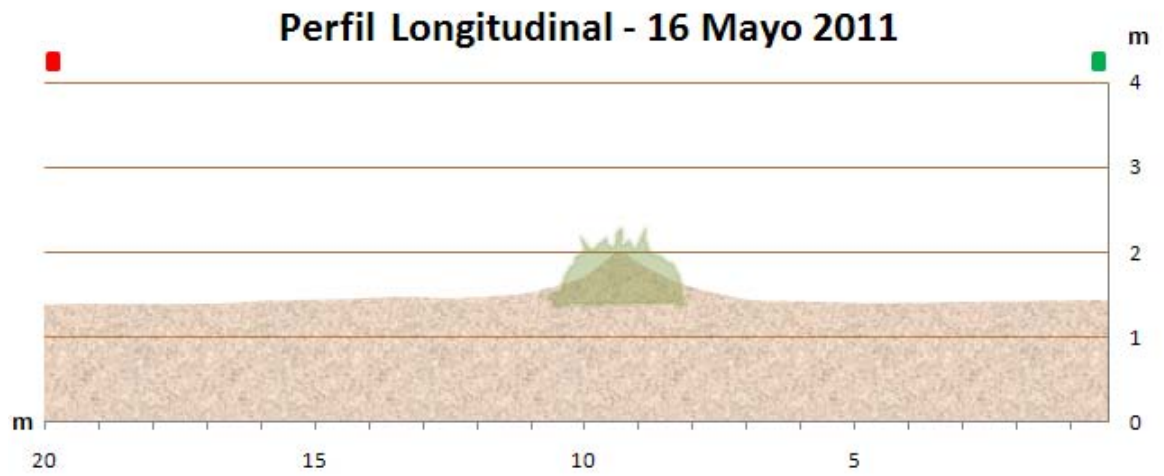


Figura 334: Perfil longitudinal (16-05-2011).

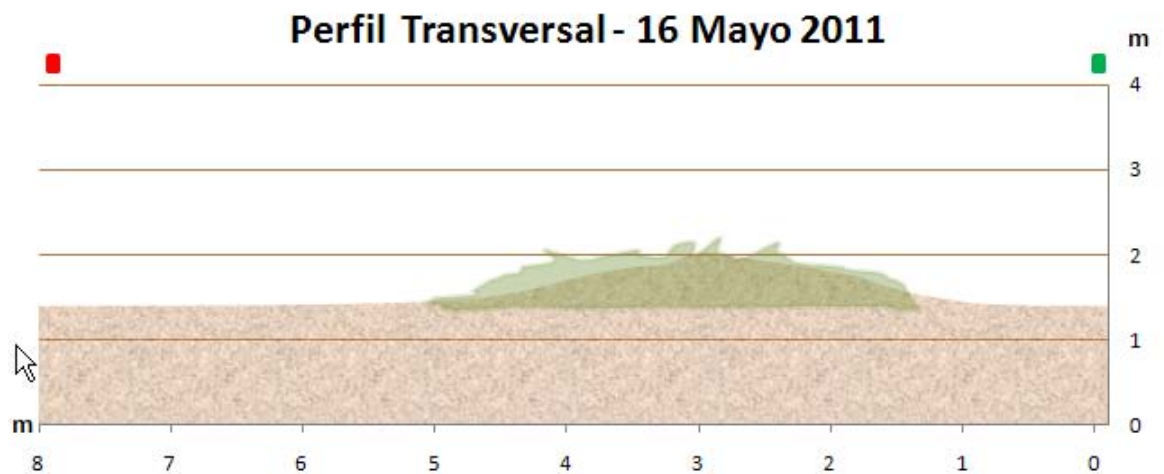


Figura 335: Perfil transversal (16-05-2011).

14 de junio de 2011

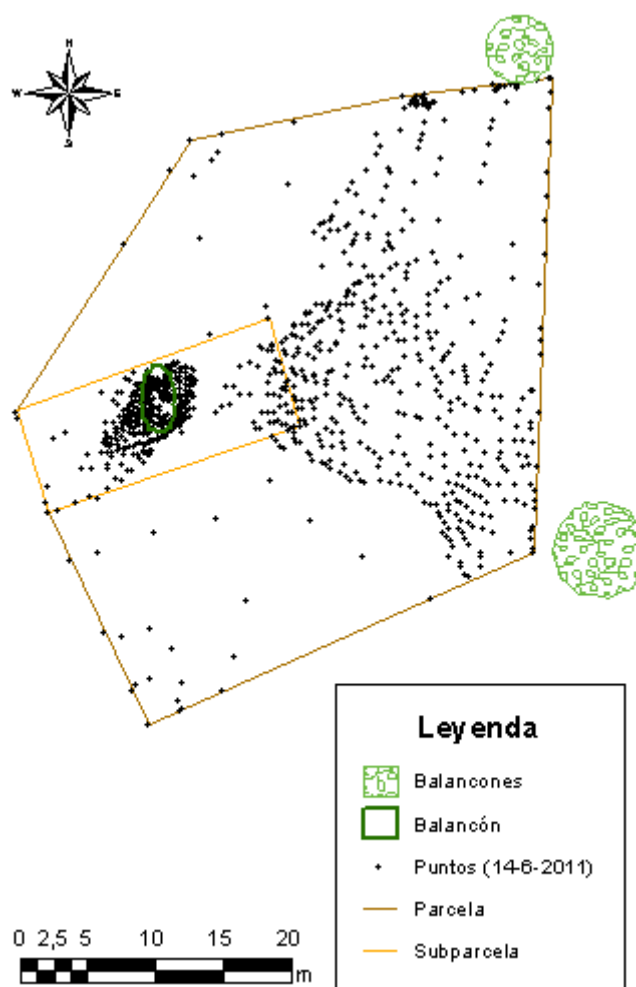
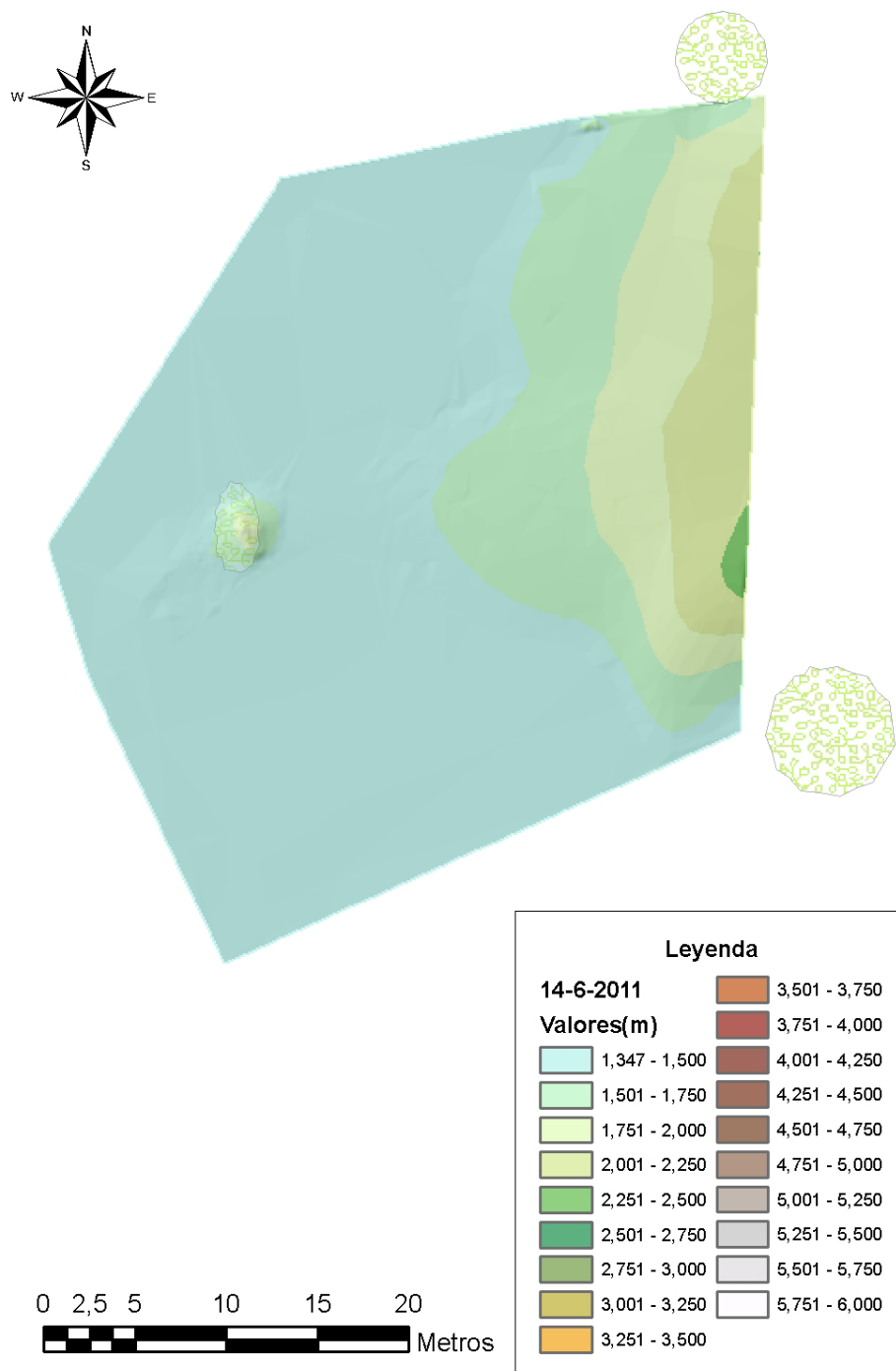


Figura 336: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 14-06-2011 en la parcela 1.



**Figura 337:** GRID correspondiente al MDE realizado el 14-06-2011.

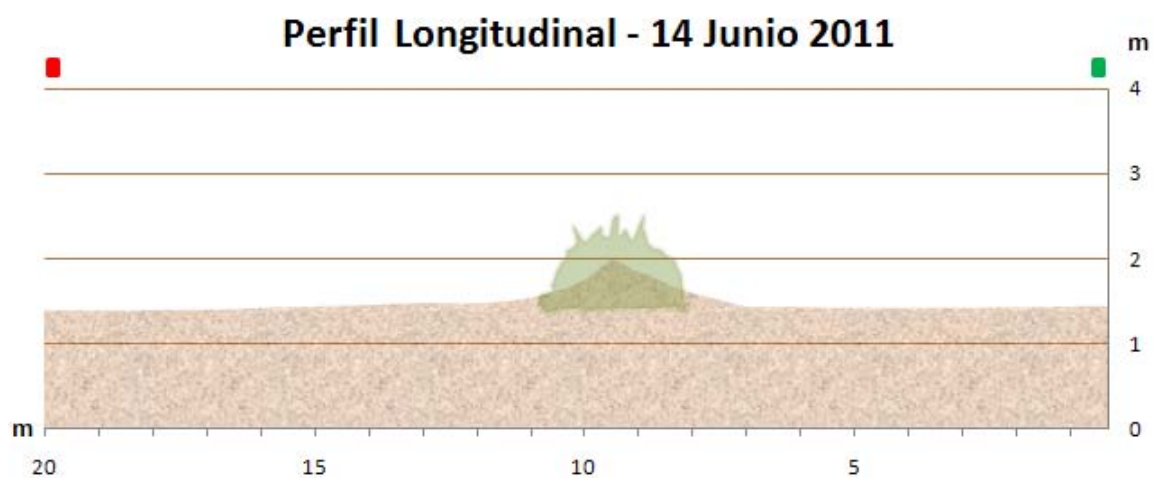


Figura 338: Perfil longitudinal (14-06-2011).

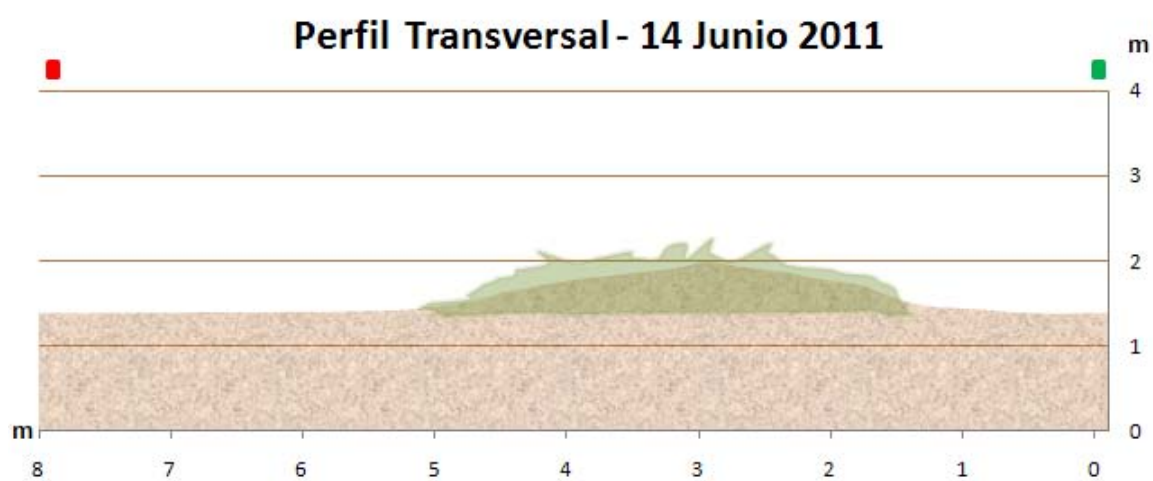


Figura 339: Perfil transversal (14-06-2011).

19 de julio de 2011

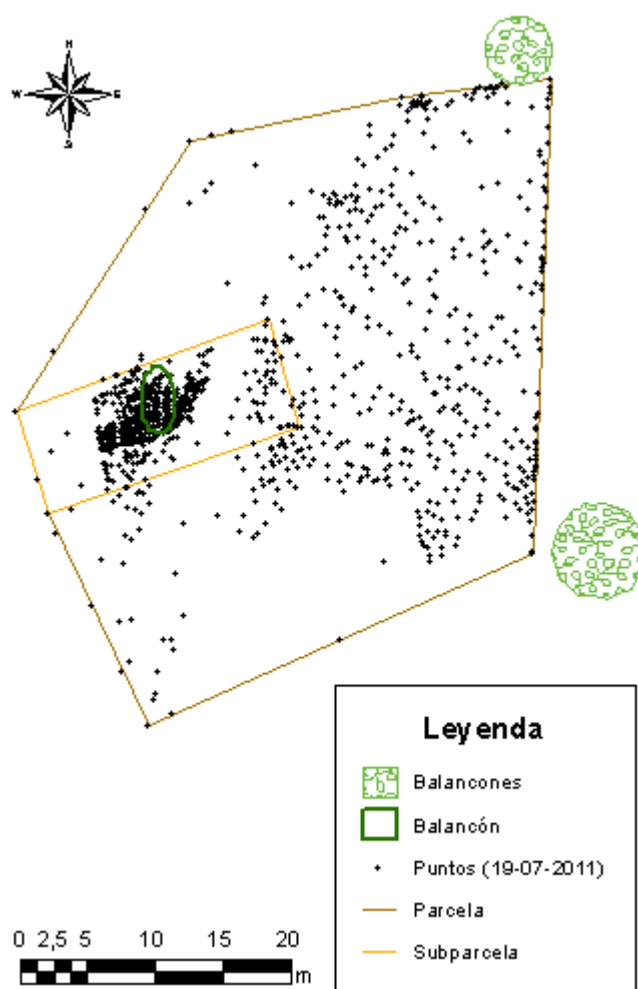


Figura 340: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 19-07-2011 en la parcela 1.



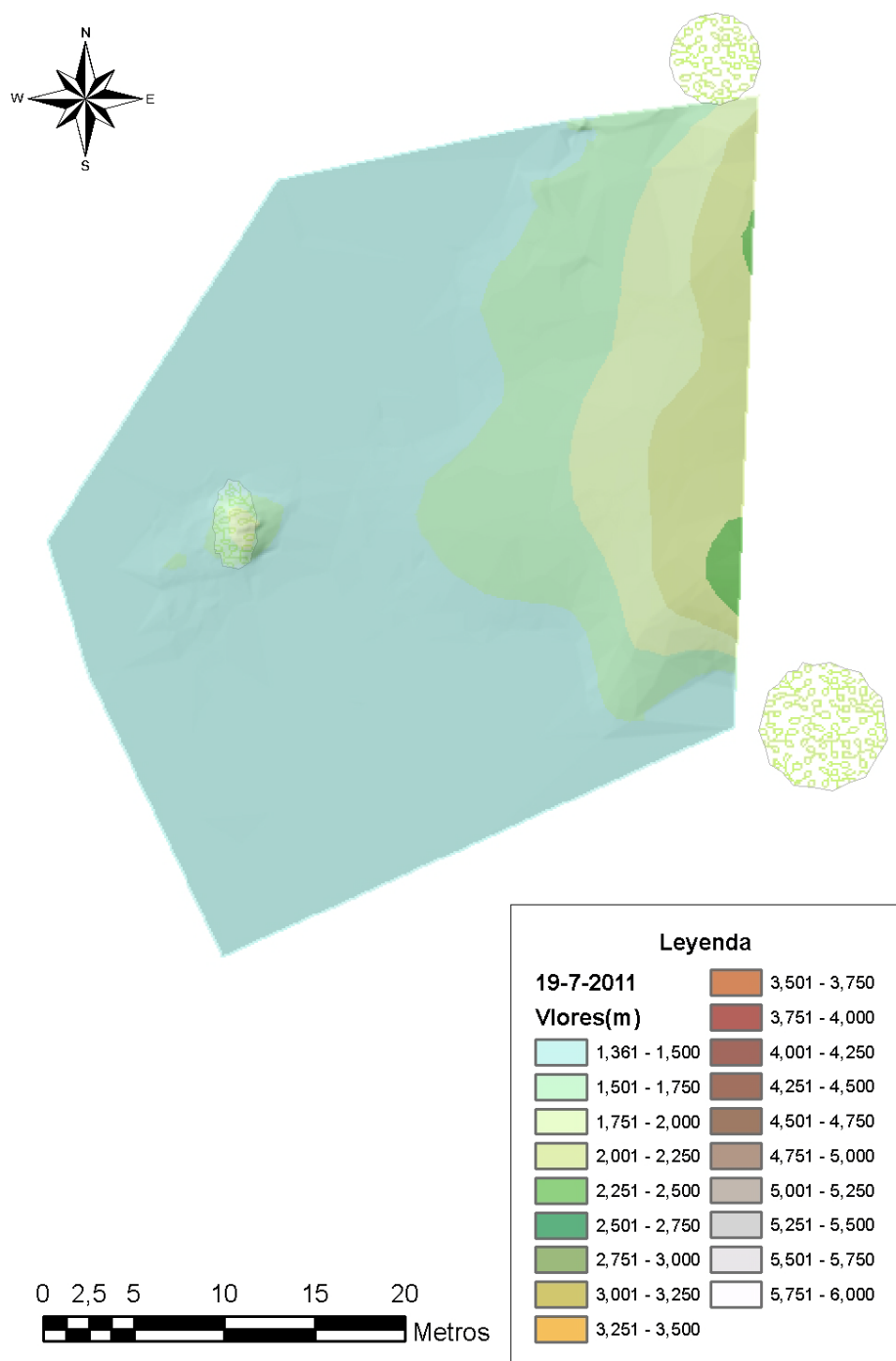


Figura 341: GRID correspondiente al MDE realizado el 19-07-2011.

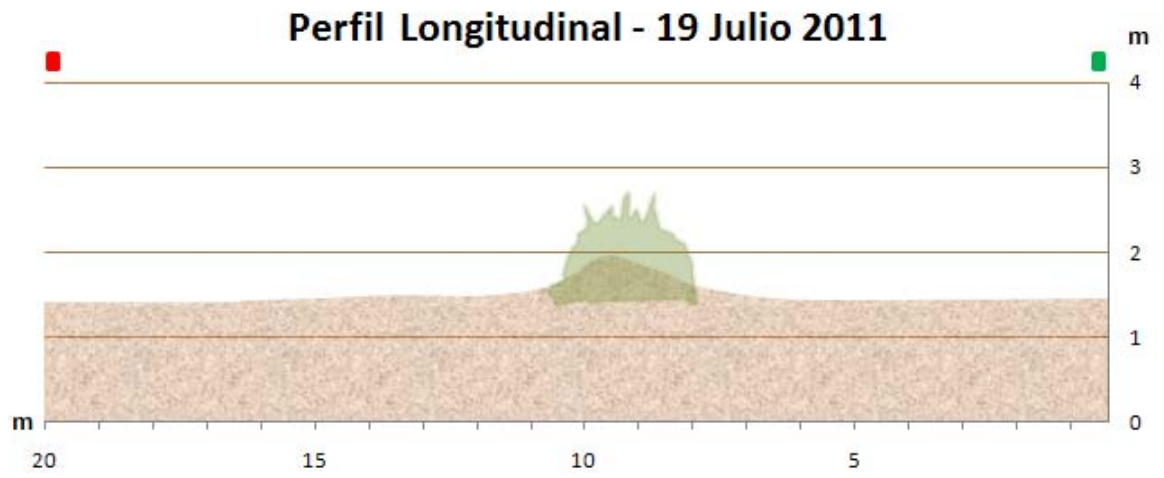


Figura 342: Perfil longitudinal (19-07-2011).

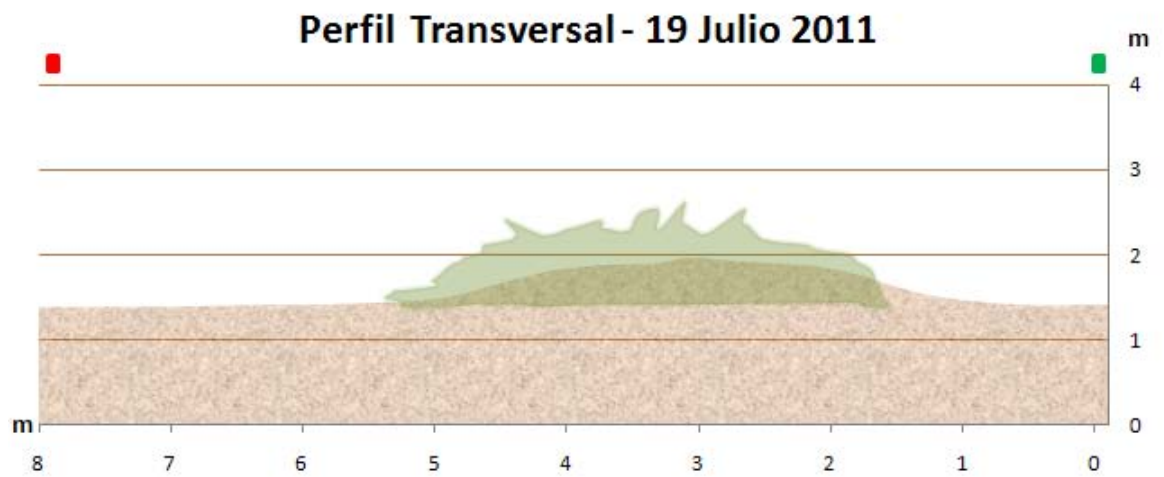
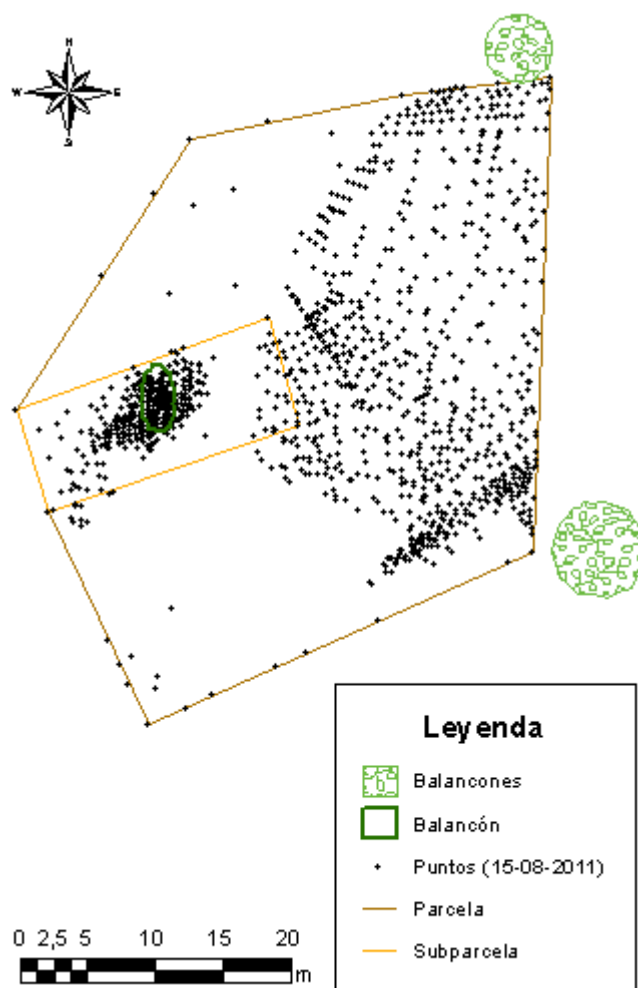
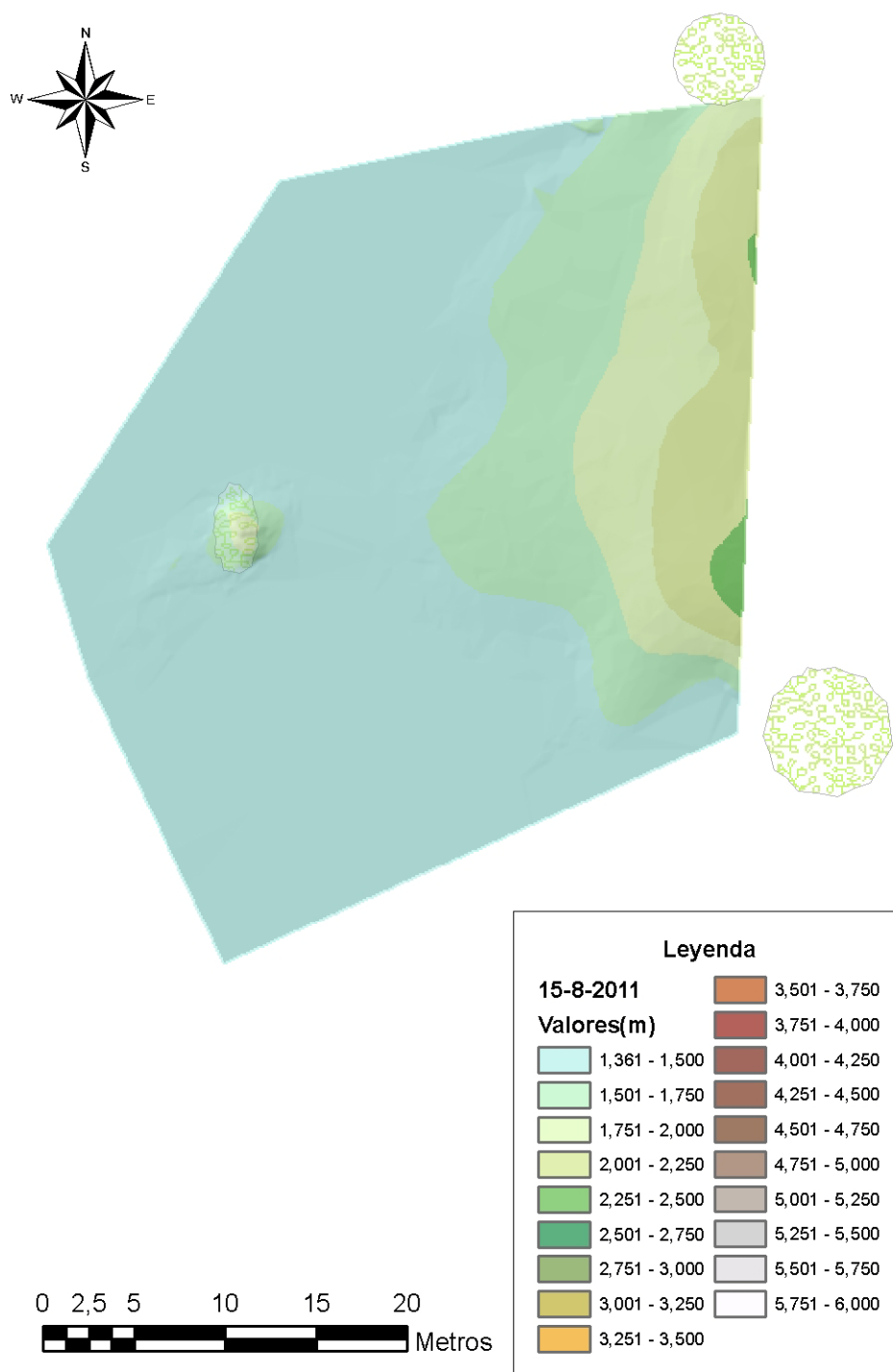


Figura 343: Perfil transversal (19-07-2011).

15 de agosto de 2011



**Figura 344:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 15-08-2011 en la parcela 1.



**Figura 345:** GRID correspondiente al MDE realizado el 15-08-2011.

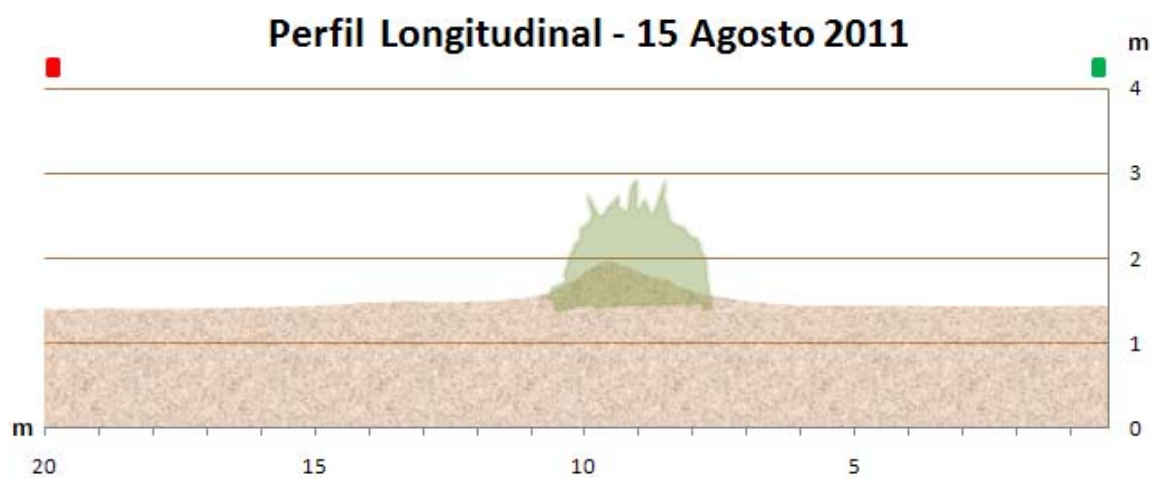


Figura 346: Perfil longitudinal (15-08-2011).

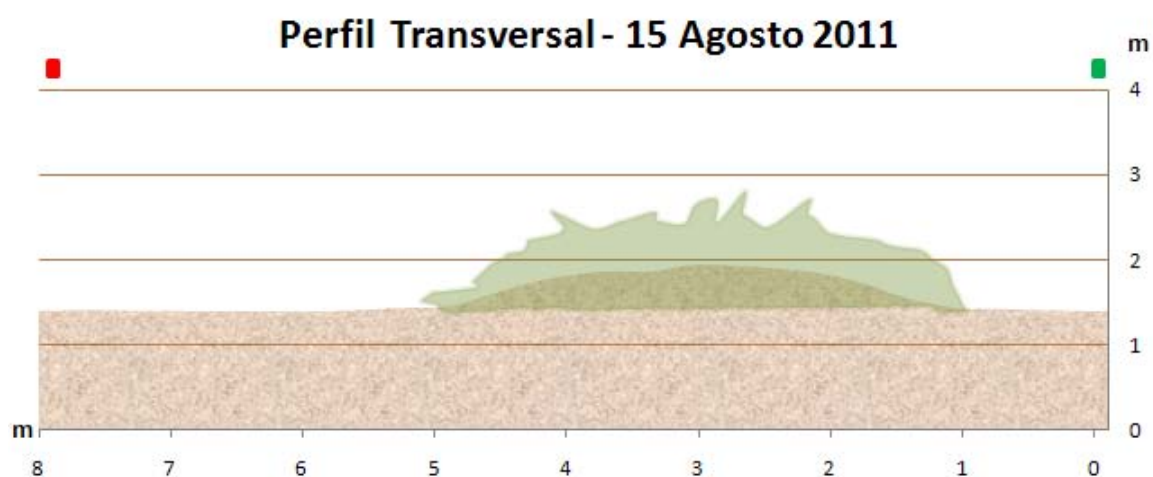
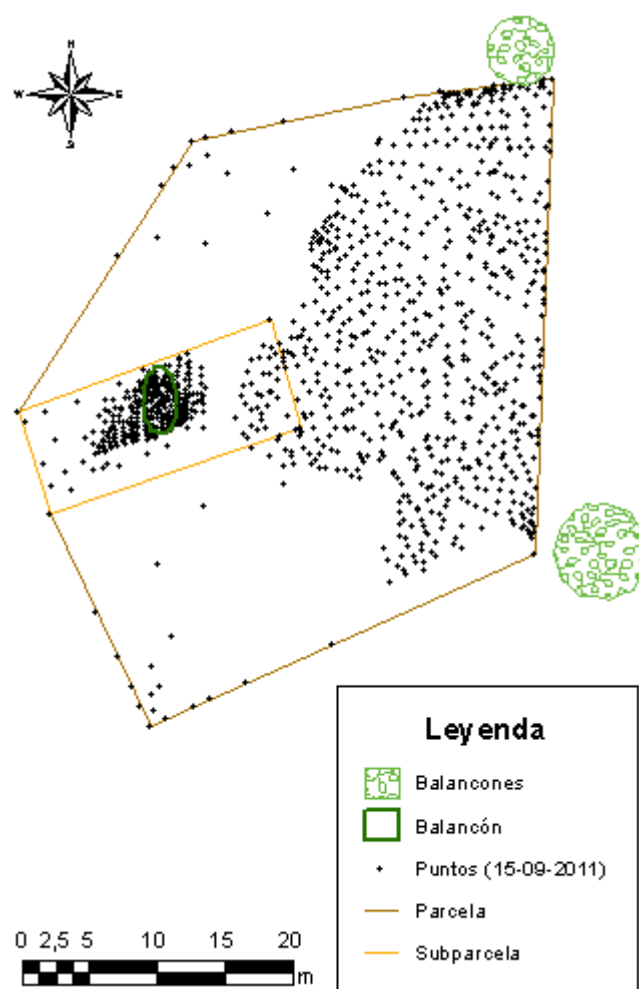
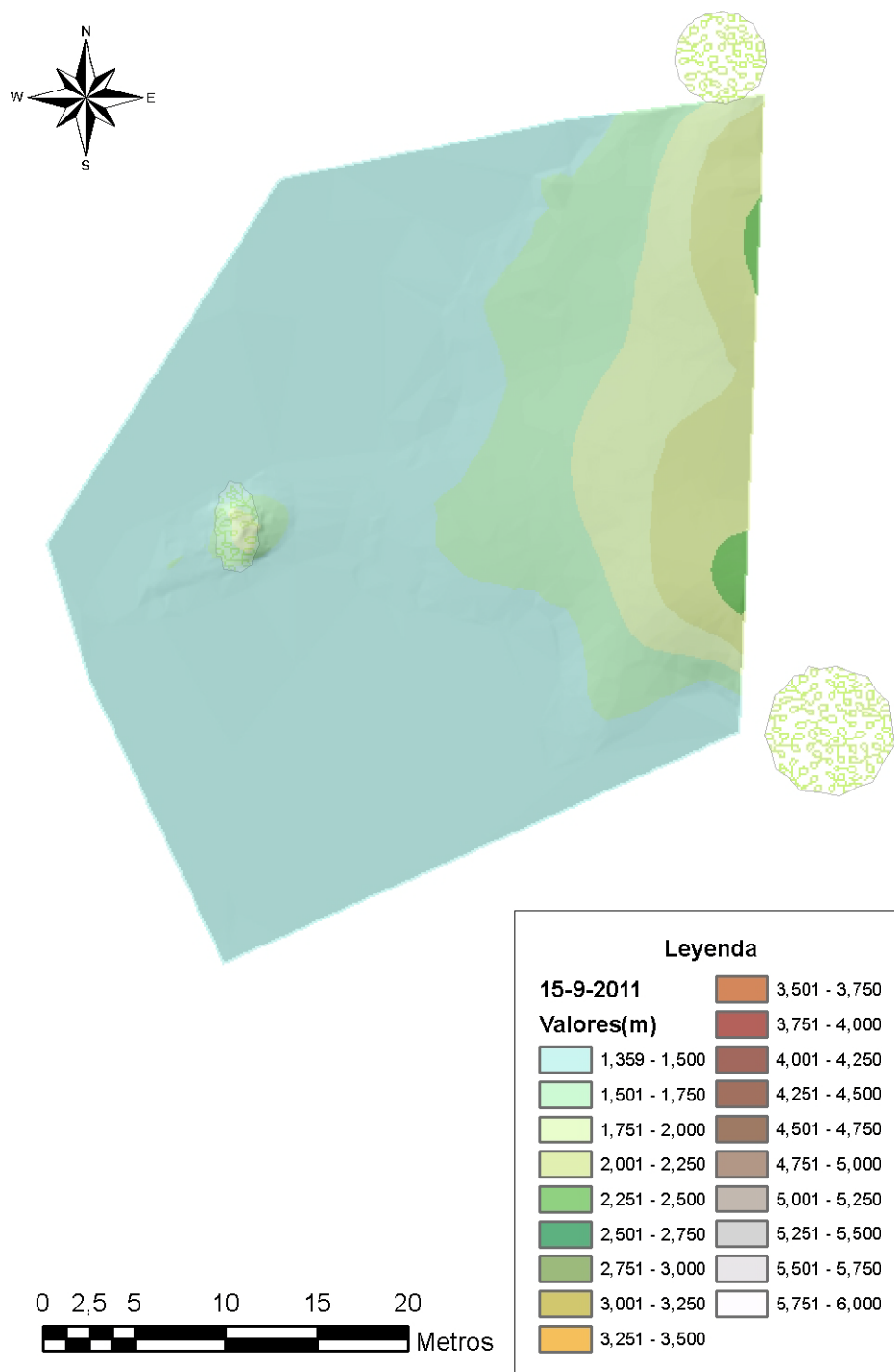


Figura 347: Perfil transversal (15-08-2011).

15 de septiembre de 2011



**Figura 348:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 15-09-2011 en la parcela 1.



**Figura 349:** GRID correspondiente al MDE realizado el 15-09-2011.

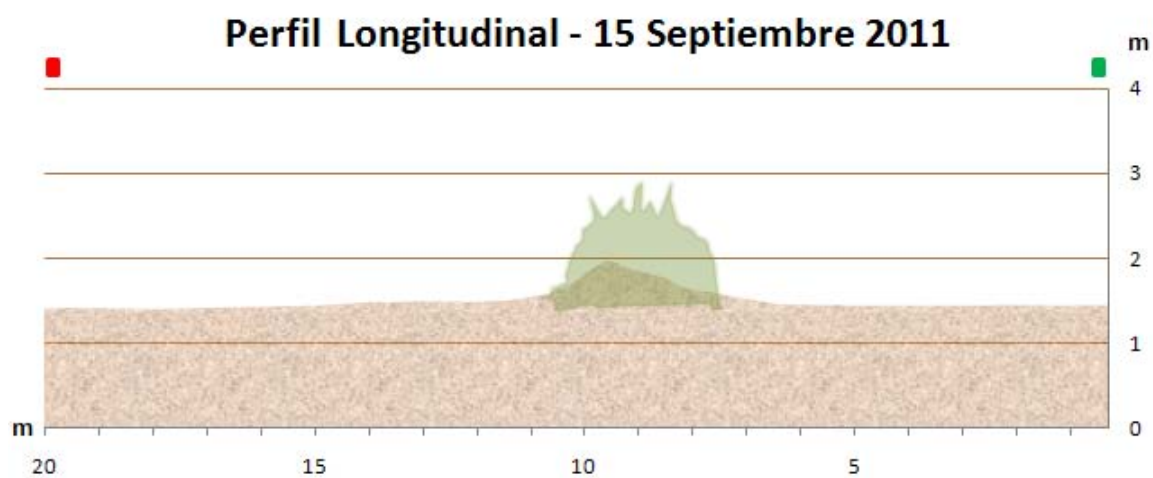


Figura 350: Perfil longitudinal (15-09-2011).

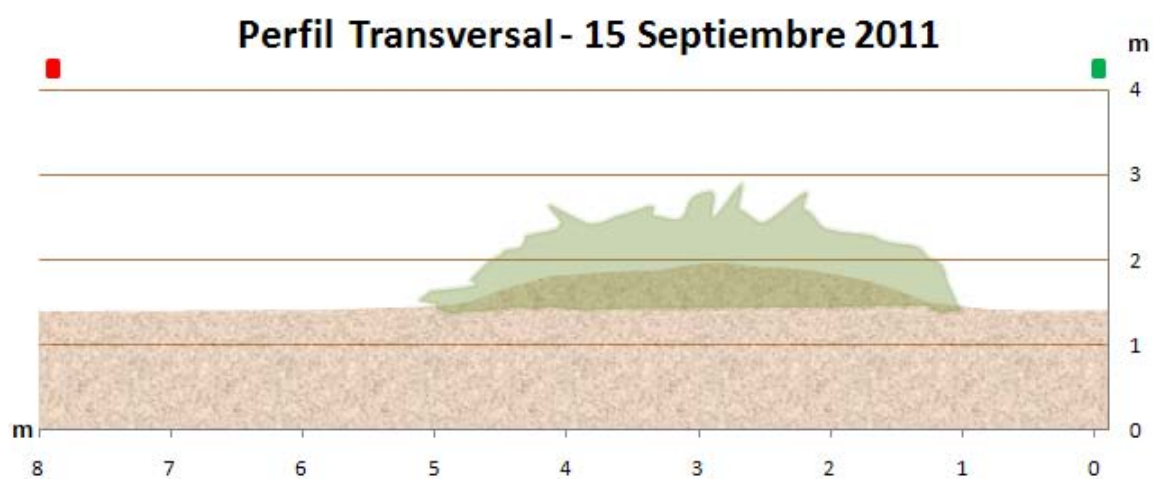
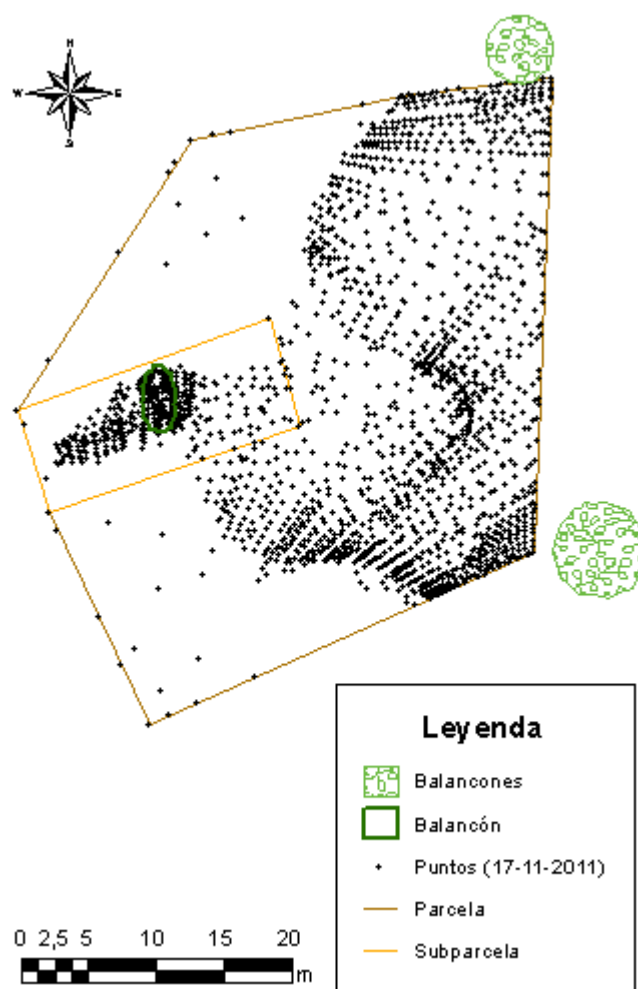


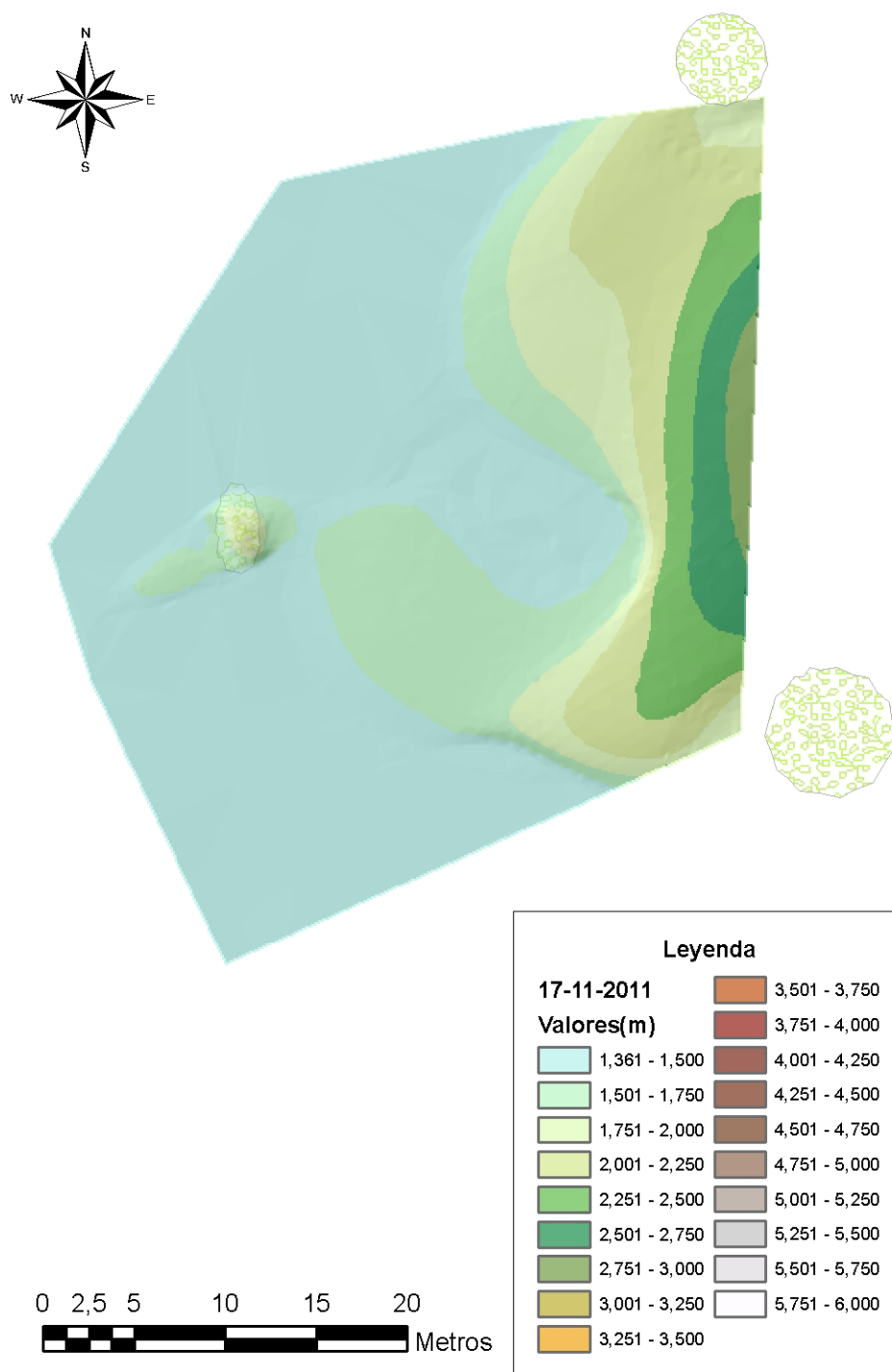
Figura 351: Perfil transversal (15-09-2011).



17 de noviembre de 2011



**Figura 352:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 17-11-2011 en la parcela 1.



**Figura 353:** GRID correspondiente al MDE realizado el 17-11-2011.

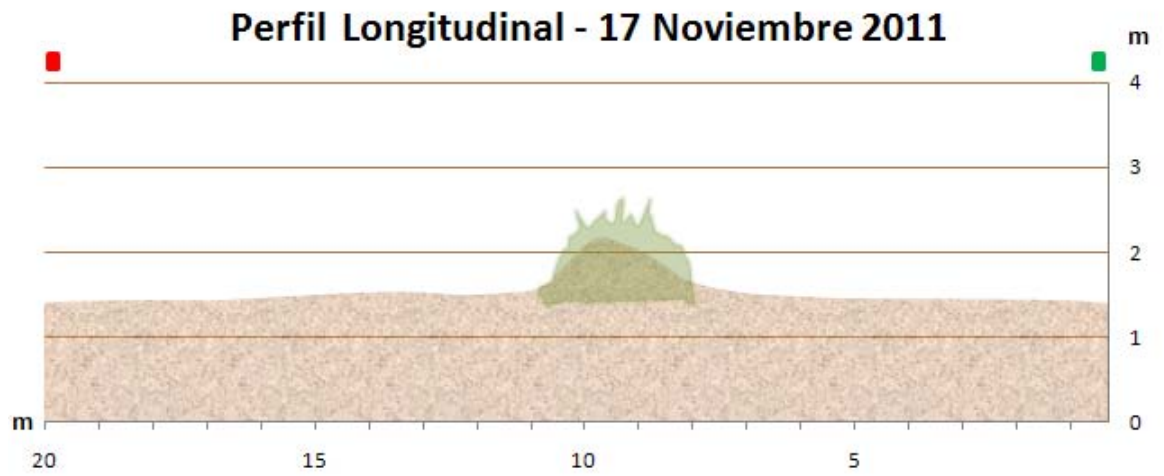


Figura 354: Perfil longitudinal (17-11-2011).

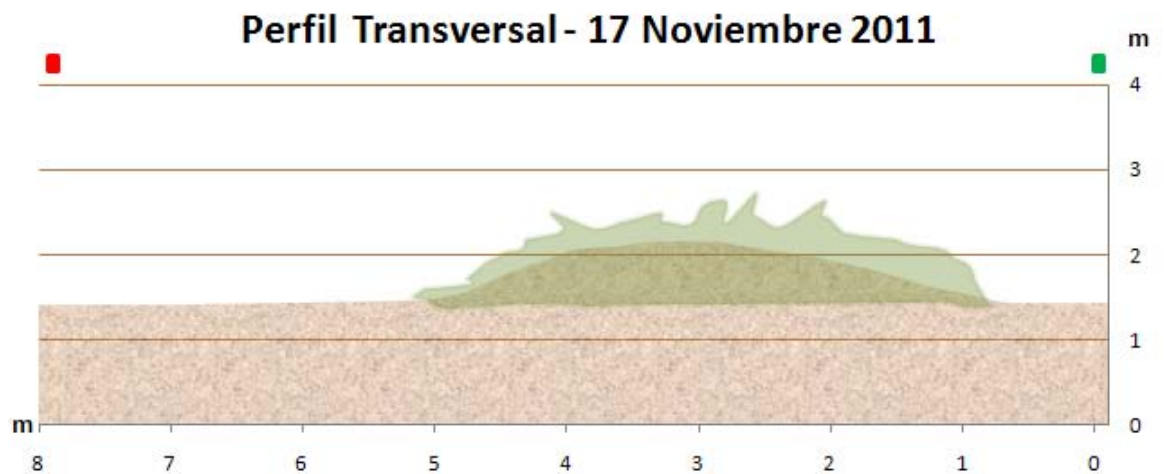
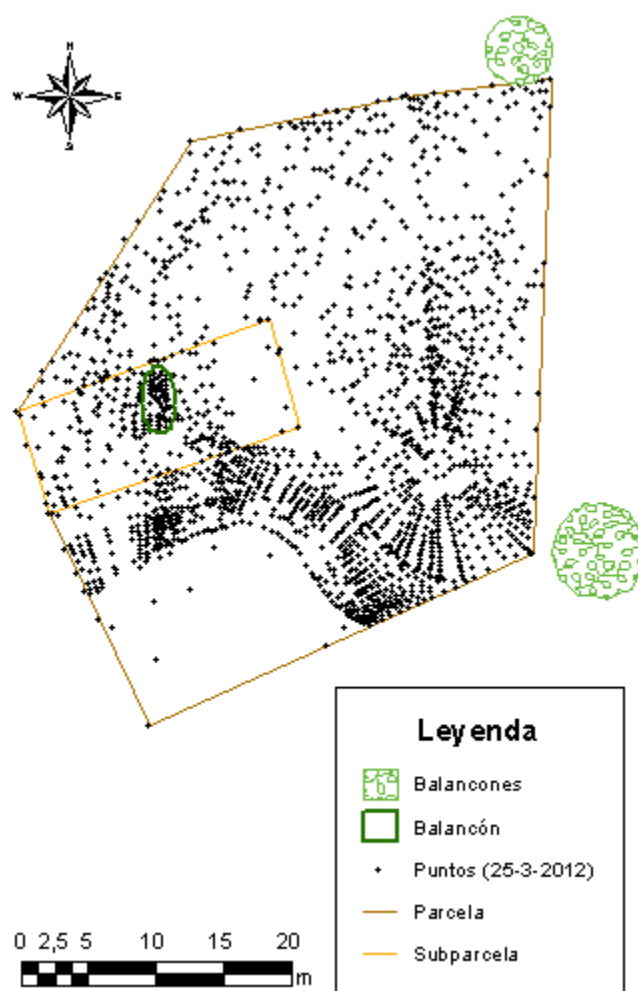
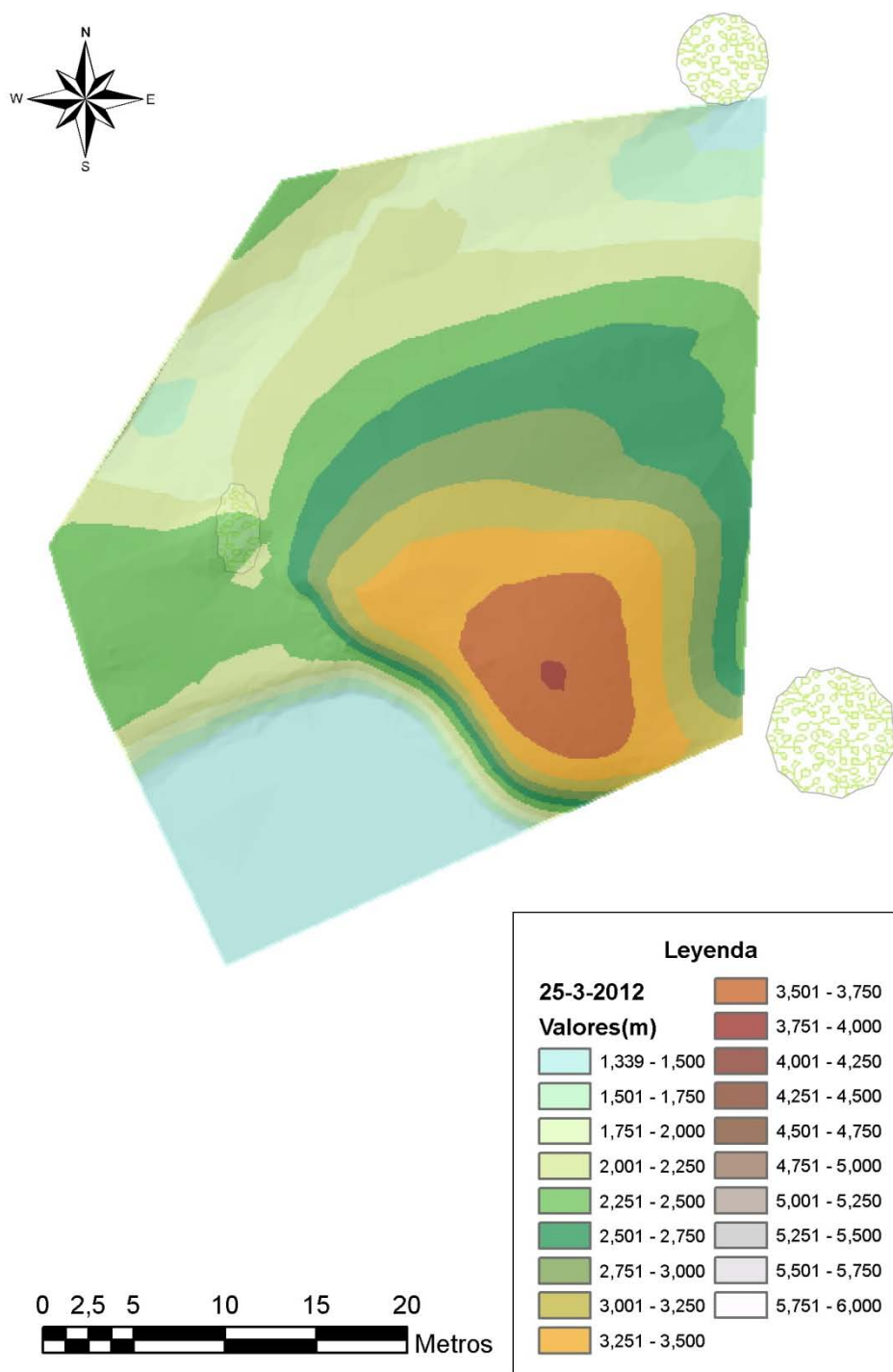


Figura 355: Perfil transversal (17-11-2011).

25 de marzo de 2012



**Figura 356:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 25-03-2012 en la parcela 1.



**Figura 357:** GRID correspondiente al MDE realizado el 25-03-2012.

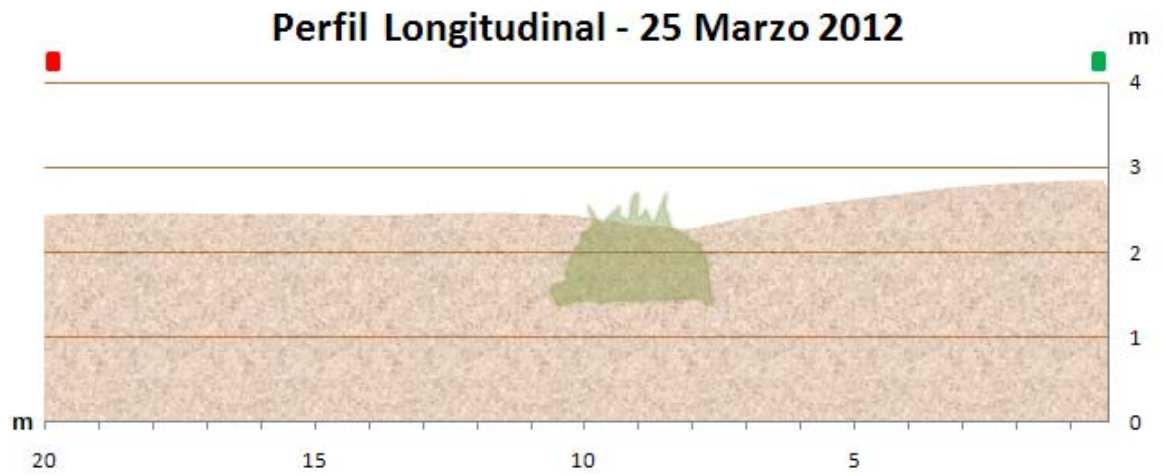


Figura 358: Perfil longitudinal (25-03-2012).

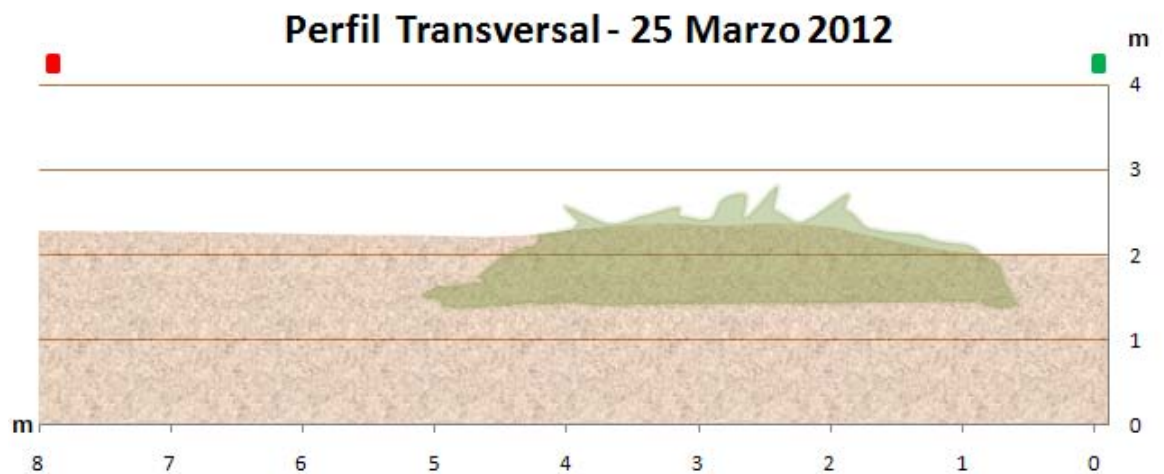
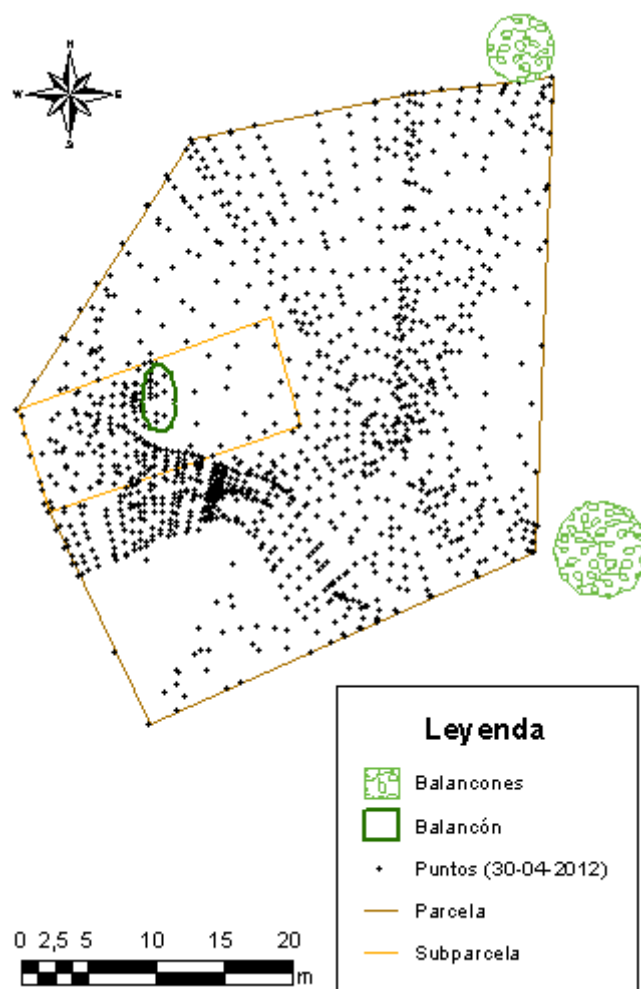
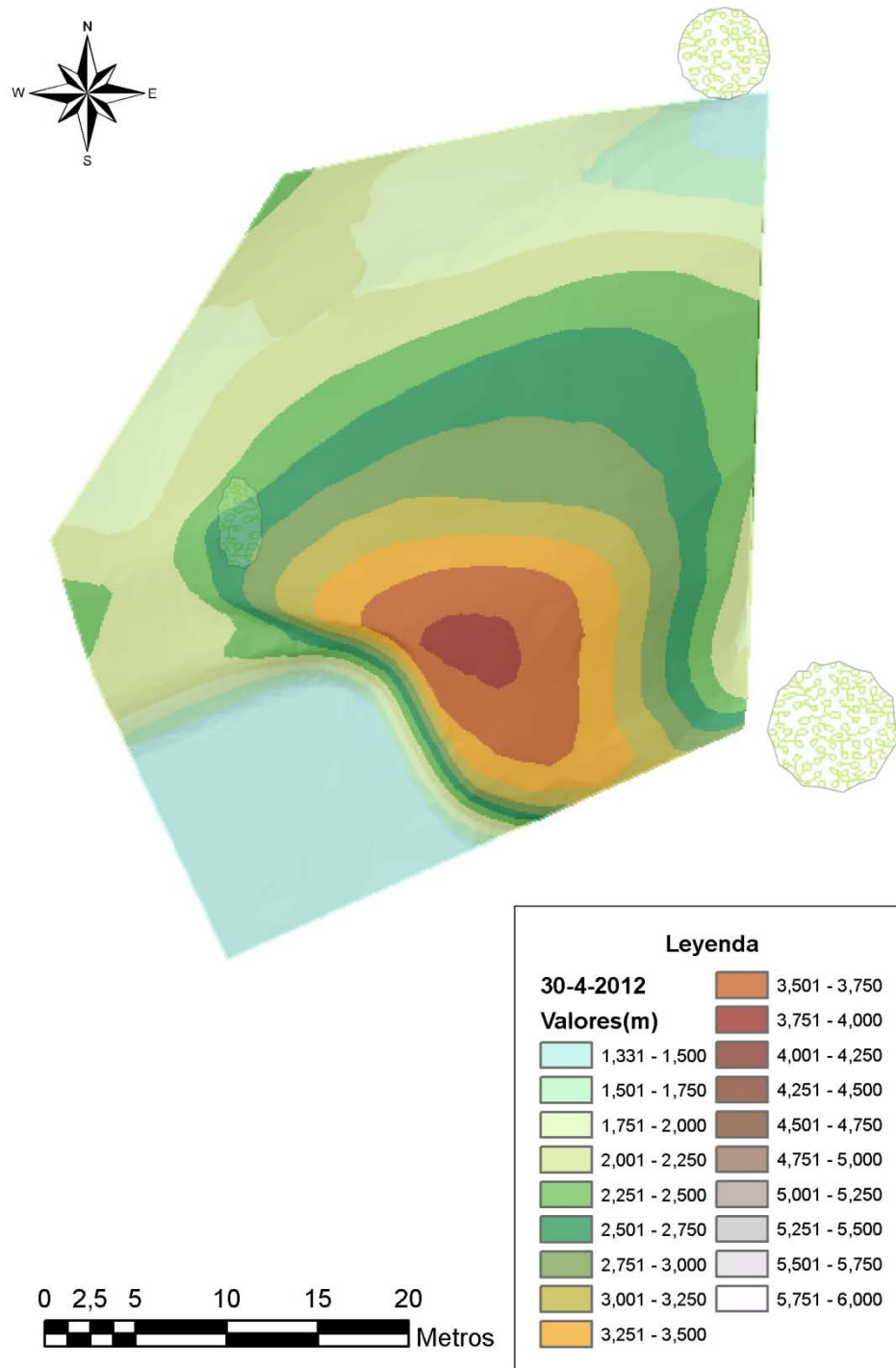


Figura 359: Perfil transversal (25-03-2012).

30 de abril de 2012



**Figura 360:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 30-04-2012 en la parcela 1.



**Figura 361:** GRID correspondiente al MDE realizado el 30-04-2012.



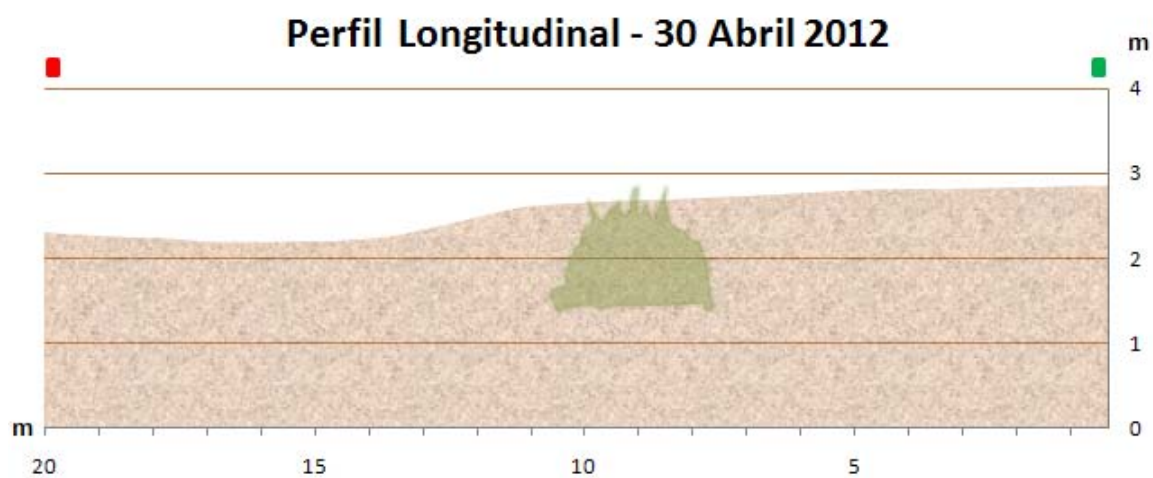


Figura 362: Perfil longitudinal (30-04-2012).

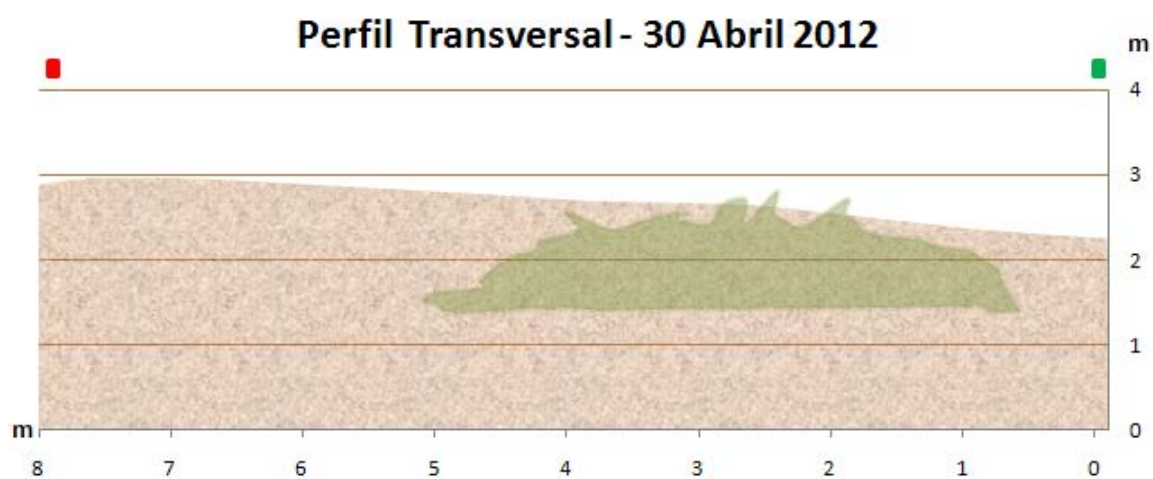
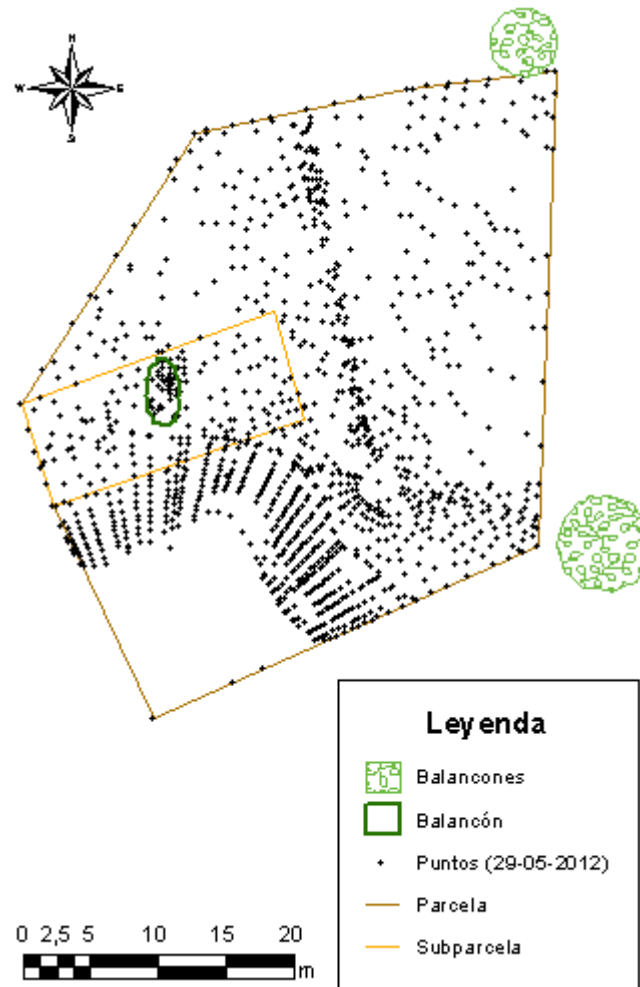
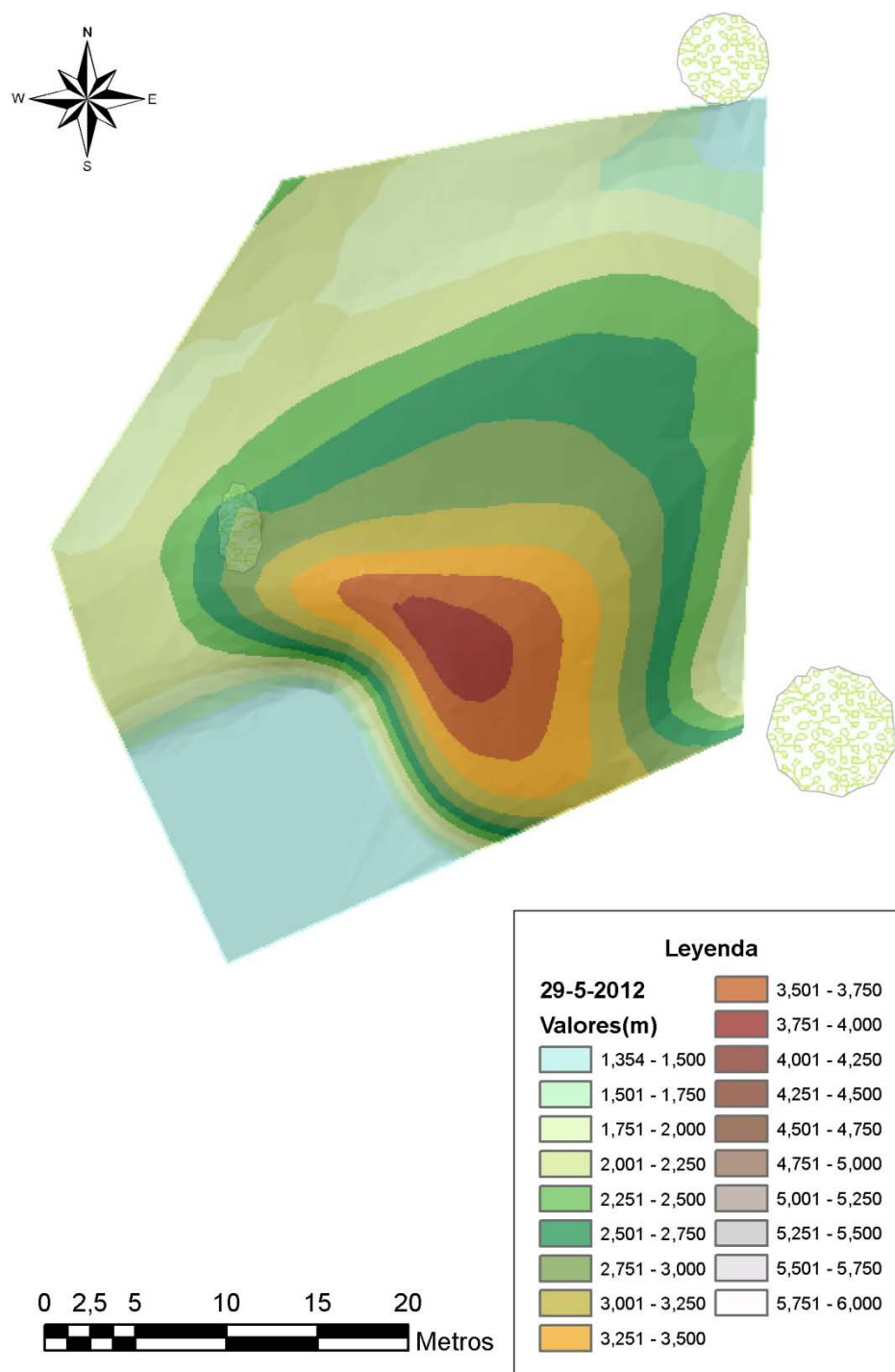


Figura 363: Perfil transversal (30-04-2012).

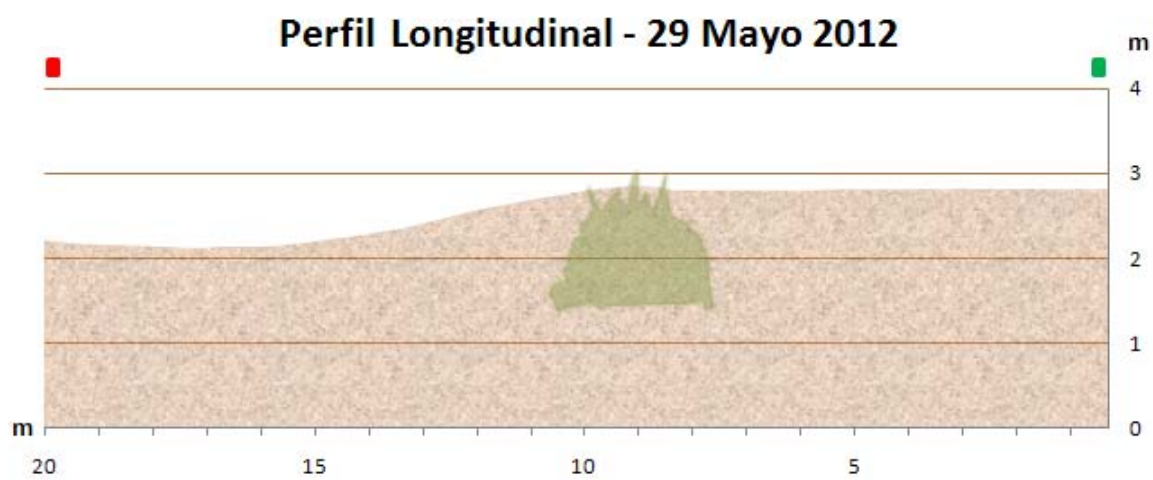
29 de mayo de 2012



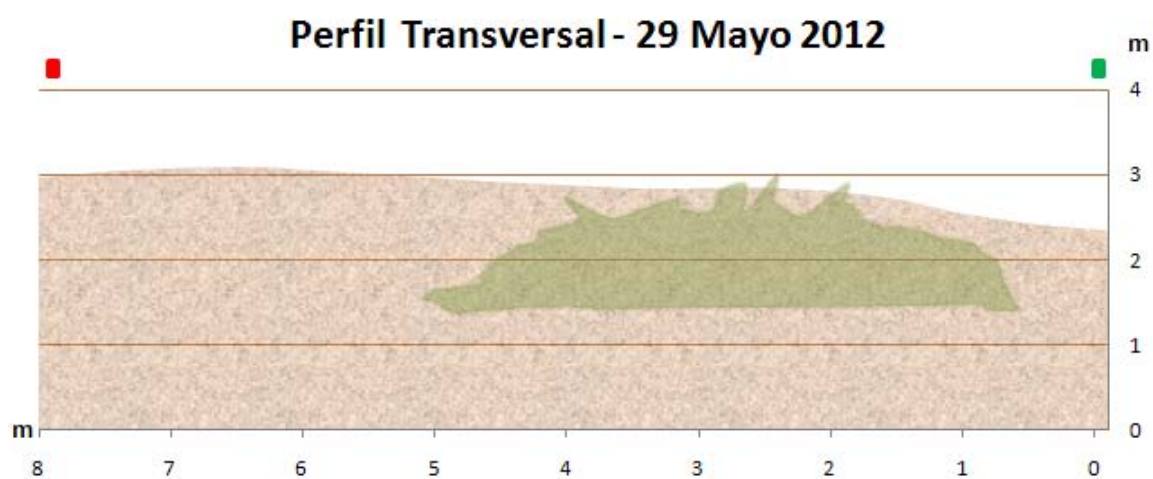
**Figura 364:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 29-05-2012 en la parcela 1.



**Figura 365:** GRID correspondiente al MDE realizado el 29-05-2012.



**Figura 366:** Perfil longitudinal (29-05-2012).



**Figura 367:** Perfil transversal (29-05-2012).

20 de junio de 2012

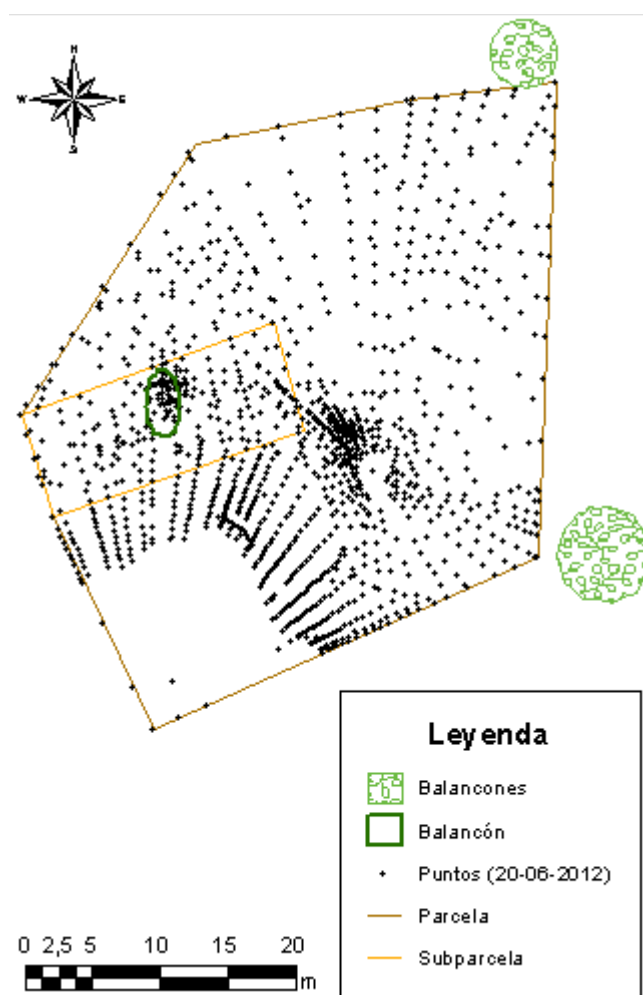
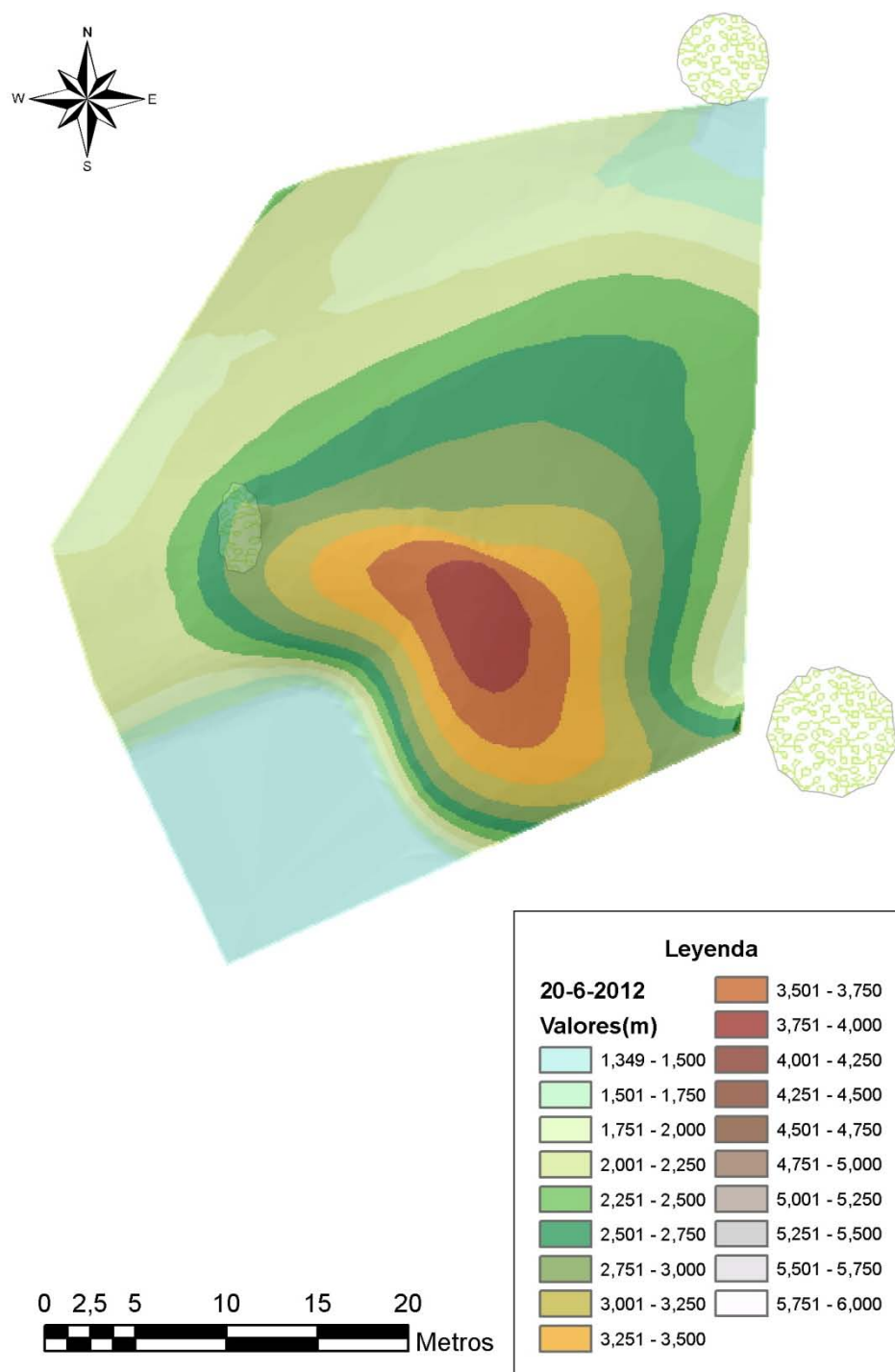
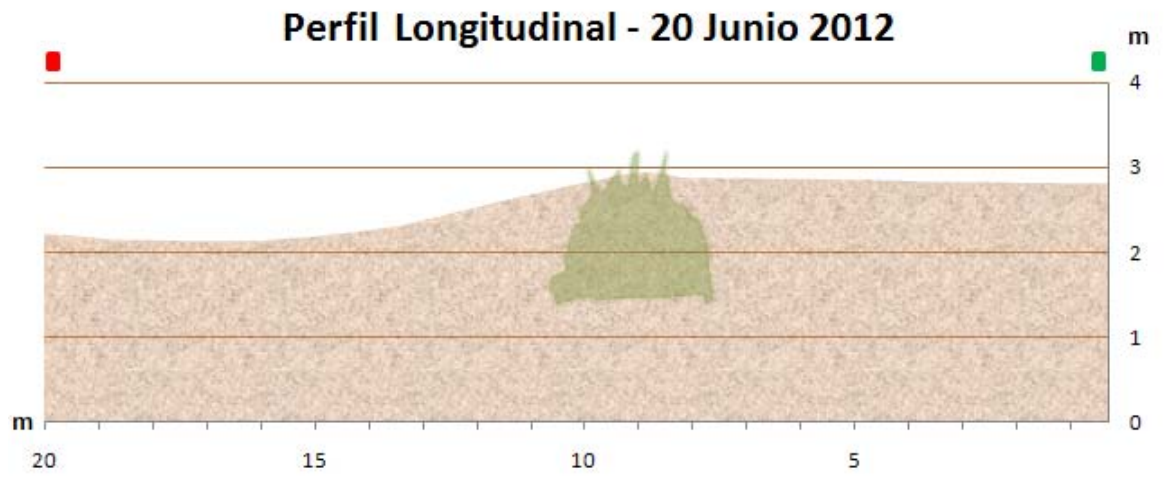


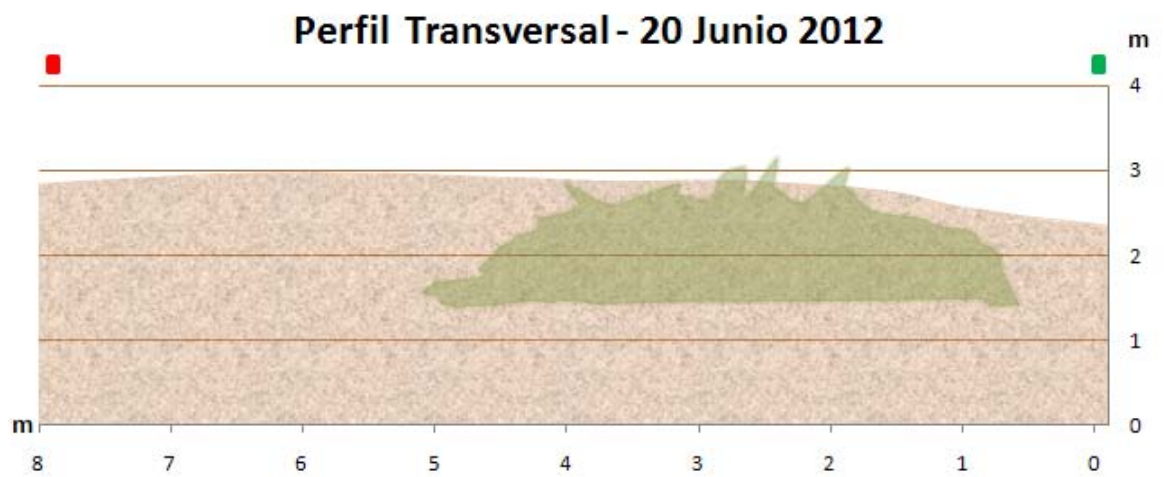
Figura 368: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 20-06-2012 en la parcela 1.



**Figura 369:** GRID correspondiente al MDE realizado el 20-06-2012.

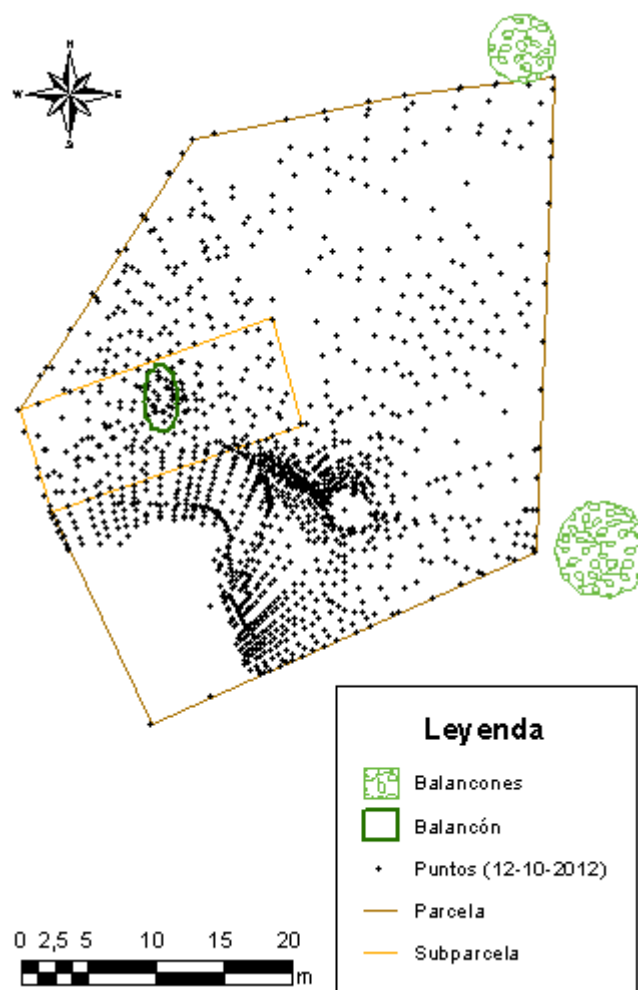


**Figura 370:** Perfil longitudinal (20-6-2012).



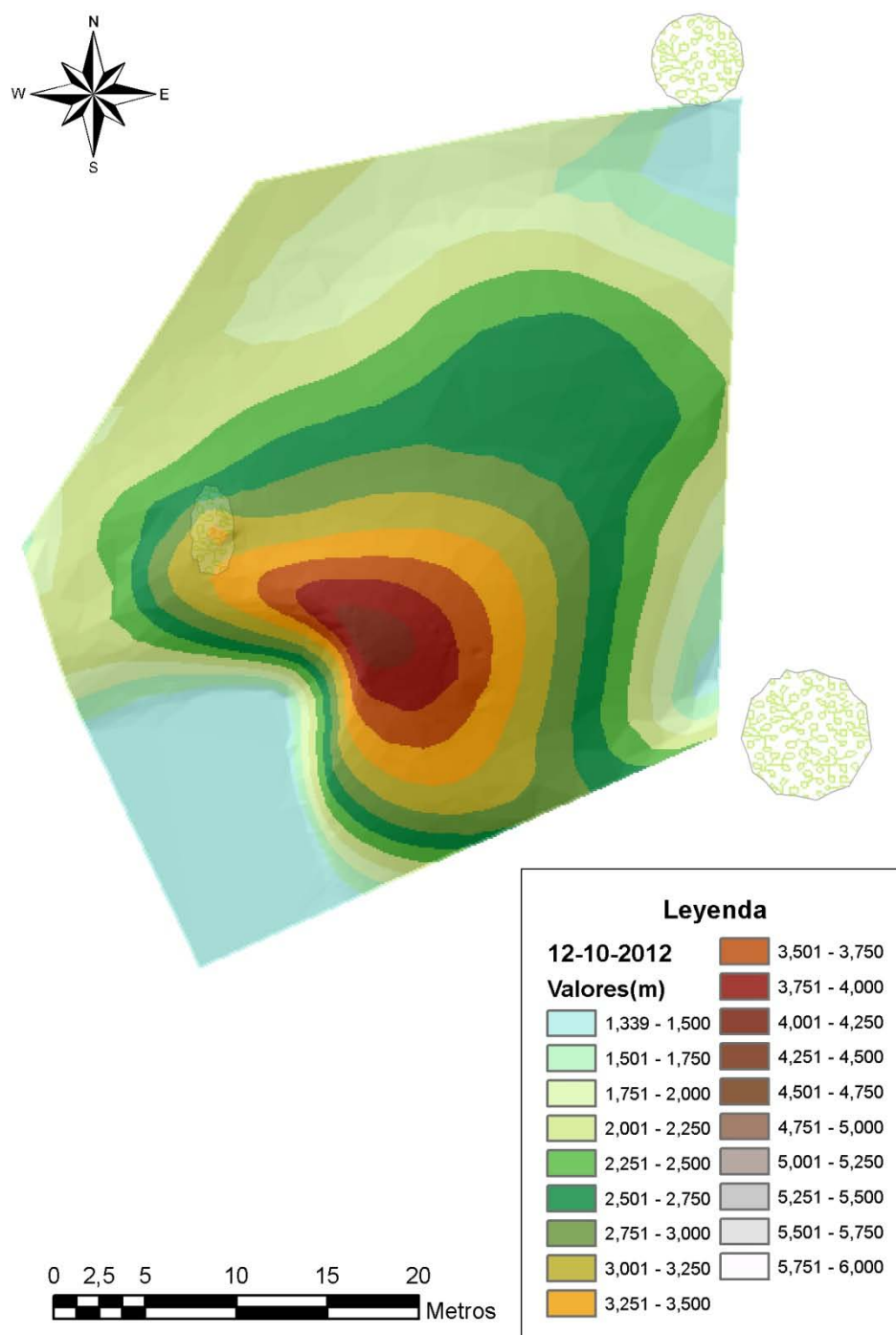
**Figura 371:** Perfil transversal (20-6-2012).

12 de octubre de 2012



**Figura 372:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 12-10-2012 en la parcela 1.





**Figura 373:** GRID correspondiente al MDE realizado el 12-10-2012.

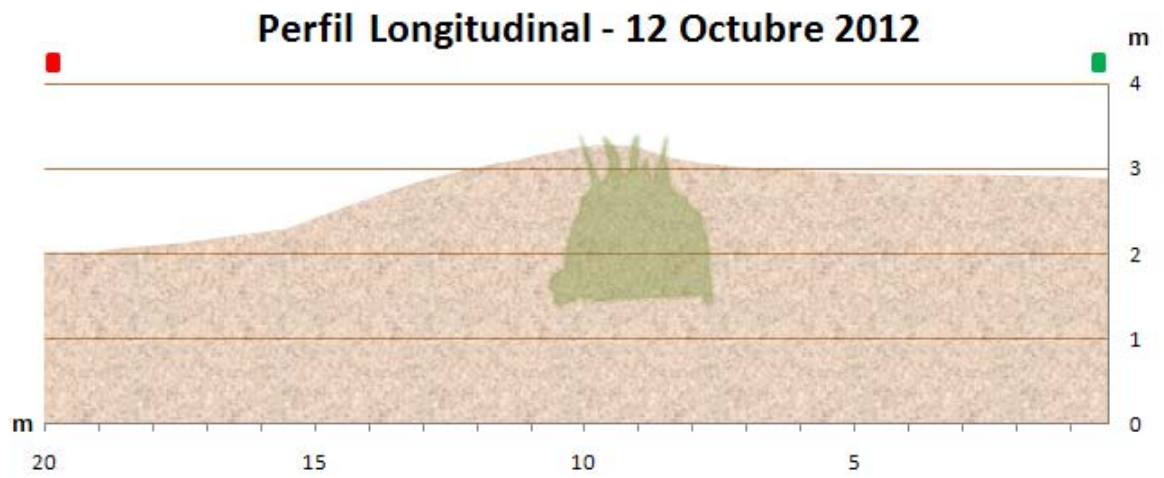


Figura 374: Perfil longitudinal (12-10-2012).

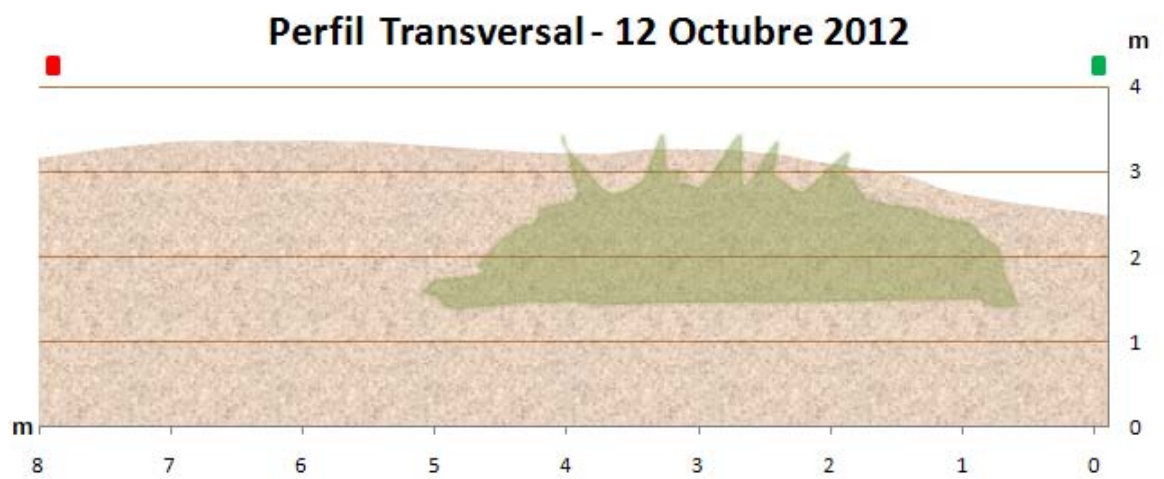
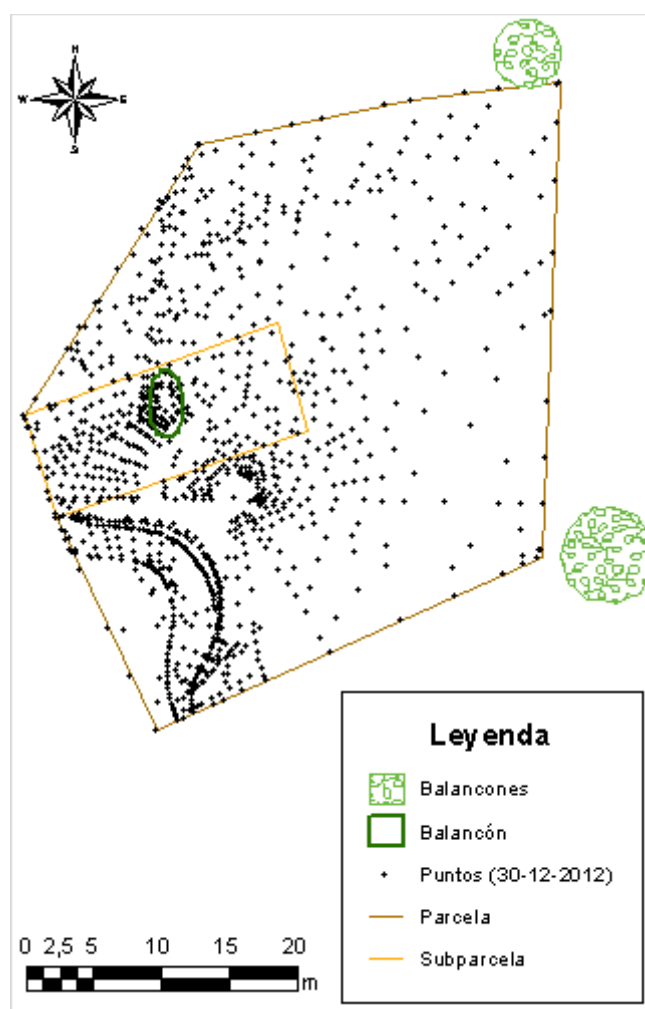
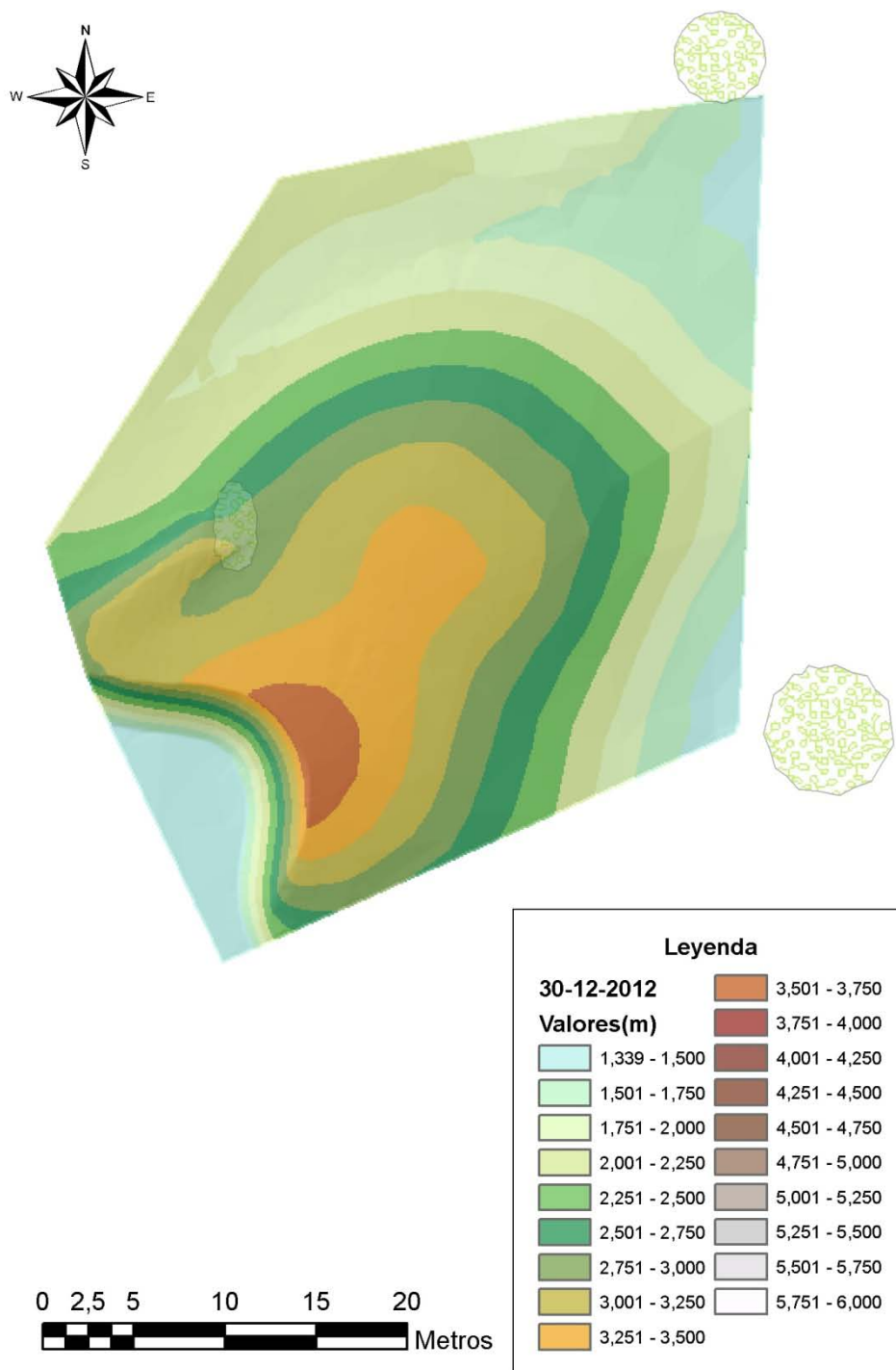


Figura 375: Perfil transversal (12-10-2012).

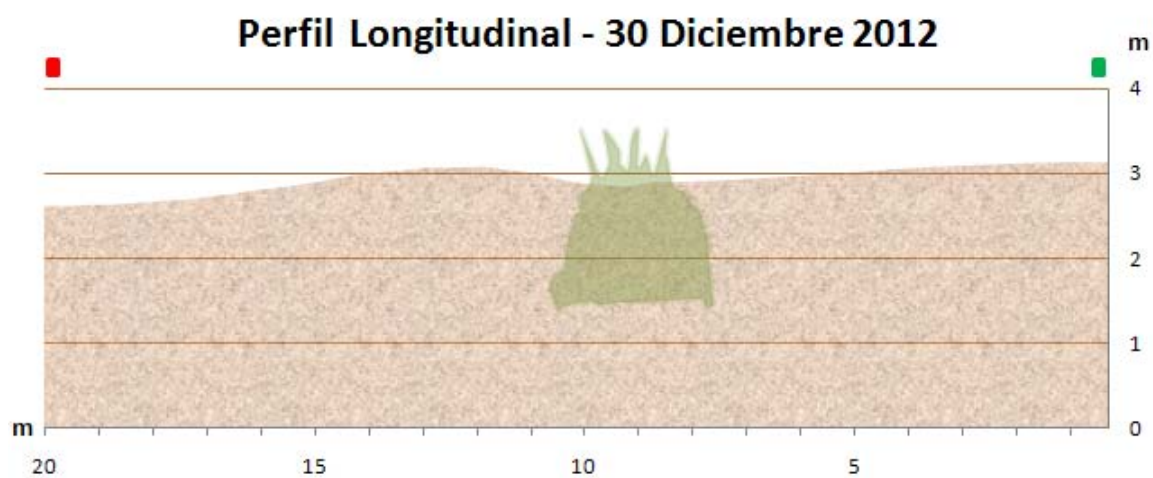
30 de diciembre de 2012



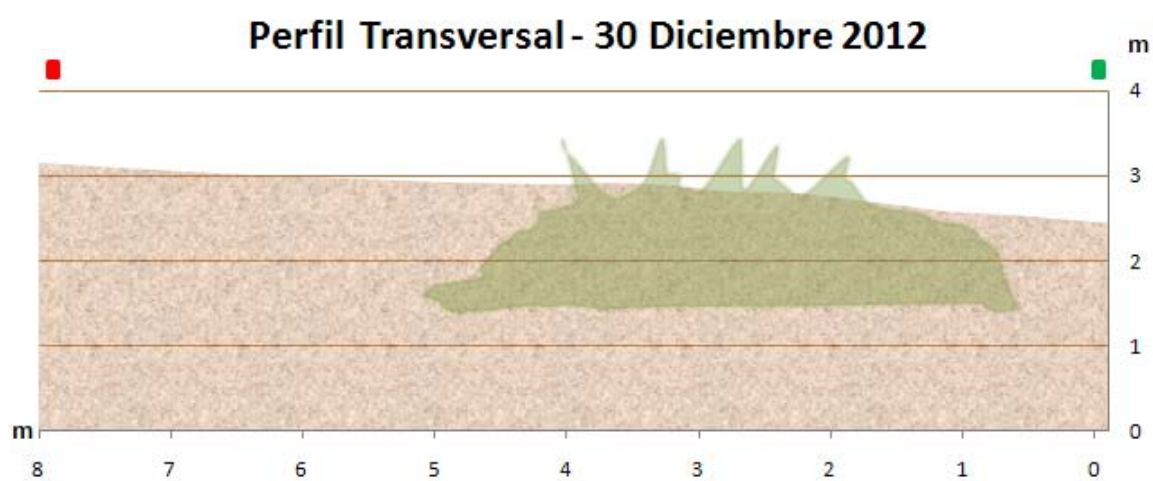
**Figura 376:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 30-12-2012 en la parcela 1.



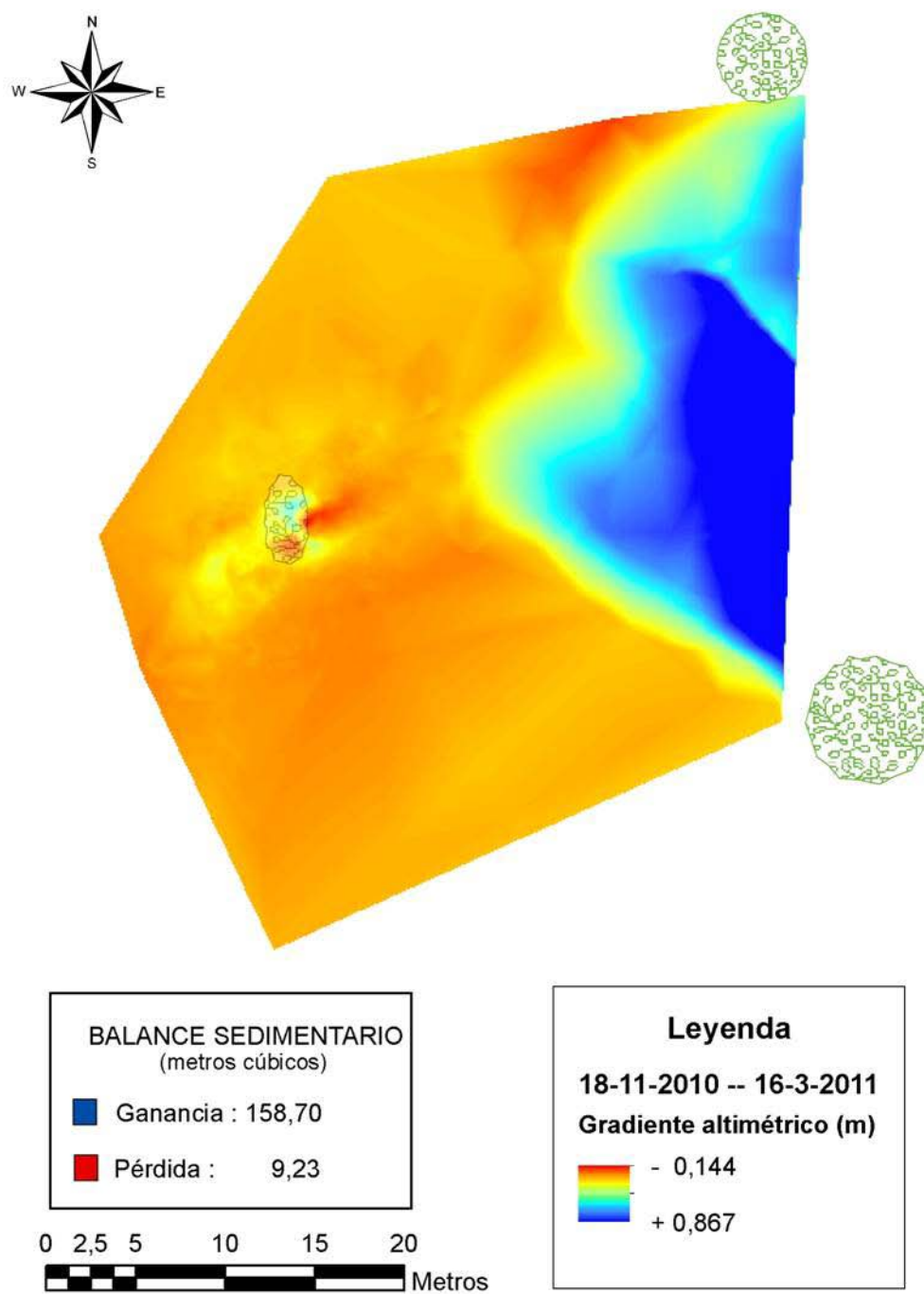
**Figura 377:** GRID correspondiente al MDE realizado el 30-12-2012.



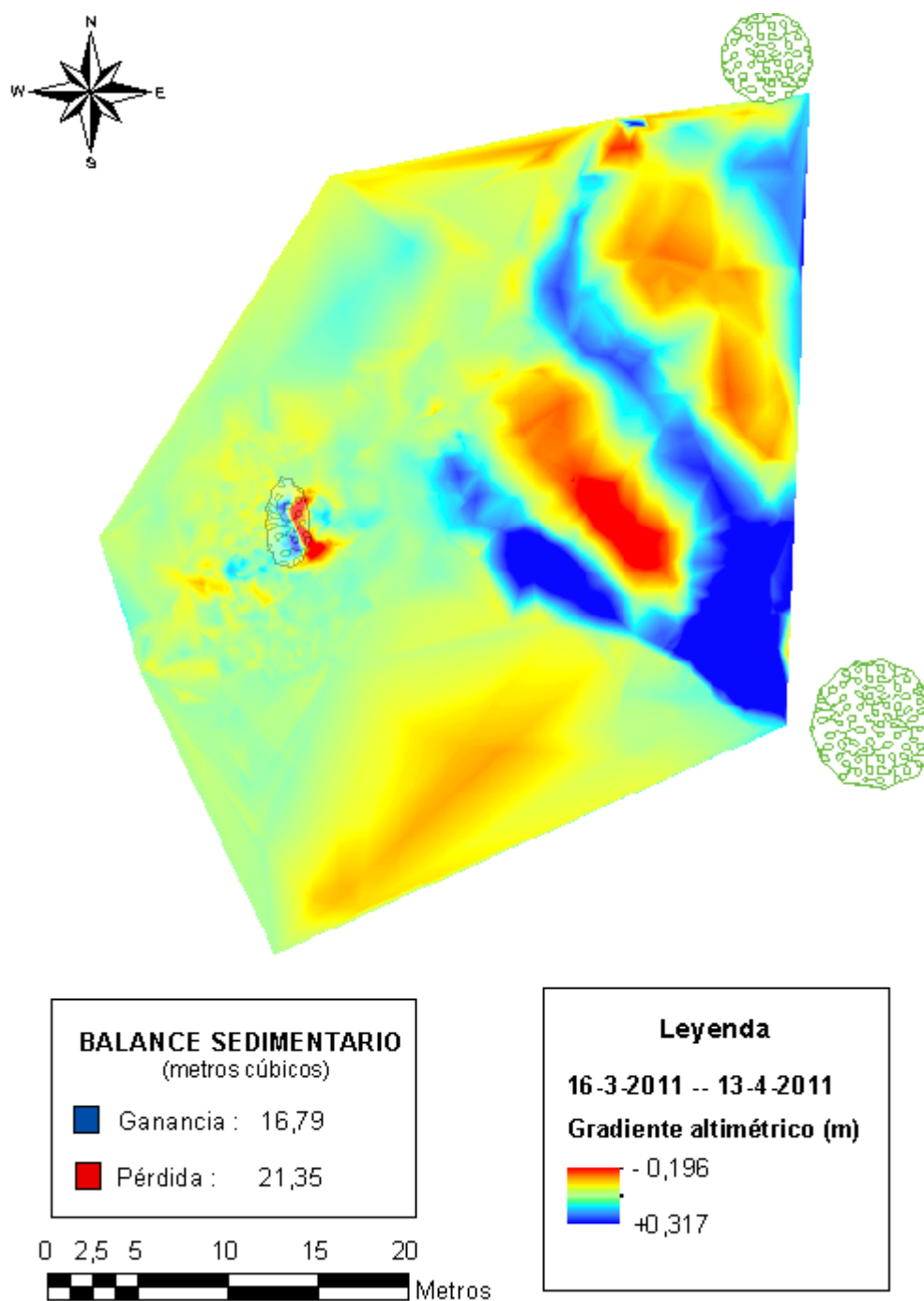
**Figura 378:** Perfil longitudinal (30-12-2012).



**Figura 379:** Perfil transversal (30-12-2012).

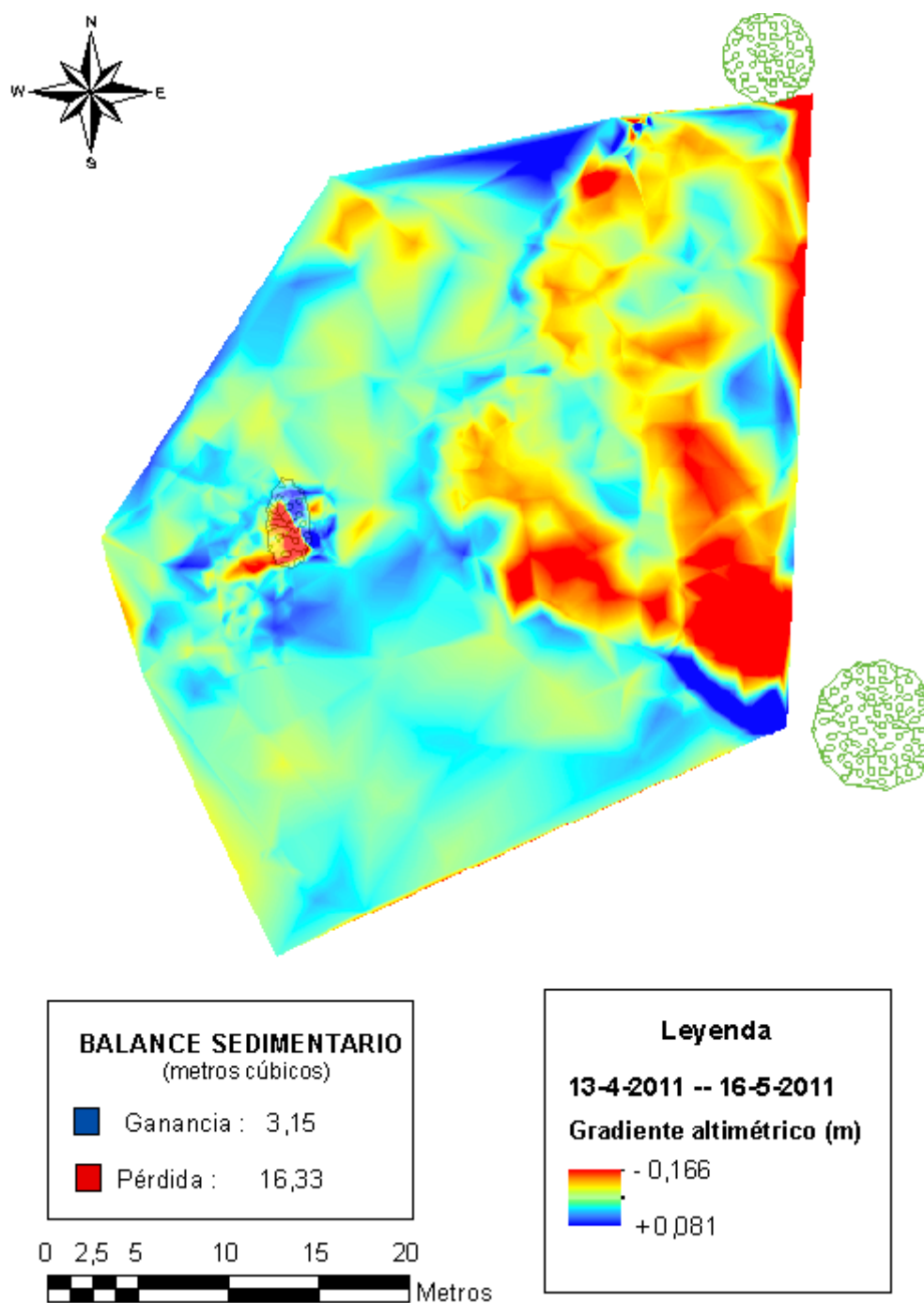


**Figura 380:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 18-11-2010 y el MDE del 16-03-2011.



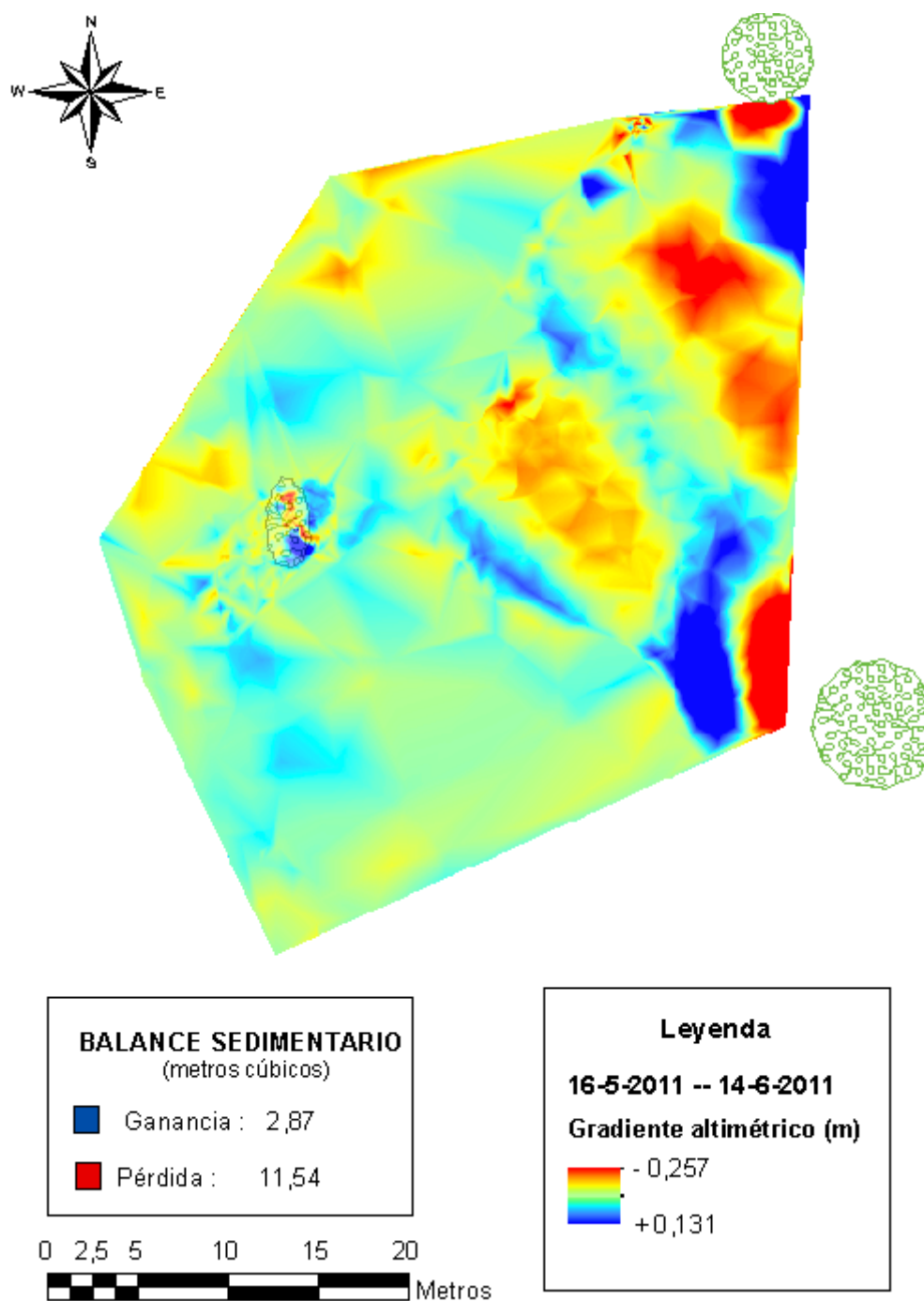
**Figura 381:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 16-03-2011 y el MDE del 13-04-2011.



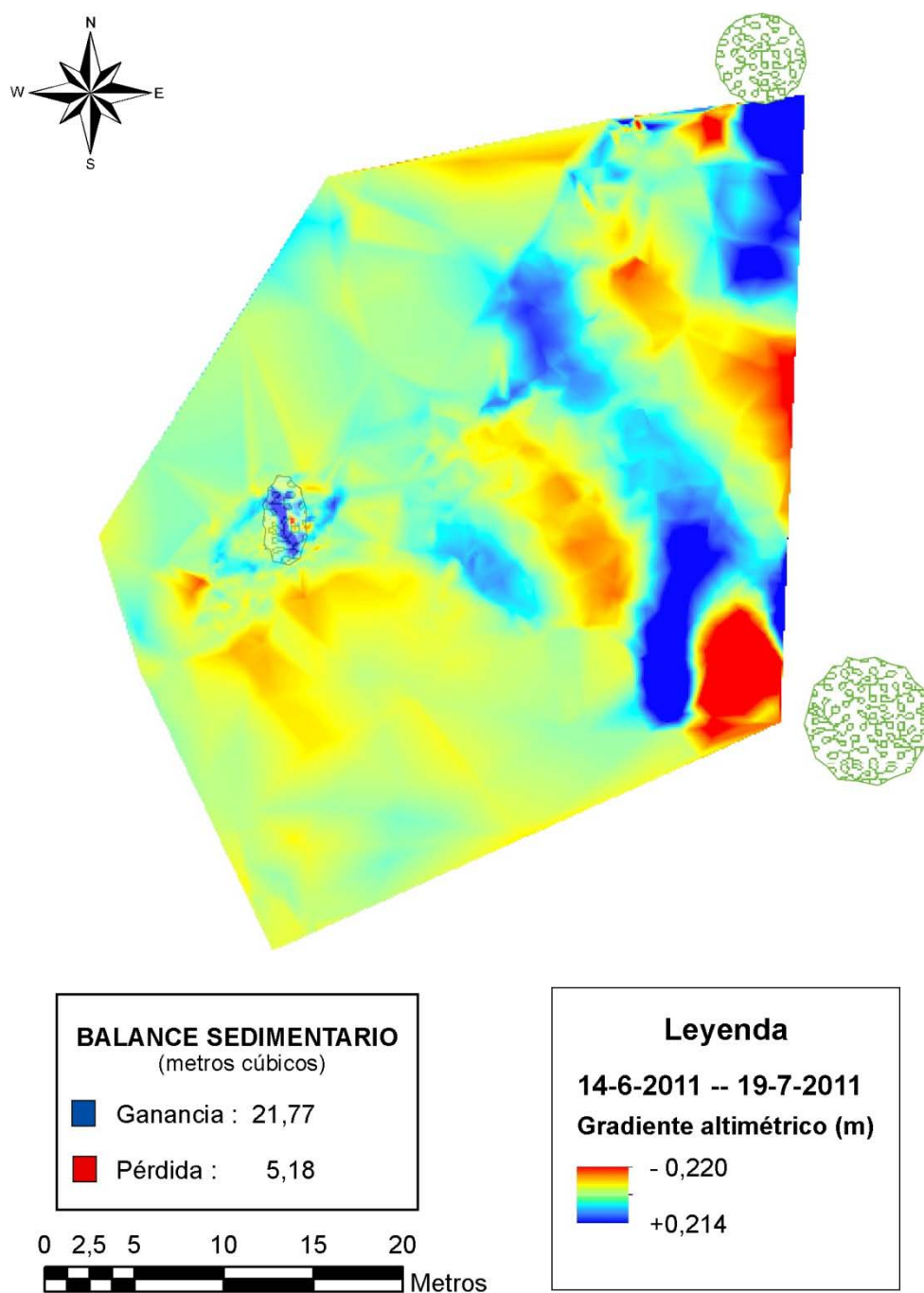


**Figura 382:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 13-04-2011 y el MDE del 16-05-2011.

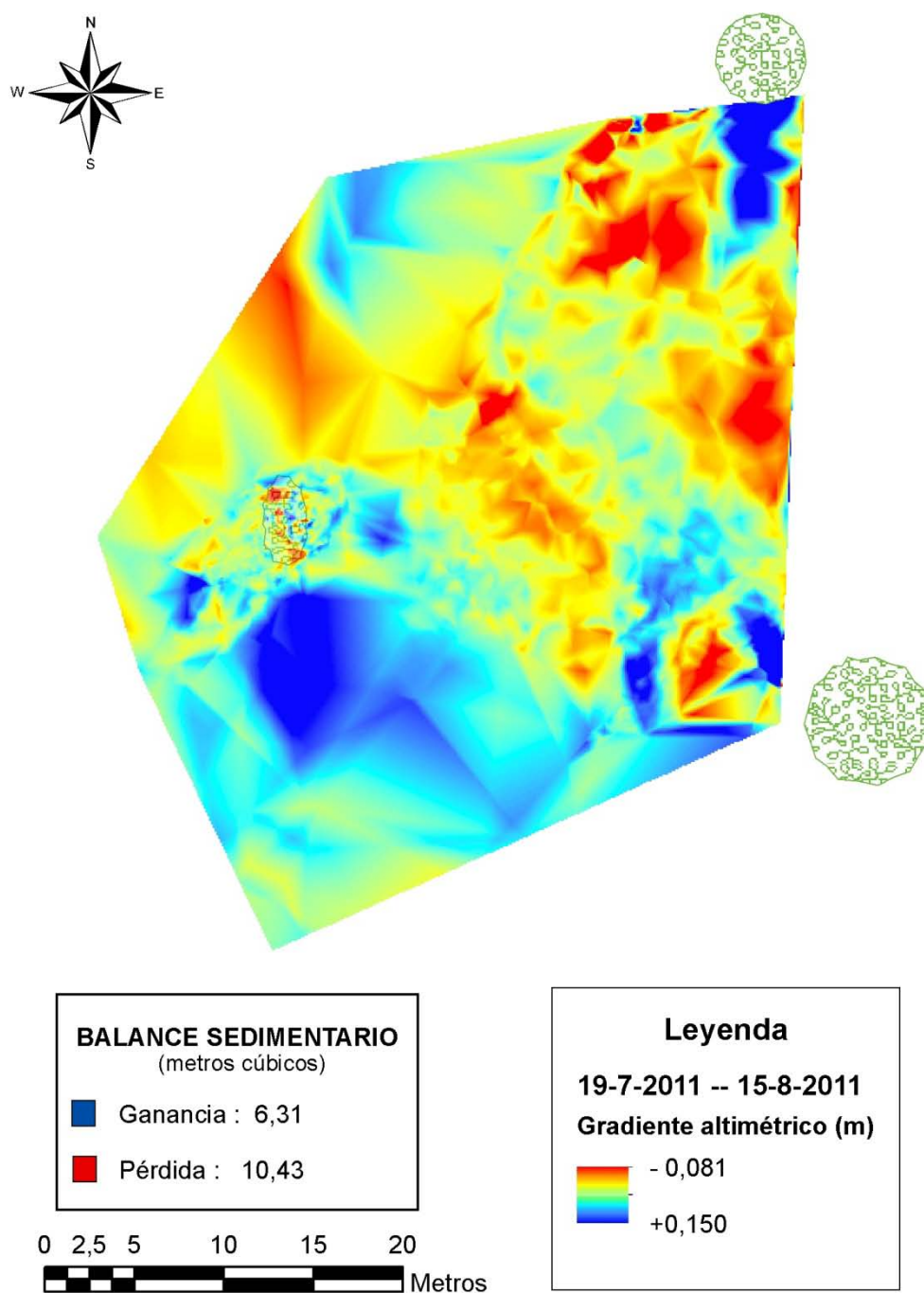




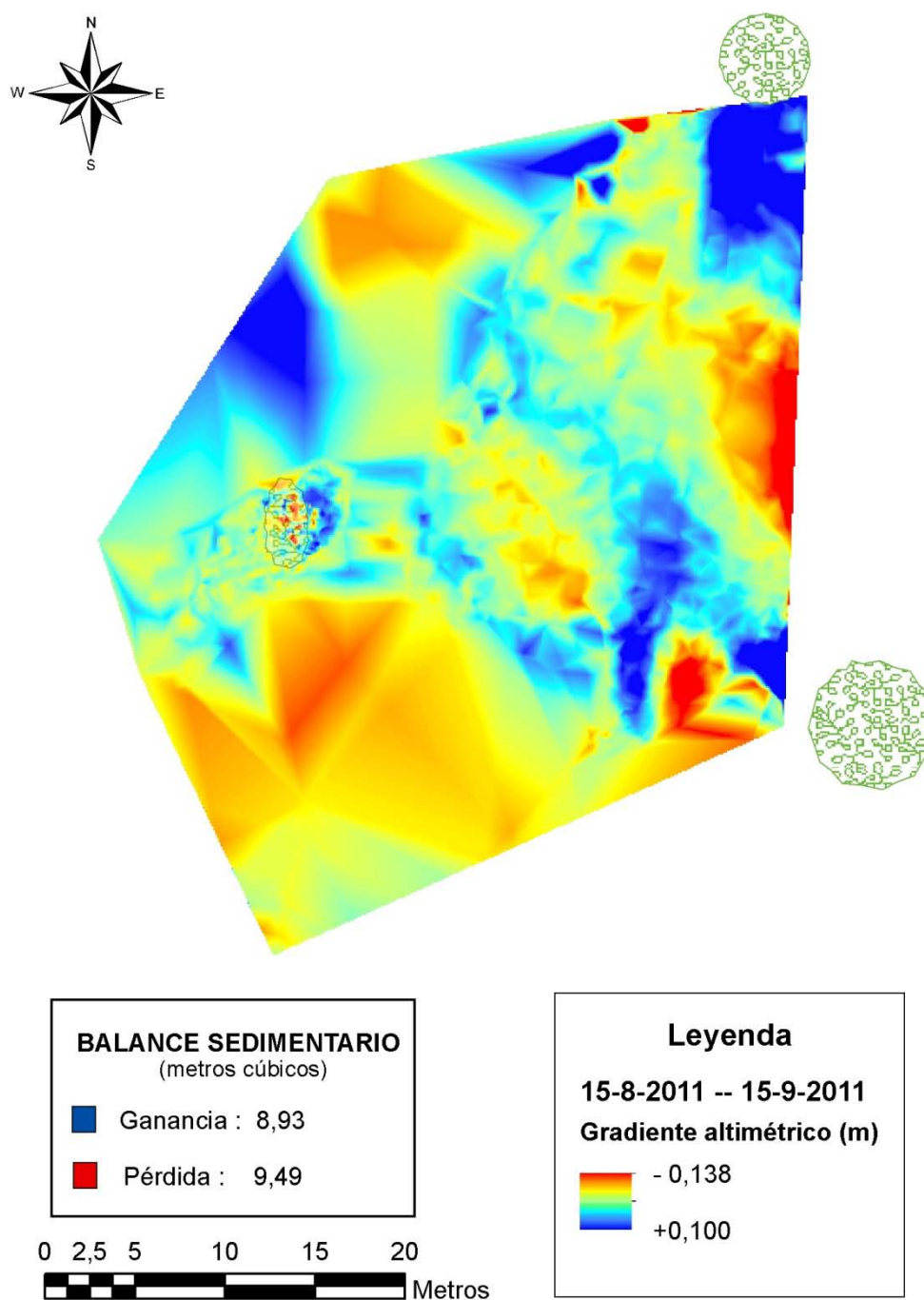
**Figura 383:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 16-05-2011 y el MDE del 14-06-2011.



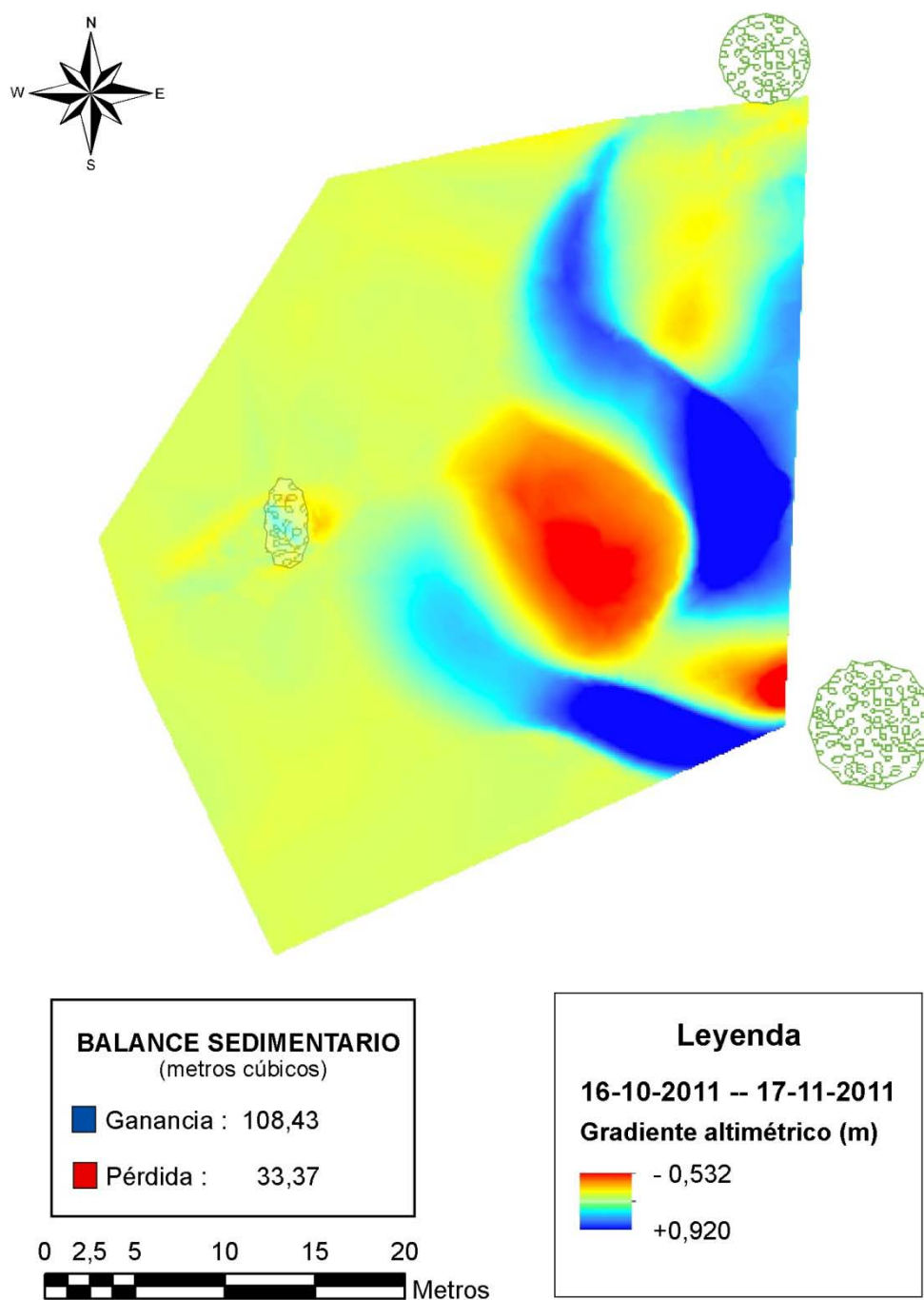
**Figura 384:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 14-06-2011 y el MDE del 19-07-2011.



**Figura 385:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 19-07-2011 y el MDE del 15-08-2011.

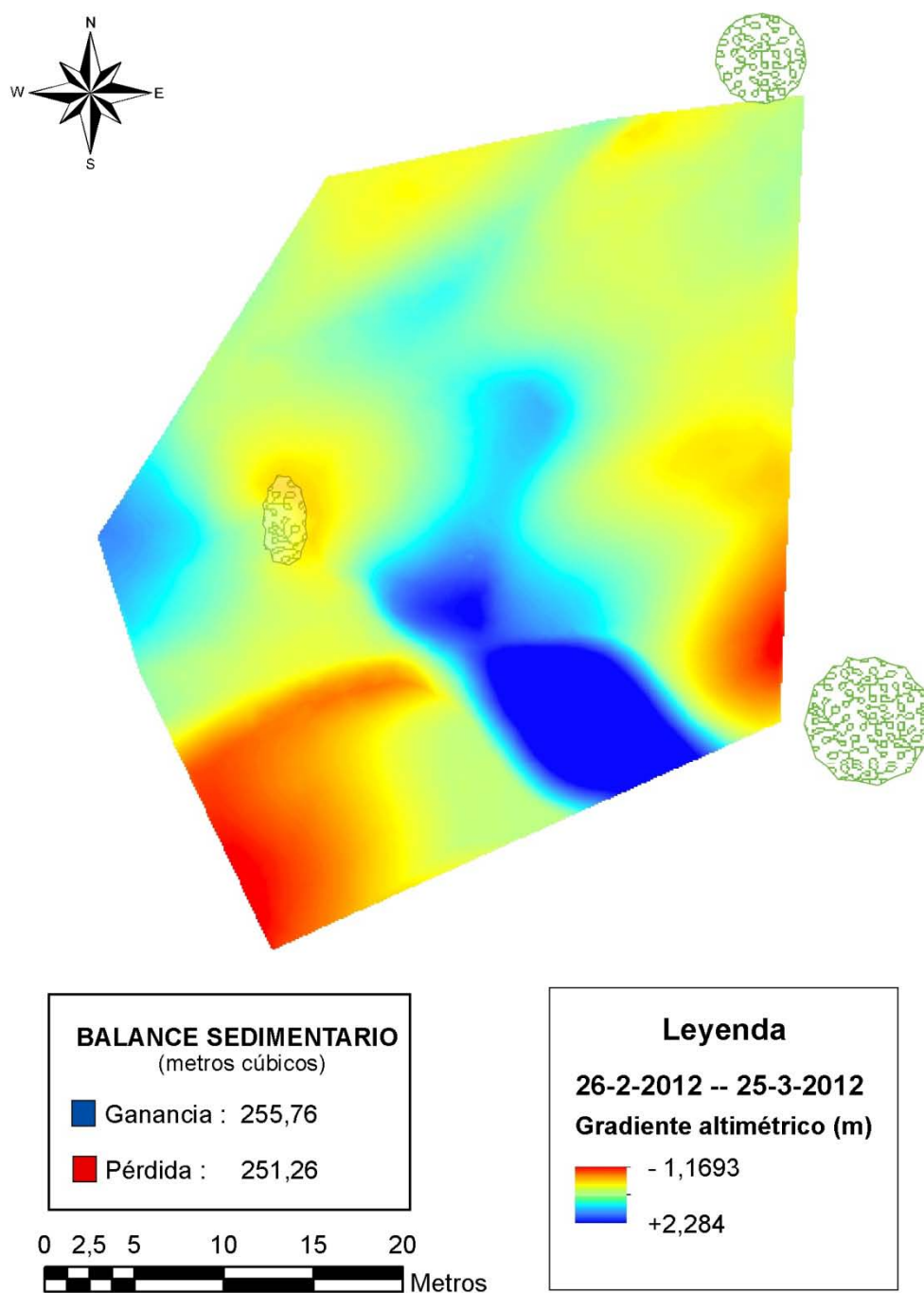


**Figura 386:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 15-08-2011 y el MDE del 15-09-2011

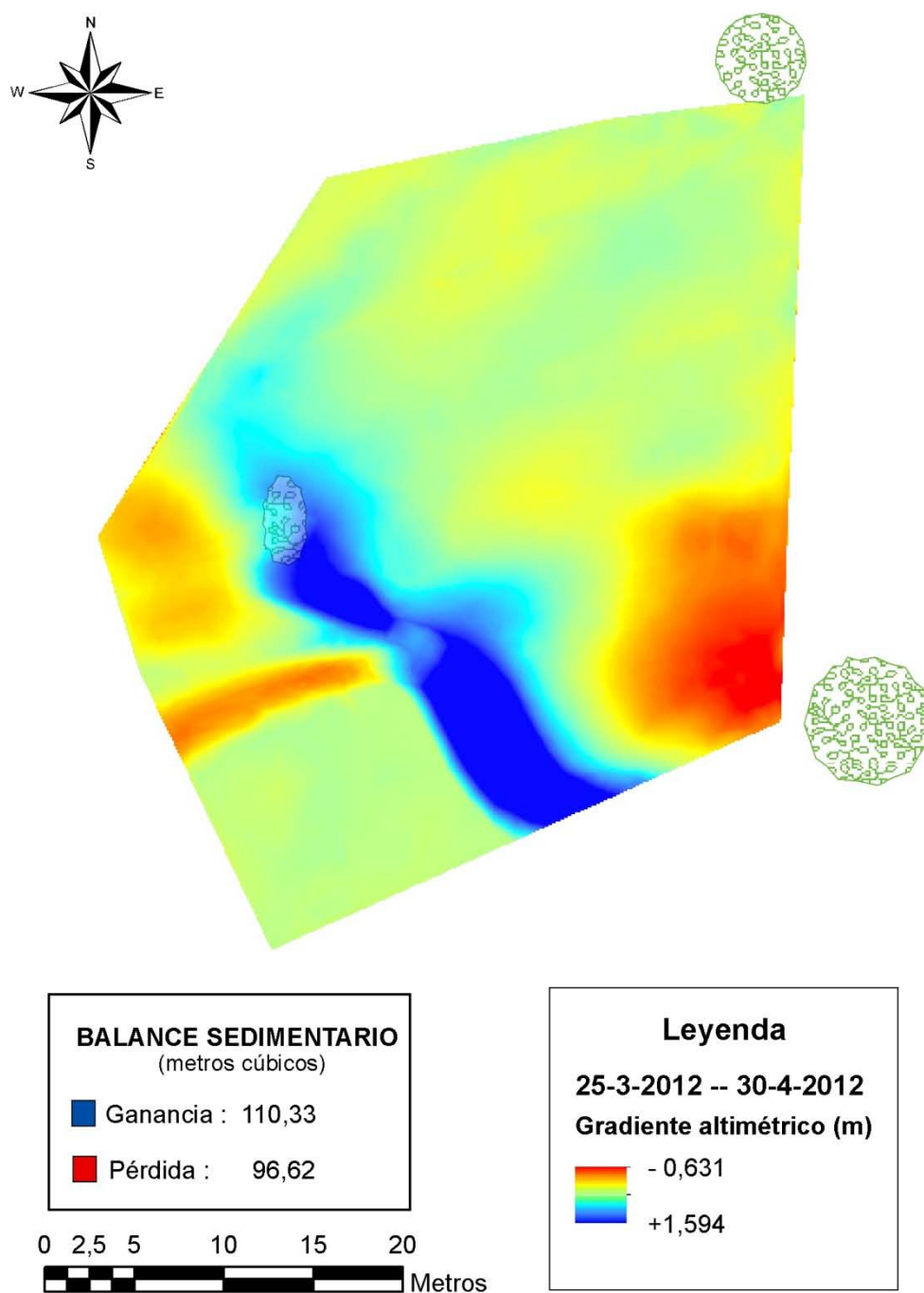


**Figura 387:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 16-10-2011 y el MDE del 17-11-2011.

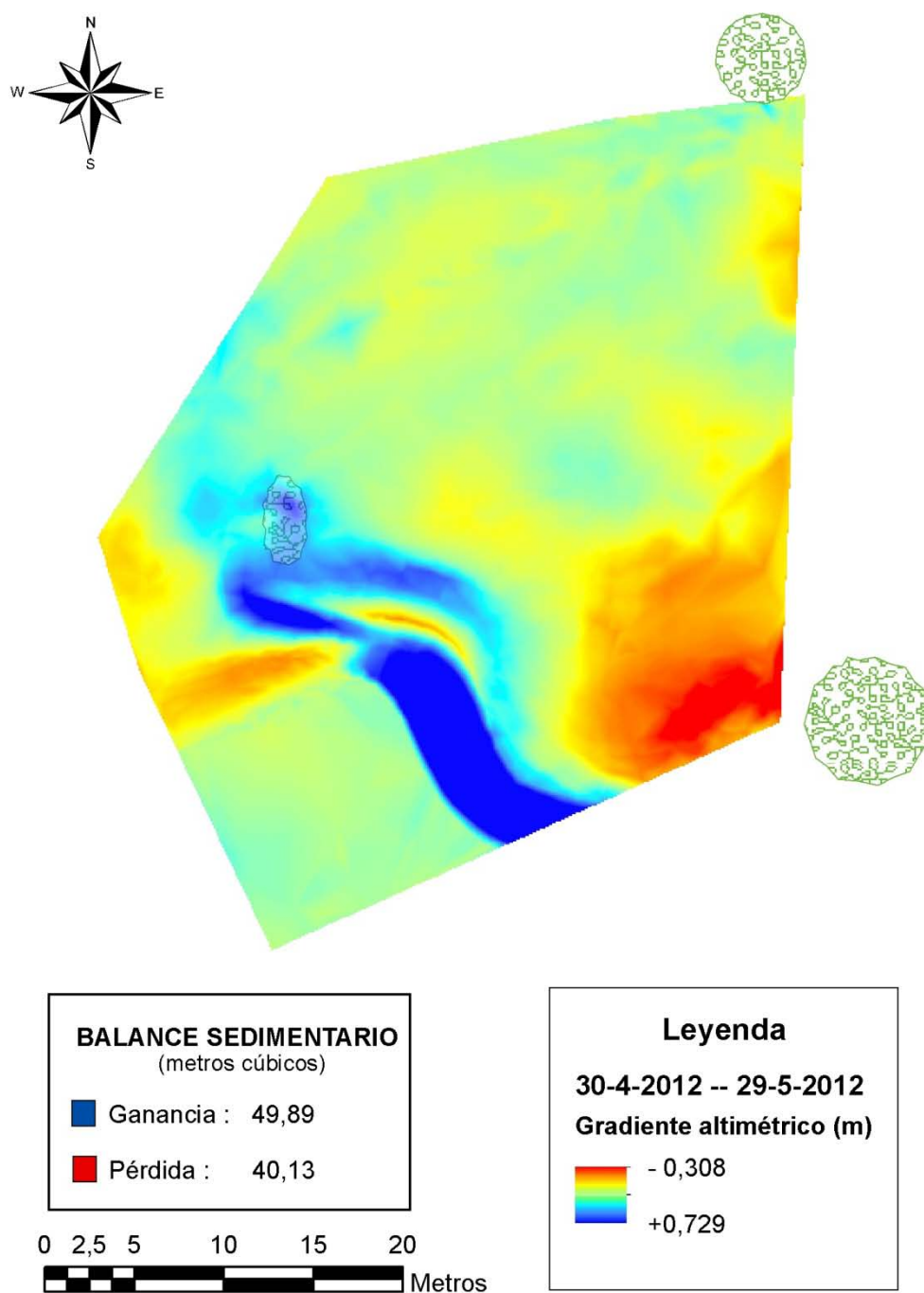




**Figura 388:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 26-02-2012 y el MDE del 25-03-2012.

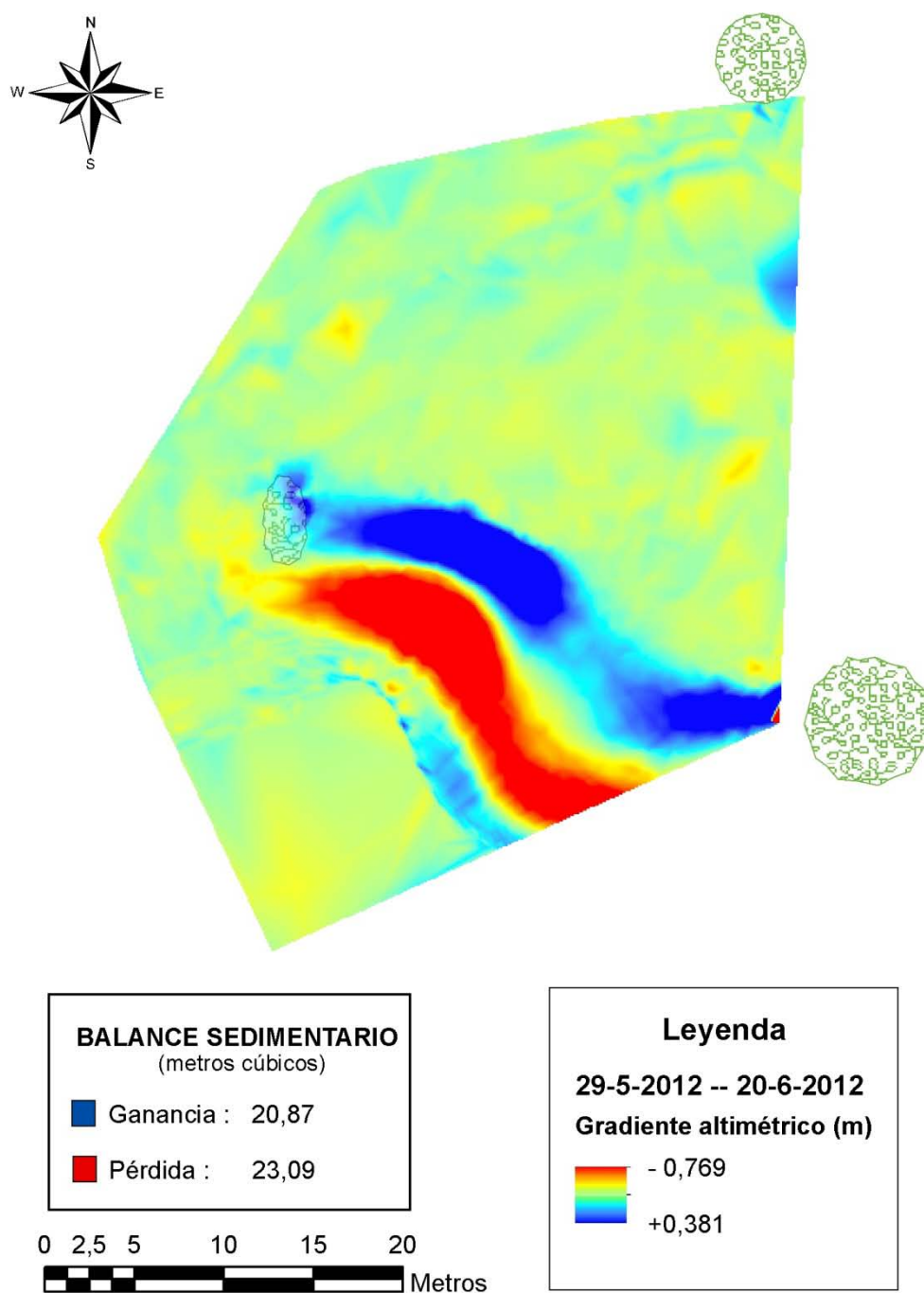


**Figura 389:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 25-03-2012 y el MDE del 30-04-2012.

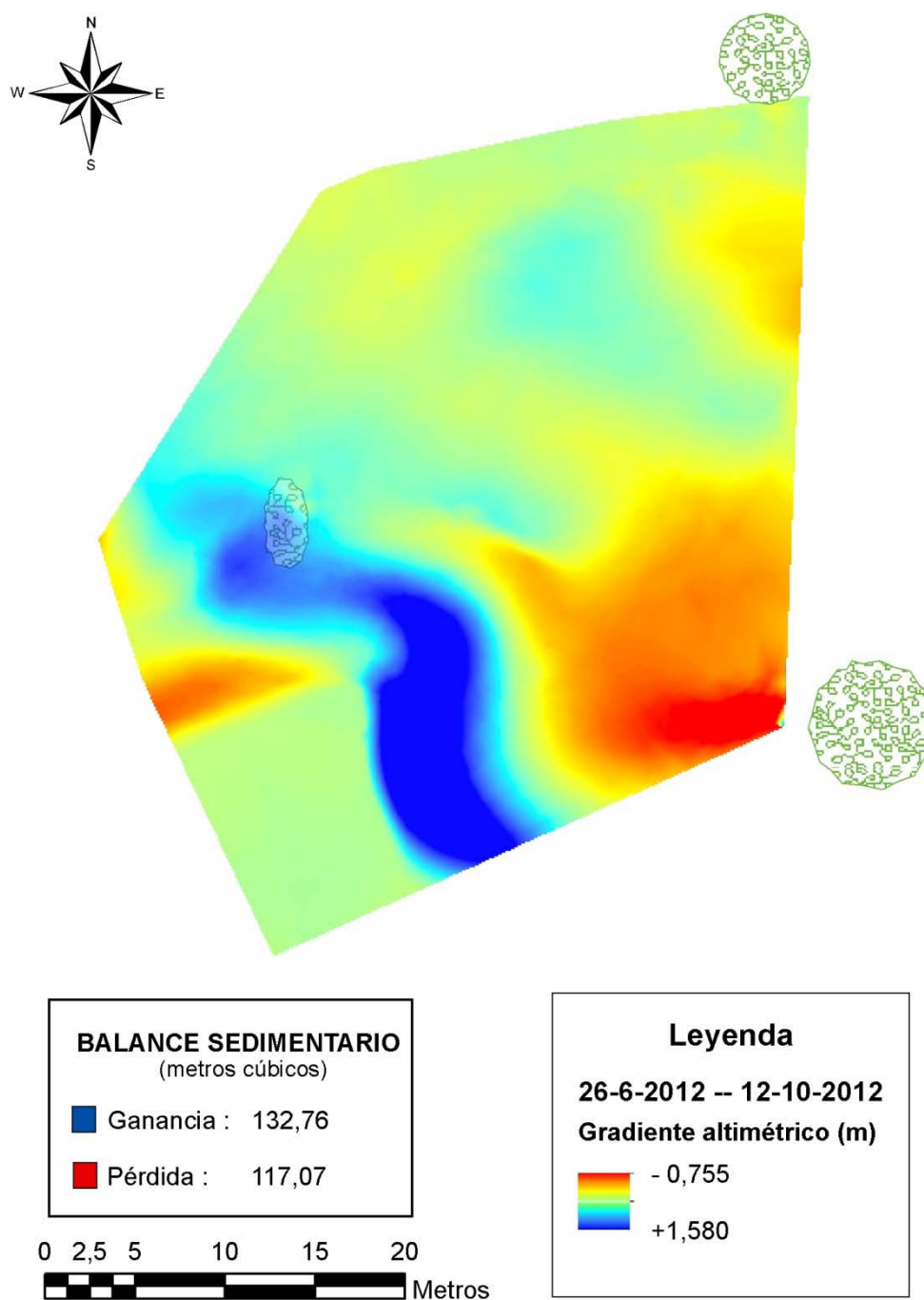


**Figura 390:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 30-04-2012 y el MDE del 29-05-2012.

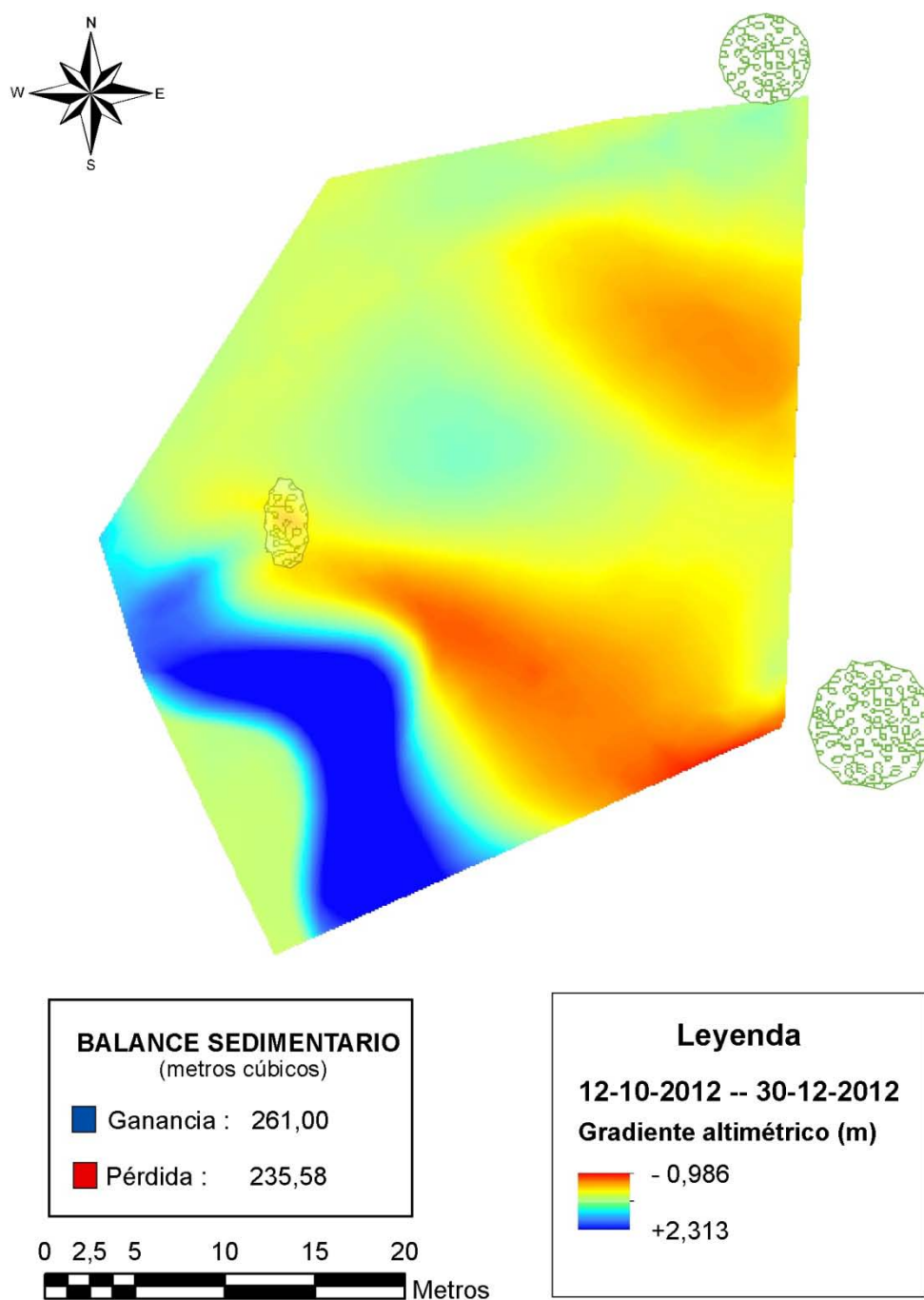




**Figura 391:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 29-05-2012 y el MDE del 20-06-2012.



**Figura 392:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 26-06-2012 y el MDE del 12-10-2012.

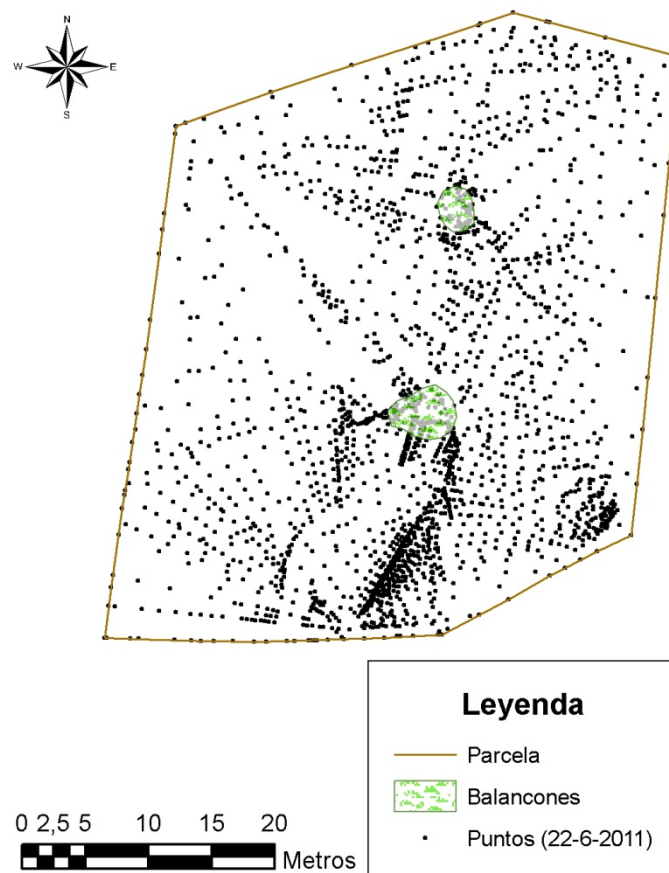


**Figura 393:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 12-10-2012 y el MDE del 30-12-2012.

### 6.3 ANEXO III: NUBE DE PUNTOS, MDES, PERFILES Y GRIDS DE LA PARCELA 2

22 de junio de 2011

Se tomaron 2221 puntos.



**Figura 394:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 22-06-2011 en la parcela 2.

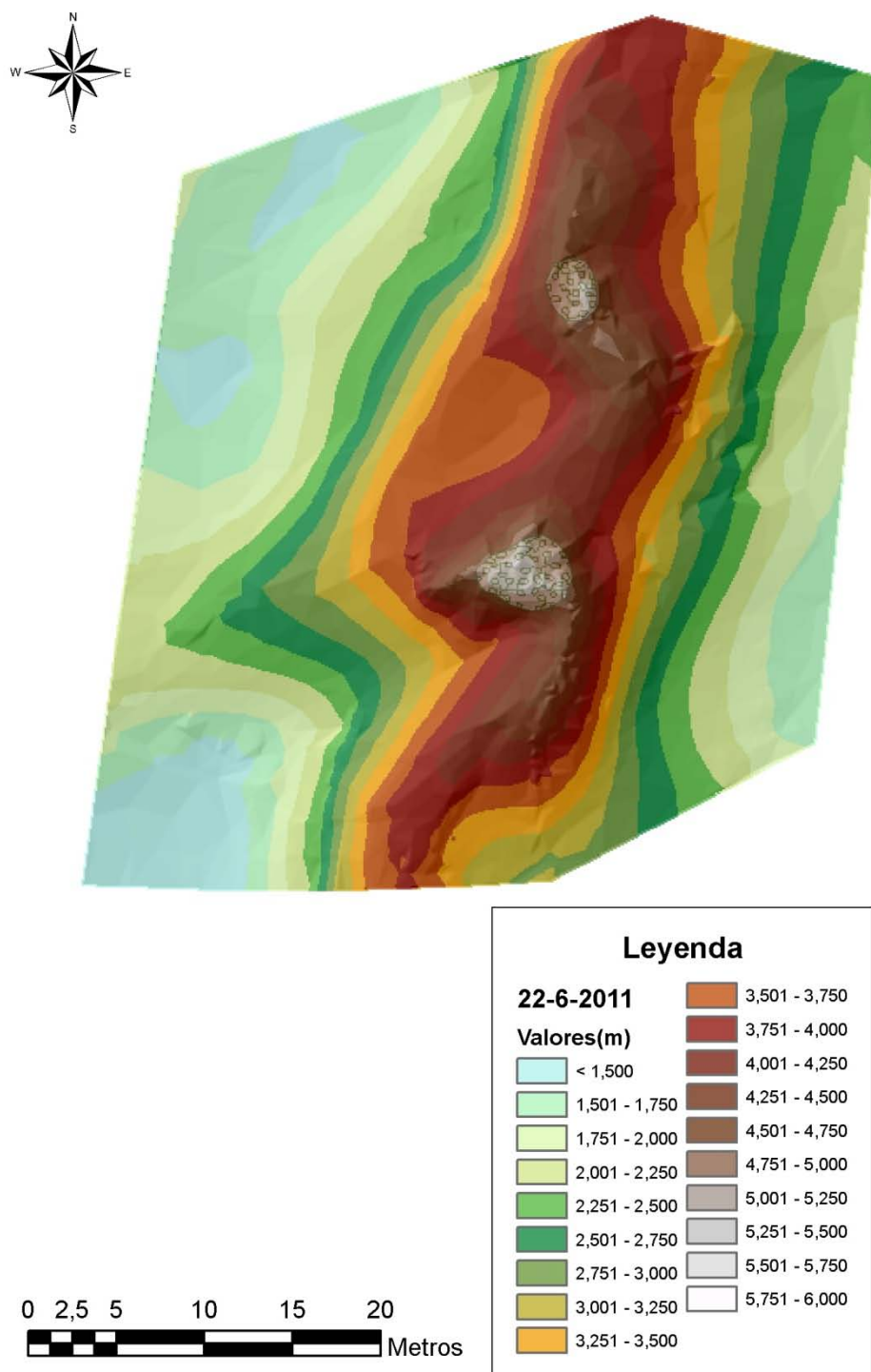
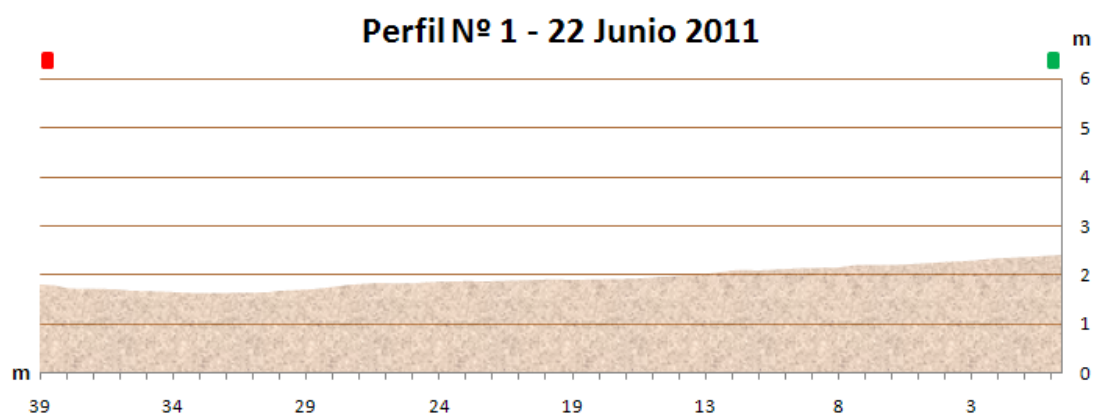
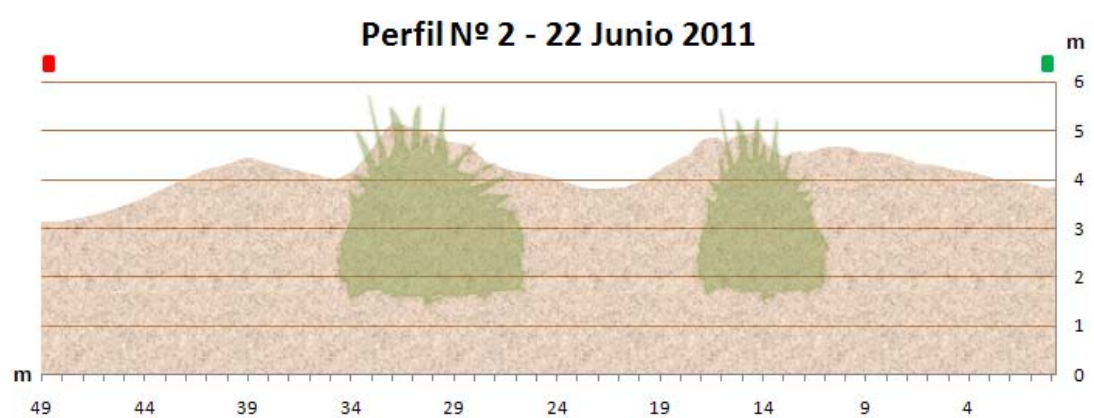


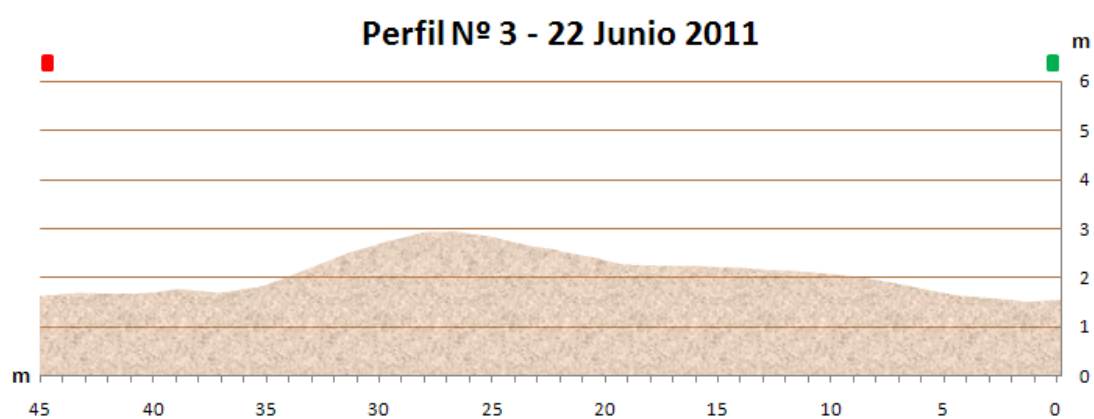
Figura 395: GRID correspondiente al MDE realizado el 22-06-2011.



**Figura 396:** Perfil nº 1 (22-06-2011).

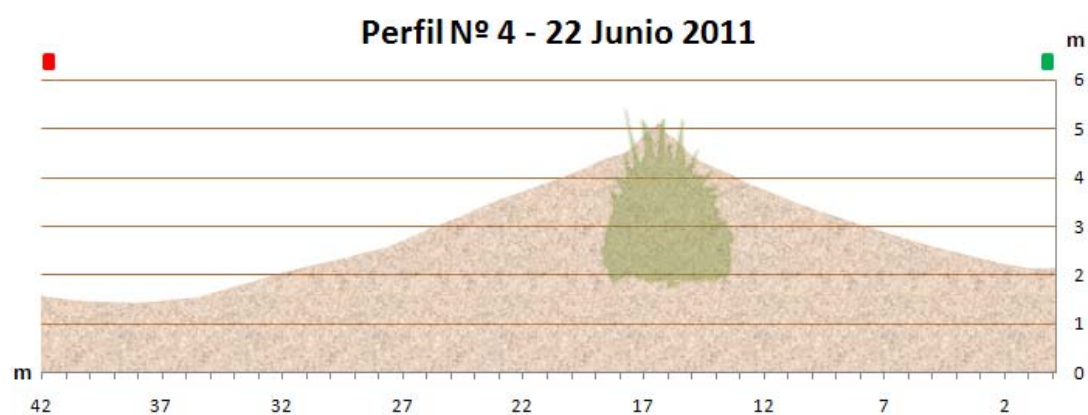


**Figura 397:** Perfil nº 2 (22-06-2011).

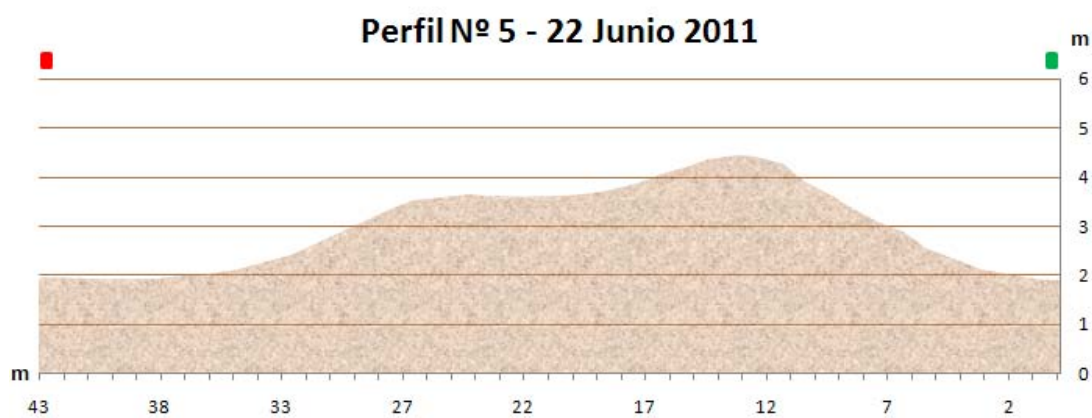


**Figura 398:** Perfil nº 3 (22-06-2011).

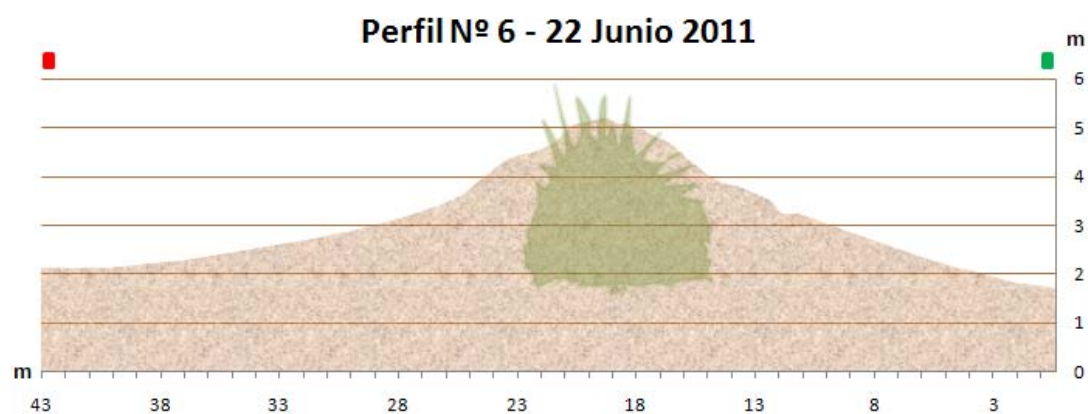




**Figura 399:** Perfil nº 4 (22-06-2011).



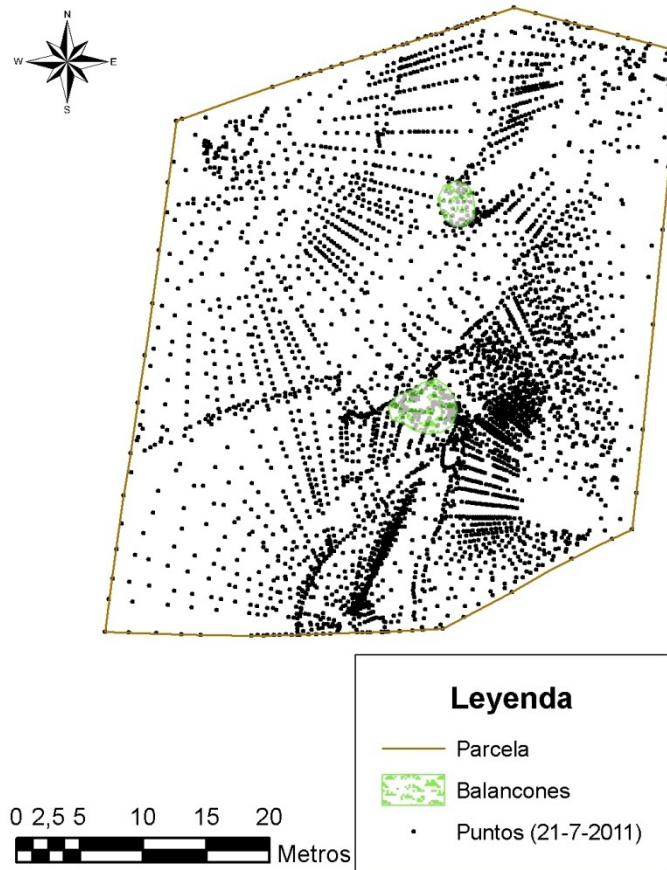
**Figura 400:** Perfil nº 5 (22-06-2011).



**Figura 401:** Perfil nº 6 (22-06-2011).

21 de julio de 2011

Se tomaron 4156 puntos.



**Figura 402:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 21-07-2011 en la parcela 2.



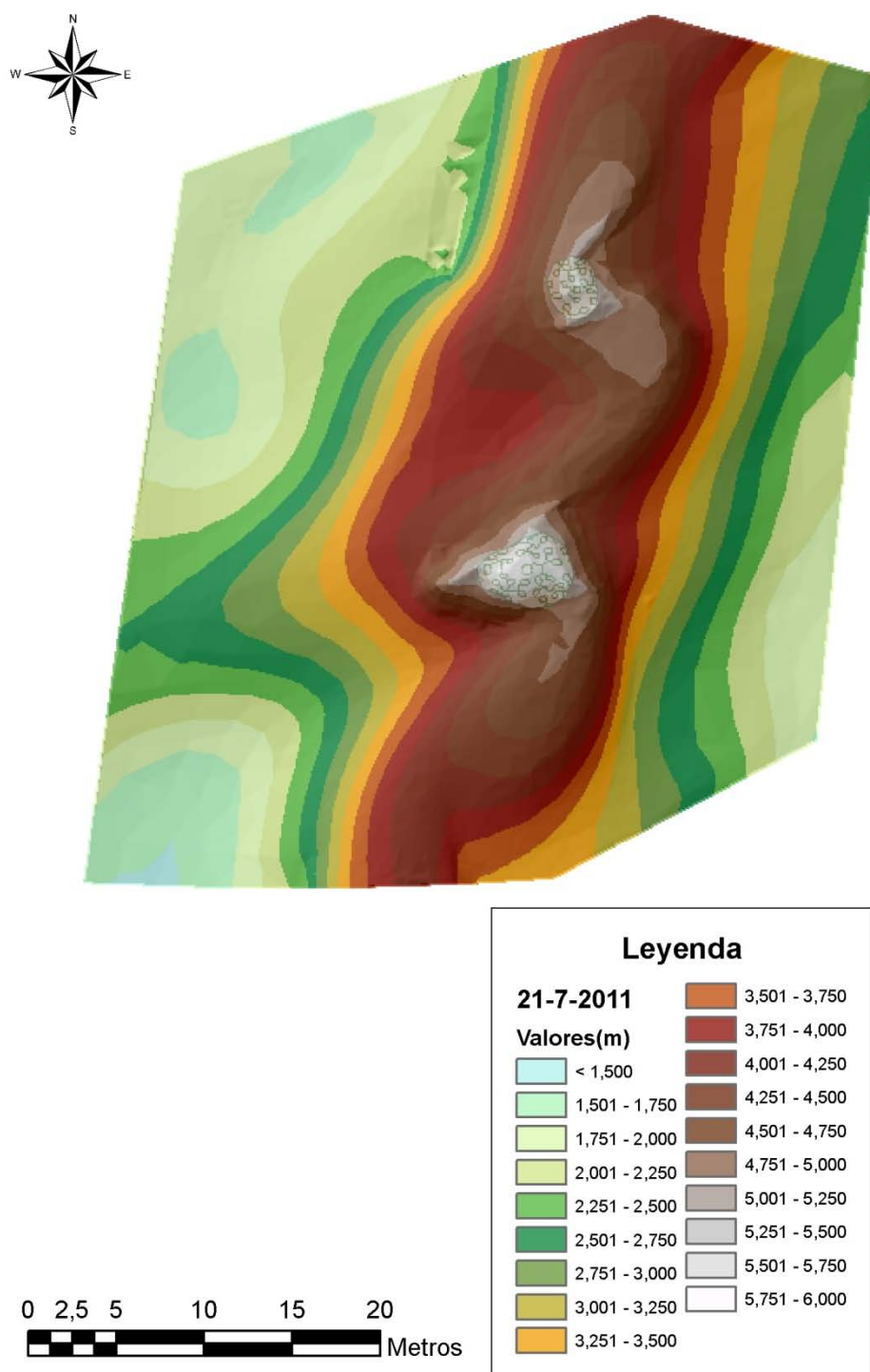
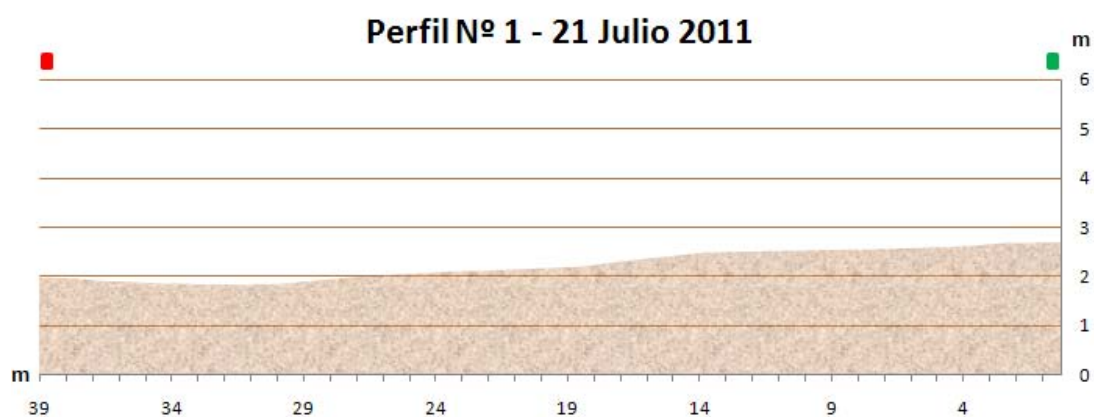
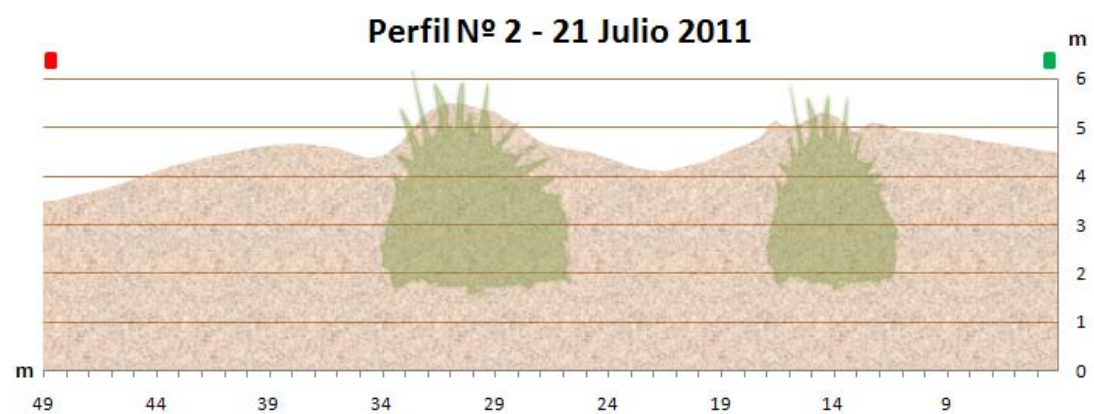


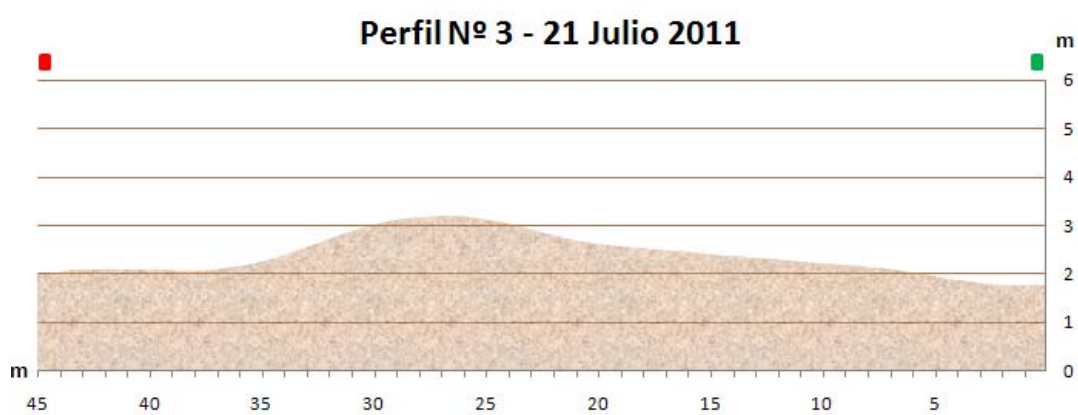
Figura 403: GRID correspondiente al MDE realizado el 21-07-2011.



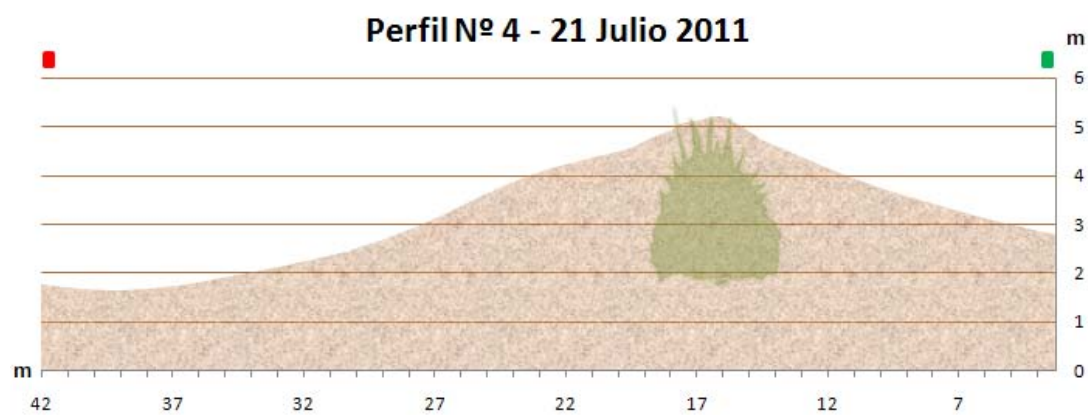
**Figura 404:** Perfil n° 1 (21-07-2011).



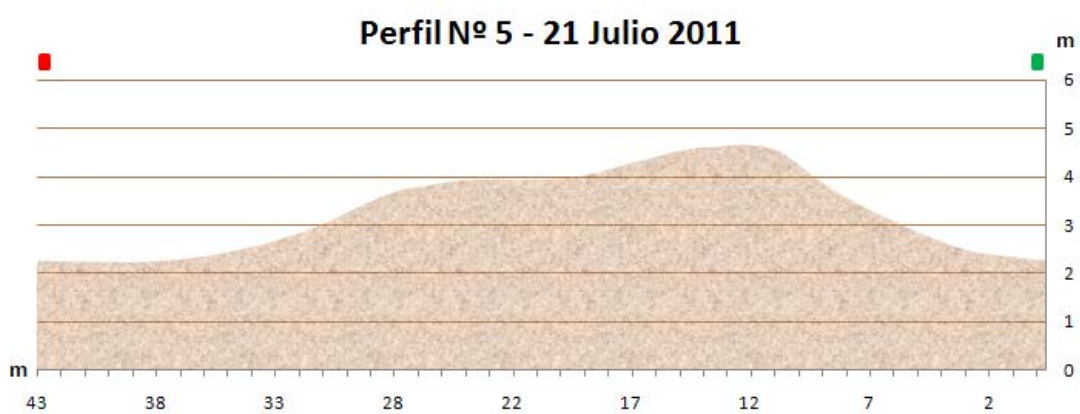
**Figura 405:** Perfil n° 2 (21-07-2011).



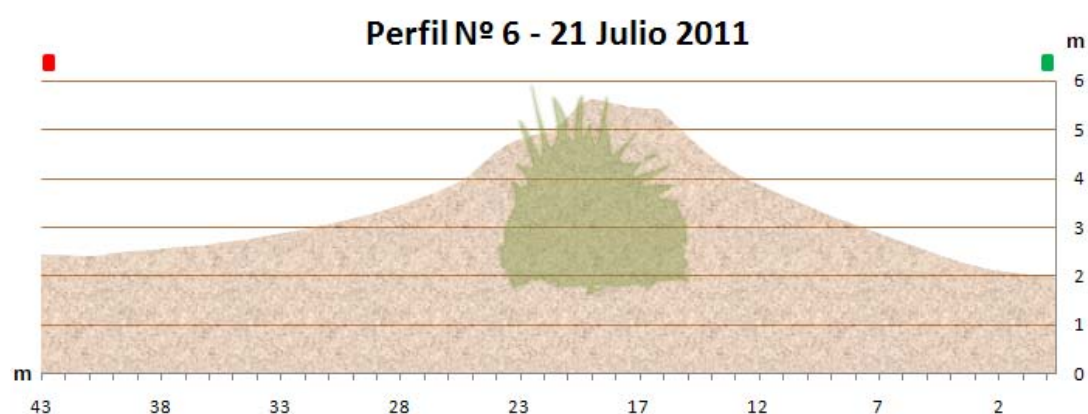
**Figura 406:** Perfil n° 3 (21-07-2011).



**Figura 407:** Perfil n° 4 (21-07-2011).



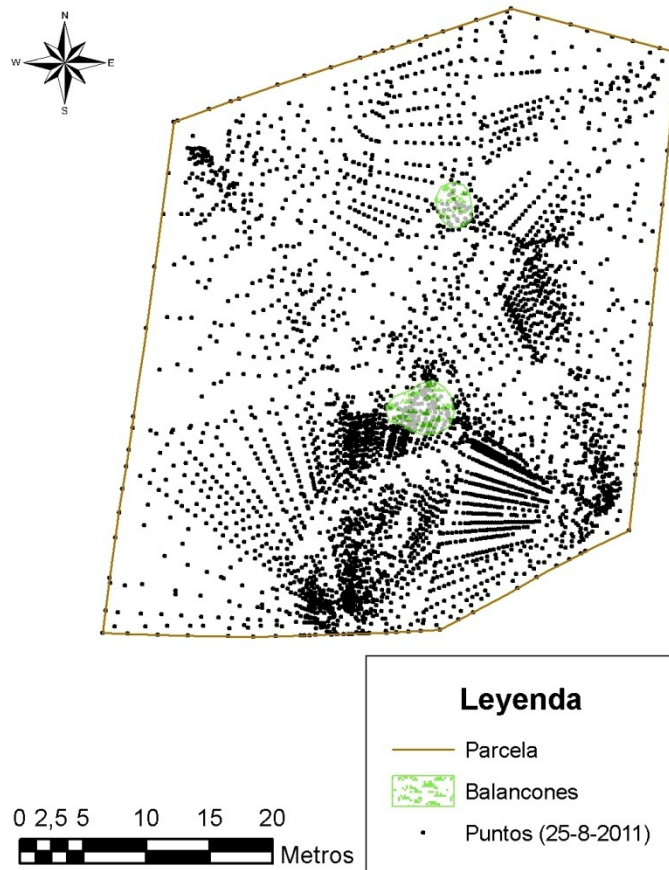
**Figura 408:** Perfil n° 5 (21-07-2011).



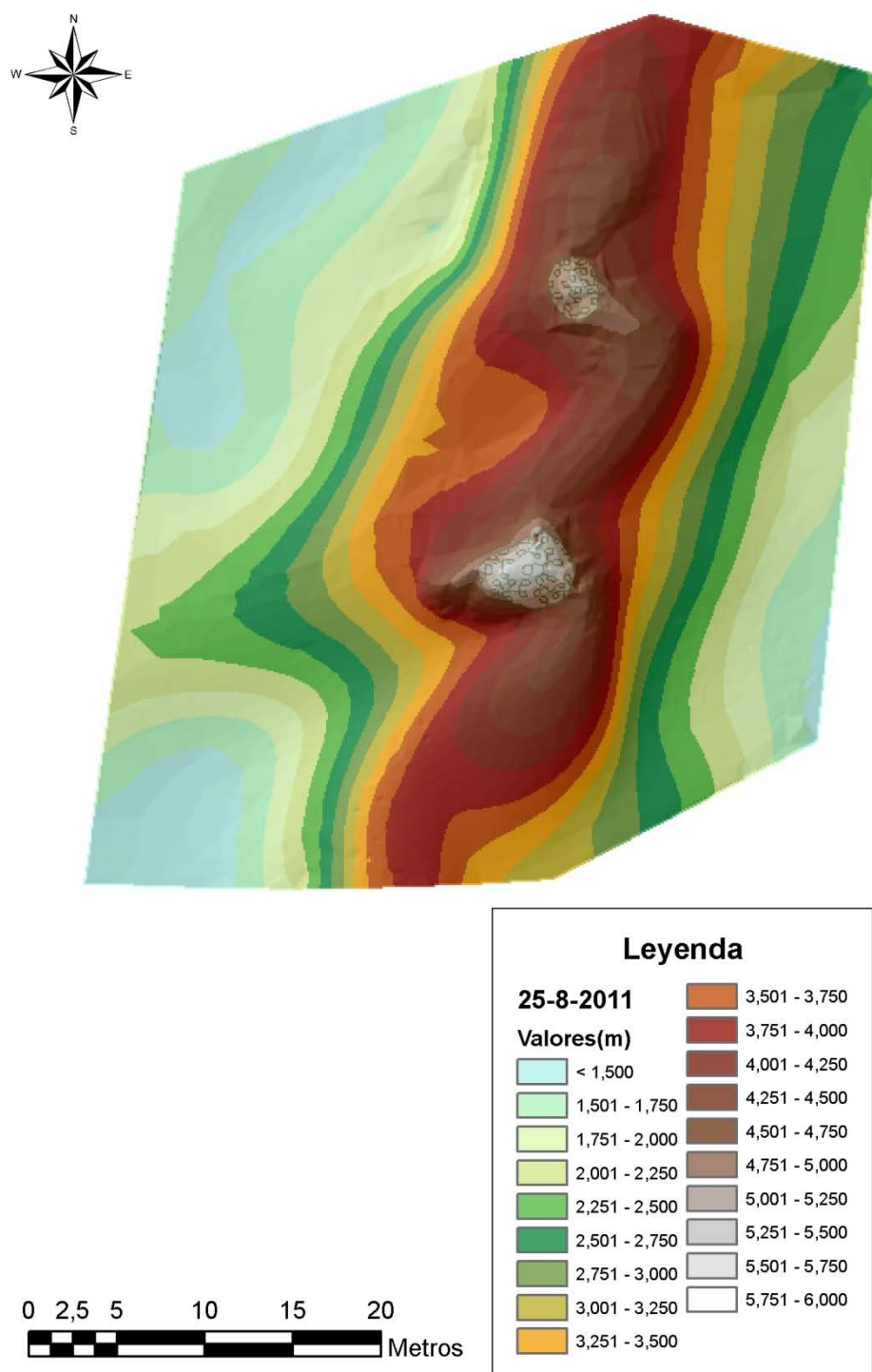
**Figura 409:** Perfil n° 6 (21-07-2011).

25 de agosto de 2011

Se tomaron 4015 puntos.

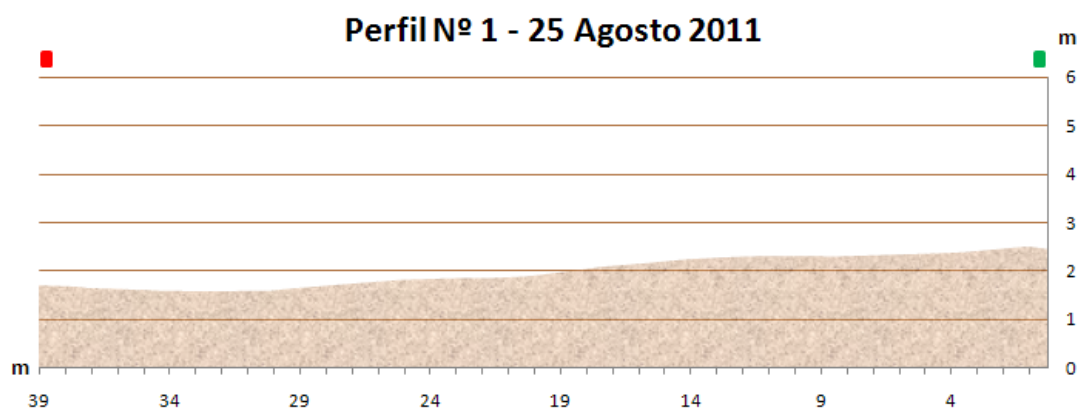


**Figura 410:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 25-08-2011 en la parcela 2.

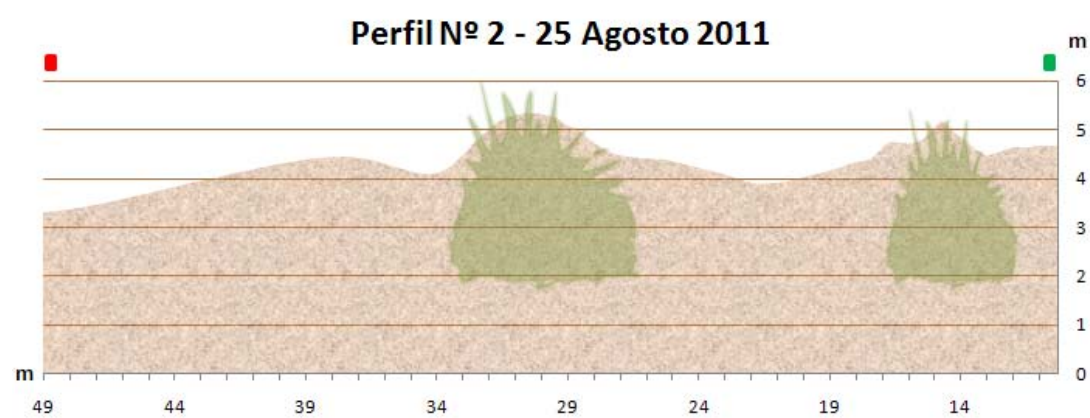


**Figura 411:** GRID correspondiente al MDE realizado el 25-08-2011.

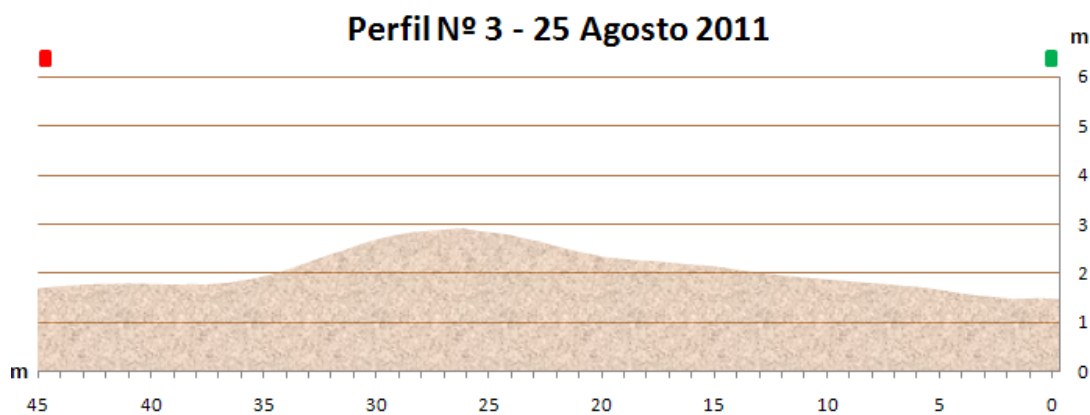




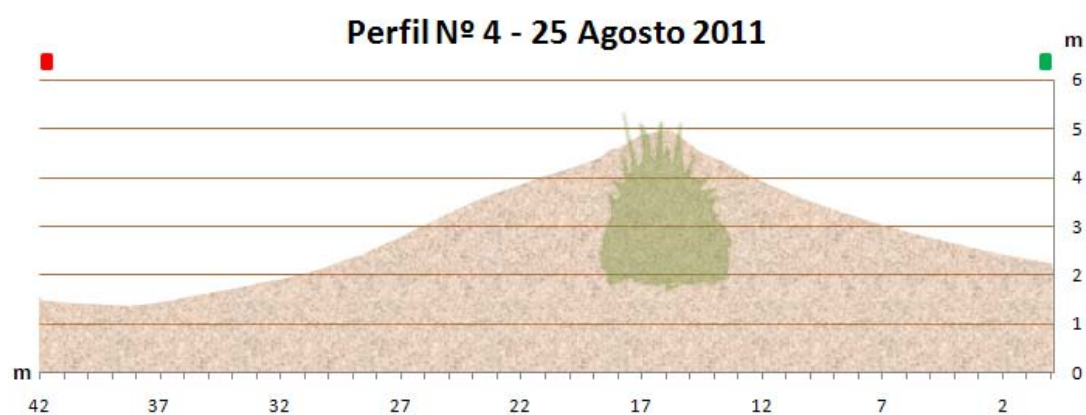
**Figura 412:** Perfil n° 1 (25-08-2011).



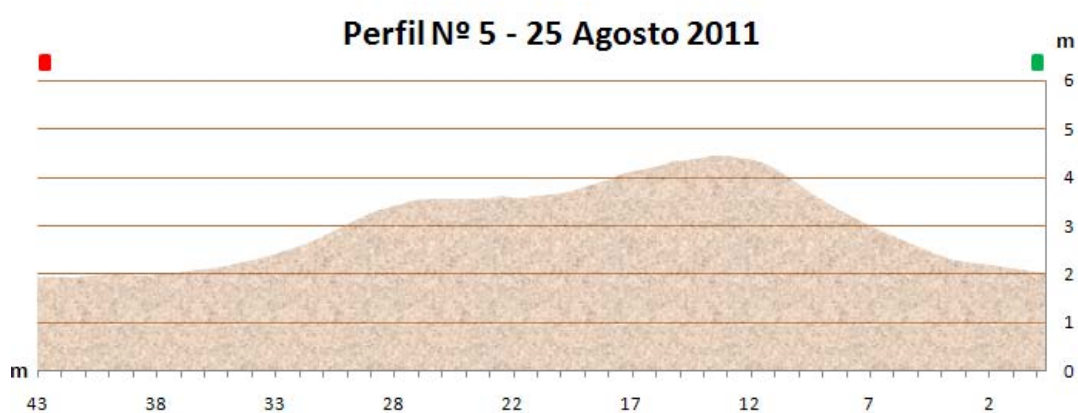
**Figura 413:** Perfil n° 2 (25-08-2011).



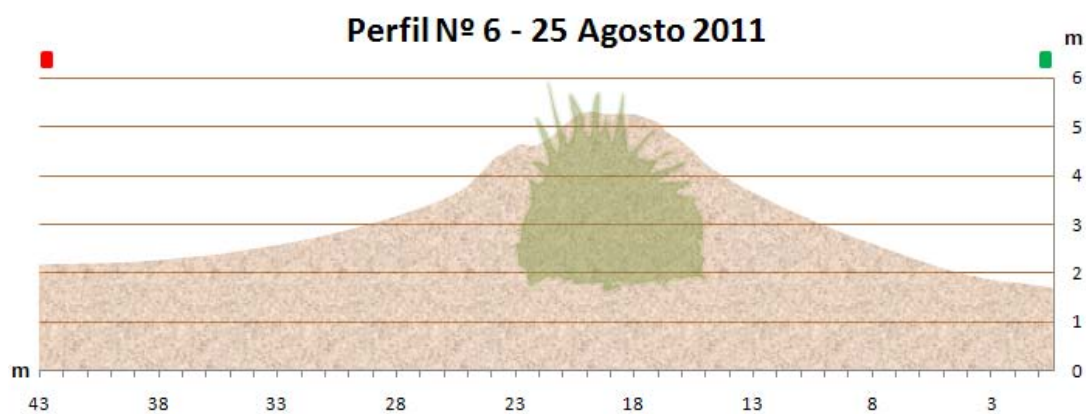
**Figura 414:** Perfil n° 3 (25-08-2011).



**Figura 415:** Perfil n° 4 (25-08-2011).



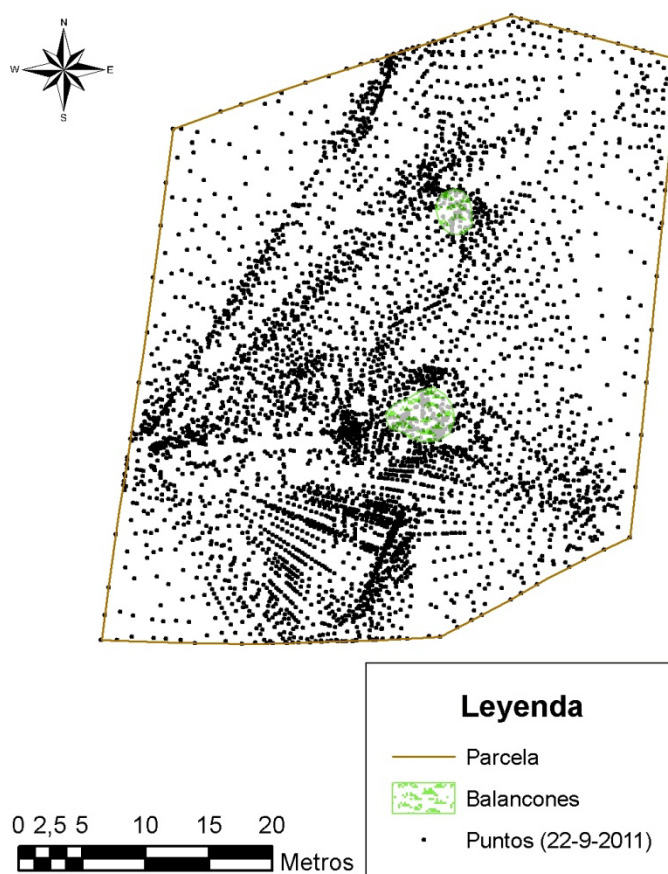
**Figura 416:** Perfil n° 5 (25-08-2011).



**Figura 417:** Perfil n° 6 (25-08-2011).

22 de septiembre de 2011

Se tomaron 4675 puntos.



**Figura 418:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 22-09-2011 en la parcela 2.



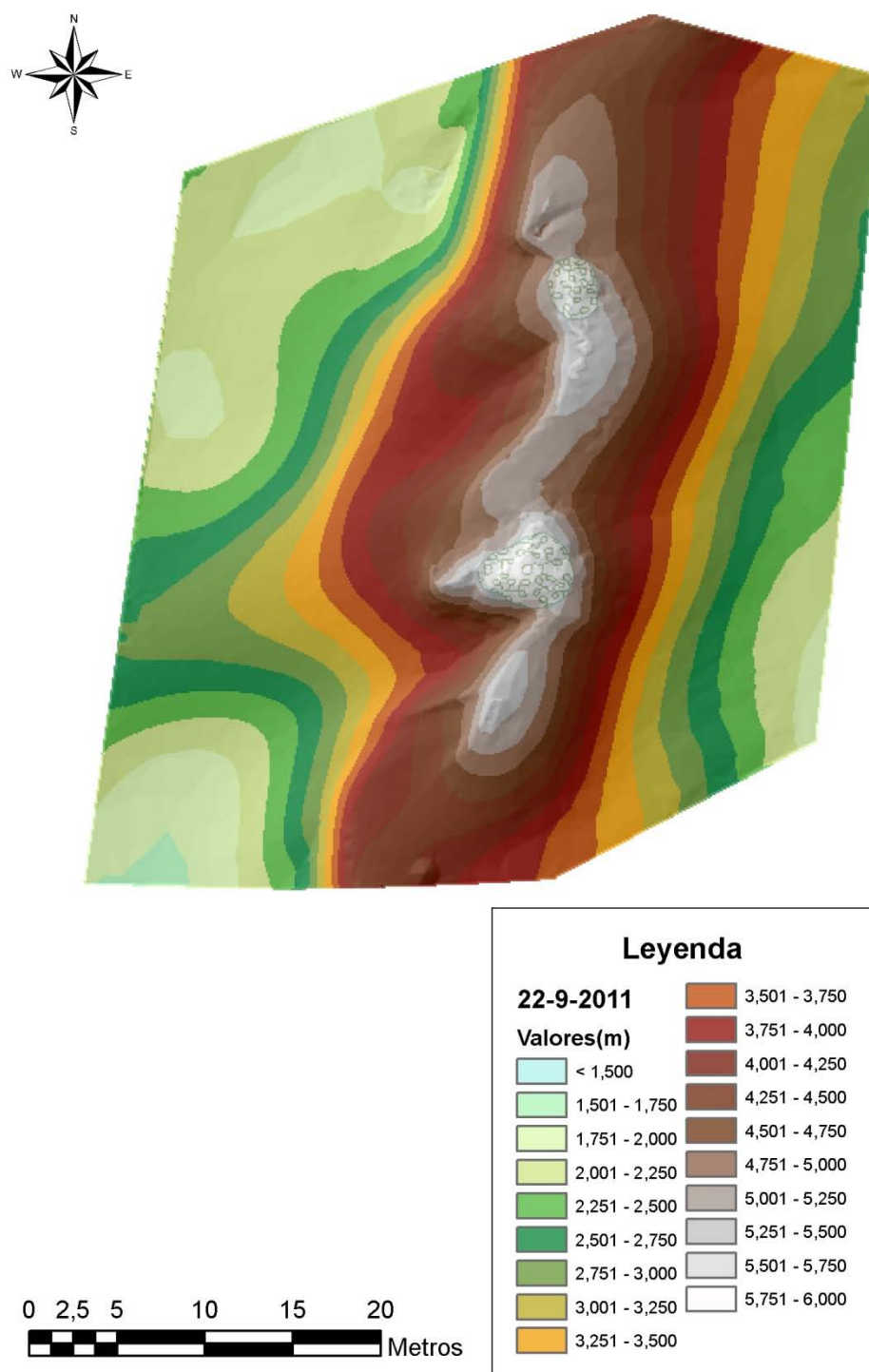
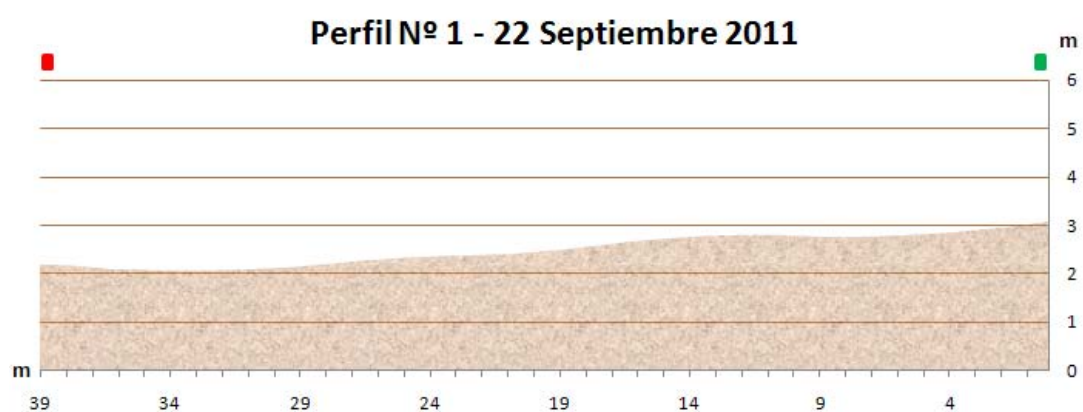
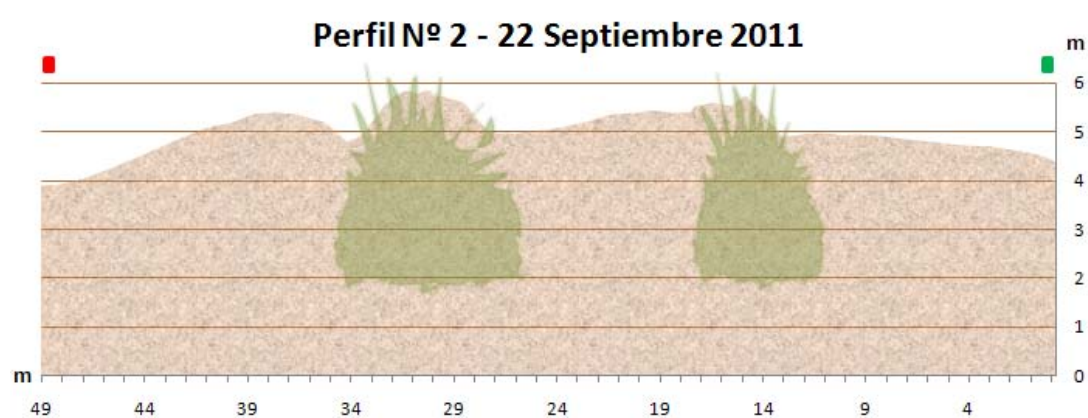


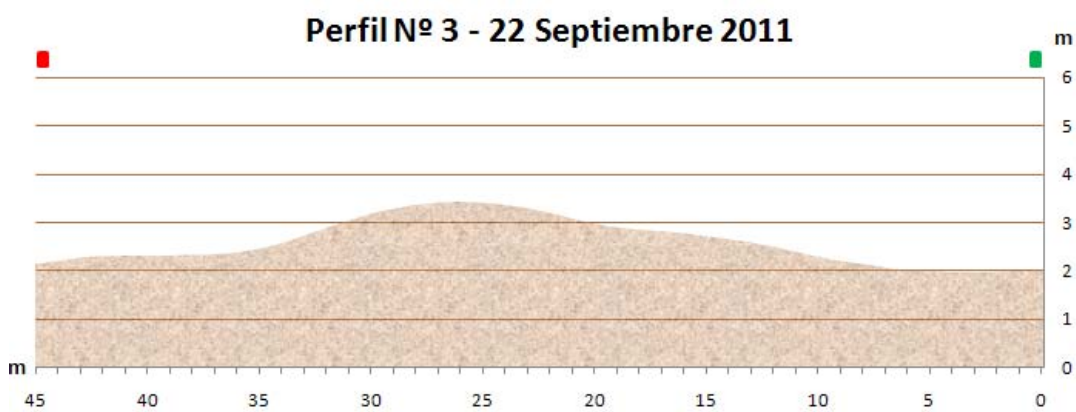
Figura 419: GRID correspondiente al MDE realizado el 22-09-2011.



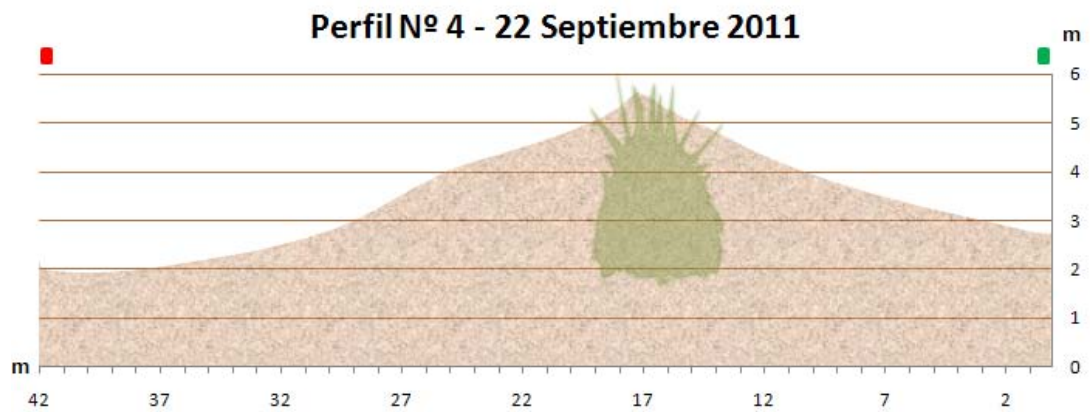
**Figura 420:** Perfil n° 1 (22-09-2011).



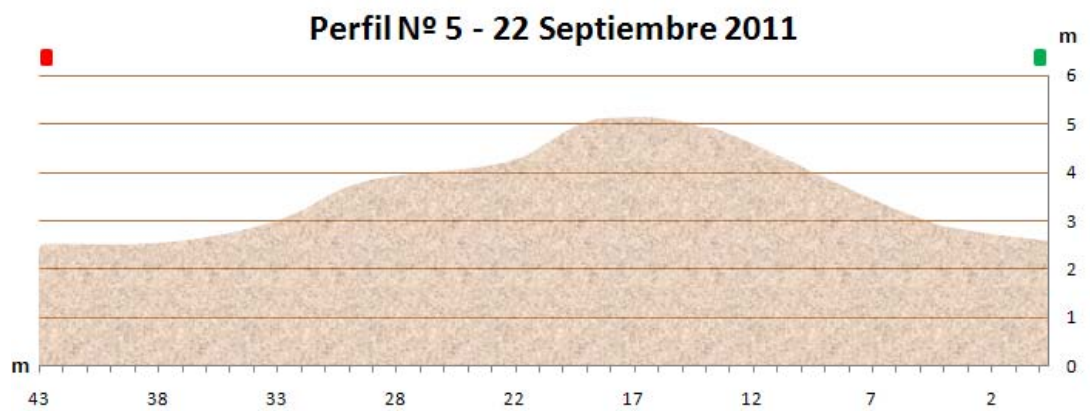
**Figura 421:** Perfil n° 2 (22-09-2011).



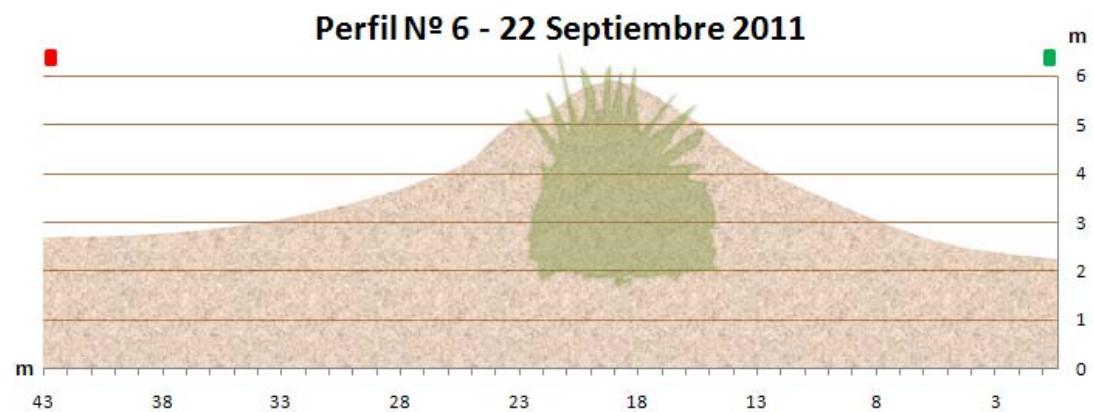
**Figura 422:** Perfil n° 3 (22-09-2011).



**Figura 423:** Perfil n° 4 (22-09-2011).



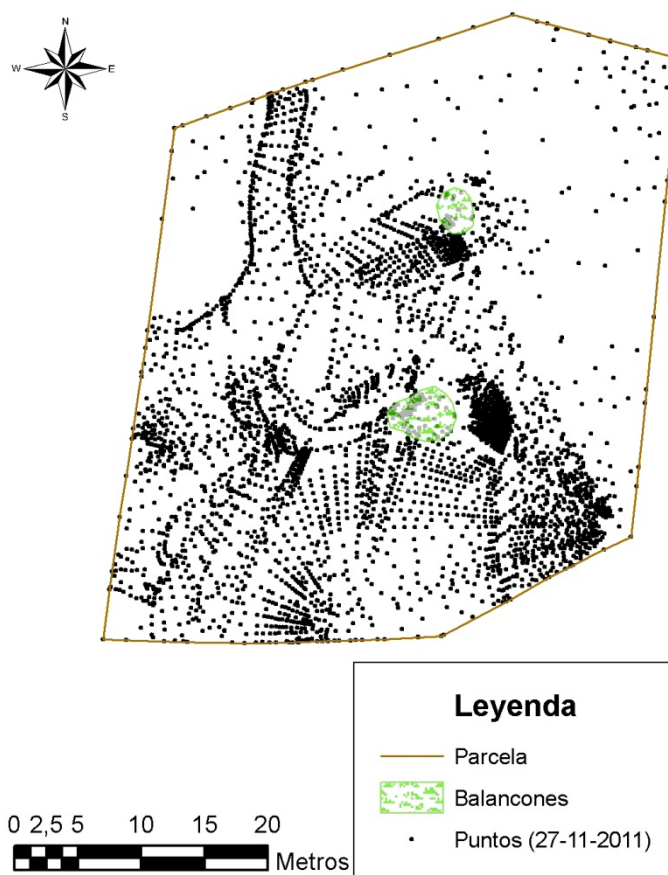
**Figura 424:** Perfil n° 5 (22-09-2011).



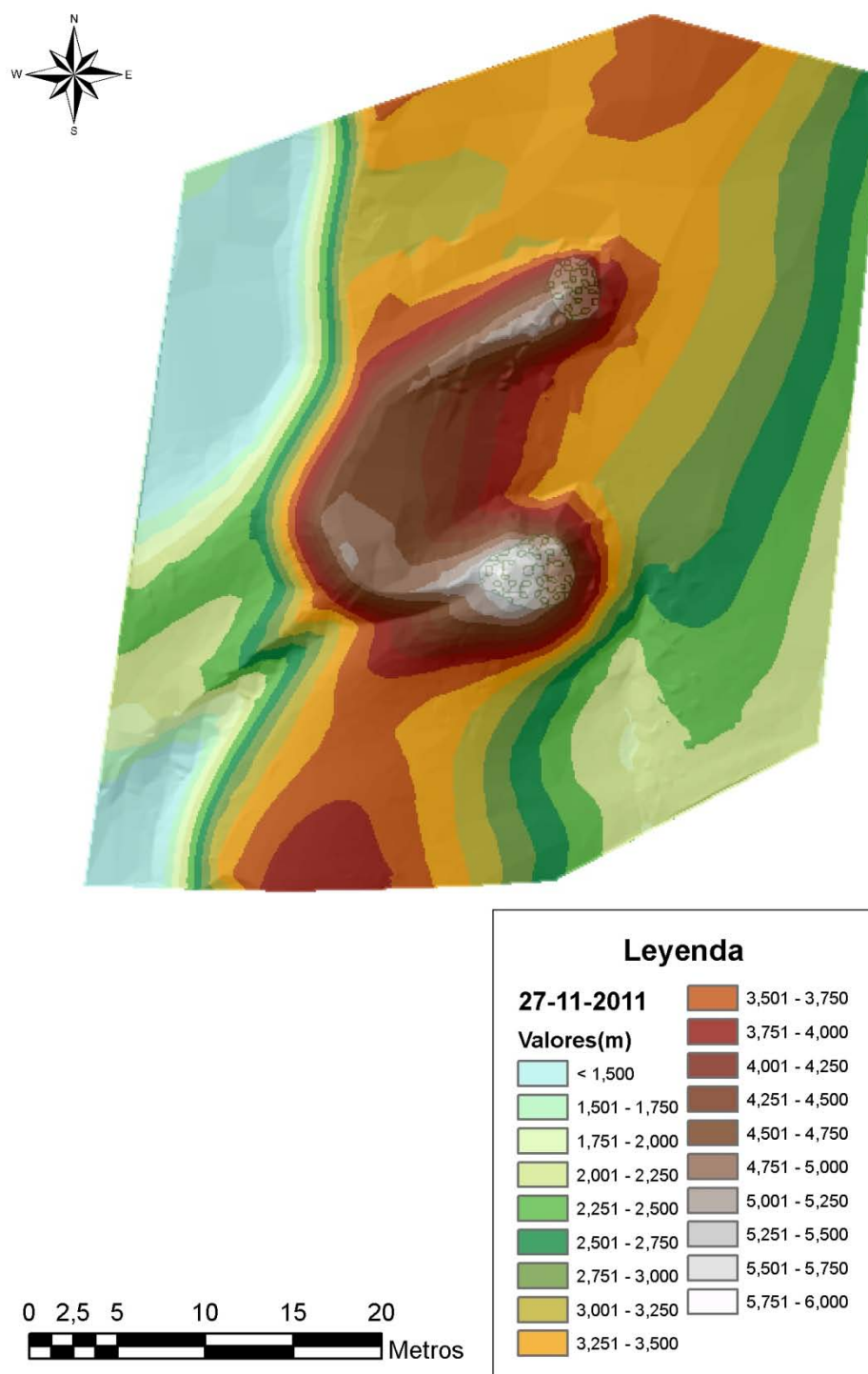
**Figura 425:** Perfil n° 6 (22-09-2011).

27 de noviembre de 2011

Se tomaron 4025 puntos.

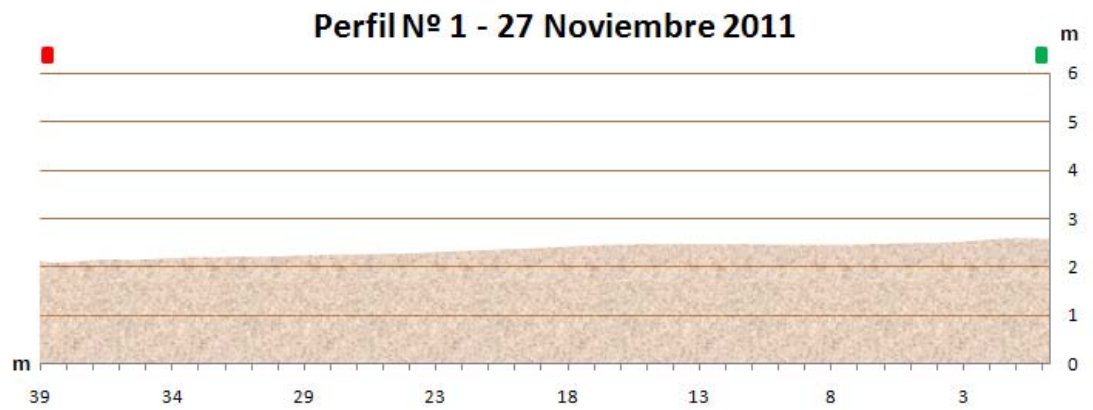


**Figura 426:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 27-11-2011 en la parcela 2.

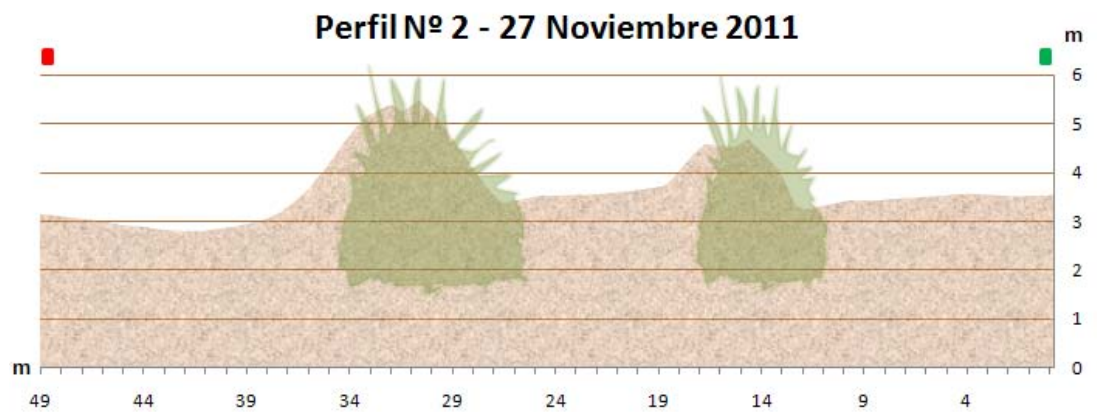


**Figura 427:** GRID correspondiente al MDE realizado el 27-11-2011.

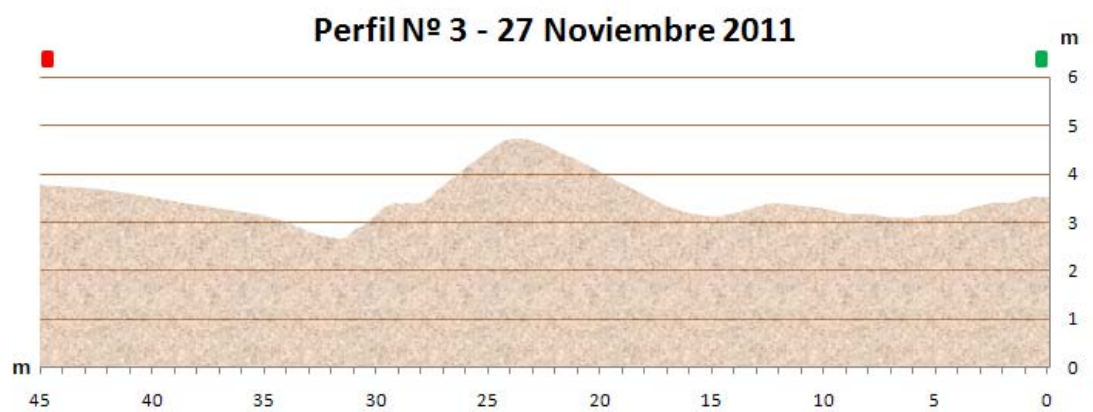




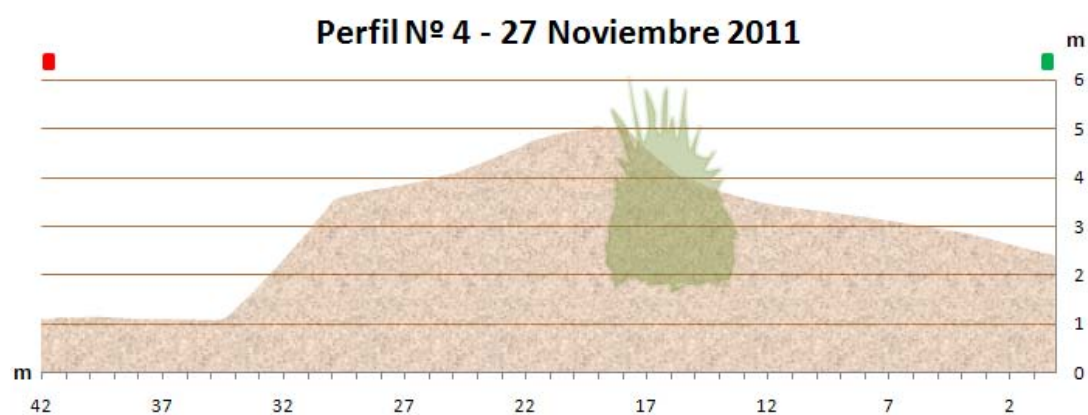
**Figura 428:** Perfil n° 1 (27-11-2011).



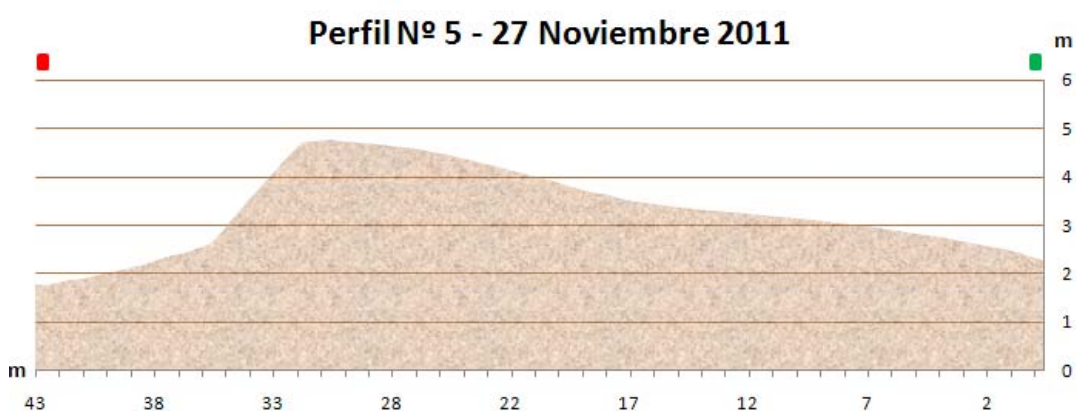
**Figura 429:** Perfil n° 2 (27-11-2011).



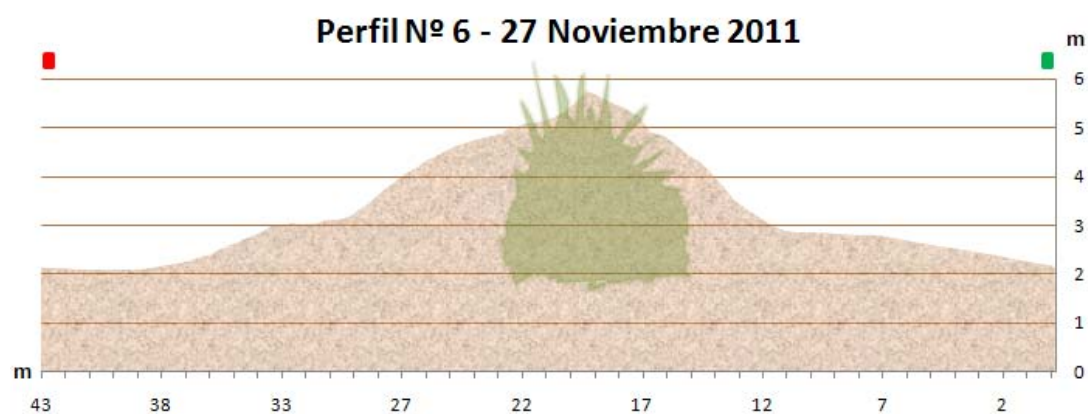
**Figura 430:** Perfil n° 3 (27-11-2011).



**Figura 431:** Perfil n° 4 (27-11-2011).



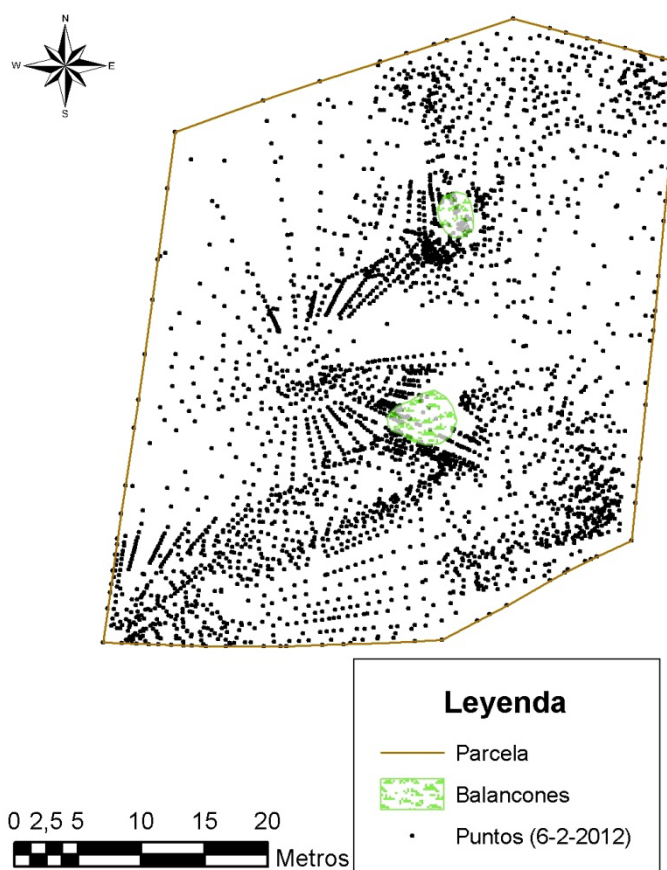
**Figura 432:** Perfil n° 5 (27-11-2011).



**Figura 433:** Perfil n° 6 (27-11-2011).

6 de febrero de 2012

Se tomaron 3070 puntos.



**Figura 434:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 06-02-2012 en la parcela 2.



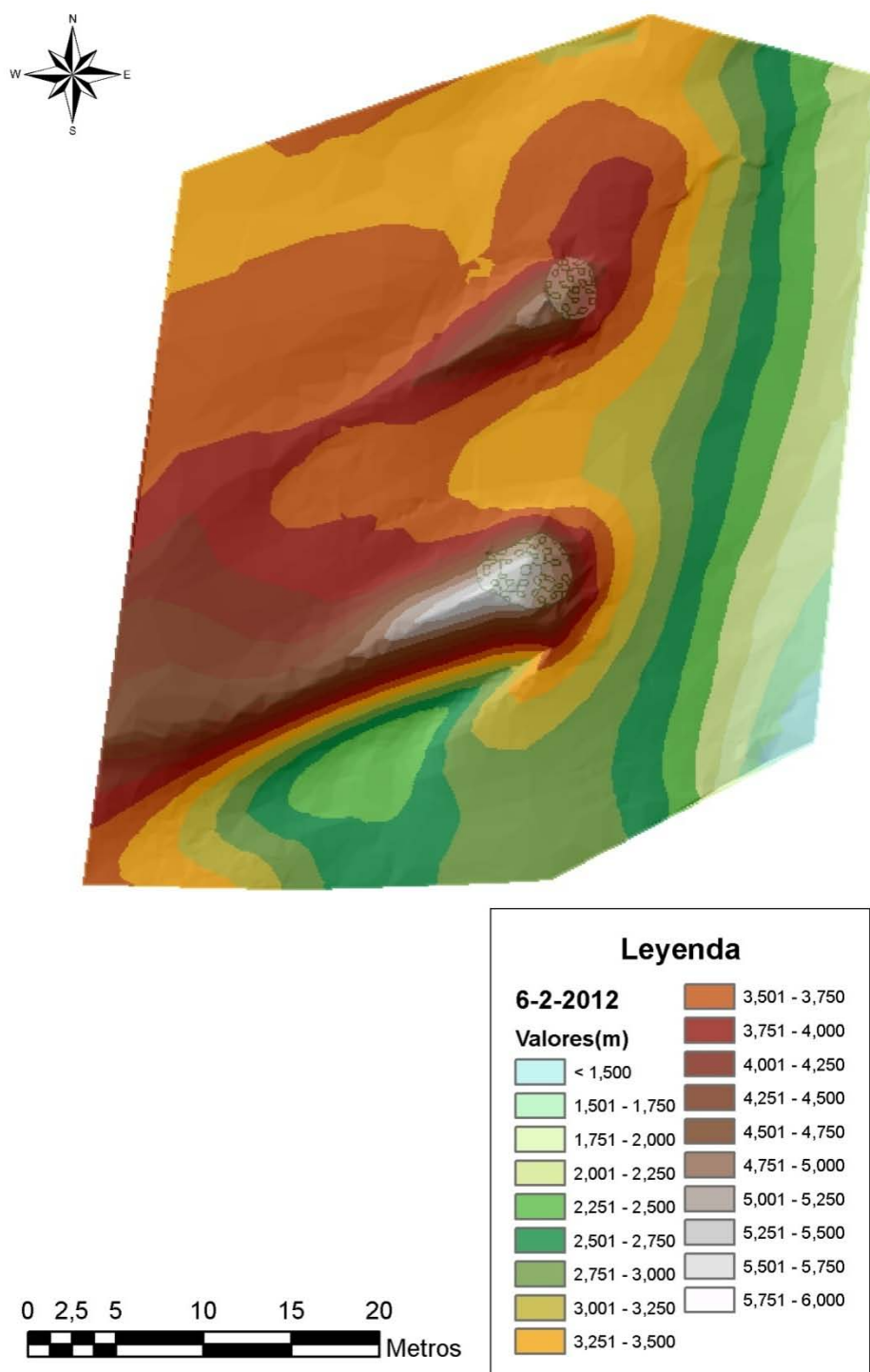
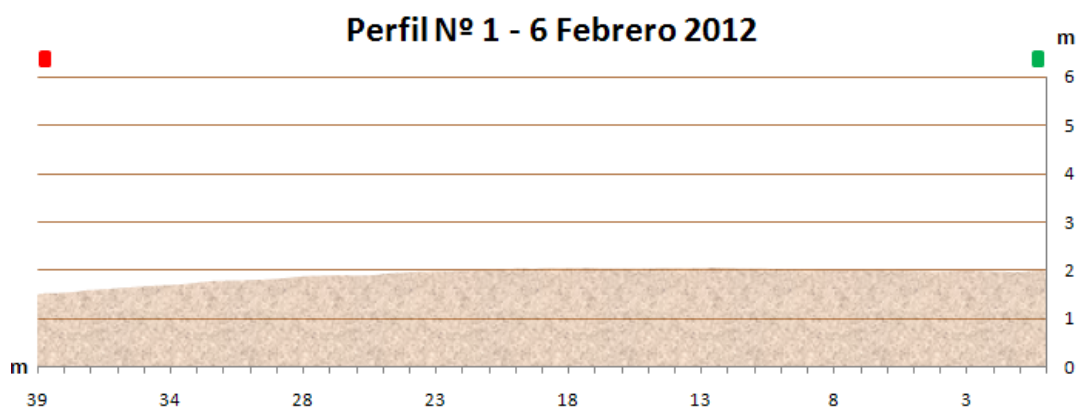
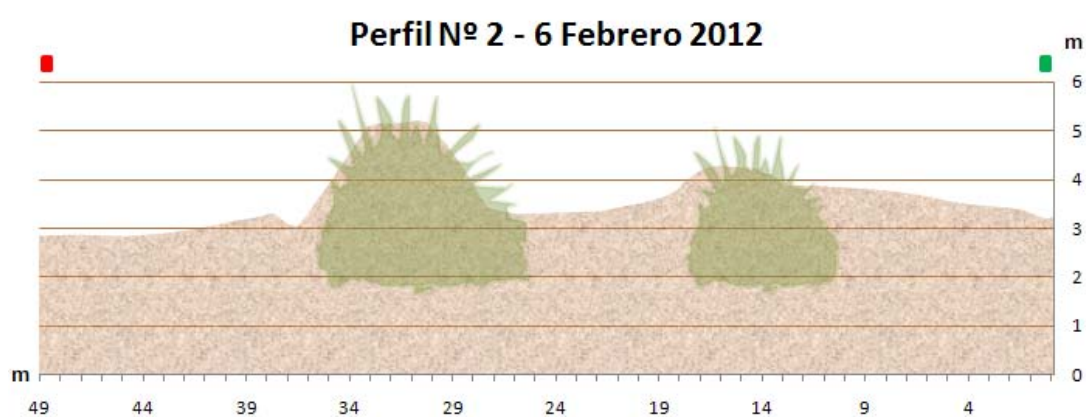


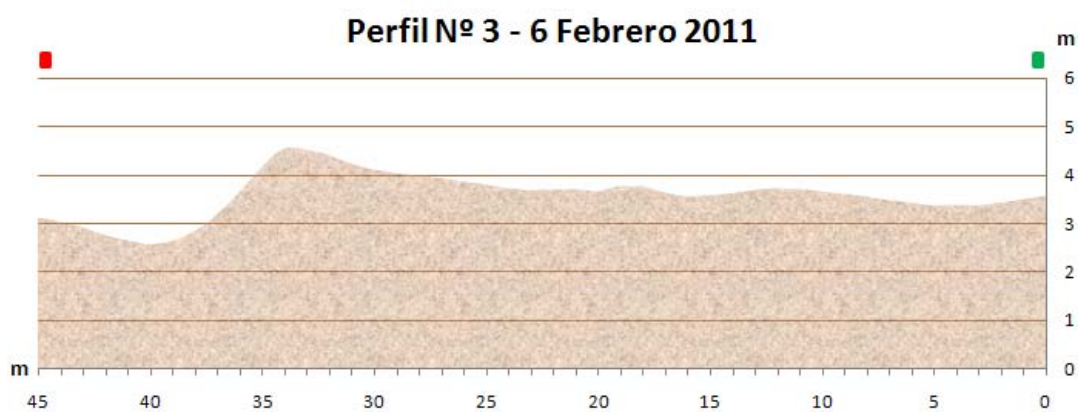
Figura 435: GRID correspondiente al MDE realizado el 06-02-2012.



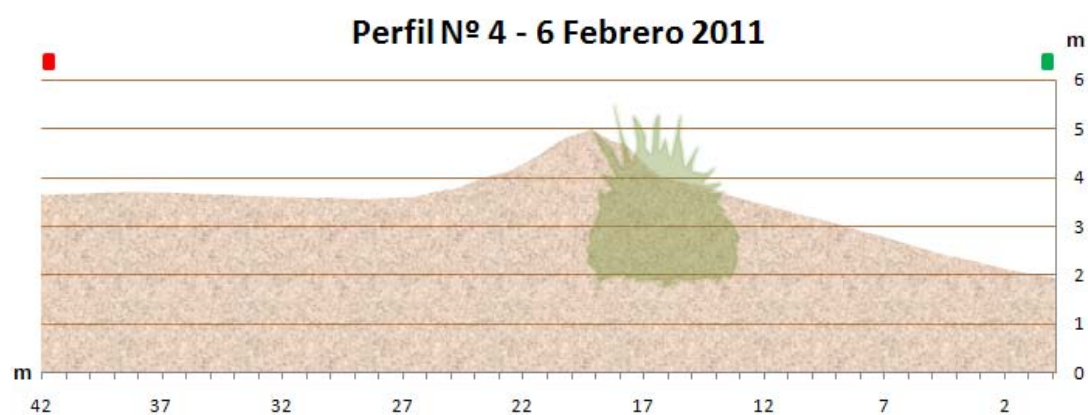
**Figura 436:** Perfil n° 1 (6-02-2012).



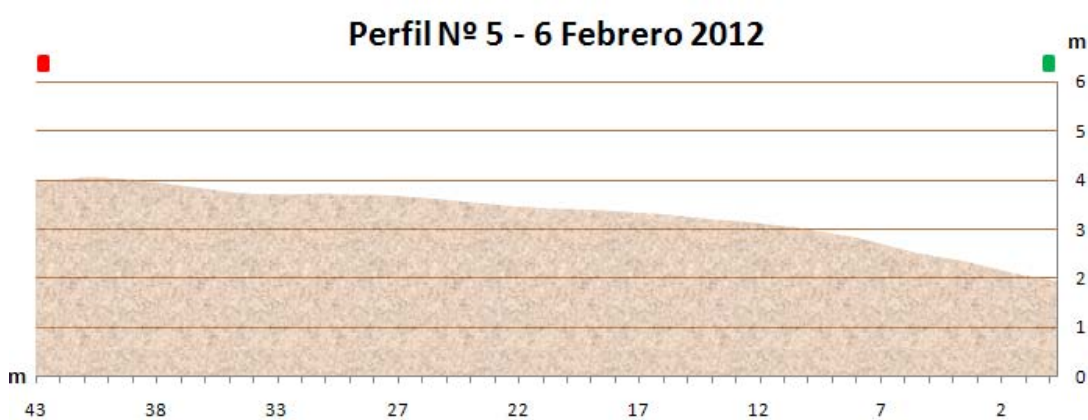
**Figura 437:** Perfil n° 2 (6-02-2012).



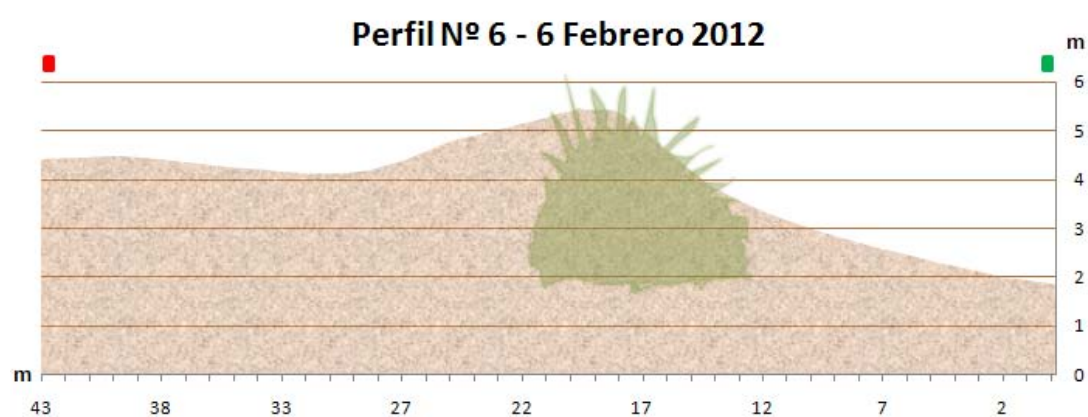
**Figura 438:** Perfil n° 3 (6-02-2012).



**Figura 439:** Perfil n° 4 (6-02-2012).



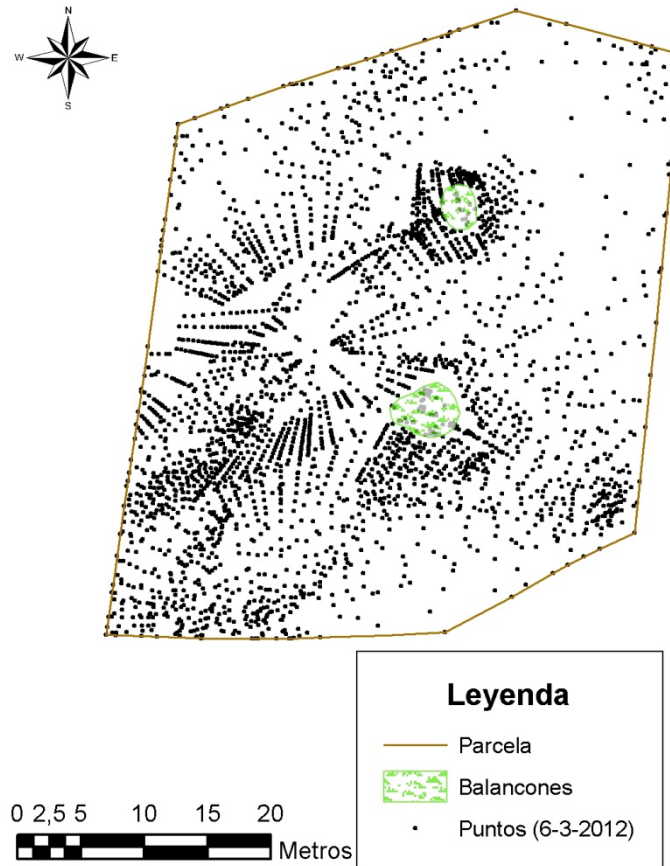
**Figura 440:** Perfil n° 5 (6-02-2012).



**Figura 441:** Perfil n° 6 (6-02-2012).

6 de marzo de 2012

Se tomaron 2967 puntos.



**Figura 442:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 06-03-2012 en la parcela 2.

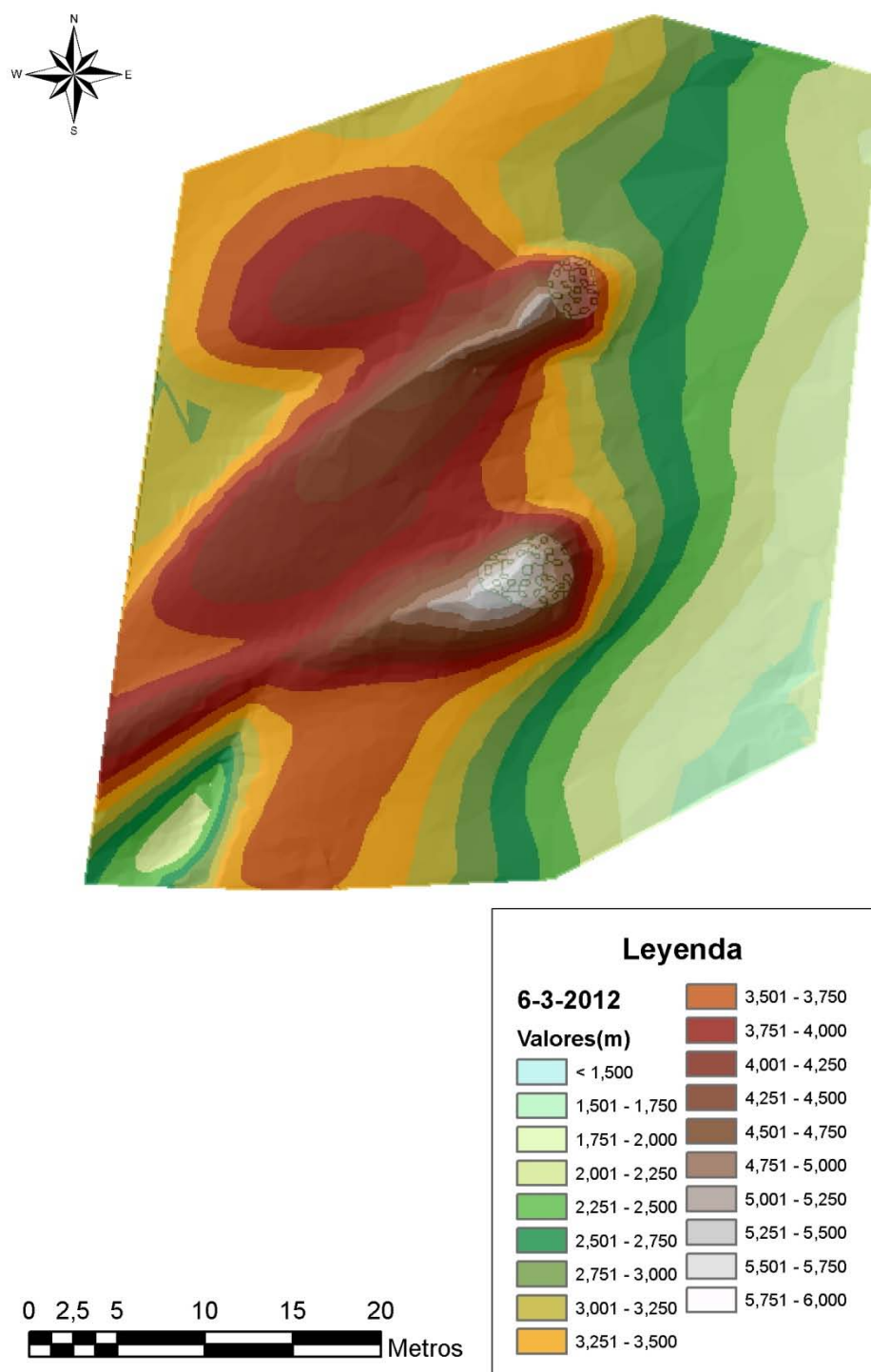
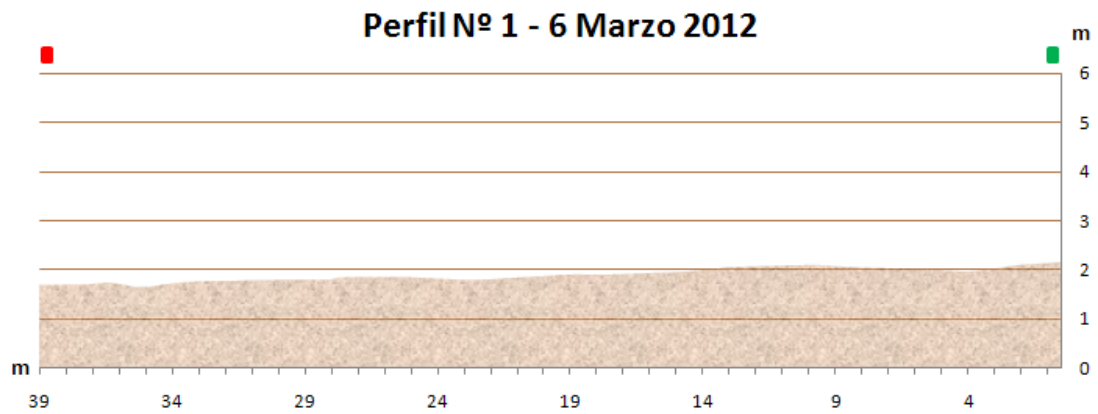
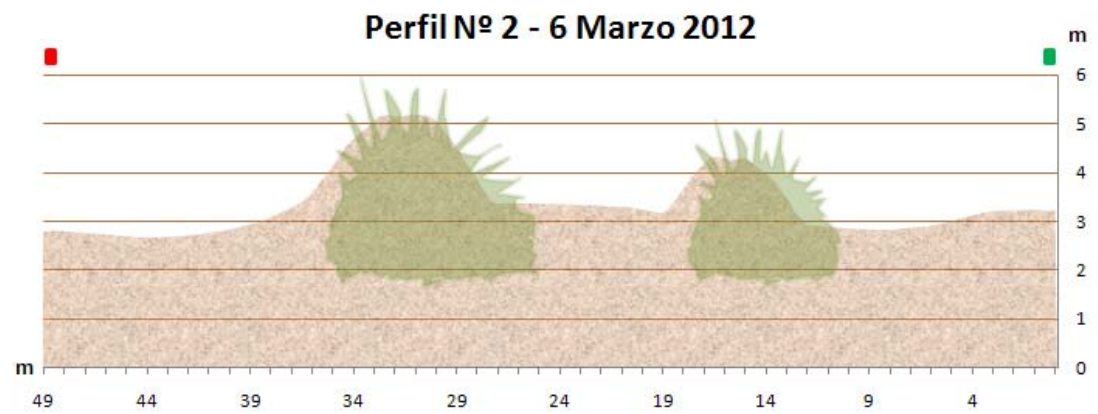


Figura 443: GRID correspondiente al MDE realizado el 06-03-2012.

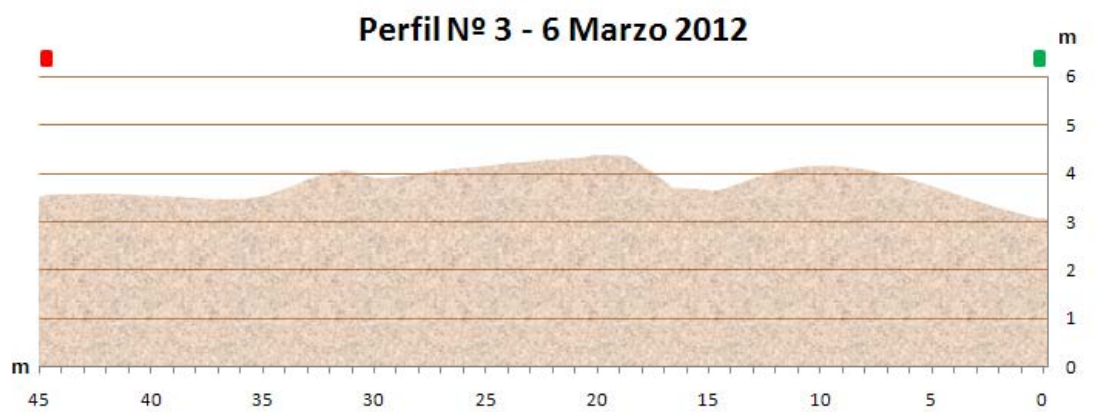




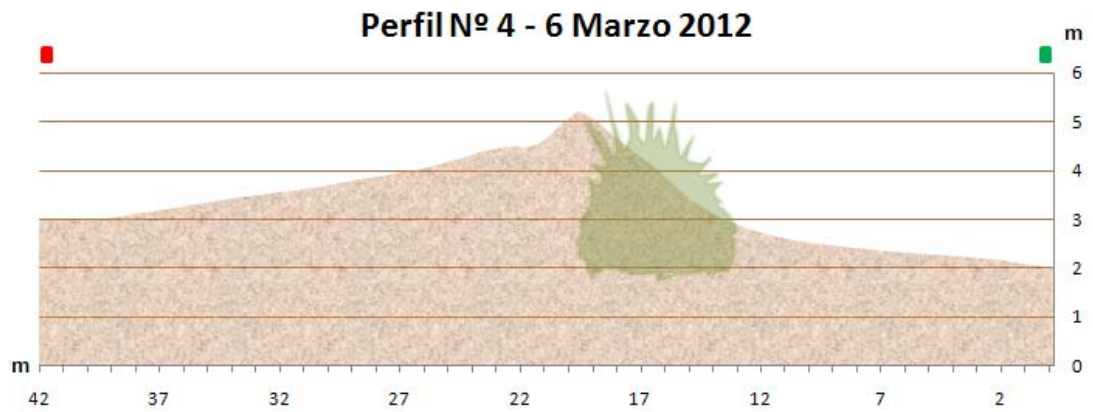
**Figura 444:** Perfil n° 1 (6-03-2012).



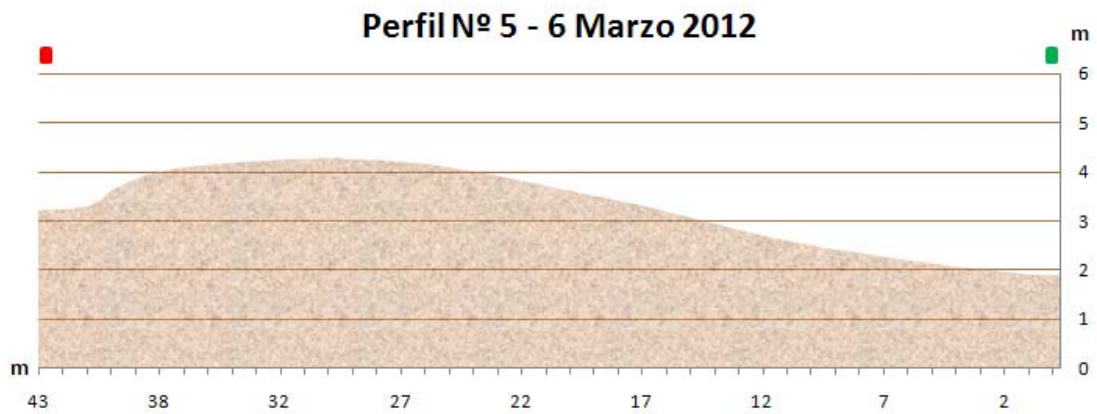
**Figura 445:** Perfil n° 2 (6-03-2012).



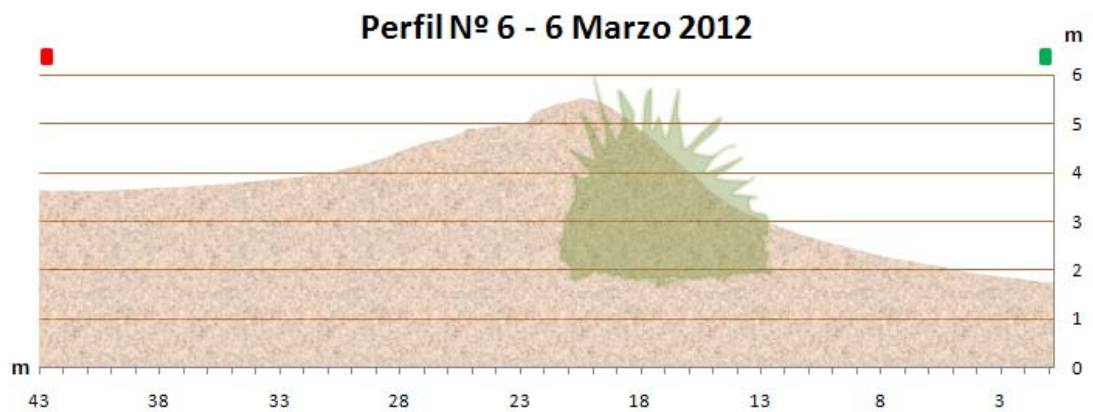
**Figura 446:** Perfil n° 3 (6-03-2012).



**Figura 447:** Perfil n° 4 (6-03-2012).



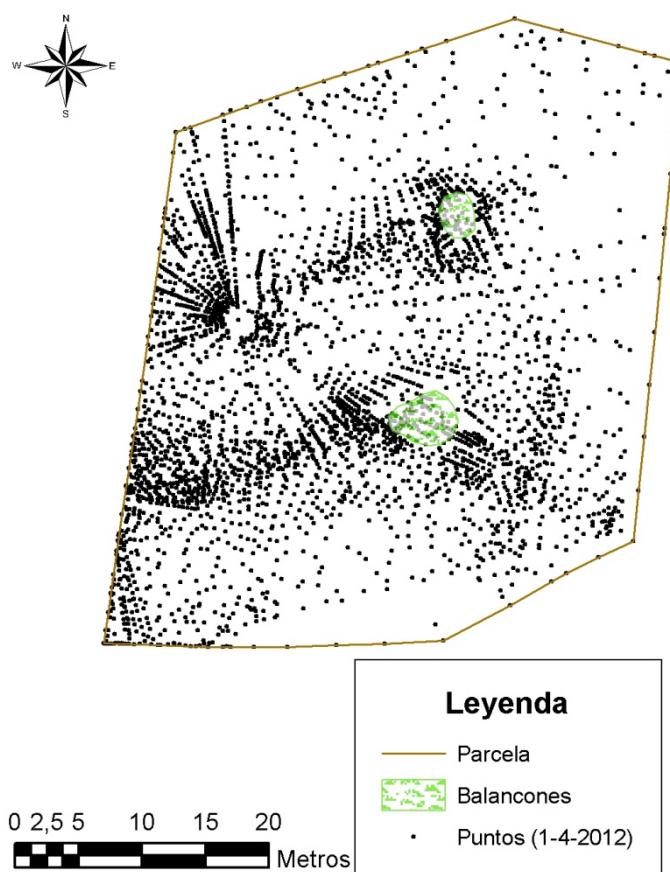
**Figura 448:** Perfil n° 5 (6-03-2012).



**Figura 449:** Perfil n° 6 (6-03-2012).

1 de abril de 2012

Se tomaron 3464 puntos.



**Figura 450:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 01-04-2012 en la parcela 2.



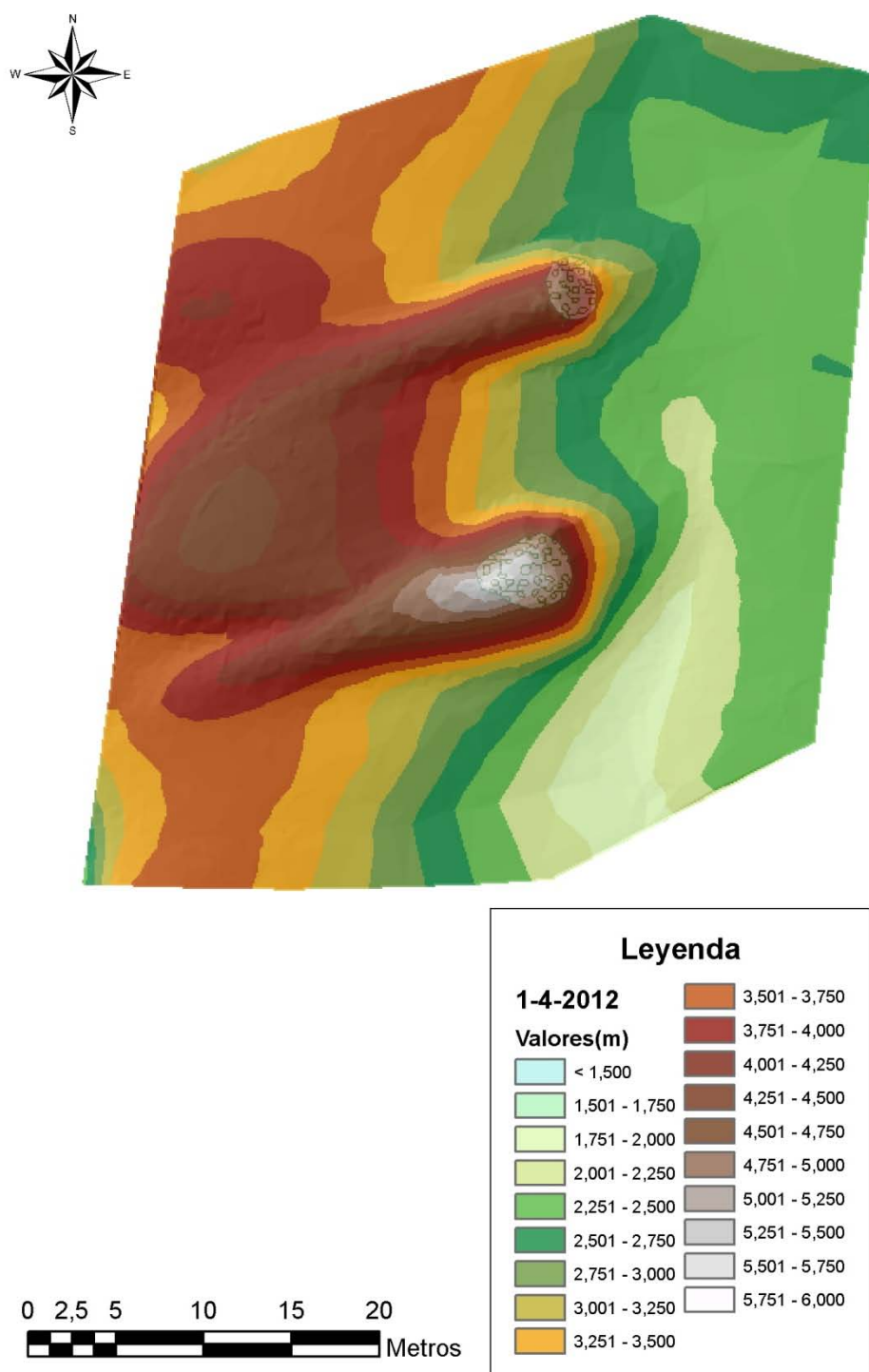
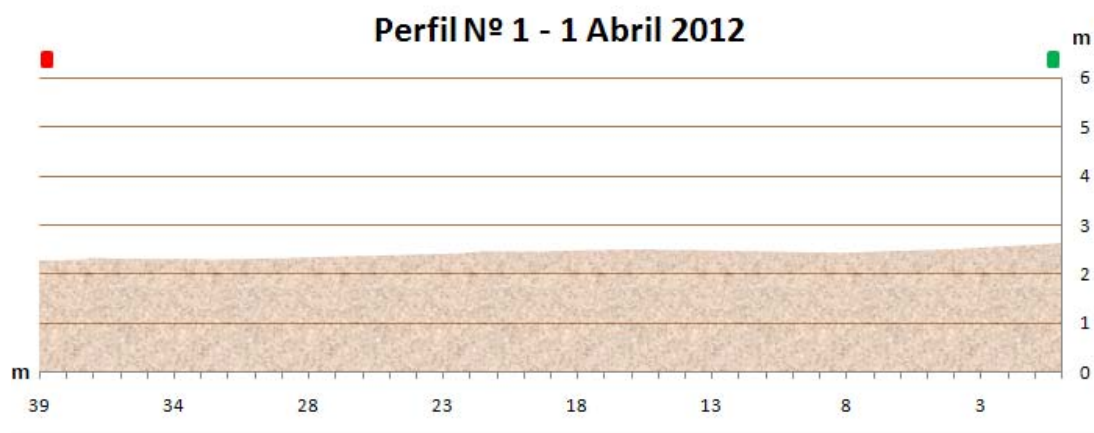
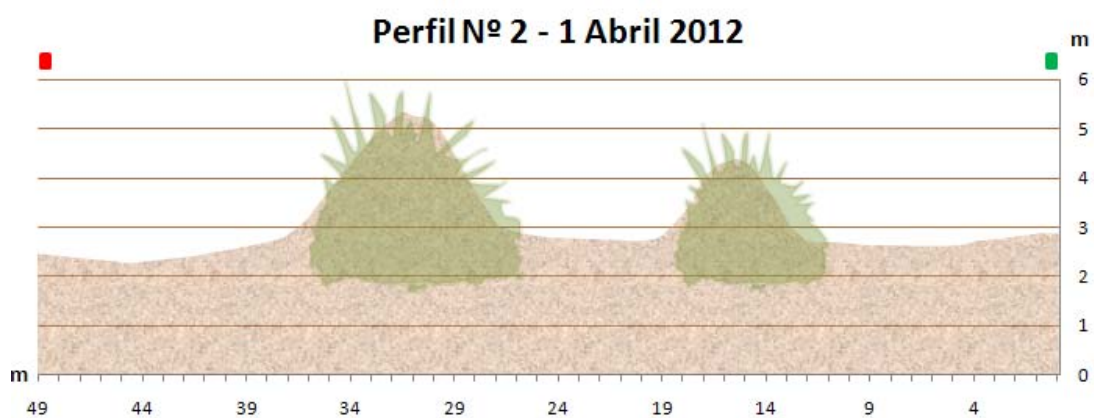


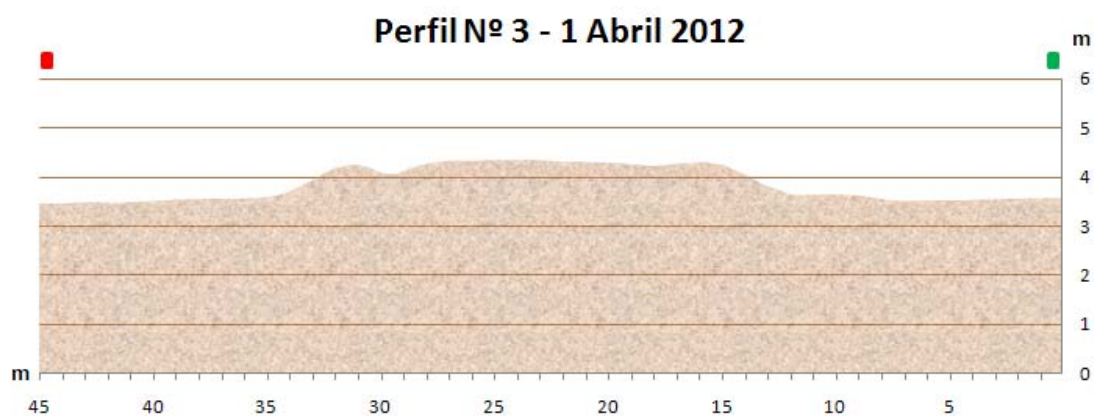
Figura 451: GRID correspondiente al MDE realizado el 01-04-2012.



**Figura 452:** Perfil n° 1 (1-04-2012).



**Figura 453:** Perfil n° 2 (1-04-2012).



**Figura 454:** Perfil n° 3 (1-04-2012).

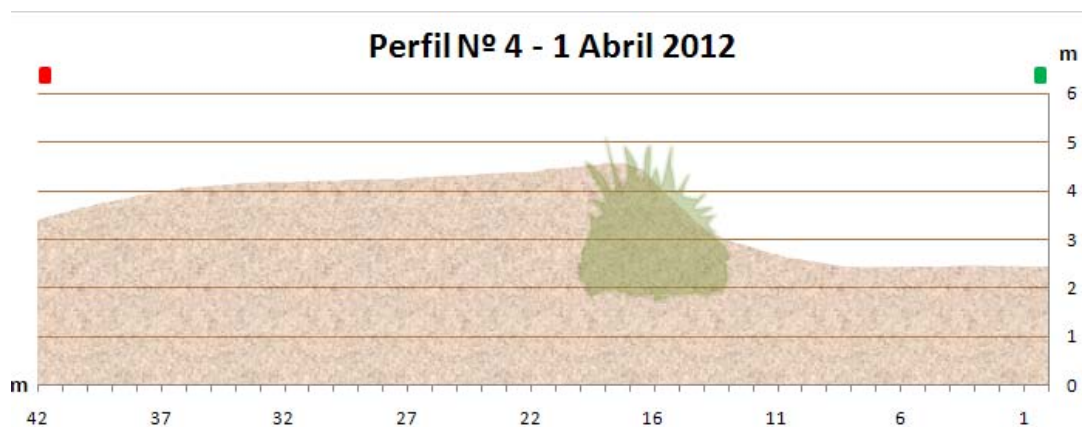


Figura 455: Perfil n° 4 (1-04-2012).

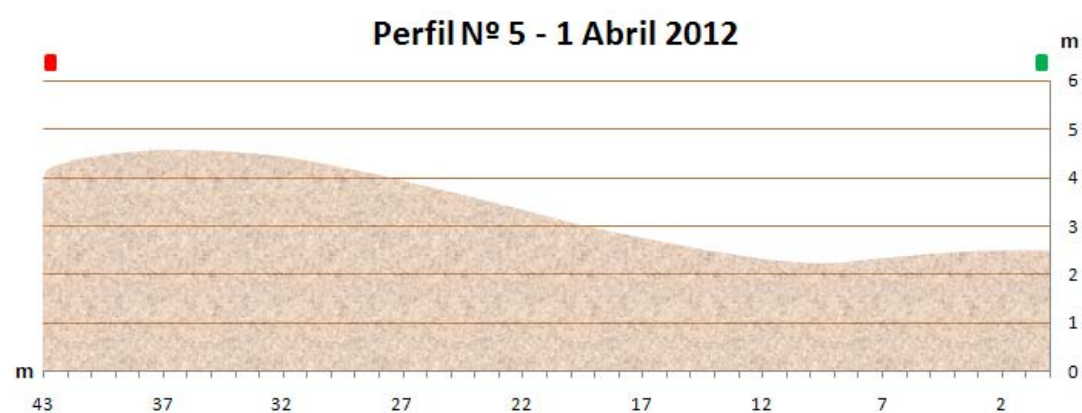


Figura 456: Perfil n° 5 (1-04-2012).

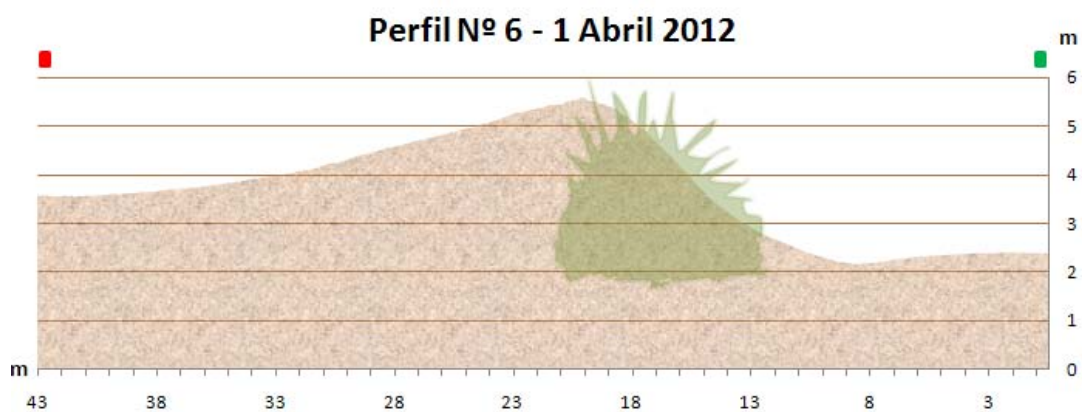
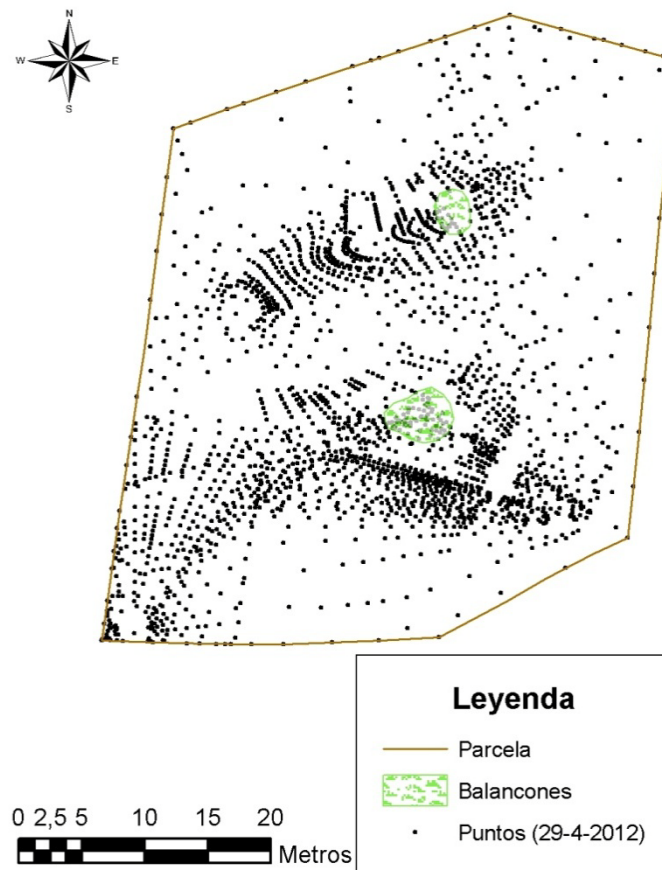


Figura 457: Perfil n° 6 (1-04-2012).

29 de abril de 2012

Se tomaron 2210 puntos.



**Figura 458:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 29-04-2012 en la parcela 2.

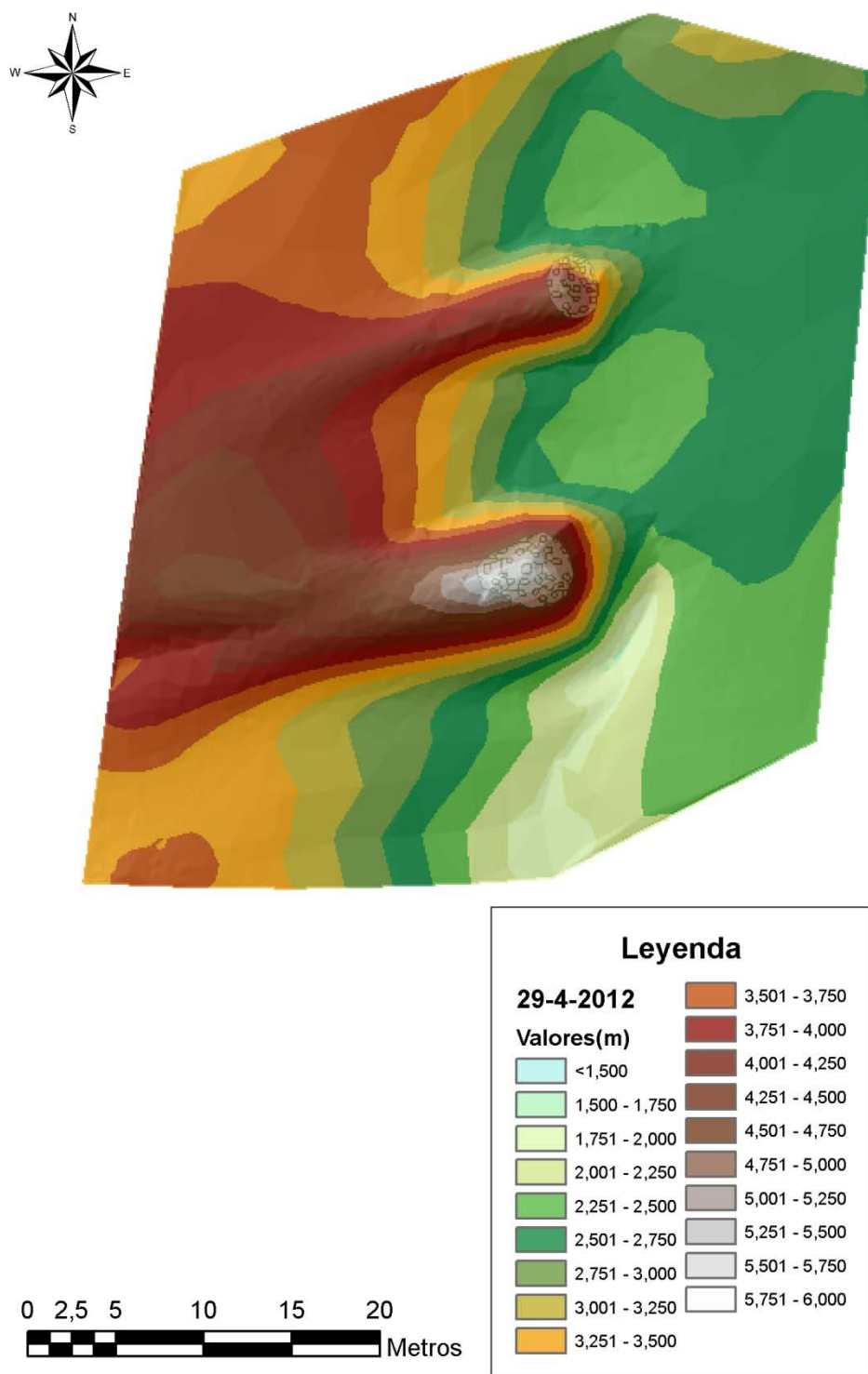
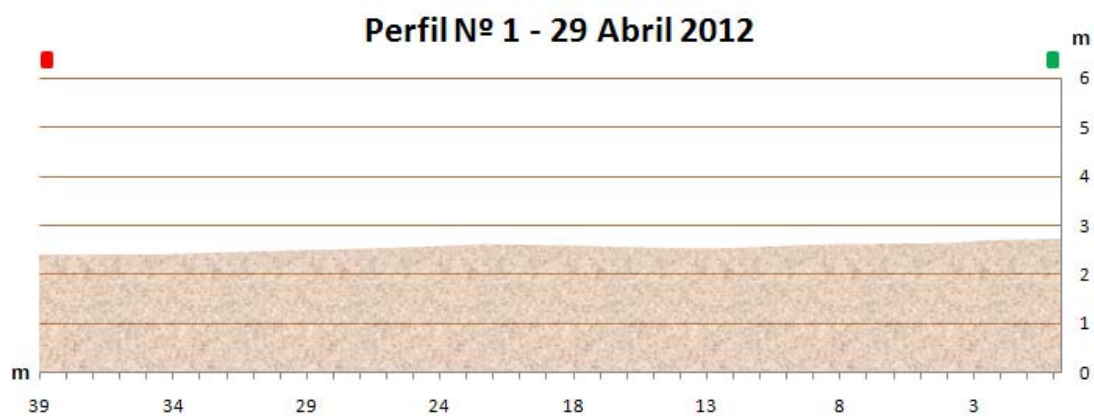
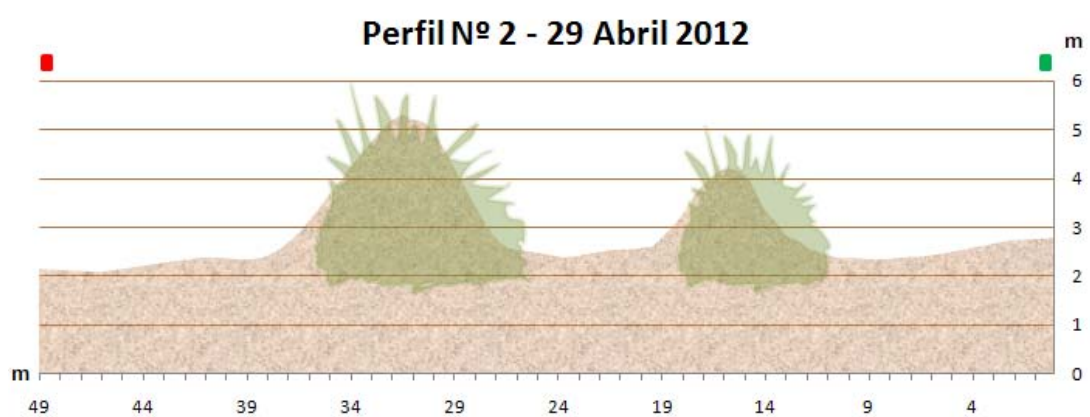


Figura 459: GRID correspondiente al MDE realizado el 29-04-2012.

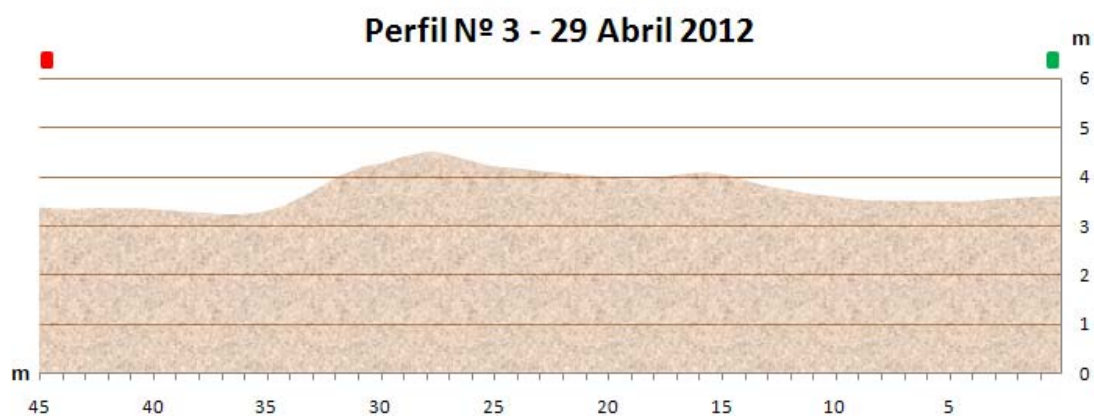




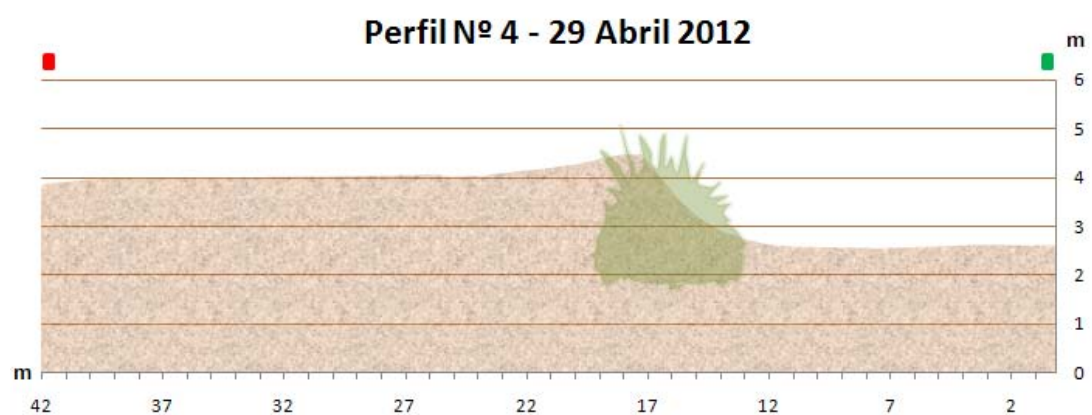
**Figura 460:** Perfil nº 1 (29-04-2012).



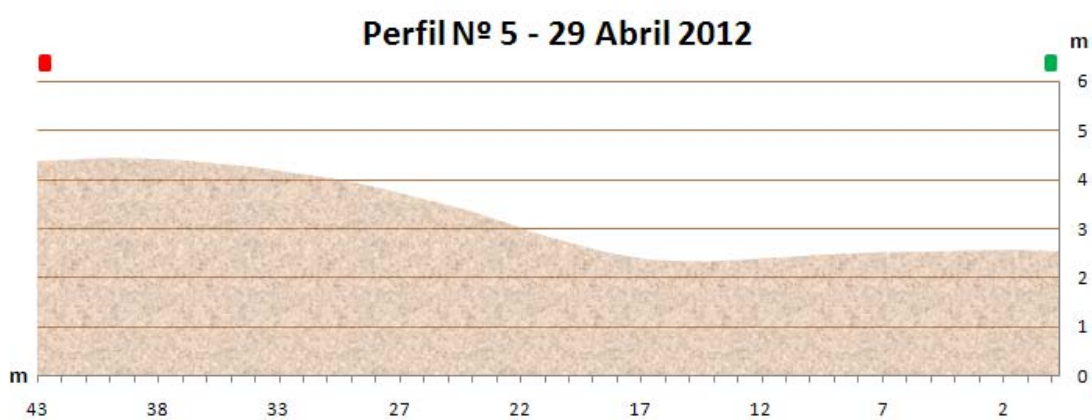
**Figura 461:** Perfil nº 2 (29-04-2012).



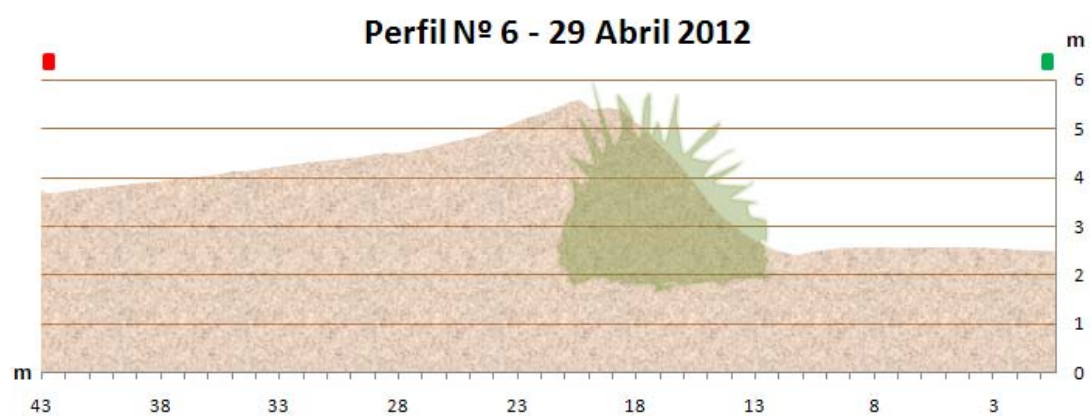
**Figura 462:** Perfil nº 3 (29-04-2012).



**Figura 463:** Perfil n° 4 (29-04-2012).



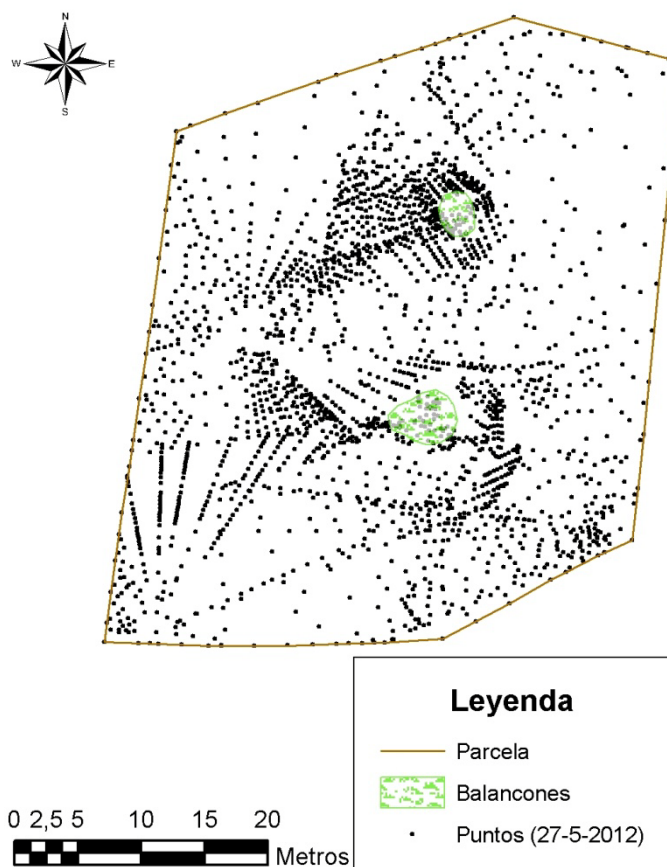
**Figura 464:** Perfil n° 5 (29-04-2012).



**Figura 465:** Perfil n° 6 (29-04-2012).

27 de mayo de 2012

Se tomaron 2280 puntos.



**Figura 466:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 27-05-2012 en la parcela 2.



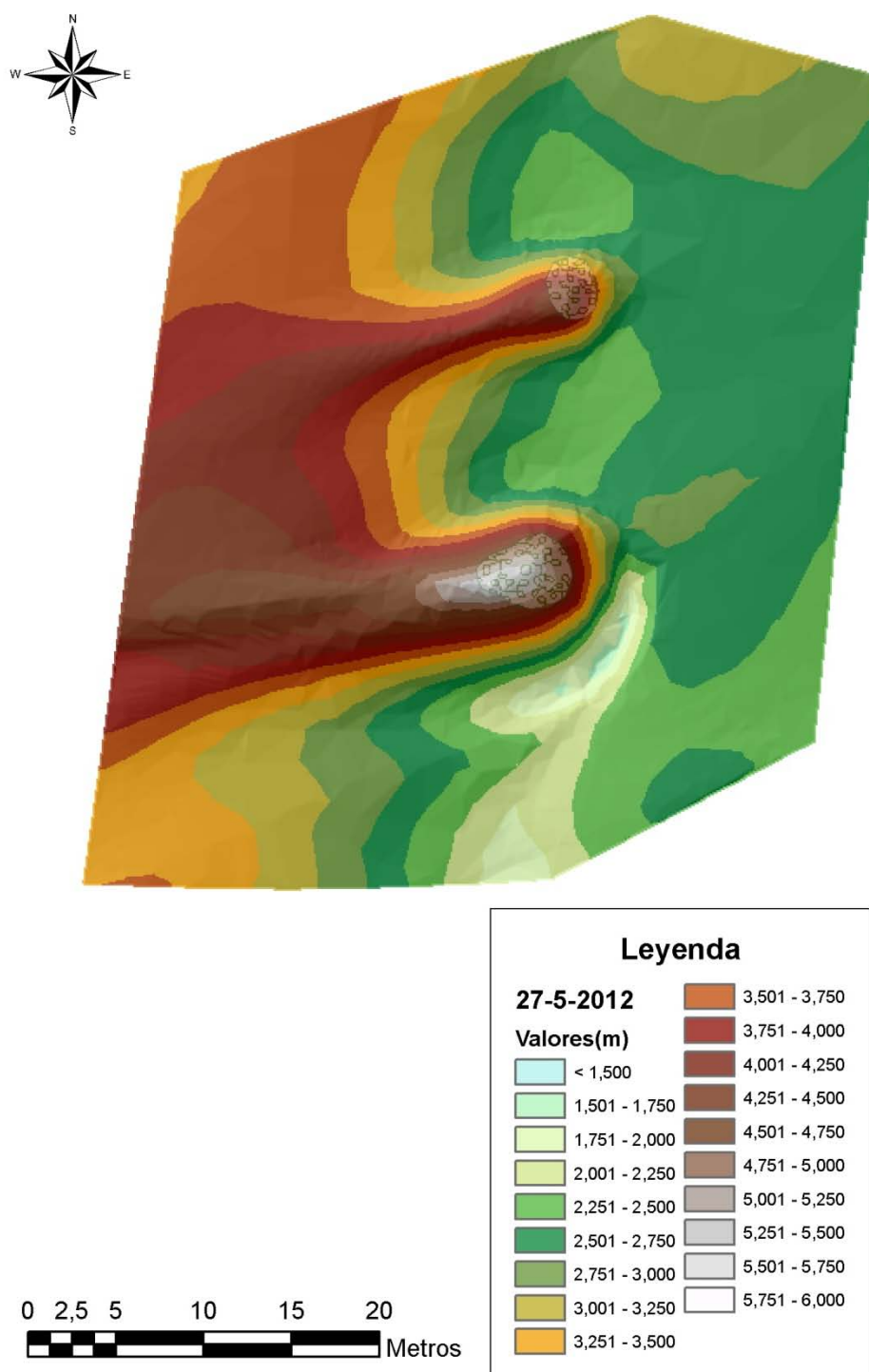
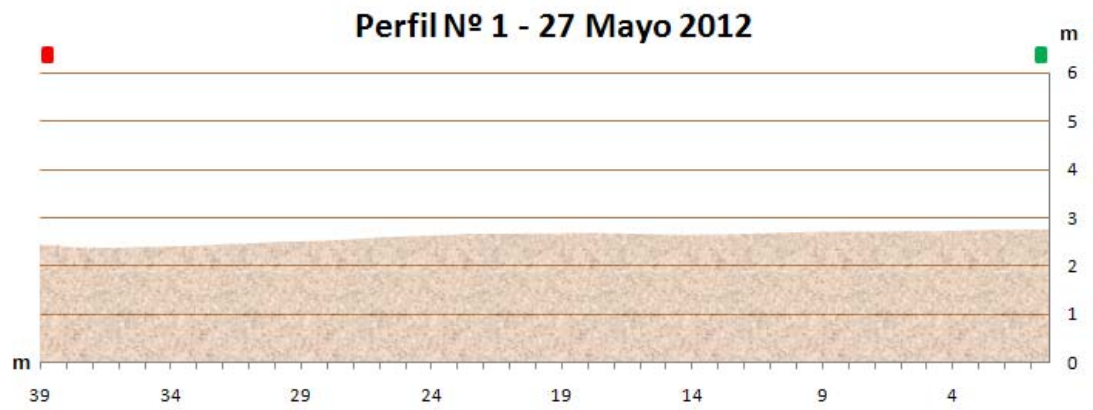
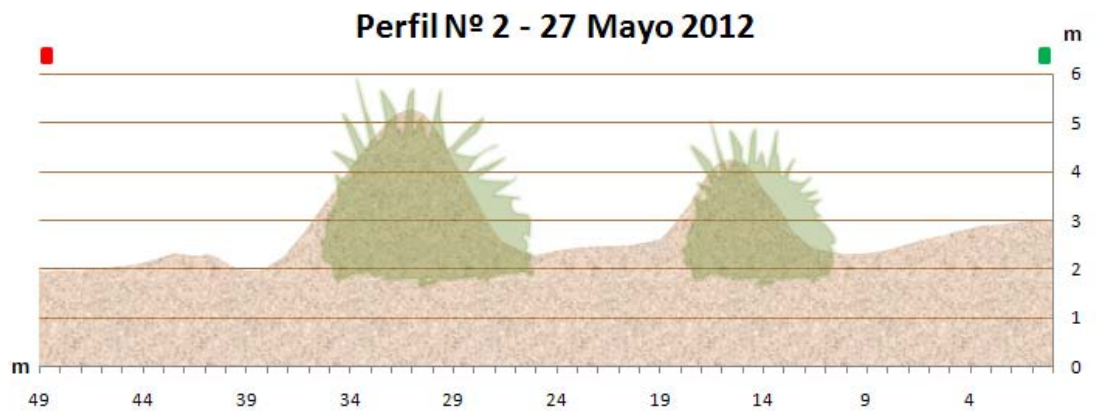


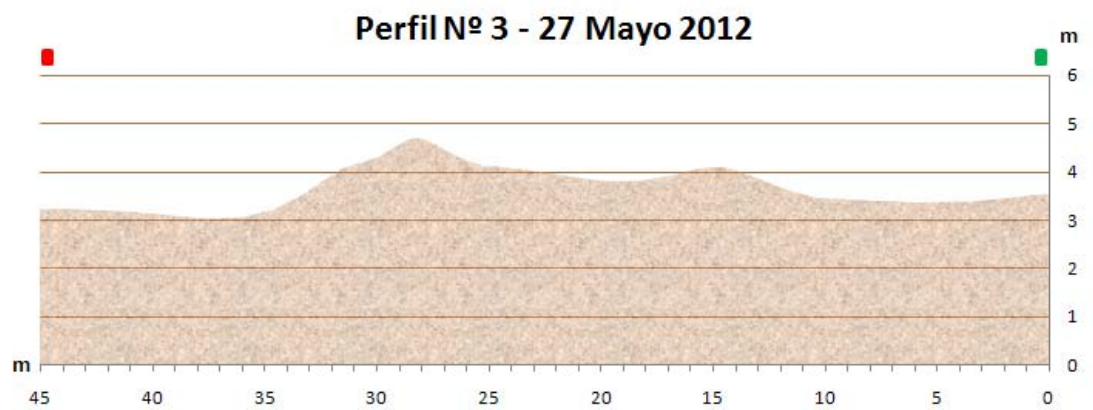
Figura 467: GRID correspondiente al MDE realizado el 27-05-2012.



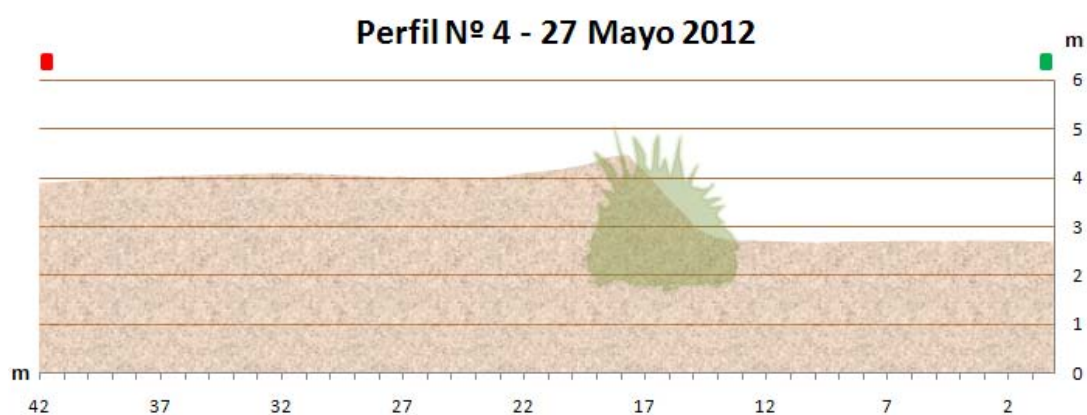
**Figura 468:** Perfil n° 1 (27-05-2012).



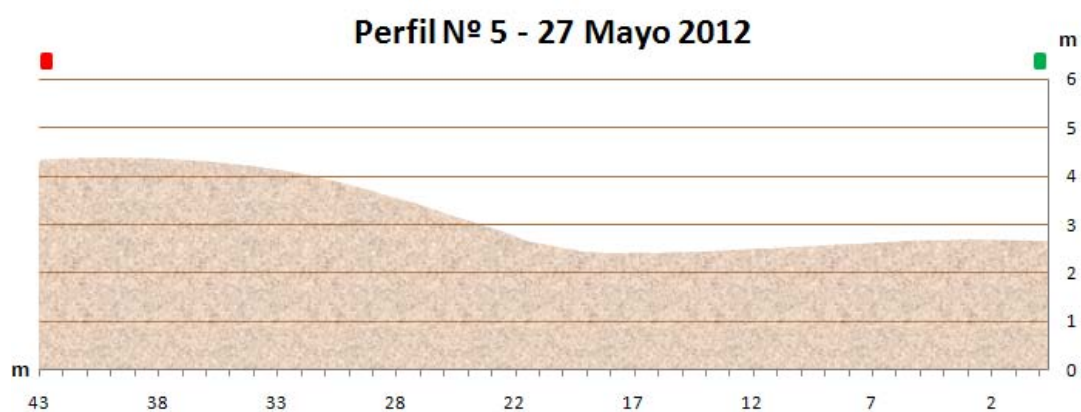
**Figura 469:** Perfil n° 2 (27-05-2012).



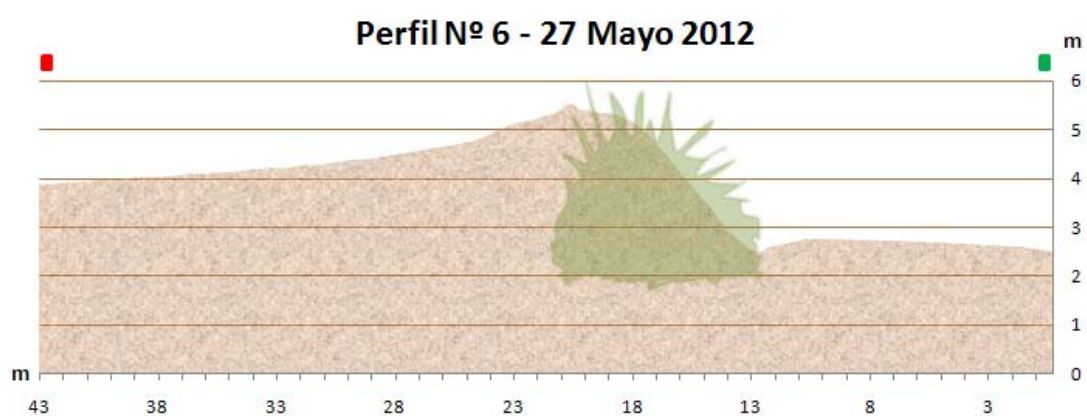
**Figura 470:** Perfil n° 3 (27-05-2012).



**Figura 471:** Perfil n° 4 (27-05-2012).



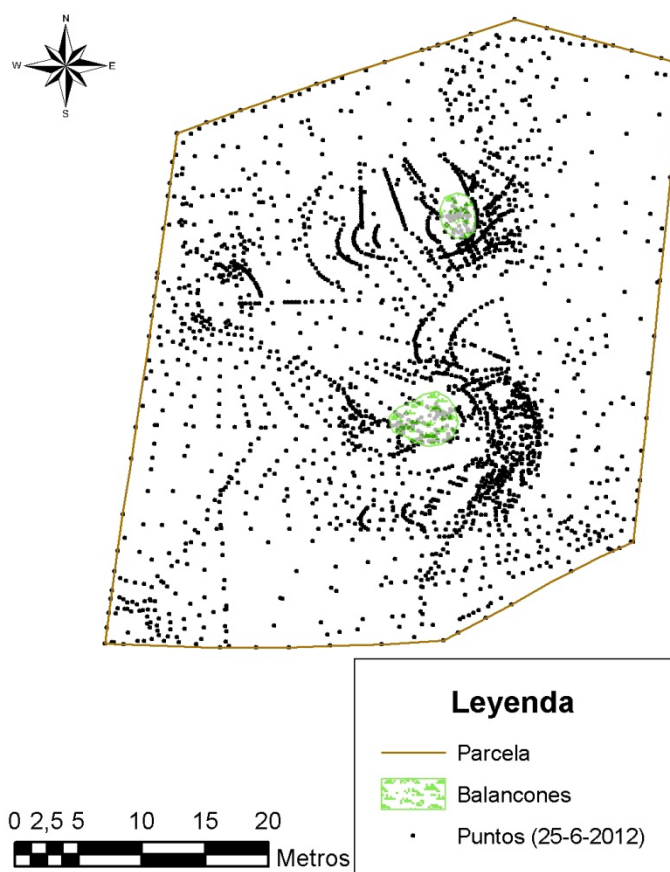
**Figura 472:** Perfil n° 5 (27-05-2012).



**Figura 473:** Perfil n° 6 (27-05-2012).

25 de junio de 2012

Se tomaron 2470 puntos.



**Figura 474:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 25-06-2012 en la parcela 2.

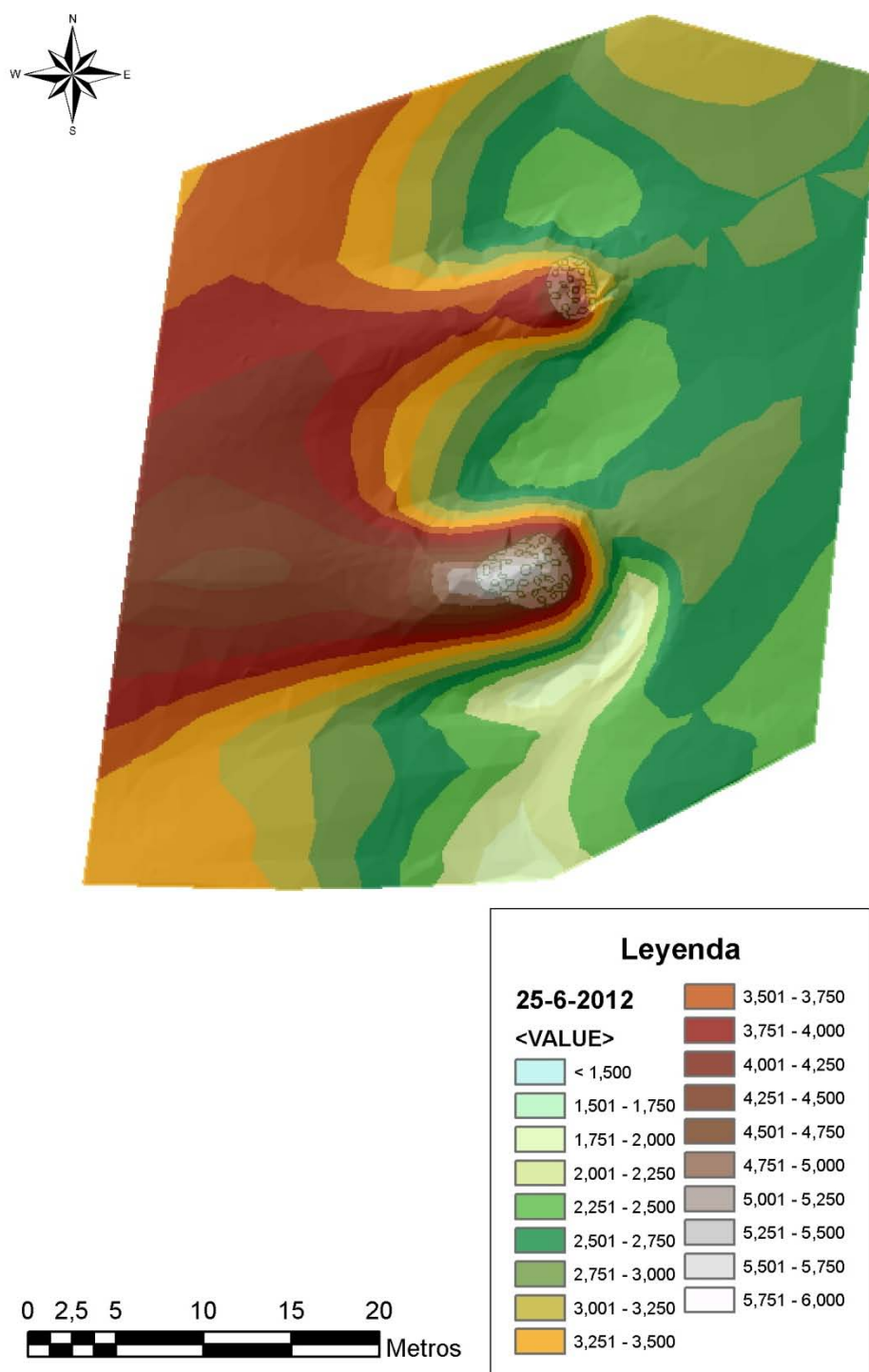
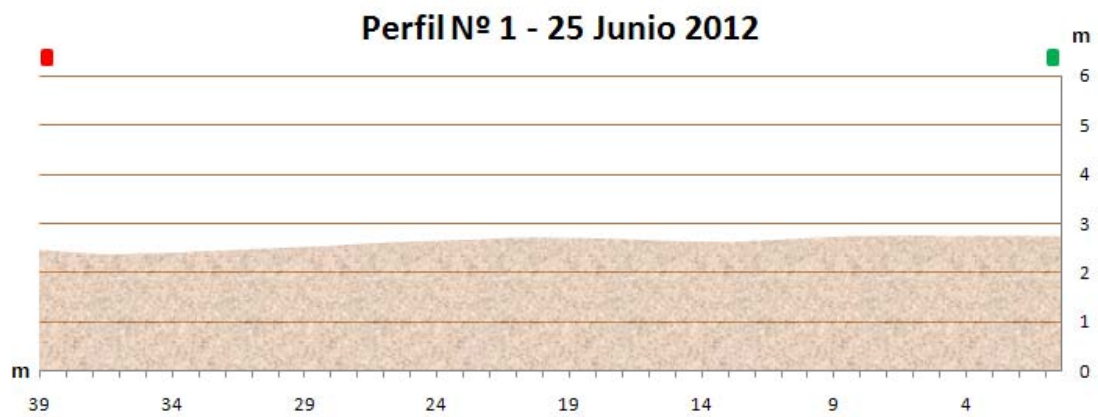
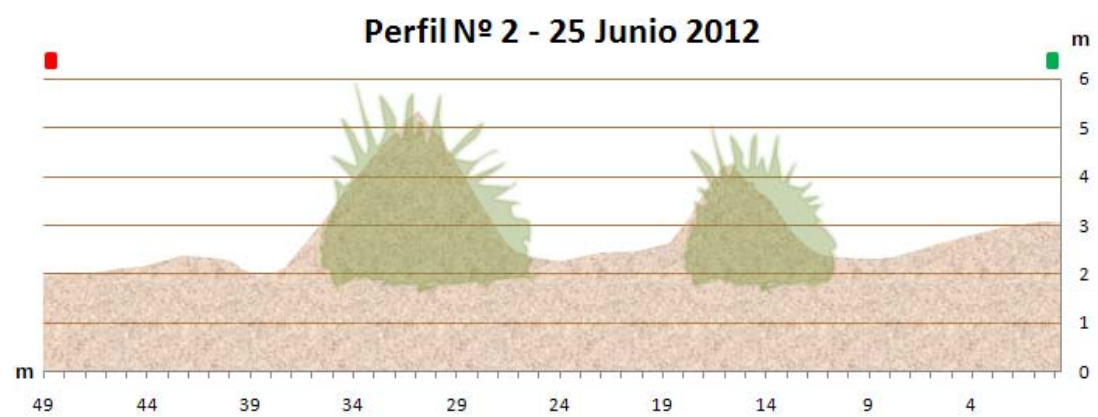


Figura 475: GRID correspondiente al MDE realizado el 25-06-2012.

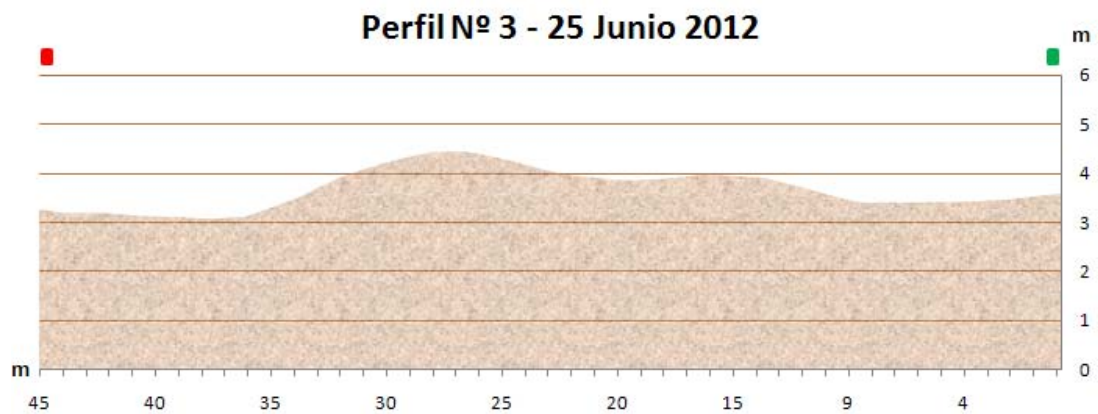




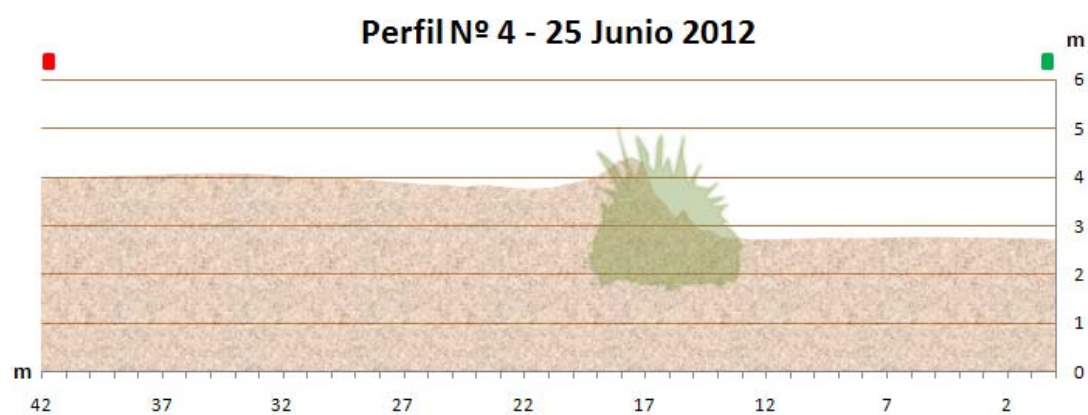
**Figura 476:** Perfil n° 1 (25-06-2012).



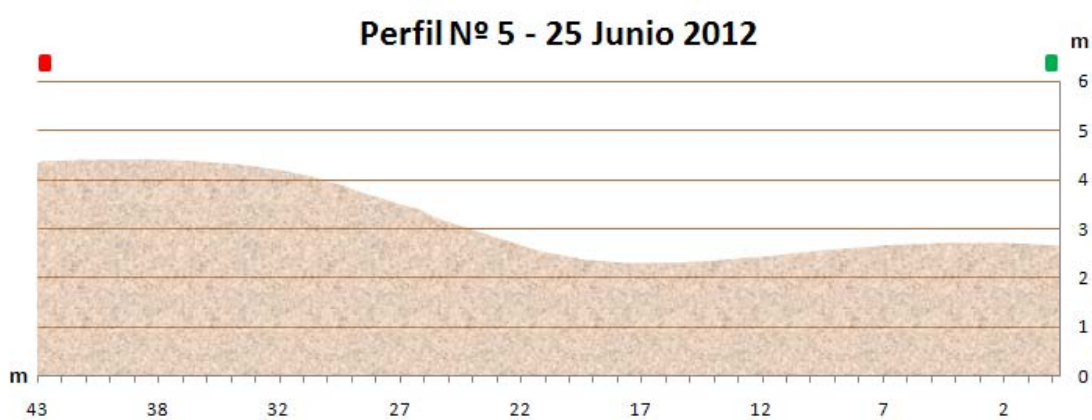
**Figura 477:** Perfil n° 2 (25-06-2012).



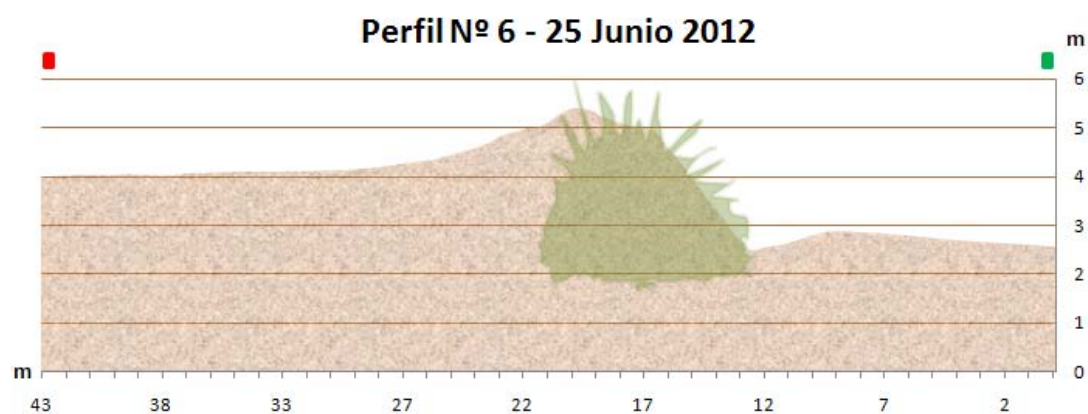
**Figura 478:** Perfil n° 3 (25-06-2012).



**Figura 479:** Perfil nº 4 (25-06-2012).



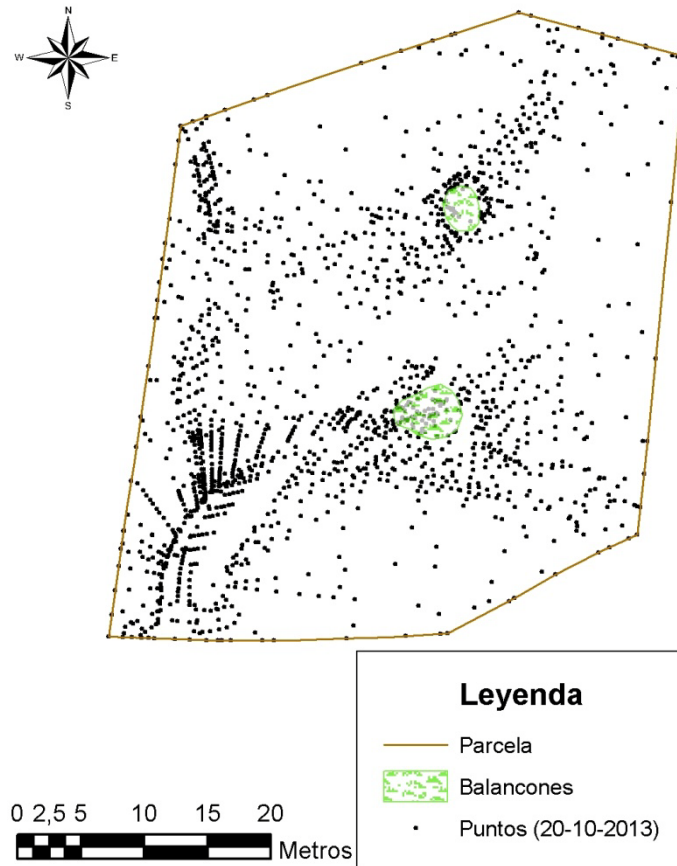
**Figura 480:** Perfil nº 5 (25-06-2012).



**Figura 481:** Perfil nº 6 (25-06-2012).

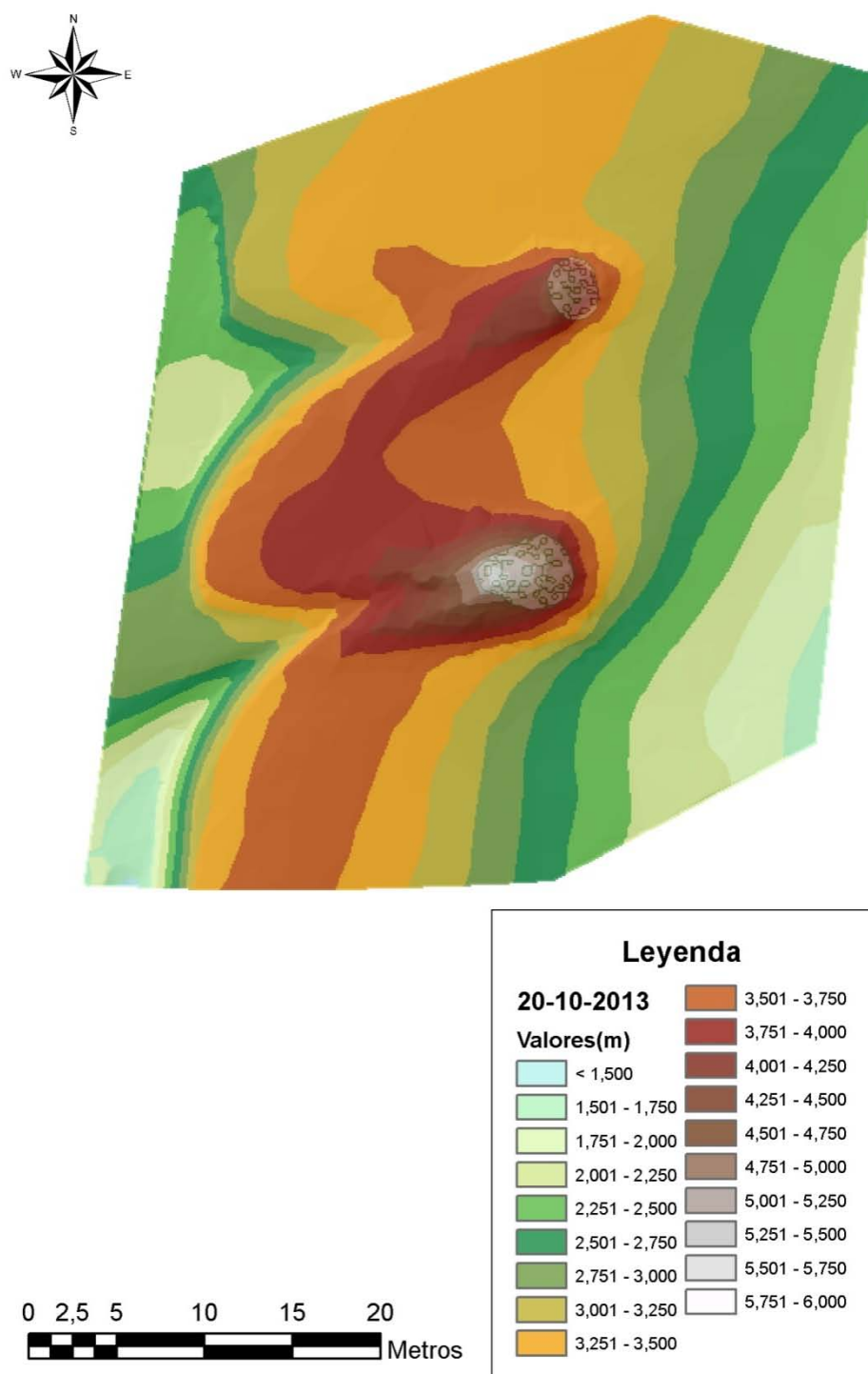
20 de octubre de 2013

Se tomaron 1634 puntos.

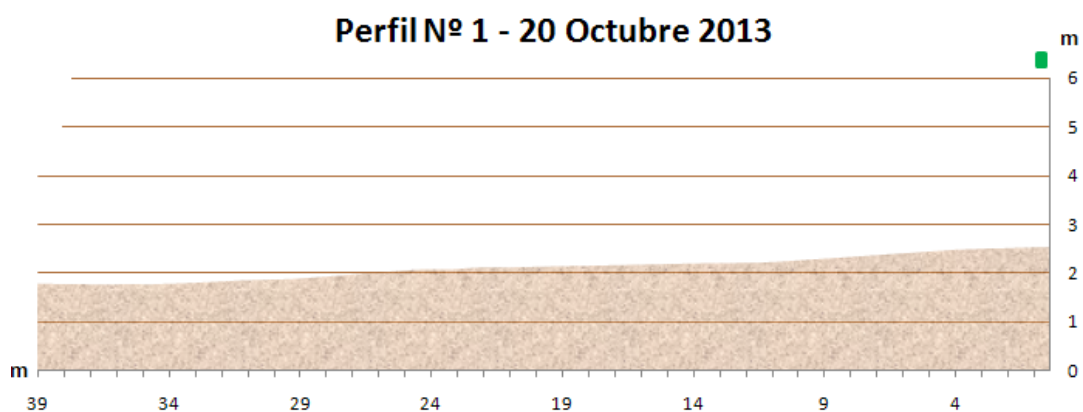


**Figura 482:** Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 20-10-2013 en la parcela 2.

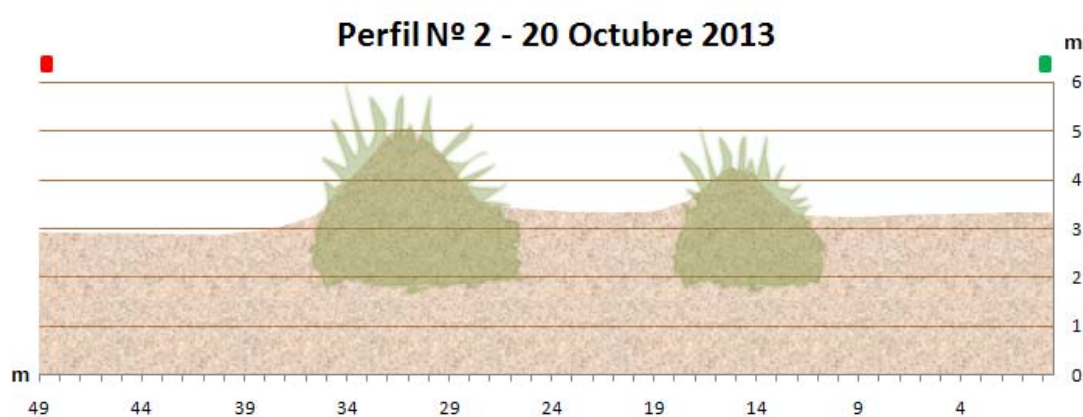




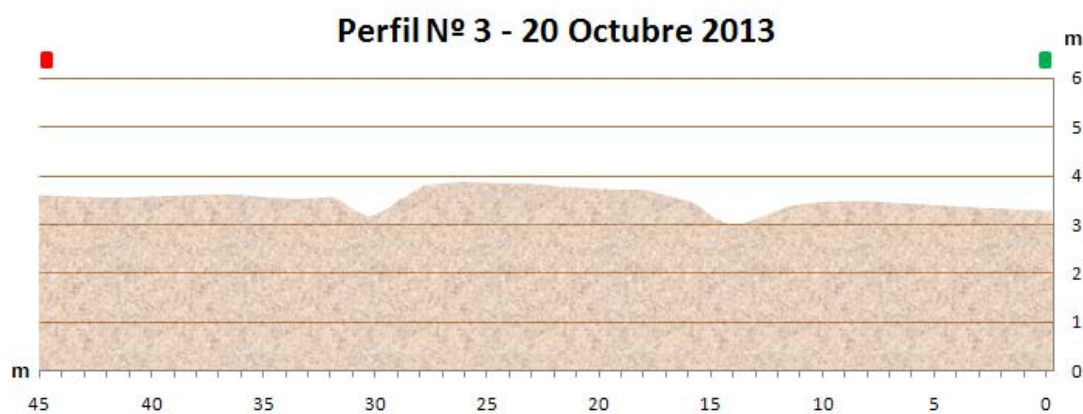
**Figura 483:** GRID correspondiente al MDE realizado el 20-10-2013.



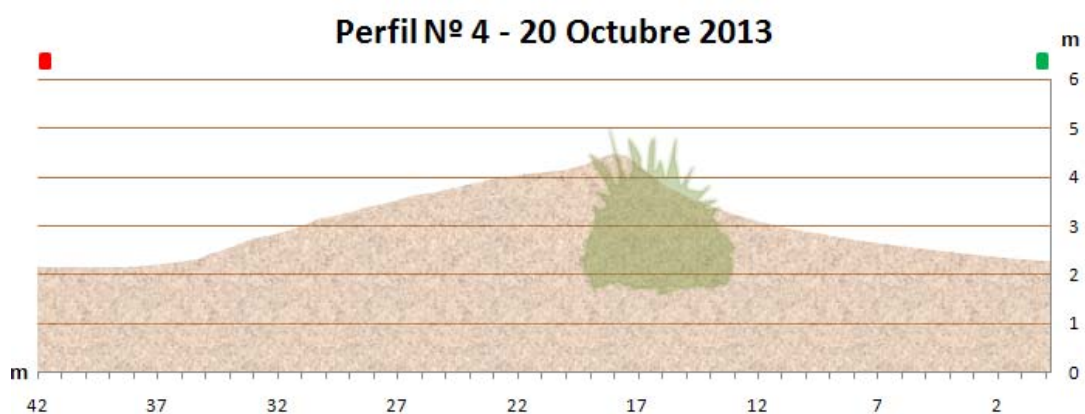
**Figura 484:** Perfil n° 1 (20-10-2013).



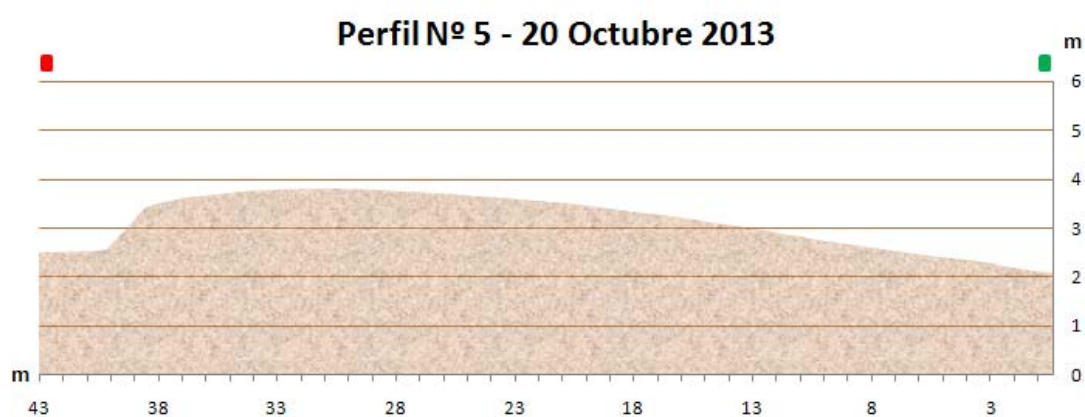
**Figura 485:** Perfil n° 2 (20-10-2013).



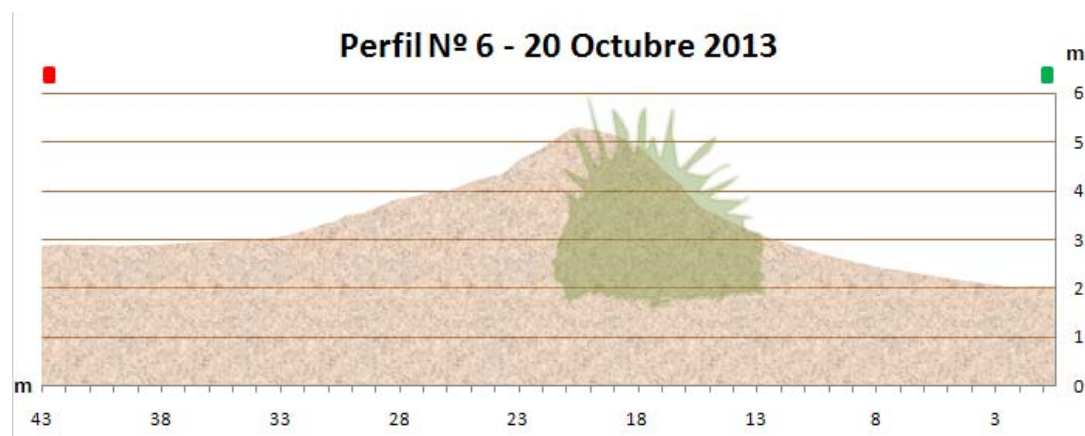
**Figura 486:** Perfil n° 3 (20-10-2013).



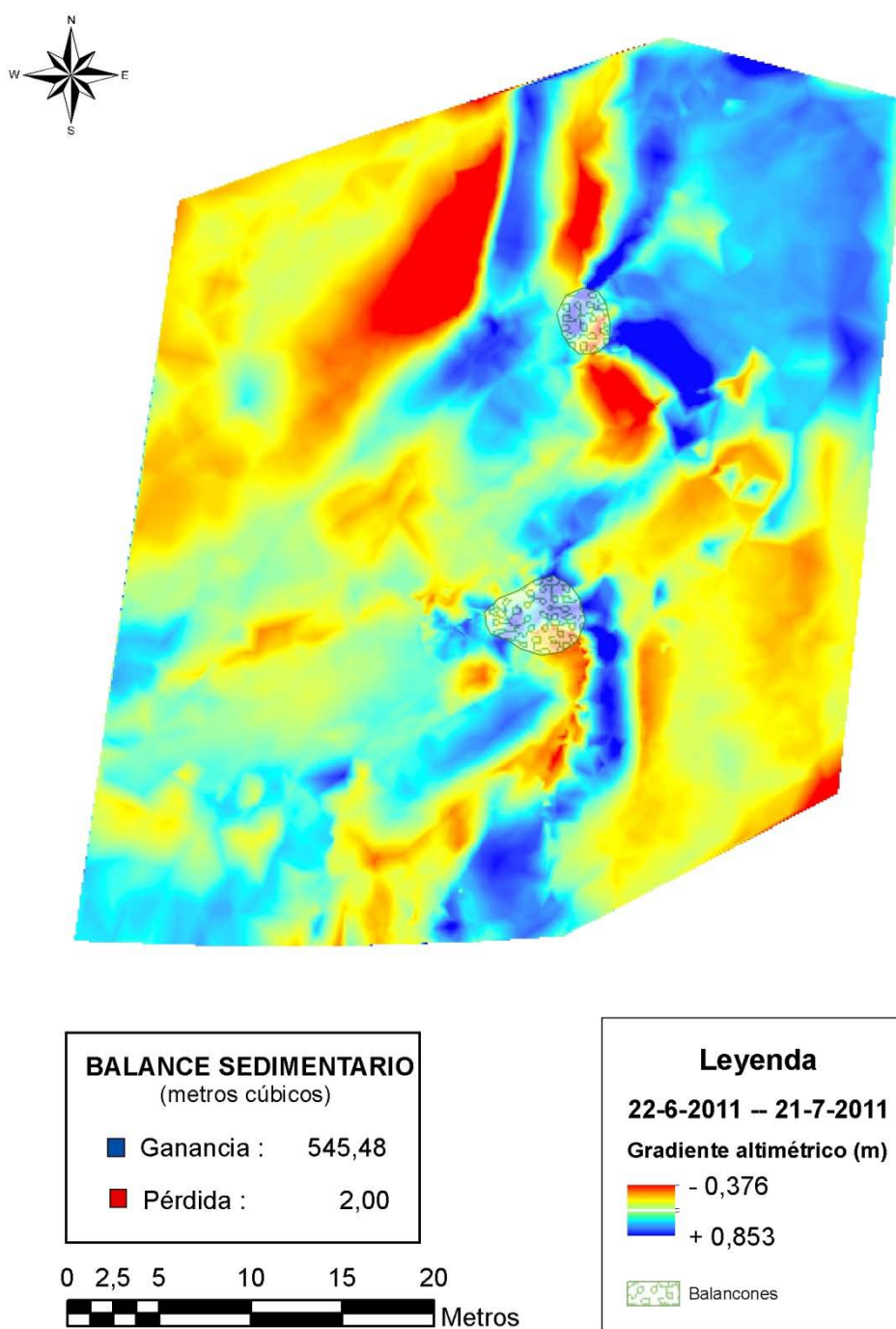
**Figura 487:** Perfil n° 4 (20-10-2013).



**Figura 488:** Perfil n° 5 (20-10-2013).

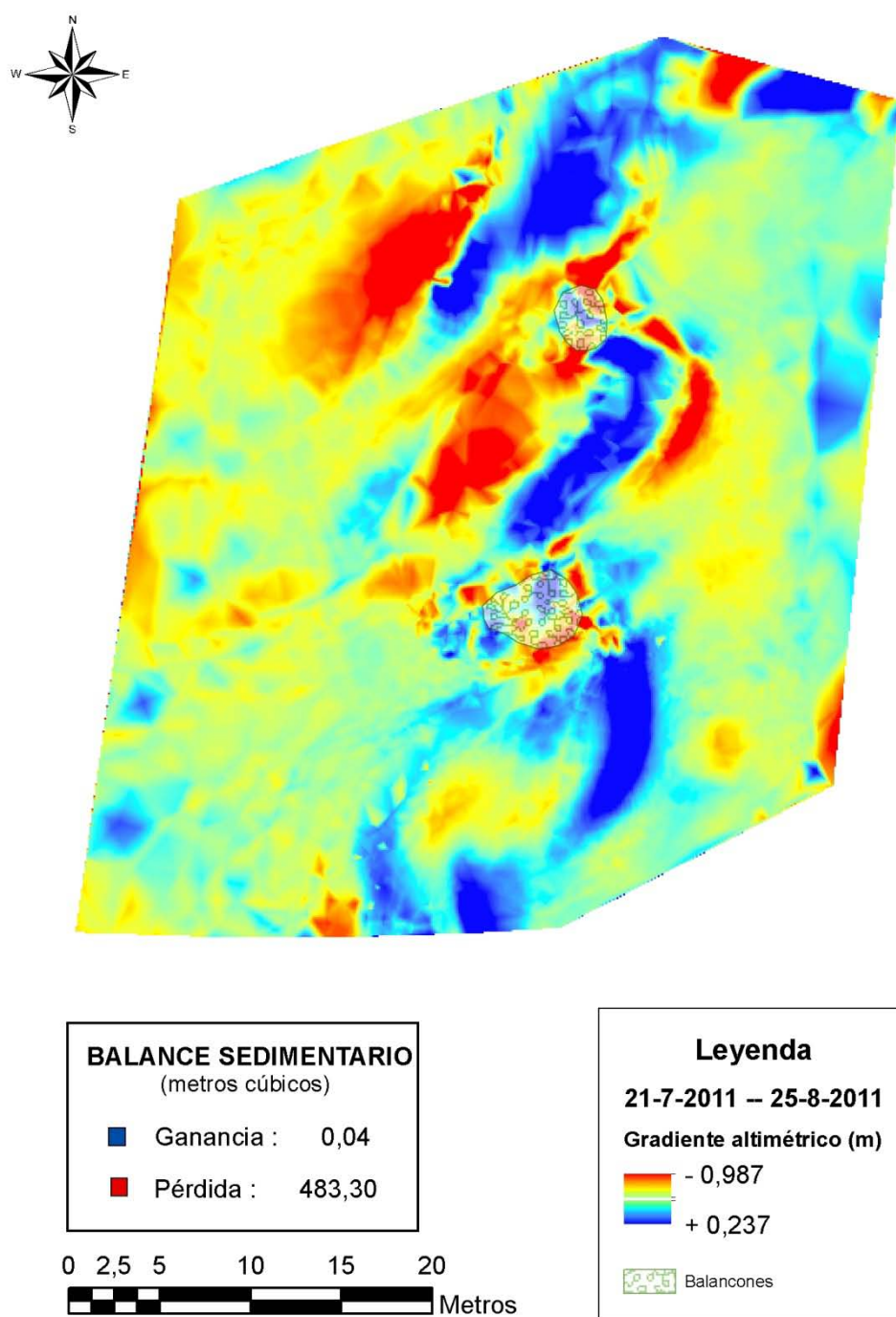


**Figura 489:** Perfil n° 6 (20-10-2013).

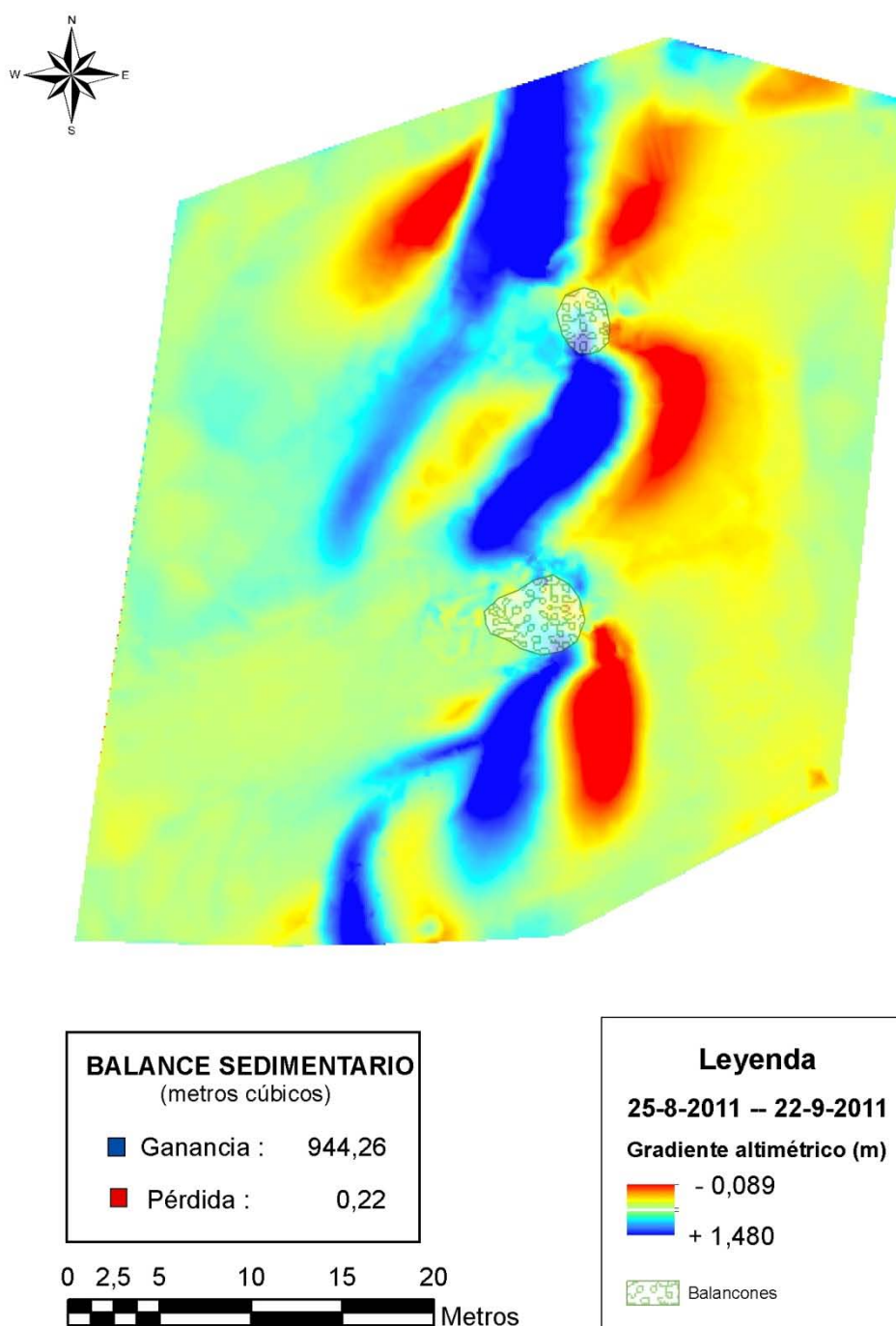


**Figura 490:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 22-06-2011 y el MDE del 21-07-2011.

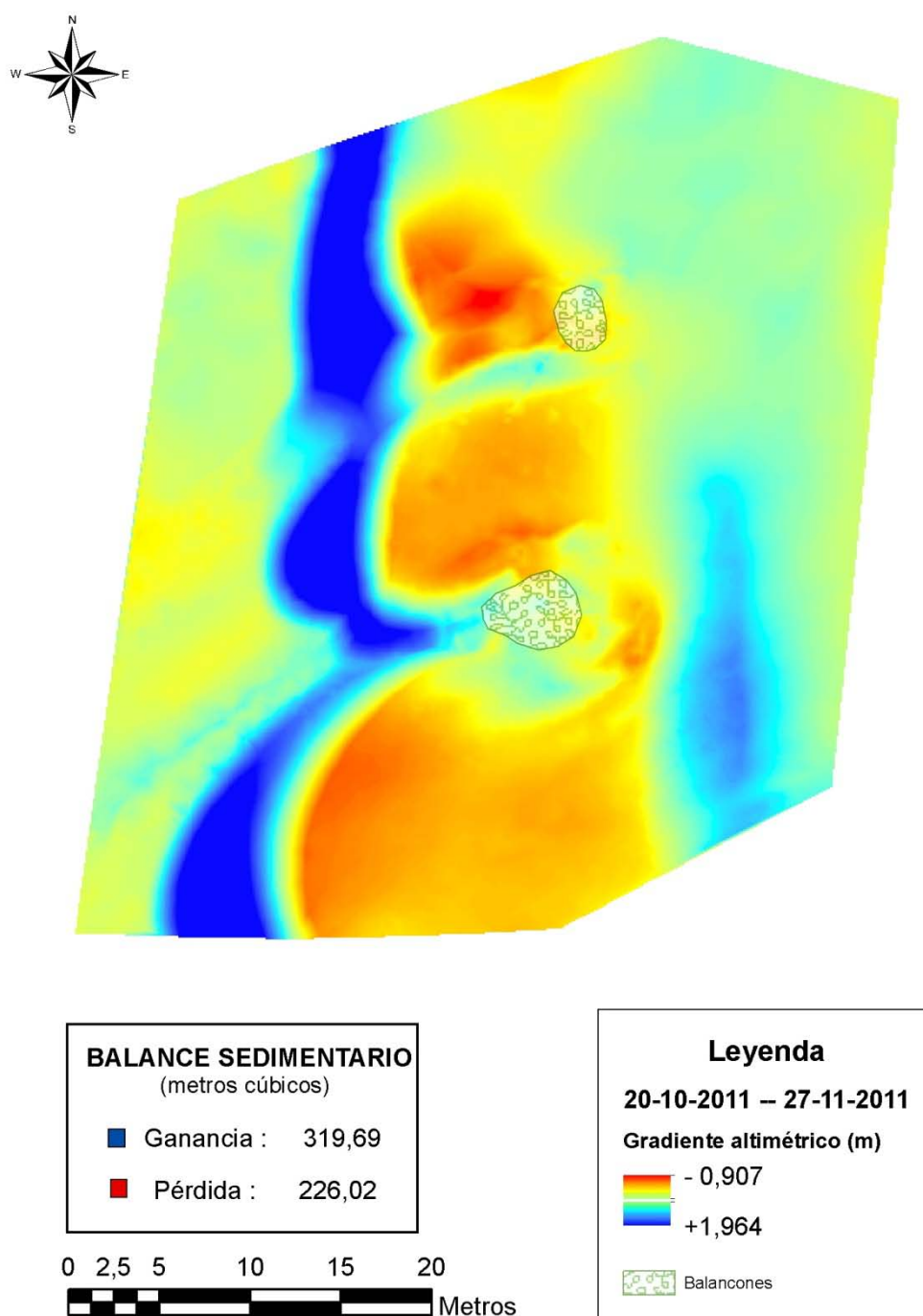




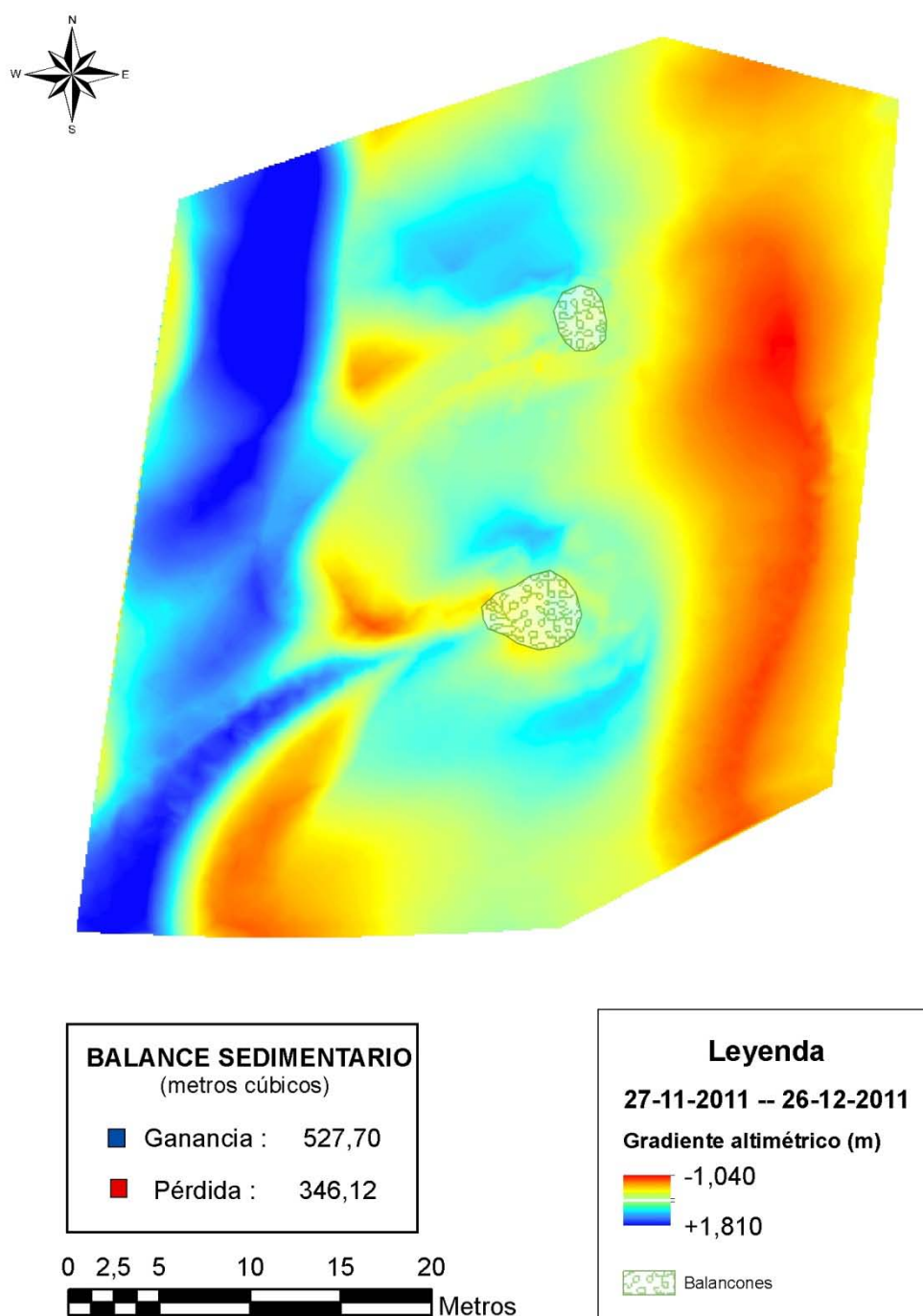
**Figura 491:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 21-07-2011 y el MDE del 25-08-2011.



**Figura 4921:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 25-08-2011 y el MDE del 22-09-2011.

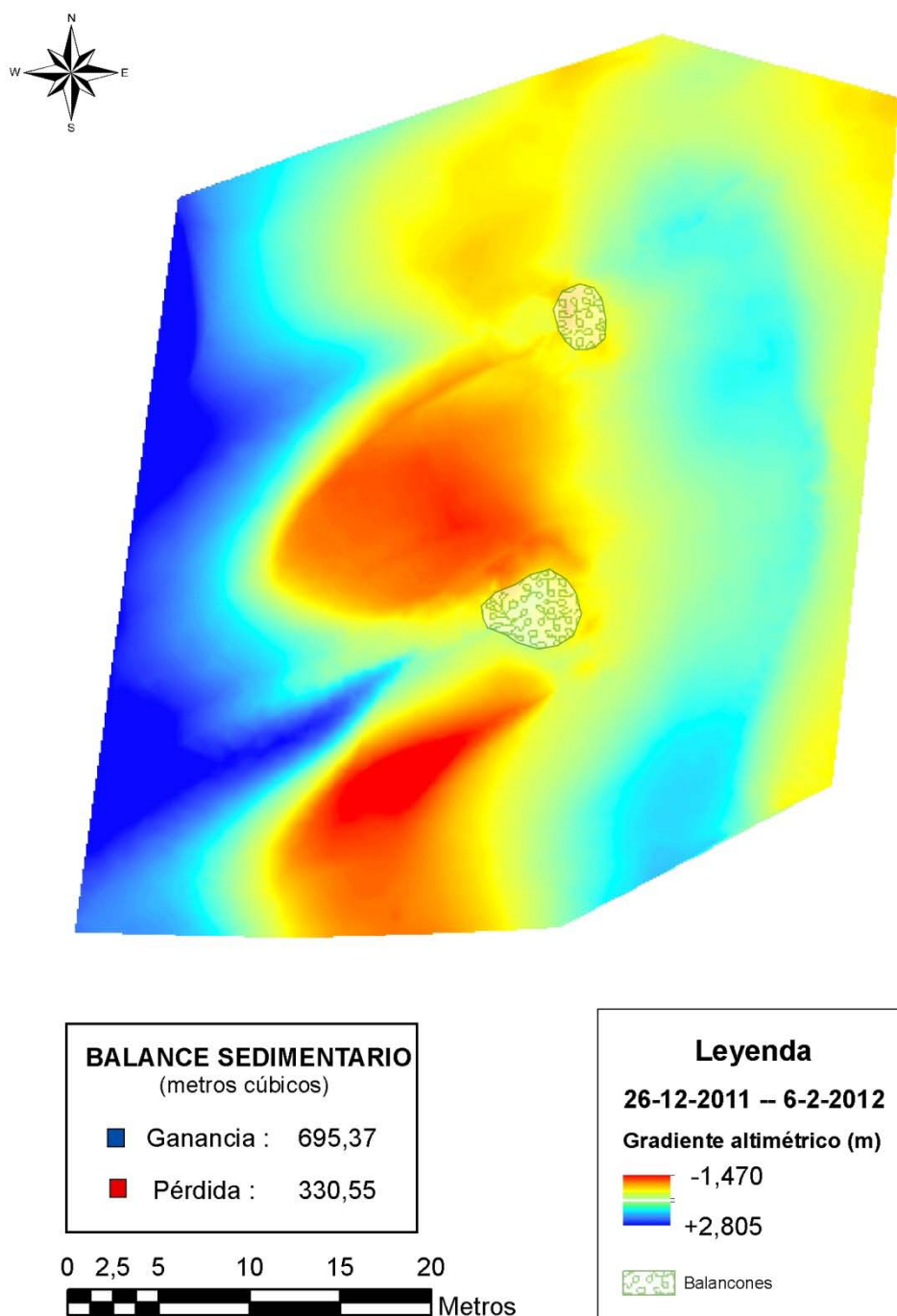


**Figura 4932:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 20-10-2011 y el MDE del 27-11-2011.

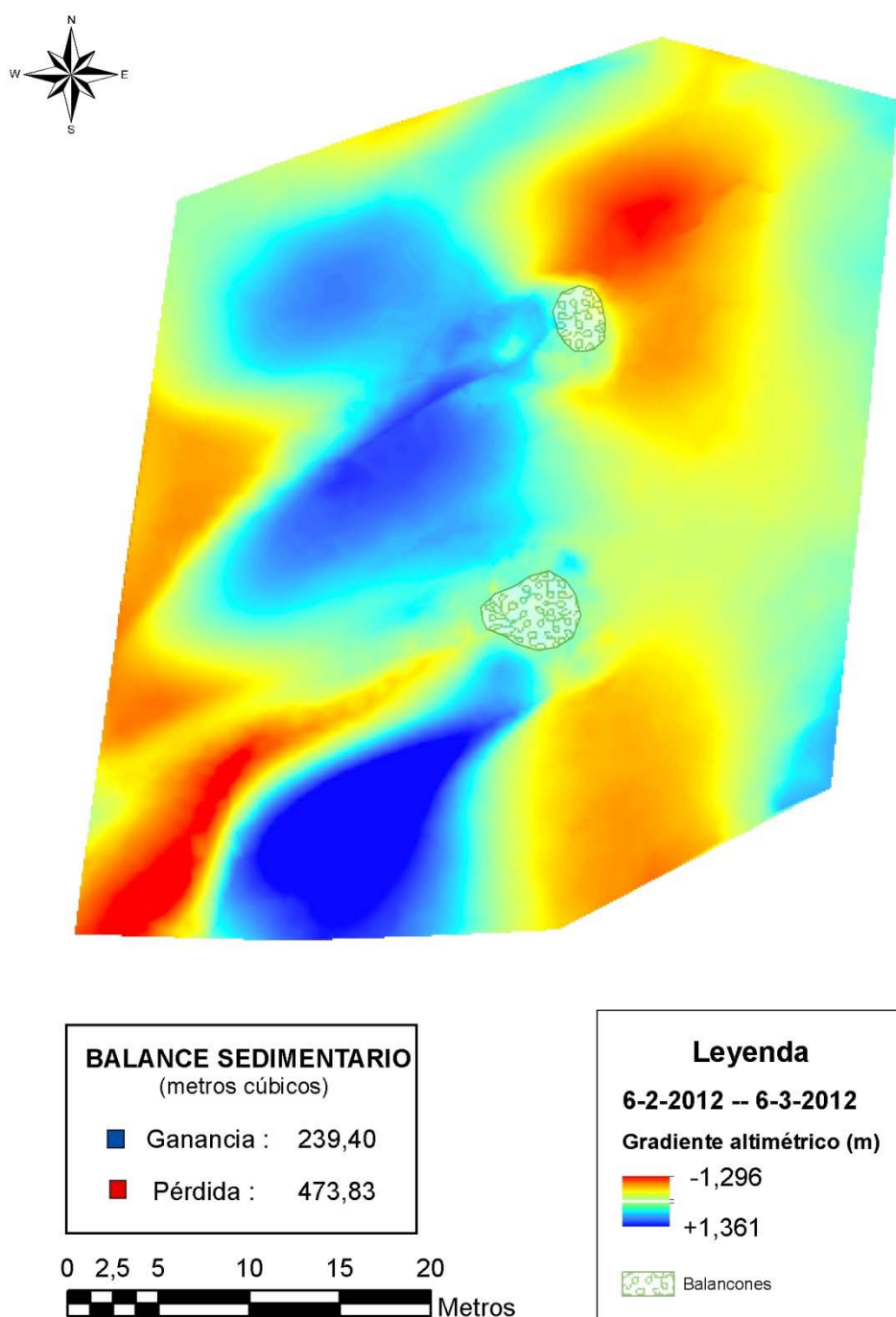


**Figura 494:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 27-11-2011 y el MDE del 26-12-2011.

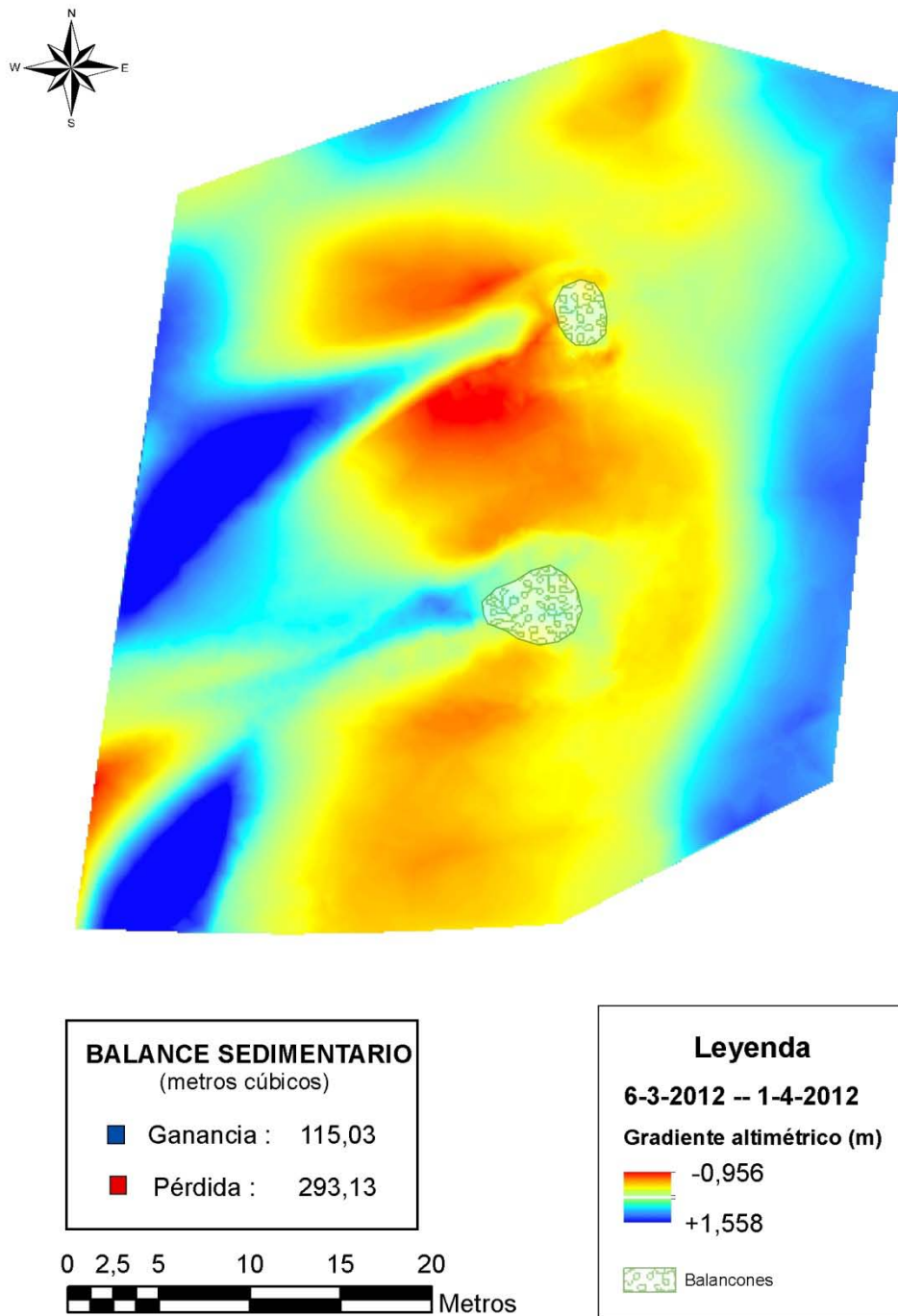




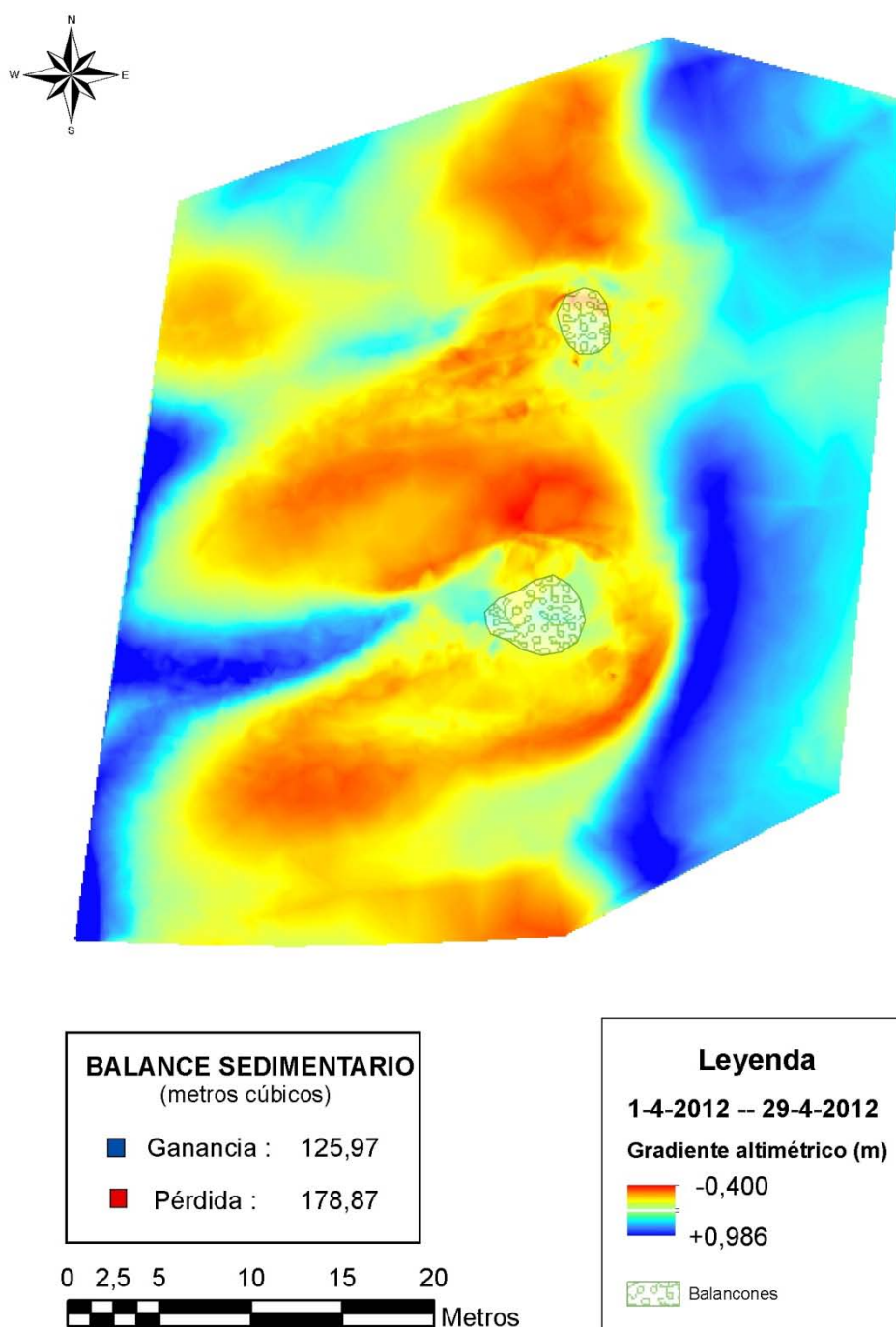
**Figura 495:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 26-12-2011 y el MDE del 06-02-2012.



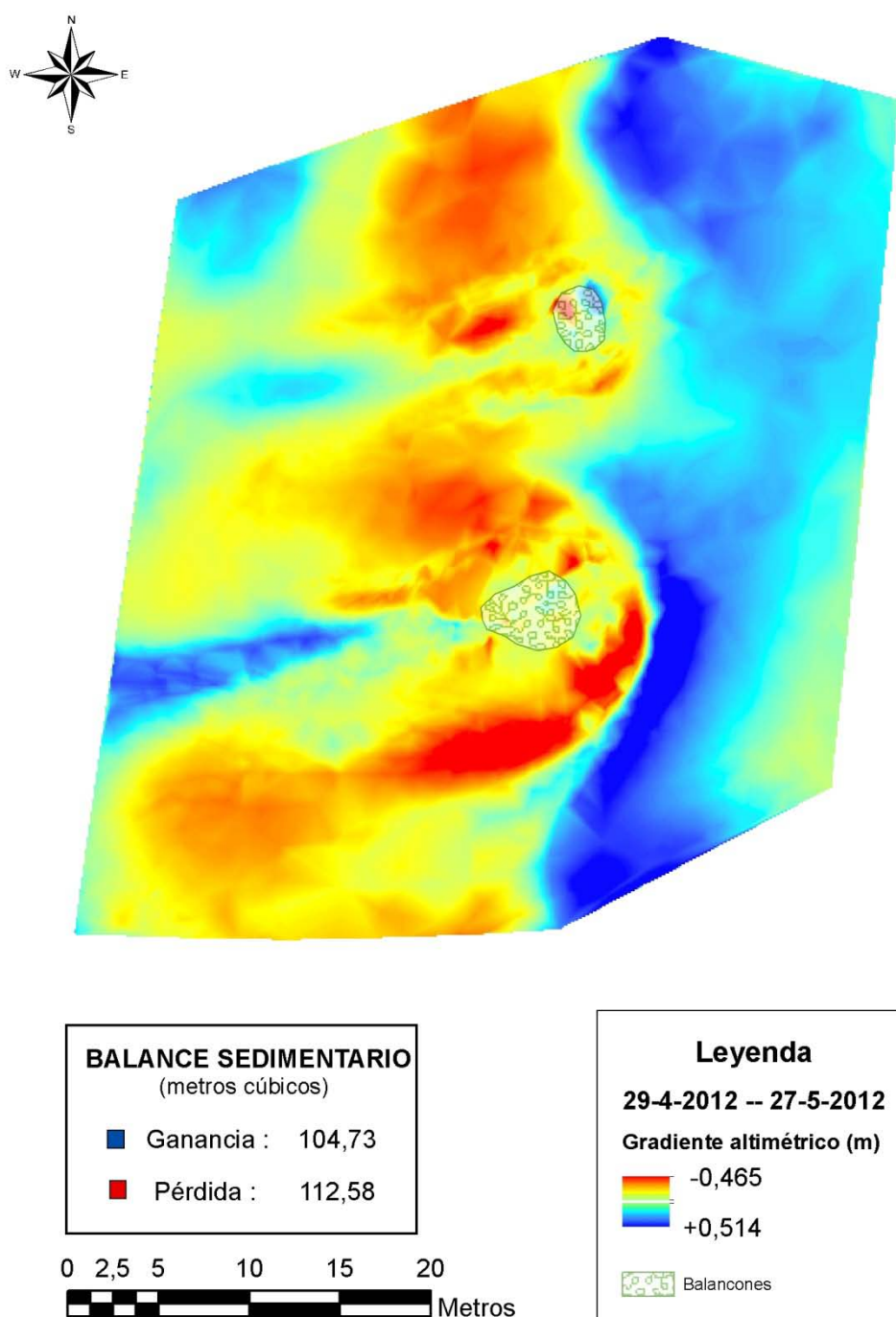
**Figura 496:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 6-02-2012 y el MDE del 06-03-2012.



**Figura 497:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 06-03-2012 y el MDE del 01-04-2012.

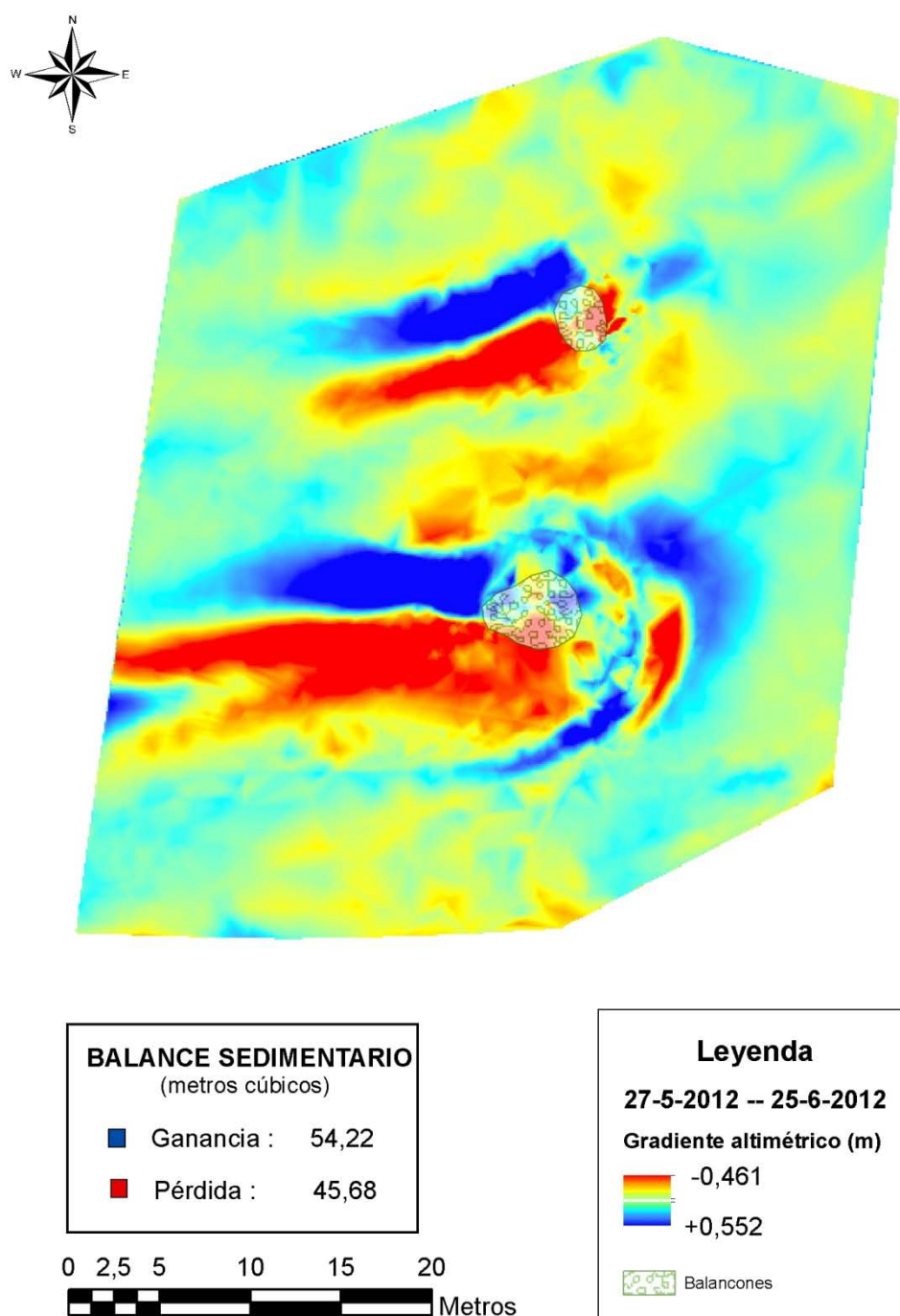


**Figura 498:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 01-04-2012 y el MDE del 29-04-2012.

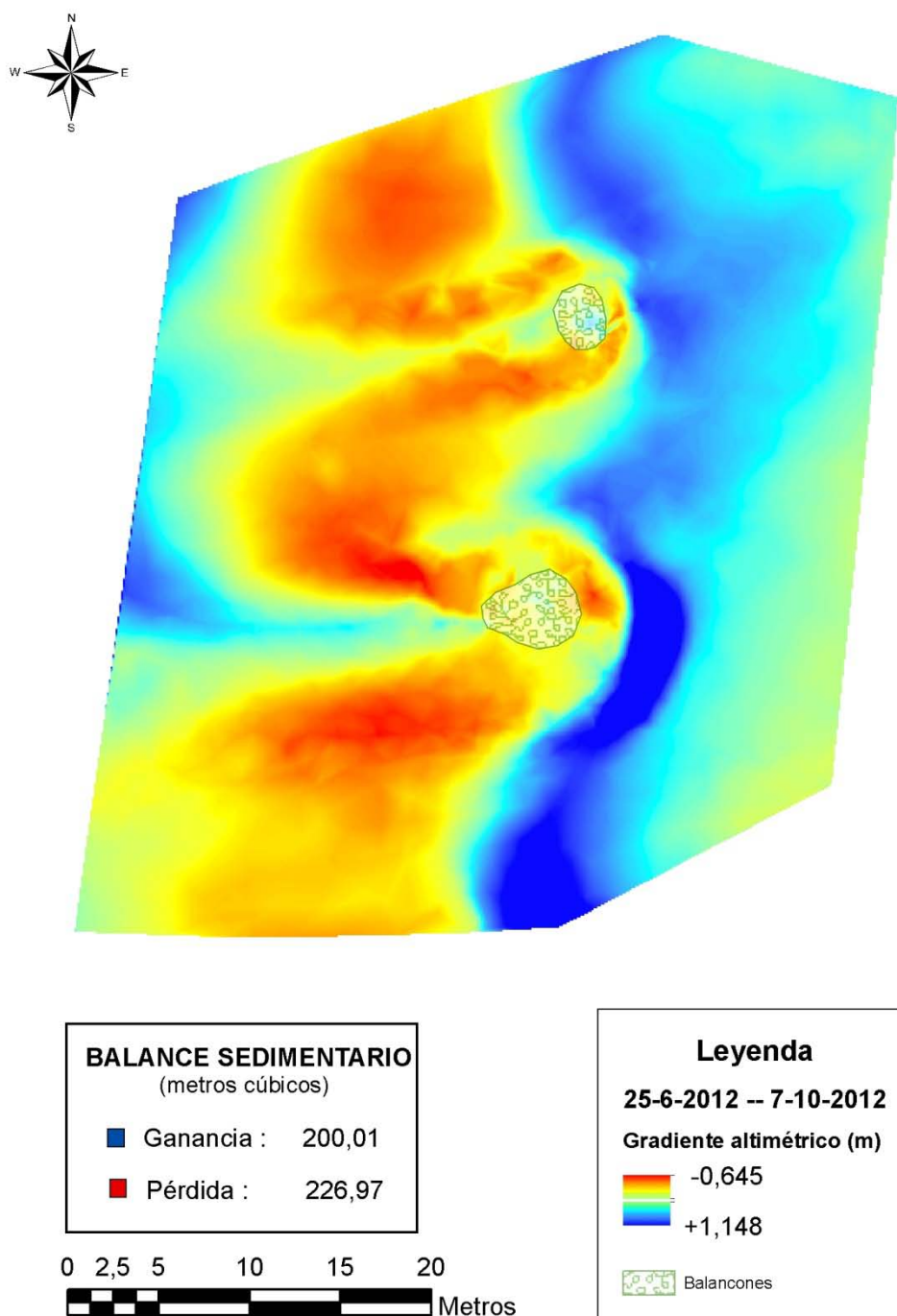


**Figura 499:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 29-04-2012 y el MDE del 27-05-2012.

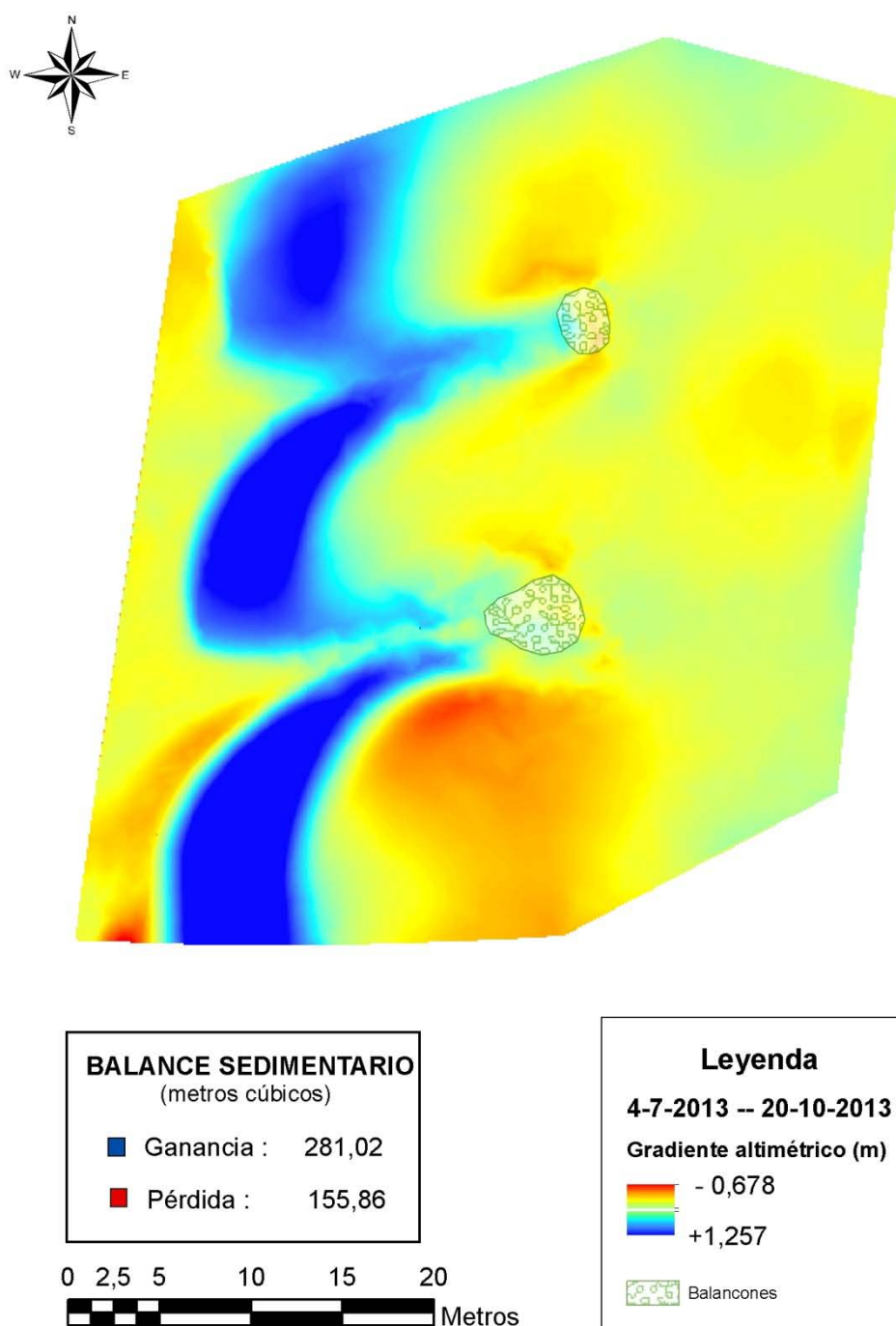




**Figura 500:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 27-05-2012 y el MDE del 25-06-2012.



**Figura 501:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 25-06-2012 y el MDE del 07-10-2012.



**Figura 502:** GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 04-07-2013 y el MDE del 20-10-2013.



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ubicación del campo de dunas de Maspalomas. Fuente: modificado de Google Earth..	8
<b>Figura 2:</b> Delimitaciones legales en la RNE Dunas de Maspalomas. Fuente: modificado de anexo cartográfico C-7, D.L. 1/2000, Gobierno de Canarias. ....	15
<b>Figura 3:</b> Esquema metodológico .....	21
<b>Figura 4:</b> Sustrato de arena húmeda con lámina de sal, en las zonas de deflación de la playa del Inglés. ....	23
<b>Figura 5:</b> Parte de un ejemplar de <i>Traganum moquinii</i> no óptimo para realizar un estudio radiométrico, dada su escasa cubierta vegetal, tras un proceso de enterramiento. ....	24
<b>Figura 6:</b> Toma de lectura radiométrica a la cobertura vegetal de un ejemplar de <i>Traganum moquinii</i> con el radiómetro CROPSCAN-MSR5 en la playa del Inglés. ....	24
<b>Figura 7:</b> Firmas espectrales típicas de distintas cubiertas. Fuente: modificado de Chuvieco, 2006. ....	25
<b>Figura 8:</b> Ubicación de los puntos de tomas de datos y distribución de los mismos por zonas. ....	26
<b>Figura 9:</b> Firmas espectrales de diferentes estadios de <i>Traganum moquinii</i> . ....	30
<b>Figura 10:</b> Firmas espectrales de los dos sustratos analizados en la playa del Inglés. ....	31
<b>Figura 11:</b> Representación gráfica con los valores de MSAVI, SAVI, NDVI, NDII de los ejemplares de <i>Traganum moquinii</i> de la zona Norte. (E: 1/4500). ....	33
<b>Figura 12:</b> Representación gráfica con los valores de MSAVI, SAVI, NDVI, NDII de los ejemplares de <i>Traganum moquinii</i> de la zona Centro. (E: 1/4500). ....	35
<b>Figura 13:</b> Representación gráfica con los valores de MSAVI, SAVI, NDVI, NDII de los ejemplares de <i>Traganum moquinii</i> de la zona Sur.(E: 1/4000). ....	37
<b>Figura 14:</b> Diagrama de dispersión entre los índices NDII y SAVI. ....	39
<b>Figura 15:</b> Diagrama de dispersión entre los índices NDII y NDVI. ....	40
<b>Figura 16:</b> Diagrama de dispersión entre los índices NDII y MSAVI. ....	40
<b>Figura 17:</b> Diagrama de dispersión entre los índice NDVI y SAVI. ....	41
<b>Figura 18:</b> Diagrama de dispersión entre los índices NDVI y MSAVI. ....	41
<b>Figura 19:</b> Diagrama de dispersión entre el los índices SAVI y MSAVI. ....	42
<b>Figura 20:</b> Diagrama de dispersión entre los índices MSAVI vs (NDII; NDVI; SAVI). ....	43
<b>Figura 21:</b> Diagrama de dispersión entre los índices SAVI vs (NDII; NDVI). ....	43
<b>Figura 22:</b> Diagrama de dispersión entre los índices NDVI y NDII. ....	44
<b>Figura 23:</b> Diagrama de dispersión entre los índice MSAVI vs (NDII; NDVI; SAVI). ....	45
<b>Figura 24:</b> Diagrama de dispersión entre los índices SAVI vs (NDII; NDVI). ....	45
<b>Figura 25:</b> Diagrama de dispersión entre los índices NDVI y NDII. ....	46
<b>Figura 26:</b> Diagrama de dispersión entre los índices MSAVI vs (NDII; NDVI; SAVI). ....	47
<b>Figura 27:</b> Diagrama de dispersión entre el índice SAVI vs (NDII; NDVI). ....	47

<b>Figura 28:</b> Diagrama de dispersión entre los índices NDVI y NDII. ....	48
<b>Figura 29:</b> Ubicación geográfica de las zonas utilizadas para los ensayos. Fuente: Google Earth. .....	53
<b>Figura 30:</b> Esquejes en diferentes estados de crecimiento, sobre GRID de 0,5 cm. ....	59
<b>Figura 31:</b> Contenedores de polietileno ubicados en bandejas impermeabilizadas.....	60
<b>Figura 32:</b> Invernadero construido para la realización de los experimentos. ....	61
<b>Figura 33:</b> Esquejes preparados para la plantación.....	63
<b>Figura 34:</b> Riego de los esquejes, mediante aspersión, en instalaciones de ELMASA.....	64
<b>Figura 35:</b> Raíces brotando, en los nudos de un esqueje con AIB, a los 30 días de plantado en sustrato de 100 % arena. ....	64
<b>Figura 36:</b> Esqueje con raíz, a los 90 días de enraizado.....	65
<b>Figura 37:</b> Esquejes, a los 30 días de plantados, bajo cubierta de malla. ....	69
<b>Figura 38:</b> Esquejes de <i>Traganum moquinii</i> bajo cubierta de malla. ....	72
<b>Figura 39:</b> Esqueje con un alto crecimiento vegetativo en fase de deshidratación.....	74
<b>Figura 40:</b> Perfil de los recipientes utilizado para insertar los esquejes. ....	78
<b>Figura 41:</b> Vista cenital del recipiente preparado para insertar los esquejes.....	78
<b>Figura 42:</b> Porcentajes de enraizamiento, frente a la variable longitud. ....	85
<b>Figura 43:</b> Porcentajes de enraizamiento, frente la variable temperatura.....	86
<b>Figura 44:</b> Diagrama de caja del porcentajes de esquejes enraizados frente a la variable temperatura. ....	87
<b>Figura 45:</b> Diagrama de caja del porcentajes de esquejes enraizados frente a la variable fase de crecimiento.....	88
<b>Figura 46:</b> Diagrama de caja del porcentajes de esquejes enraizados frente a la variable longitud. .....	89
<b>Figura 47:</b> Porcentajes de esquejes enraizados según la variable longitud de esqueje con respecto a la temperatura. ....	91
<b>Figura 48:</b> Porcentajes de esquejes enraizados según la variable temperatura con respecto a la longitud de esquejes.....	91
<b>Figura 49:</b> Porcentaje de esquejes enraizados según la variable temperatura con respecto a la fase de crecimiento. ....	92
<b>Figura 50:</b> Porcentaje de esquejes enraizados según la variable longitud de esqueje con respecto a la fase de crecimiento.....	93
<b>Figura 51:</b> Gráfico de probabilidad predicha del porcentaje de enraizamiento de esquejes. ....	95
<b>Figura 52:</b> Esquejes de <i>Traganum moquinii</i> ubicados al aire libre.....	104
<b>Figura 53:</b> Raíces de planta de <i>Traganum moquinii</i> obtenida mediante reproducción asexual en diferentes sustratos. ....	107
<b>Figura 54:</b> Representación gráfica del número de cm de crecimiento frente al número de días transcurrido desde el inicio de las observaciones. Se representa un recuadro para cada una de las condiciones experimentales, combinando sustrato y cubierta/aire libre. ....	109

<b>Figura 55:</b> Representación gráfica del logaritmo del número de centímetros frente al número de días transcurridos desde el inicio de las observaciones. La dispersión de los puntos es homogénea a lo largo del recorrido de las rectas ajustadas (homoscedasticidad).....	110
<b>Figura 56:</b> Representación gráfica del número de centímetro de crecimiento frente al número de días transcurrido desde el inicio de las observaciones. Se muestra la regresión ajustada al número de cm de crecimiento de cada esqueje. ....	111
<b>Figura 57:</b> Representación gráfica del número de centímetro de crecimiento frente al número de días transcurrido desde el inicio de las observaciones. Se representan conjuntamente todos los tratamientos aplicados.....	112
<b>Figura 58:</b> Gráfico cuantil-cuantil (qqplot) correspondiente a los residuos del modelo que se ha ajustado a los datos. Puede apreciarse que hay un buen ajuste a la normalidad.....	116
<b>Figura 59:</b> Ciclo vegetativo de <i>Traganum moquinii</i> . ....	124
<b>Figura 60:</b> Periodos de transición entre los diferentes estadios en el ciclo vegetativo de <i>Traganum moquinii</i> . ....	125
<b>Figura 61:</b> Individuo de <i>Haplothrips sventenii</i> zur Strassen, 1966, en fase larvaria, saliendo de una flor de <i>Traganum moquinii</i> , con granos de polen adheridos. ....	129
<b>Figura 62:</b> Autopolinización de una flor de <i>Traganum moquinii</i> .....	130
<b>Figura 63:</b> Cotiledones en una simiente de <i>Traganum moquinii</i> . ....	130
<b>Figura 64:</b> Posición natural de la simiente de <i>Traganum moquinii</i> . Radícula orientada en dirección longitudinal definida por el estilo.....	131
<b>Figura 65:</b> Diversas ramitas con flores, esparcidas por la acción del viento.....	131
<b>Figura 66:</b> Rama semienterrada y plántula de <i>Traganum moquinii</i> , en zona de deflación. ....	132
<b>Figura 67:</b> [1] y [2], simientes tratadas, con desarrollo normal.[3], no tratada con hongos. ....	132
<b>Figura 68:</b> Semilla de <i>Traganum moquinii</i> germinando a los 35 días de sembrada. ....	133
<b>Figura 69:</b> Desarrollo de plántulas de <i>Traganum moquinii</i> en zonas bajas de las dunas.....	134
<b>Figura 70:</b> Plántulas nacidas fuera de zonas de deflación. [1] La zona húmeda por capilaridad, está muy próxima al ser una duna estabilizada. [2] Plántulas descubiertas por la acción del viento. ....	134
<b>Figura 71:</b> Individuo adulto de <i>Haplothrips sventenii</i> zur Strassen, 1966. GRID de 1mm.....	136
<b>Figura 72:</b> Decenas de larvas de <i>Haplothrips</i> en el interior de la cavidad.....	136
<b>Figura 73:</b> Reacción de <i>Traganum moquinii</i> a la incisión (círculo rojo) realizada por <i>Haplothrips</i> . ....	137
<b>Figura 74:</b> Larvas de <i>Haplothrips</i> fuera de la cavidad, en una hoja de <i>Traganum moquinii</i> .....	137
<b>Figura 75:</b> Larva de <i>Haplothrips</i> con granos de polen adheridos, localizado en una flor de <i>Traganum moquinii</i> . GRID de 1 mm.....	138
<b>Figura 76:</b> Adulto de <i>Sphaericus (Sphaericus) gibbicollis</i> Wollaston, 1862. GRID 1 mm. ....	139
<b>Figura 77:</b> Larva de <i>Sphaericus (Sphaericus) gibbicollis</i> Wollaston, 1862. GRID 1 mm. ....	139
<b>Figura 78:</b> Larva de <i>Sphaericus</i> alimentándose del fruto de <i>Traganum moquinii</i> . GRID de 1 mm. ....	140

<b>Figura 79:</b> Ninfa de <i>Calliptamus plebeius</i> sobre rama de <i>Traganum moquinii</i> .....	141
<b>Figura 80:</b> Hojas y flor de <i>Traganum moquinii</i> dañadas por individuos de <i>Calliptamus plebeius</i> . .....	141
<b>Figura 81:</b> Adulto de <i>Orius lindbergi</i> Wagner, 1955. ....	142
<b>Figura 82:</b> Dimorfismo sexual entre hembra y macho de ejemplares de <i>Orius lindbergi</i> . GRID 1 mm. ....	142
<b>Figura 83:</b> Juvenil de <i>Canarichelifer teneriffae</i> . GRID de 1 mm. ....	143
<b>Figura 84:</b> Individuos de <i>Traganum moquinii</i> . en las cercanías del centro comercial Anexo II. 144	
<b>Figura 85:</b> Gráfico de reflectividad de los datos tomados durante la noche con el radiómetro. .	147
<b>Figura 86:</b> Luxómetro empleado en la toma de datos.. ....	149
<b>Figura 87:</b> Vista nocturna del Centro comercial Anexo II desde la playa del Inglés.....	149
<b>Figura 88:</b> Ubicación de los puntos tomados en campo y modelo digital de la afección lumínica en la playa del Inglés. ....	150
<b>Figura 89:</b> Representación del modelo digital y ubicación de las luminarias en el paseo existente en el centro comercial Anexo II, en la playa del Inglés. ....	151
<b>Figura 90:</b> Individuos de <i>Traganum moquinii</i> expuestos a luces de diferentes longitudes de ondas. .....	152
<b>Figura 91:</b> Diagrama de barras del número de flores emitidas al finalizar el ensayo.....	153
<b>Figura 92:</b> Diagrama de caja del número de flores emitidas al finalizar el ensayo. ....	154
<b>Figura 93:</b> Individuos de <i>Traganum moquinii</i> seleccionados para determinar cuántas flores existen por volumen de material vegetal, estadios de las mismas, y si han sido afectadas por ataque de insectos dependiendo de su ubicación.....	155
<b>Figura 94:</b> Componentes del dispositivo de extracción de muestras vegetales.....	156
<b>Figura 95:</b> Dispositivo para extracción de muestras vegetales montado. ....	156
<b>Figura 96:</b> Dispositivo de extracción de muestras vegetales montado con jalón de madera en un individuo de <i>Traganum moquinii</i> .....	157
<b>Figura 97:</b> Flores en fase inicial de apertura. ....	157
<b>Figura 98:</b> Flor sin fecundar con el saco embrionario necrótico. ....	158
<b>Figura 99:</b> Flor que se ha secado antes de su total apertura. ....	158
<b>Figura 100:</b> Imágenes de saco embrionario en fase de desarrollo y simiente totalmente formada. .....	158
<b>Figura 101:</b> Flor con oruga, y heces producidos por la misma. ....	159
<b>Figura 102:</b> Diagrama de barras del número de flores según la zona de muestreos. ....	159
<b>Figura 103:</b> Diagrama de barras de porcentajes de flores según tipología y zona de muestreo. 160	
<b>Figura 104:</b> Ejemplar de <i>Traganum moquinii</i> próximo a un frente de avalancha de una duna. .	164
<b>Figura 105:</b> El mismo ejemplar de <i>Traganum moquinii</i> de la figura 104 tras 36 días de haber sido enterrado por una duna. ....	165
<b>Figura 106:</b> Rama de <i>Traganum moquinii</i> , reaccionando al enterramiento, con brote lateral situado a mitad de una rama prácticamente horizontal.....	166

<b>Figura 107:</b> Vista de los tubos alargados que se encuentran, en la mayoría de los casos, en los brotes nuevos que se están desarrollando bajo la arena en la playa del Inglés. ....	166
<b>Figura 108:</b> Diferentes vistas del ensayo realizado para estudiar la reacción de plantas jóvenes de <i>Traganum moquinii</i> al enterramiento. ....	167
<b>Figura 109:</b> Individuos jóvenes de <i>Traganum moquinii</i> que no sobrevivieron al tratamiento de oscuridad absoluta durante el ensayo. ....	168
<b>Figura 110:</b> Individuos de <i>Traganum moquinii</i> a los 60 días de iniciado el enterramiento. ....	169
<b>Figura 111:</b> Contenedores con bolitas de poliexpan y arena empleados en el ensayo realizado para evaluar en qué medida afecta la luminosidad en la reacción del <i>Traganum moquinii</i> al enterramiento. ....	170
<b>Figura 112:</b> <i>Traganum moquinii</i> enterrado en bolitas de poliexpan, reaccionando al enterramiento mediante elongación de la yema apical. Obsérvese que su ubicación es muy próxima a la fibra de vidrio. ....	171
<b>Figura 113:</b> Movimiento ascendente debido a la capilaridad en los suelos. La velocidad del movimiento resulta ser de mayor significación que la altura total. Fuente: Brady, 1984. ....	172
<b>Figura 114:</b> Profundidad a la que se encontraba el nivel freático, en la zona de la Reserva en la cual se realizará la fase 2 del ensayo, en el momento de iniciarse el ensayo de la primera fase. ....	173
<b>Figura 115:</b> Columna de arena y dispositivo para detectar la zona húmeda en la misma. ....	173
<b>Figura 116:</b> Curva de velocidad de ascenso capilar en sustrato de la RNE de las Dunas de Maspalomas. ....	174
<b>Figura 117:</b> Línea base definida para la toma de datos asociados a la profundidad de la zona húmeda, procedente del nivel freático. ....	175
<b>Figura 118:</b> Vista de las líneas bases con sus correspondientes puntos, sobre el MDE generado. ....	176
<b>Figura 119:</b> Gráfico de los perfiles topográficos y de humedad analizados para la línea base n°1. ....	178
<b>Figura 120:</b> Gráfico de los perfiles topográficos y de humedad analizados para la línea base n°2. ....	179
<b>Figura 121:</b> Gráfico de los perfiles topográficos y de humedad analizados para la línea base n°3. ....	180
<b>Figura 122:</b> Gráfico de los perfiles topográficos y de humedad analizados para la línea base n°4. ....	181
<b>Figura 123:</b> Vista interior y exterior del habitáculo realizado con poliexpan para mantener las temperaturas constantes durante el ensayo. ....	182
<b>Figura 124:</b> Brote desarrollado con una fuerte elongación (izquierda) y deformación generada, a priori, por hongos saprófitos (derecha). ....	183
<b>Figura 125:</b> Vista de un individuo de <i>Traganum moquinii</i> antes y después del despunte de la yema terminal. ....	185

<b>Figura 126:</b> Brotes nuevos, desarrollados en las yemas laterales, próximas al ápice, en individuos de <i>Traganum moquinii</i> , enterrados en árido triturado del 0.5 (izquierda) y en picón (derecha), a los 15 días de sufrir el enterramiento total tras un proceso de enterramiento progresivo.....	188
<b>Figura 127:</b> Brotes nuevos desarrollados en las yemas laterales en individuos de <i>Traganum moquinii</i> enterrados en árido triturado del 0.5, a los 20 días de sufrir el enterramiento total tras un proceso de enterramiento progresivo.....	188
<b>Figura 128:</b> Ramas sin brotes nuevos en las zonas basales en individuos de <i>Traganum moquinii</i> , enterrados en árido triturado del 0.5, a los 20 días de sufrir el enterramiento total tras un proceso de enterramiento progresivo. ....	189
<b>Figura 129:</b> Vista de hilos de seda, separados mediante un alfiler, con granos de arena adheridos a los mismos. ....	190
<b>Figura 130:</b> Brote tierno de <i>Traganum moquinii</i> con tubo de arena, construido en laboratorio por una larva, encontrada en las dunas de Playa del Inglés.....	191
<b>Figura 131:</b> Adulto de <i>Ancylosis arenosella</i> obtenida en condiciones de laboratorio durante el desarrollo del estudio .Foto: Antonio J. Pérez Delgado. ....	192
<b>Figura 132:</b> Pupa de <i>Ancylosis arenosella</i> ubicada al final del tubo, el cual construyó durante el seguimiento realizado en laboratorio. El tubo es idéntico a los encontrados en brotes tiernos de individuos de <i>Traganum moquinii</i> que habían sufrido un proceso de enterramiento progresivo por arena muy reciente. ....	193
<b>Figura 133:</b> Larva (izquierda) y pupa (derecha) en fase final de este estadio, pues a los tres días emergió el adulto de <i>Ancylosis arenosella</i> . ....	194
<b>Figura 134:</b> Adulto de <i>Ancylosis arenosella</i> , con las alas aún sin estirar a las pocas horas de emerger. ....	194
<b>Figura 135:</b> Abundantes brotes laterales muy vigorosos pertenecientes a un <i>Traganum moquinii</i> en muy buen estado fisiológico tras sufrir un enterramiento progresivo. ....	197
<b>Figura 136:</b> Mapa de recursos eólicos de la isla de Gran Canaria. Fuente: modificado de ITC, 2015.....	201
<b>Figura 137:</b> Supuesto teórico, a partir de observaciones de campo y datos de la AEMET, del flujo de viento que afectan la isla de Gran Canaria con vientos dominantes de componente N. Fuente: modificado de ITC, 2015.....	202
<b>Figura 138:</b> Ubicación de las estaciones meteorológicas Arucas-Bañaderos y Maspalomas. Fuente: modificada de GRAFCAN SL. ....	203
<b>Figura 139:</b> Comparativa de datos de vientos (velocidades medias y componentes), correspondientes a las horas diurnas, de las estaciones que posee la AEMET en Bañaderos (norte de Gran Canaria) y Maspalomas (sur de Gran Canaria) del mes de octubre de 2014.....	205
<b>Figura 140:</b> Perfil topográfico de la isla de Gran Canaria, definido por los puntos más altos en ambas vertientes, este y oeste. Destaca el elevado desnivel existente en la zona oeste, que reduce el dominio por el cual transita el viento, acelerándolo. Fuente: modificado de GRAFCAN SL...	208

<b>Figura 141:</b> Ubicación del kiosco nº 8 en la playa del Inglés donde se ubica la estación meteorológica de la ULPGC. Fuente: modificado de Google Earth.....	209
<b>Figura 142:</b> Rosa de vientos efectivos con velocidades medias (m/s) y frecuencias (%) de todos los datos existentes durante el periodo en el cual se ha desarrollado el estudio. ....	210
<b>Figura 143:</b> Cronológico que relaciona las diferentes campañas realizadas para la generación de los MDEs y periodos en los cuales existen datos de vientos. ....	211
<b>Figura 144:</b> Localización de la parcela en la cual se ha realizado el estudio de la dinámica eólica en la duna costera. (X=443880, Y=3069220, en el huso 28R). Fuente: Google Earth.....	217
<b>Figura 145:</b> Sistema inalámbrico de toma de medidas de viento.....	218
<b>Figura 146:</b> Estación base, datalogger, anemómetro y veleta.....	219
<b>Figura 147:</b> datalogger. ....	221
<b>Figura 148:</b> Software de monitorización y control en la estación base del sensor E003, durante una sesión de medición con diez sensores.....	222
<b>Figura 149:</b> Campaña de campo realizada en Pozo Izquierdo (Gran Canaria), para tomar datos de viento con el sistema desarrollado y el que posee la AEMET, con el objeto de verificar la validación del primero.....	223
<b>Figura 150:</b> Vista de dispositivos en la campaña de campo.....	224
<b>Figura 151:</b> Vista de algunos de los dispositivos durante el diseño 1 ubicados en una duna parabólica en Playa del Inglés.....	225
<b>Figura 152:</b> Ubicación de los diferentes dispositivos empleados para el diseño 1.....	226
<b>Figura 153:</b> Ubicación de los diferentes dispositivos empleados para el ensayo 2.....	228
<b>Figura 154:</b> Vista de algunos de los dispositivos durante el ensayo 2.....	229
<b>Figura 155:</b> Valores de las velocidades medias registradas en los diferentes dispositivos, y las cotas a las que están los mismos respecto a la superficie del terreno, durante el ensayo 2.....	230
<b>Figura 156</b> Perfil topográfico del eje longitudinal de una duna parabólica y los valores de las velocidades medias registradas en los diferentes dispositivos que coinciden con dicha línea, durante el ensayo 1.....	231
<b>Figura 157:</b> Valores de las velocidades medias registradas en los diferentes dispositivos, y las cotas a las que están los mismos respecto a la superficie del terreno, durante el ensayo 2. ....	233
<b>Figura 158</b> Perfil topográfico del eje longitudinal de una duna parabólica y los valores de las velocidades medias registradas en los diferentes dispositivos que coinciden con dicha línea, durante el ensayo 2. ....	234
<b>Figura 159:</b> Modelo observado, de cómo funciona la dinámica eólica a ras de suelo en una duna parabólica de la duna costera de la Playa del Inglés.....	237
<b>Figura 160:</b> Vista cenital del modelo de viento desarrollado para un instante t, a partir de los datos del diseño 1.....	238
<b>Figura 161:</b> Vista en perspectiva del modelo de viento desarrollado para un instante t, a partir de los datos del diseño 1.....	239
<b>Figura 162:</b> Líneas de corriente del diseño 1.....	240

<b>Figura 163:</b> Vista cenital del modelo de viento desarrollado para un instante $t$ , a partir de los datos del diseño 2. ....	241
<b>Figura 164:</b> Vista en perspectiva del modelo de viento desarrollado para un instante $t$ , a partir de los datos del diseño 2. ....	242
<b>Figura 165:</b> Líneas de corriente del diseño 2. ....	243
<b>Figura 166:</b> Ubicación de las parcelas en la playa del Inglés. ....	248
<b>Figura 167:</b> Cuerda utilizada para señalar los cambios de pendiente. ....	249
<b>Figura 168:</b> Cuerda desplazada hacia una cota inferior ante la existencia de reverberancias. ...	250
<b>Figura 169:</b> Vista parcial de un TIN, se aprecia el hueco generado en la parte central, donde se localiza un punto (en rojo) desplazado por reverberancias. ....	252
<b>Figura 170:</b> Modelo de cartel colocado en las estacas. ....	254
<b>Figura 171:</b> Ubicación de la parcela nº 1 y subparcela. Fuente: GRAFCAN S.L. ....	255
<b>Figura 172:</b> Límites de la Subparcela, definidos en los vértices por estacas. ....	255
<b>Figura 173:</b> Vista cenital de la zona de estudio el 14-3-2010. Fuente: GRAFCAN S.L. ....	256
<b>Figura 174:</b> Estado de la zona objeto de estudio el 13-5-2010. ....	256
<b>Figura 175:</b> Estado de la zona el 18-11-2010. ....	257
<b>Figura 176:</b> Estado de la zona el 13-4- 2011. ....	258
<b>Figura 177:</b> Estacas con carteles preparadas para su colocación en la parcela objeto de estudio. ....	258
<b>Figura 178:</b> Realización de hoyos con barrena para la colocación de estacas. ....	259
<b>Figura 179:</b> Ubicación de los perfiles. ....	260
<b>Figura 180:</b> Fechas correspondientes a los MDEs que desde el punto de vista morfológico se consideraron interesantes para su análisis en este estudio. ....	261
<b>Figura 181:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 7-06-2010 en la parcela 1. ....	262
<b>Figura 182:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 7-06-2010. ....	263
<b>Figura 183:</b> Perfil longitudinal de la subparcela (7-06-2010). ....	264
<b>Figura 184:</b> Perfil transversal de la subparcela (7-06-2010). ....	264
<b>Figura 185:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 16-10-2011 en la parcela 1. ....	265
<b>Figura 186:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 16-10-2011. ....	266
<b>Figura 187:</b> Perfil longitudinal de la subparcela (16-10-2011). ....	267
<b>Figura 188:</b> Perfil transversal de la subparcela (16-10-2011). ....	267
<b>Figura 189:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 18-12-2011 en la parcela 1. ....	268
<b>Figura 190:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 18-12-2011. ....	269
<b>Figura 191:</b> Perfil longitudinal de la subparcela (18-12-2011). ....	270
<b>Figura 192:</b> Perfil transversal de la subparcela (18-12-2011). ....	270
<b>Figura 193:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 22-01-2011 en la parcela 1. ....	271
<b>Figura 194:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 22-01-2011. ....	272
<b>Figura 195:</b> Perfil longitudinal de la subparcela (22-01-2012). ....	273



<b>Figura 196:</b> Perfil transversal de la subparcela (22-01-2012).	273
<b>Figura 197:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 26-02-2012 en la parcela 1.	274
<b>Figura 198:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 26-02-2012.	275
<b>Figura 199:</b> Perfil longitudinal de la subparcela (26-02-2012).	276
<b>Figura 200:</b> Perfil transversal de la subparcela (26-02-2012).	276
<b>Figura 201:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 04-06-2013 en la parcela 1.	277
<b>Figura 202:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 04-06-2013.	278
<b>Figura 203:</b> Perfil longitudinal de la subparcela (04-06-2013).	279
<b>Figura 204:</b> Perfil transversal de la subparcela (04-06-2013).	279
<b>Figura 205:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 02-03-2014 en la parcela 1.	280
<b>Figura 206:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 02-03-2014.	281
<b>Figura 207:</b> Perfil longitudinal de la subparcela (02-03-2014).	282
<b>Figura 208:</b> Perfil transversal de la subparcela (02-03-2014).	282
<b>Figura 209:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 7-6-2010 y el MDE del 18-11-2010.	284
<b>Figura 210:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 15-9-2011 y el MDE del 16-10-2011.	285
<b>Figura 211:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 17-11-2011 y el MDE del 18-12-2011.	286
<b>Figura 212:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 18-12-2011 y el MDE del 22-1-2012.	287
<b>Figura 213:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 22-1-2012 y el MDE del 26-2-2012.	288
<b>Figura 214:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 30-12-2012 y el MDE del 4-6-2012.	289
<b>Figura 215:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 4-6-2013 y el MDE del 2-3-2014.	290
<b>Figura 216:</b> Volumen de sedimentos en la parcela 1 y rosas de vientos efectivos pertenecientes a los periodos en los cuales existen datos de vientos.	293
<b>Figura 217:</b> Evolución del crecimiento vegetativo del ejemplar de <i>Traganum moquinii</i> ubicado en la subparcela.	295
<b>Figura 218:</b> Evolución del volumen de la copa del individuo de <i>Traganum moquinii</i> ubicado en la subparcela y del sedimento a lo largo del estudio.	297
<b>Figura 219:</b> Perfiles longitudinales seleccionados y superficie que engloba los mismos.	299
<b>Figura 220:</b> Morfología alterada por usuarios de la playa (18-10-2011) en la parcela objeto de estudio.	300

<b>Figura 221:</b> Perfiles transversales seleccionados. En gris se presenta el área de fluctuación de los perfiles. ....	301
<b>Figura 222:</b> Sobre la duna sombra formada a sotavento del ejemplar de <i>Traganum moquinii</i> se observan rizaduras perpendiculares a los vientos dominantes en el periodo 18-12-2011/22-1-2012. ....	303
<b>Figura 223:</b> Evolución cronológica del avance de los dos frentes por la parcela objeto de estudio desde el 22-1-2011 al 7-2-2013. ....	304
<b>Figura 224:</b> Gráfico de la evolución de las distancias entre frentes desde el 22-1-2011 al 7-2-2013. ....	304
<b>Figura 225:</b> Evolución acotada del avance del frente original (en rojo) en relación al avance de segundo frente (en azul). ....	305
<b>Figura 226:</b> Vista cenital de la parcela 1 el 17-2-2013. Se aprecian las dunas eco, en montículo y de sombra asociadas a un ejemplar de <i>Traganum moquinii</i> . Fuente: GRAFCAN.SL. ....	306
<b>Figura 227:</b> Parte del GRID que se generó a partir de los datos captados el 18-12-2011 en el cual se observa el desarrollo una duna barjana. ....	306
<b>Figura 228:</b> Vista de la parcela 1, el 26-2-2012, en la cual ya se aprecia la duna cola de ballena asociada al ejemplar de <i>Traganum moquinii</i> . ....	307
<b>Figura 229:</b> Vista cenital de la parcela 1, el 9-5-2012, en la cual se aprecia la duna de cola de ballena perfectamente formada. Fuente: GRAFCAN S.L. ....	308
<b>Figura 230:</b> Evolución del avance de diferentes dunas. La tasa de avance depende de la densidad de vegetación que se encuentra a su paso. ....	309
<b>Figura 231:</b> Ubicación de la parcela nº 2. Fuente: GRAFCAN S.A. ....	311
<b>Figura 232:</b> Realización de las primeras tareas, en la ejecución del vallado. ....	312
<b>Figura 233:</b> Vista parcial del vallado finalizado. ....	313
<b>Figura 234:</b> Rizaduras atravesando la valla cinegética. ....	313
<b>Figura 235:</b> Zona objeto de estudio sin afecciones antrópicas. ....	314
<b>Figura 236:</b> Ubicación de los diferentes perfiles. ....	315
<b>Figura 237:</b> Escala temporal de los MDEs realizados que se consideraron morfológicamente más representativos. ....	316
<b>Figura 238:</b> Vista parcial de la parcela 2 el 19-5-2011. ....	317
<b>Figura 239:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 19-05-2011 en la parcela 2. ....	317
<b>Figura 240:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 19-05-2011. ....	318
<b>Figura 241:</b> Perfil nº 1 (19-05-2011). ....	319
<b>Figura 242:</b> Perfil nº 2 (19-05-2011). ....	319
<b>Figura 243:</b> Perfil nº 3 (19-05-2011). ....	319
<b>Figura 244:</b> Perfil nº 4 (19-05-2011). ....	320
<b>Figura 245:</b> Perfil nº 5 (19-05-2011). ....	320
<b>Figura 246:</b> Perfil nº 6 (19-05-2011). ....	320
<b>Figura 247:</b> Vista parcial de la parcela 2 el 20-10-2011. ....	321

<b>Figura 248:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 20-10-2011 en la parcela 2.	322
<b>Figura 249:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 20-10-2011.	323
<b>Figura 250:</b> Perfil nº 1 (20-10-2011).	324
<b>Figura 251:</b> Perfil nº 2 (20-10-2011).	324
<b>Figura 252:</b> Perfil nº 3 (20-10-2011).	324
<b>Figura 253:</b> Perfil nº 4 (10-10-2011).	325
<b>Figura 254:</b> Perfil nº 5 (20-10-2011).	325
<b>Figura 255:</b> Perfil nº 6 (20-10-2011).	325
<b>Figura 256:</b> Vista parcial de la parcela 2 el 26-12-2011.	326
<b>Figura 257:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 26-12-2011 en la parcela 2.	326
<b>Figura 258:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 26-12-2011.	327
<b>Figura 259:</b> Perfil nº 1 (26-12-2011).	328
<b>Figura 260:</b> Perfil nº 2 (26-12-2011).	328
<b>Figura 261:</b> Perfil nº 3 (26-12-2011).	328
<b>Figura 262:</b> Perfil nº 4 (26-12-2011).	329
<b>Figura 263:</b> Perfil nº 5 (26-12-2011).	329
<b>Figura 264:</b> Perfil nº 6 (26-12-2011).	329
<b>Figura 265:</b> Vista parcial de la parcela 2 el 7-10-2012.	330
<b>Figura 266:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 7-10-2012 en la parcela 2.	330
<b>Figura 267:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 7-10-2012.	331
<b>Figura 268:</b> Perfil nº 1 (7-10-2012).	332
<b>Figura 269:</b> Perfil nº 2 (7-10-2012).	332
<b>Figura 270:</b> Perfil nº 3 (7-10-2012).	332
<b>Figura 271:</b> Perfil nº 4 (7-10-2012).	333
<b>Figura 272:</b> Perfil nº 5 (7-10-2012).	333
<b>Figura 273:</b> Perfil nº 6 (7-10-2012).	333
<b>Figura 274:</b> Vista parcial de la parcela 2 el 10 de marzo de 2013.	334
<b>Figura 275:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 10-3-2013 en la parcela 2.	334
<b>Figura 276:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 10-3-2013.	335
<b>Figura 277:</b> Perfil nº 1 (10-3-2013).	336
<b>Figura 278:</b> Perfil nº 2 (10-3-2013).	336
<b>Figura 279:</b> Perfil nº 3 (10-3-2013).	336
<b>Figura 280:</b> Perfil nº 4 (10-3-2013).	337
<b>Figura 281:</b> Perfil nº 5 (10-3-2013).	337
<b>Figura 282:</b> Perfil nº 6 (10-3-2013).	337
<b>Figura 283:</b> Vista parcial de la parcela 2 el 10 de marzo de 2013.	338
<b>Figura 284:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 10-3-2013 en la parcela 2.	338

<b>Figura 285:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 10-3-2013.....	339
<b>Figura 286:</b> Perfil nº 1 (4-7-2013).....	340
<b>Figura 287:</b> Perfil nº 2 (4-7-2013).....	340
<b>Figura 288:</b> Perfil nº 3 (4-7-2013).....	340
<b>Figura 289:</b> Perfil nº 4 (4-7-2013).....	341
<b>Figura 290:</b> Perfil nº 5 (4-7-2013).....	341
<b>Figura 291:</b> Perfil nº 6 (4-7-2013).....	341
<b>Figura 292:</b> GRID correspondiente a la resta obtenido entre el MDE del 19-5-2011 y el MDE del 22-6-2011.....	343
<b>Figura 293:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 22-9-2011 y el MDE del 20-10-2011.....	344
<b>Figura 294:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 7-10-2012 y el MDE del 10-3-2013.....	345
<b>Figura 295:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 10-3-2013 y el MDE del 4-7-2013.....	346
<b>Figura 296:</b> Volumen de sedimentos en la parcela nº2 y rosas de vientos efectivos pertenecientes a los periodos en los cuales existen datos de vientos.....	349
<b>Figura 297:</b> Perfiles nº1 de todos los MDEs y superficie que engloba los mismos.....	352
<b>Figura 298:</b> Perfiles nº2 de todos los MDEs y superficie que engloba los mismos (en gris).....	353
<b>Figura 299:</b> Perfiles nº3 de todos los MDEs y superficie que engloba los mismos (en gris).....	354
<b>Figura 300:</b> Perfiles nº4 de todos los MDEs y superficie que engloba los mismos (gris).....	355
<b>Figura 301:</b> Perfiles nº5 de todos los MDEs y superficie que engloba los mismos (gris).....	356
<b>Figura 302:</b> Perfiles nº6 de todos los MDEs y superficie que engloba los mismos.....	357
<b>Figura 303:</b> Dunas parabólicas el 29-9-2010. Fuente: GRAFCAN S.A.....	361
<b>Figura 304:</b> Dunas parabólicas retrocediendo hacia la playa el 23-2-2011. Fuente: GRAFCAN S.A.....	361
<b>Figura 305:</b> Velocidades medias y frecuencias de vientos efectivos durante el mes de marzo de 2011 en la playa del Inglés.....	362
<b>Figura 306:</b> Velocidades medias y frecuencias de vientos efectivos durante el mes de abril de 2011 en la playa del Inglés.....	363
<b>Figura 307:</b> Velocidades medias y frecuencias de vientos efectivos desde el 1 al 18 de mayo de 2011 en la playa del Inglés.....	363
<b>Figura 308:</b> Vistas isométricas del TIN mostrando la duna parabólica inversa.....	364
<b>Figura 309:</b> GRID de pendientes correspondiente al MDE realizado el 19-5-2011.....	365
<b>Figura 310:</b> GRID de modelos de pendientes correspondiente al MDE realizado el 30 diciembre de 2012, en la parcela 1.....	366
<b>Figura 311:</b> Duna parabólica inversa desarrollada en la duna costera en marzo 2014.....	366
<b>Figura 312:</b> La entrada de vientos contrarios a los dominantes, durante un periodo relativamente largo, favorece el desarrollo de un talud al pie del ya formado por vientos dominantes.....	367

<b>Figura 313:</b> Perfil topográfico en el que se observa el desarrollo de una duna cabalgante entre el 10-3-2013 y el 4-7-2013 en la duna costera. Al haber vientos efectivos dominantes. ....	368
<b>Figura 314:</b> Evolución del frente de la duna parabólica, desde que se forma hasta que atraviesa la duna costera. ....	371
<b>Figura 315:</b> Representación gráfica del método empleado para determinar las distancias entre STM que han favorecido la formación de dunas parabólicas. Fuente: GRAFCAN S. L. ....	373
<b>Figura 316:</b> Diagramas de caja de las distancias entre ejemplares de <i>Traganum moquinii</i> que han favorecido dunas parabólicas en las diferentes zonas. ....	376
<b>Figura 317:</b> Vista de dunas parabólicas con diferentes longitudes, dependiendo de las distancias entre STM, dispuestos de forma no lineal. Fuente: GRAFCAN S.L. ....	377
<b>Figura 318:</b> Gráfico de la evolución de volumen de sedimento por superficie (metros cúbicos/metro cuadrado) en cada una de las parcelas en diferentes periodos de tiempo y rosa de vientos efectivos de los periodos con datos. ....	383
<b>Figura 319:</b> Triángulo indicativo de error (Intersección Inversa). ....	425
<b>Figura 320:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 18-11-2010 en la parcela 1. ....	432
<b>Figura 321:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 18-11-2010. ....	433
<b>Figura 322:</b> Perfil longitudinal (18-11-2010). ....	434
<b>Figura 323:</b> Perfil transversal (18-11-2010). ....	434
<b>Figura 324:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 16-03-2011 en la parcela 1. ....	435
<b>Figura 325:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 16-03-2011. ....	436
<b>Figura 326:</b> Perfil longitudinal (16-03-2011). ....	437
<b>Figura 327:</b> Perfil transversal (16-03-2011). ....	437
<b>Figura 328:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 13-04-2011 en la parcela 1. ....	438
<b>Figura 329:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 13-04-2011. ....	439
<b>Figura 330:</b> Perfil longitudinal (13-04-2011). ....	440
<b>Figura 331:</b> Perfil transversal (13-04-2011). ....	440
<b>Figura 332:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 16-05-2011 en la parcela 1. ....	441
<b>Figura 333:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 16-05-2011. ....	442
<b>Figura 334:</b> Perfil longitudinal (16-05-2011). ....	443
<b>Figura 335:</b> Perfil transversal (16-05-2011). ....	443
<b>Figura 336:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 14-06-2011 en la parcela 1. ....	444
<b>Figura 337:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 14-06-2011. ....	445
<b>Figura 338:</b> Perfil longitudinal (14-06-2011). ....	446
<b>Figura 339:</b> Perfil transversal (14-06-2011). ....	446
<b>Figura 340:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 19-07-2011 en la parcela 1. ....	447
<b>Figura 341:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 19-07-2011. ....	448
<b>Figura 342:</b> Perfil longitudinal (19-07-2011). ....	449
<b>Figura 343:</b> Perfil transversal (19-07-2011). ....	449
<b>Figura 344:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 15-08-2011 en la parcela 1. ....	450

<i>Figura 345: GRID correspondiente al MDE realizado el 15-08-2011.....</i>	<i>451</i>
<i>Figura 346: Perfil longitudinal (15-08-2011).....</i>	<i>452</i>
<i>Figura 347: Perfil transversal (15-08-2011).....</i>	<i>452</i>
<i>Figura 348: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 15-09-2011 en la parcela 1.453</i>	
<i>Figura 349: GRID correspondiente al MDE realizado el 15-09-2011.....</i>	<i>454</i>
<i>Figura 350: Perfil longitudinal (15-09-2011).....</i>	<i>455</i>
<i>Figura 351: Perfil transversal (15-09-2011).....</i>	<i>455</i>
<i>Figura 352: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 17-11-2011 en la parcela 1.456</i>	
<i>Figura 353: GRID correspondiente al MDE realizado el 17-11-2011.....</i>	<i>457</i>
<i>Figura 354: Perfil longitudinal (17-11-2011).....</i>	<i>458</i>
<i>Figura 355: Perfil transversal (17-11-2011).....</i>	<i>458</i>
<i>Figura 356: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 25-03-2012 en la parcela 1.459</i>	
<i>Figura 357: GRID correspondiente al MDE realizado el 25-03-2012.....</i>	<i>460</i>
<i>Figura 358: Perfil longitudinal (25-03-2012).....</i>	<i>461</i>
<i>Figura 359: Perfil transversal (25-03-2012).....</i>	<i>461</i>
<i>Figura 360: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 30-04-2012 en la parcela 1.462</i>	
<i>Figura 361: GRID correspondiente al MDE realizado el 30-04-2012.....</i>	<i>463</i>
<i>Figura 362: Perfil longitudinal (30-04-2012).....</i>	<i>464</i>
<i>Figura 363: Perfil transversal (30-04-2012).....</i>	<i>464</i>
<i>Figura 364: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 29-05-2012 en la parcela 1.465</i>	
<i>Figura 365: GRID correspondiente al MDE realizado el 29-05-2012.....</i>	<i>466</i>
<i>Figura 366: Perfil longitudinal (29-05-2012).....</i>	<i>467</i>
<i>Figura 367: Perfil transversal (29-05-2012).....</i>	<i>467</i>
<i>Figura 368: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 20-06-2012 en la parcela 1.468</i>	
<i>Figura 369: GRID correspondiente al MDE realizado el 20-06-2012.....</i>	<i>469</i>
<i>Figura 370: Perfil longitudinal (20-6-2012).....</i>	<i>470</i>
<i>Figura 371: Perfil transversal (20-6-2012).....</i>	<i>470</i>
<i>Figura 372: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 12-10-2012 en la parcela 1.471</i>	
<i>Figura 373: GRID correspondiente al MDE realizado el 12-10-2012.....</i>	<i>472</i>
<i>Figura 374: Perfil longitudinal (12-10-2012).....</i>	<i>473</i>
<i>Figura 375: Perfil transversal (12-10-2012).....</i>	<i>473</i>
<i>Figura 376: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 30-12-2012 en la parcela 1.474</i>	
<i>Figura 377: GRID correspondiente al MDE realizado el 30-12-2012.....</i>	<i>475</i>
<i>Figura 378: Perfil longitudinal (30-12-2012).....</i>	<i>476</i>
<i>Figura 379: Perfil transversal (30-12-2012).....</i>	<i>476</i>
<i>Figura 380: GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 18-11-2010 y el MDE del 16-03-2011.....</i>	<i>477</i>
<i>Figura 381: GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 16-03-2011 y el MDE del 13-04-2011.....</i>	<i>478</i>

<b>Figura 382:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 13-04-2011 y el MDE del 16-05-2011.....	479
<b>Figura 383:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 16-05-2011 y el MDE del 14-06-2011.....	480
<b>Figura 384:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 14-06-2011 y el MDE del 19-07-2011.....	481
<b>Figura 385:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 19-07-2011 y el MDE del 15-08-2011.....	482
<b>Figura 386:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 15-08-2011 y el MDE del 15-09-2011.....	483
<b>Figura 387:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 16-10-2011 y el MDE del 17-11-2011.....	484
<b>Figura 388:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 26-02-2012 y el MDE del 25-03-2012.....	485
<b>Figura 389:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 25-03-2012 y el MDE del 30-04-2012.....	486
<b>Figura 390:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 30-04-2012 y el MDE del 29-05-2012.....	487
<b>Figura 391:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 29-05-2012 y el MDE del 20-06-2012.....	488
<b>Figura 392:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 26-06-2012 y el MDE del 12-10-2012.....	489
<b>Figura 393:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 12-10-2012 y el MDE del 30-12-2012.....	490
<b>Figura 394:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 22-06-2011 en la parcela 2.	491
<b>Figura 395:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 22-06-2011.....	492
<b>Figura 396:</b> Perfil nº 1 (22-06-2011).....	493
<b>Figura 397:</b> Perfil nº 2 (22-06-2011).....	493
<b>Figura 398:</b> Perfil nº 3 (22-06-2011).....	493
<b>Figura 399:</b> Perfil nº 4 (22-06-2011).....	494
<b>Figura 400:</b> Perfil nº 5 (22-06-2011).....	494
<b>Figura 401:</b> Perfil nº 6 (22-06-2011).....	494
<b>Figura 402:</b> Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 21-07-2011 en la parcela 2.	495
<b>Figura 403:</b> GRID correspondiente al MDE realizado el 21-07-2011.....	496
<b>Figura 404:</b> Perfil nº 1 (21-07-2011).....	497
<b>Figura 405:</b> Perfil nº 2 (21-07-2011).....	497
<b>Figura 406:</b> Perfil nº 3 (21-07-2011).....	497
<b>Figura 407:</b> Perfil nº 4 (21-07-2011).....	498
<b>Figura 408:</b> Perfil nº 5 (21-07-2011).....	498

<i>Figura 409: Perfil nº 6 (21-07-2011).</i>	498
<i>Figura 410: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 25-08-2011 en la parcela 2.</i>	499
<i>Figura 411: GRID correspondiente al MDE realizado el 25-08-2011.</i>	500
<i>Figura 412: Perfil nº 1 (25-08-2011).</i>	501
<i>Figura 413: Perfil nº 2 (25-08-2011).</i>	501
<i>Figura 414: Perfil nº 3 (25-08-2011).</i>	501
<i>Figura 415: Perfil nº 4 (25-08-2011).</i>	502
<i>Figura 416: Perfil nº 5 (25-08-2011).</i>	502
<i>Figura 417: Perfil nº 6 (25-08-2011).</i>	502
<i>Figura 418: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 22-09-2011 en la parcela 2.</i>	503
<i>Figura 419: GRID correspondiente al MDE realizado el 22-09-2011.</i>	504
<i>Figura 420: Perfil nº 1 (22-09-2011).</i>	505
<i>Figura 421: Perfil nº 2 (22-09-2011).</i>	505
<i>Figura 422: Perfil nº 3 (22-09-2011).</i>	505
<i>Figura 423: Perfil nº 4 (22-09-2011).</i>	506
<i>Figura 424: Perfil nº 5 (22-09-2011).</i>	506
<i>Figura 425: Perfil nº 6 (22-09-2011).</i>	506
<i>Figura 426: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 27-11-2011 en la parcela 2.</i>	507
<i>Figura 427: GRID correspondiente al MDE realizado el 27-11-2011.</i>	508
<i>Figura 428: Perfil nº 1 (27-11-2011).</i>	509
<i>Figura 429: Perfil nº 2 (27-11-2011).</i>	509
<i>Figura 430: Perfil nº 3 (27-11-2011).</i>	509
<i>Figura 431: Perfil nº 4 (27-11-2011).</i>	510
<i>Figura 432: Perfil nº 5 (27-11-2011).</i>	510
<i>Figura 433: Perfil nº 6 (27-11-2011).</i>	510
<i>Figura 434: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 06-02-2012 en la parcela 2.</i>	511
<i>Figura 435: GRID correspondiente al MDE realizado el 06-02-2012.</i>	512
<i>Figura 436: Perfil nº 1 (6-02-2012).</i>	513
<i>Figura 437: Perfil nº 2 (6-02-2012).</i>	513
<i>Figura 438: Perfil nº 3 (6-02-2012).</i>	513
<i>Figura 439: Perfil nº 4 (6-02-2012).</i>	514
<i>Figura 440: Perfil nº 5 (6-02-2012).</i>	514
<i>Figura 441: Perfil nº 6 (6-02-2012).</i>	514
<i>Figura 442: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 06-03-2012 en la parcela 2.</i>	515
<i>Figura 443: GRID correspondiente al MDE realizado el 06-03-2012.</i>	516
<i>Figura 444: Perfil nº 1 (6-03-2012).</i>	517
<i>Figura 445: Perfil nº 2 (6-03-2012).</i>	517
<i>Figura 446: Perfil nº 3 (6-03-2012).</i>	517
<i>Figura 447: Perfil nº 4 (6-03-2012).</i>	518



<i>Figura 448: Perfil nº 5 (6-03-2012).</i>	518
<i>Figura 449: Perfil nº 6 (6-03-2012).</i>	518
<i>Figura 450: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 01-04-2012 en la parcela 2.519</i>	
<i>Figura 451: GRID correspondiente al MDE realizado el 01-04-2012.</i>	520
<i>Figura 452: Perfil nº 1 (1-04-2012).</i>	521
<i>Figura 453: Perfil nº 2 (1-04-2012).</i>	521
<i>Figura 454: Perfil nº 3 (1-04-2012).</i>	521
<i>Figura 455: Perfil nº 4 (1-04-2012).</i>	522
<i>Figura 456: Perfil nº 5 (1-04-2012).</i>	522
<i>Figura 457: Perfil nº 6 (1-04-2012).</i>	522
<i>Figura 458: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 29-04-2012 en la parcela 2.523</i>	
<i>Figura 459: GRID correspondiente al MDE realizado el 29-04-2012.</i>	524
<i>Figura 460: Perfil nº 1 (29-04-2012).</i>	525
<i>Figura 461: Perfil nº 2 (29-04-2012).</i>	525
<i>Figura 462: Perfil nº 3 (29-04-2012).</i>	525
<i>Figura 463: Perfil nº 4 (29-04-2012).</i>	526
<i>Figura 464: Perfil nº 5 (29-04-2012).</i>	526
<i>Figura 465: Perfil nº 6 (29-04-2012).</i>	526
<i>Figura 466: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 27-05-2012 en la parcela 2.527</i>	
<i>Figura 467: GRID correspondiente al MDE realizado el 27-05-2012.</i>	528
<i>Figura 468: Perfil nº 1 (27-05-2012).</i>	529
<i>Figura 469: Perfil nº 2 (27-05-2012).</i>	529
<i>Figura 470: Perfil nº 3 (27-05-2012).</i>	529
<i>Figura 471: Perfil nº 4 (27-05-2012).</i>	530
<i>Figura 472: Perfil nº 5 (27-05-2012).</i>	530
<i>Figura 473: Perfil nº 6 (27-05-2012).</i>	530
<i>Figura 474: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 25-06-2012 en la parcela 2.531</i>	
<i>Figura 475: GRID correspondiente al MDE realizado el 25-06-2012.</i>	532
<i>Figura 476: Perfil nº 1 (25-06-2012).</i>	533
<i>Figura 477: Perfil nº 2 (25-06-2012).</i>	533
<i>Figura 478: Perfil nº 3 (25-06-2012).</i>	533
<i>Figura 479: Perfil nº 4 (25-06-2012).</i>	534
<i>Figura 480: Perfil nº 5 (25-06-2012).</i>	534
<i>Figura 481: Perfil nº 6 (25-06-2012).</i>	534
<i>Figura 482: Nube de puntos correspondiente al MDE realizado el 20-10-2013 en la parcela 2.535</i>	
<i>Figura 483: GRID correspondiente al MDE realizado el 20-10-2013.</i>	536
<i>Figura 484: Perfil nº 1 (20-10-2013).</i>	537
<i>Figura 485: Perfil nº 2 (20-10-2013).</i>	537
<i>Figura 486: Perfil nº 3 (20-10-2013).</i>	537

---

<b>Figura 487:</b> Perfil nº 4 (20-10-2013).....	538
<b>Figura 488:</b> Perfil nº 5 (20-10-2013).....	538
<b>Figura 489:</b> Perfil nº 6 (20-10-2013).....	538
<b>Figura 490:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 22-06-2011 y el MDE del 21-07-2011.....	539
<b>Figura 491:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 21-07-2011 y el MDE del 25-08-2011.....	540
<b>Figura 4921:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 25-08-2011 y el MDE del 22-09-2011.....	541
<b>Figura 4932:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 20-10-2011 y el MDE del 27-11-2011.....	542
<b>Figura 494:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 27-11-2011 y el MDE del 26-12-2011.....	543
<b>Figura 495:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 26-12-2011 y el MDE del 06-02-2012.....	544
<b>Figura 496:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 6-02-2012 y el MDE del 06-03-2012.....	545
<b>Figura 497:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 06-03-2012 y el MDE del 01-04-2012.....	546
<b>Figura 498:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 01-04-2012 y el MDE del 29-04-2012.....	547
<b>Figura 499:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 29-04-2012 y el MDE del 27-05-2012.....	548
<b>Figura 500:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 27-05-2012 y el MDE del 25-06-2012.....	549
<b>Figura 501:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 25-06-2012 y el MDE del 07-10-2012.....	550
<b>Figura 502:</b> GRID correspondiente a la resta entre el MDE del 04-07-2013 y el MDE del 20-10-2013.....	551

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Imágenes de cubiertas vegetales de <i>Traganum moquinii</i> en diferentes estadios.</i>	30
<i>Tabla 2: Resultados de la correlación de Pearson del análisis global</i>	42
<i>Tabla 3: Resultados de la correlación de Pearson correspondiente a la zona Norte.</i>	44
<i>Tabla 4: Resultados de la correlación de Pearson, correspondiente a la zona Centro.</i>	46
<i>Tabla 5: Resultados de la correlación de Pearson correspondiente a la zona Sur</i>	48
<i>Tabla 6: Análisis químico y físico de sustratos. Fuente: Cabildo de Gran Canaria.</i>	55
<i>Tabla 7: Composición de la turba utilizada, según fabricante.</i>	57
<i>Tabla 8: Experimentos en el ensayo previo nº 1.</i>	62
<i>Tabla 9: Números de esquejes enraizados en cada experimento, del ensayo previo nº 1.</i>	65
<i>Tabla 10: Diferentes tratamientos empleados en el ensayo previo nº 2.</i>	68
<i>Tabla 11: Número de esquejes enraizados en cada experimento, del ensayo previo nº 2.</i>	69
<i>Tabla 12: Número de esquejes enraizados transcurridos 45 días desde el inicio del ensayo.</i>	72
<i>Tabla 13: Número de esquejes enraizados en cada experimento, del ensayo previo nº 4.</i>	75
<i>Tabla 14: Número de esquejes enraizados en fase de crecimiento nulo, dependiendo del tratamiento en el ensayo final.</i>	80
<i>Tabla 15: Número de esquejes enraizados en fase de crecimiento medio, dependiendo del tratamiento en el ensayo final.</i>	81
<i>Tabla 16: Número de esquejes enraizados en fase de crecimiento alto, dependiendo del tratamiento en el ensayo final.</i>	82
<i>Tabla 17: Relación y significado de los acrónimos empleados durante el estudio.</i>	83
<i>Tabla 18: Porcentajes de enraizamiento de esquejes enraizados bajo cada condición experimental.</i>	84
<i>Tabla 19: Porcentajes de esquejes enraizados en relación a la temperatura.</i>	86
<i>Tabla 20: Porcentajes de esquejes enraizados en relación a la fase de crecimiento.</i>	88
<i>Tabla 21: Porcentajes de esquejes enraizados en relación a la longitud.</i>	89
<i>Tabla 22: Porcentajes de esquejes enraizados en relación a la temperatura y la longitud.</i>	90
<i>Tabla 23: Porcentajes de esquejes enraizados en relación a la temperatura y fase de crecimiento.</i>	92
<i>Tabla 24: Porcentajes de esquejes enraizados en relación a la longitud y la fase de crecimiento.</i>	93
<i>Tabla 25: Longitud (cm) de los esquejes según tratamientos bajo cubierta de plástico.</i>	105
<i>Tabla 26: Longitud (cm) de los esquejes según tratamientos al aire libre.</i>	106
<i>Tabla 27: Valores medios (cm) de los esquejes por día transcurrido y lugar de cultivo.</i>	108
<i>Tabla 28: Valores medios (cm) de los esquejes por día transcurrido y sustrato.</i>	108
<i>Tabla 29: Valores medios (cm) de los esquejes por día según lugar y sustrato.</i>	109

<b>Tabla 30:</b> <i>Parámetros del modelo.</i> .....	116
<b>Tabla 31:</b> <i>Valores medios (cm) de crecimiento de los esquejes, calculados según la tasa de proporcionalidad, para varios valores de x y lugar de cultivo.</i> .....	118
<b>Tabla 32:</b> <i>Resultados de los análisis químicos realizados a los sustratos.</i> .....	121
<b>Tabla 33:</b> <i>Elementos morfológicos y evolución de una flor de <i>Traganum moquinii</i>, (GRID de 1 mm).</i> .....	126
<b>Tabla 34:</b> <i>Secuencia de la antesis de la flor de <i>Traganum moquinii</i>.</i> .....	128
<b>Tabla 35:</b> <i>Gráficos de reflectividades resultantes durante el proceso de calibración del radiómetro CROPSCAN-MSR5.</i> .....	148
<b>Tabla 36:</b> <i>Números de flores emitidas por los individuos de <i>Traganum moquinii</i> según el color de la luz recibida.</i> .....	153
<b>Tabla 37:</b> <i>Números de flores según tipología y zona de muestreo.</i> .....	160
<b>Tabla 38:</b> <i>Resultados obtenidos en el ensayo de reacción al enterramiento de plantas jóvenes.</i> ..	168
<b>Tabla 39:</b> <i>Resultados obtenidos en el ensayo de reacción al enterramiento, para evaluar la luminosidad.</i> .....	171
<b>Tabla 40:</b> <i>Relación de perfiles y las fechas de realización de los MDE correspondientes, empleados para el estudio de la velocidad de ascensión capilar.</i> .....	177
<b>Tabla 41:</b> <i>Resultados obtenidos a los 32 días de iniciado el ensayo de reacción al enterramiento, para evaluar la temperatura.</i> .....	183
<b>Tabla 42:</b> <i>Resultados obtenidos en el ensayo de reacción al despuntado, para evaluar la pérdida de dominancia apical.</i> .....	185
<b>Tabla 43:</b> <i>Resultados obtenidos en el ensayo, a los 20 días de iniciado el mismo, para evaluar la reacción al enterramiento progresivo (10 días).</i> .....	189
<b>Tabla 44:</b> <i>Comparativa de los valores porcentuales, de las estaciones de Bañaderos y Maspalomas, de las componentes que hubieron en los días del mes de octubre de 2014, en las cuales los valores modales (en rojo) fueron de Norte en la estación de Bañaderos. Fuente: AEMET.</i> .....	206
<b>Tabla 45:</b> <i>Rosas de vientos efectivos correspondientes a los periodos en los que existen datos de vientos y coincidentes con las temporalidades de determinados MDEs realizados en la parcela 1.</i> .....	213
<b>Tabla 46:</b> <i>Rosas de vientos efectivos correspondientes a los periodos en los que existen datos de vientos y coincidentes con las temporalidades de determinados MDEs realizados en la parcela 2.</i> .....	215
<b>Tabla 47:</b> <i>Detalle de los componentes utilizados para el desarrollo de los dispositivos.</i> .....	220
<b>Tabla 48:</b> <i>Datos de localización y altura de los dispositivos en el diseño 1.</i> .....	225
<b>Tabla 49:</b> <i>Datos de localización y altura de los dispositivos en el diseño 2.</i> .....	227
<b>Tabla 50:</b> <i>Valores de las velocidades medias del viento durante el diseño 1.</i> .....	229
<b>Tabla 51:</b> <i>Valores de los parámetros del coeficiente de Pearson entre los dispositivos de control y el resto de dispositivos del diseño 1.</i> .....	231

<b>Tabla 52:</b> Valores de las velocidades medias del viento tomados durante el diseño 2. ....	232
<b>Tabla 53:</b> Valores de los parámetros del coeficiente de Pearson entre el dispositivo de control y el resto de dispositivos del diseño 2. ....	234
<b>Tabla 54:</b> Coordenadas UTM del centroide de las parcelas estudiadas para la modelización del terreno.....	247
<b>Tabla 55:</b> Fechas de la realización de los MDE realizados en la parcela 1 de la playa del Inglés. ....	260
<b>Tabla 56:</b> Volúmenes de sedimentos correspondientes a cada MDE realizado en la parcela 1 de la playa del Inglés.....	283
<b>Tabla 57:</b> Valores de ganancias ( $G_a$ ) y pérdidas ( $P_e$ ), de sedimentos durante los diferentes periodos analizados. ....	291
<b>Tabla 58:</b> Valores de ganancias ( $G_a$ ), pérdidas ( $P_e$ ) y gradiente ( $Gr$ ), de sedimentos durante los diferentes periodos en la subparcela del ejemplar de <i>Traganum moquinii</i> . ....	291
<b>Tabla 59:</b> Volúmenes de sedimentos correspondientes a los perfiles transversales (PT) y perfiles longitudinales (PL) de cada MDE realizada en la subparcela. ....	298
<b>Tabla 60:</b> Volúmenes de la copa de <i>Traganum moquinii</i> , perfiles transversales (PT) y perfiles longitudinales (PL) realizados en la subparcela. ....	302
<b>Tabla 61:</b> Parámetros de la correlación de Pearson entre los volúmenes de los diferentes perfiles seleccionados y obtenidos a partir de todos los MDEs realizados desde el 7-6-2010 al 18-12-2011 en la parcela 1 en la playa del Inglés.....	302
<b>Tabla 62:</b> Fechas de la realización de los MDE realizados en la parcela 2 en Playa del Inglés (Gran Canaria).....	315
<b>Tabla 63:</b> Volúmenes de sedimentos correspondientes a los MDEs realizados en la parcela 2 en la playa del Inglés.....	342
<b>Tabla 64:</b> Valores de ganancias ( $G_a$ ) y pérdidas ( $P_e$ ) de sedimentos durante los diferentes periodos analizados. ....	347
<b>Tabla 65:</b> Volúmenes de sedimentos correspondientes a cada perfil asociados a su correspondiente MDE realizado en la parcela 2 de la playa del Inglés.....	348
<b>Tabla 66:</b> Parámetros de la correlación de Pearson entre los volúmenes de los diferentes perfiles obtenidos a partir de todos los MDEs realizados desde el 19-5-2011 al 20-10-2013 en la parcela 2 en Playa del Inglés (Gran Canaria).....	358
<b>Tabla 67:</b> Parámetros de la correlación de Pearson entre los volúmenes de los diferentes perfiles obtenidos a partir de todos los MDEs realizados desde el 20-10-2011 al 4-7-2013 en la parcela 2 en Playa del Inglés (Gran Canaria).....	359
<b>Tabla 68:</b> Análisis de coincidencia de las correlaciones significativas entre el periodo completo estudiado y el periodo considerado como ciclo natural en la parcela 2 en la playa del Inglés....	360
<b>Tabla 69:</b> Coordenadas de los límites de las zonas para identificar dunas parabólicas .....	374
<b>Tabla 70:</b> Datos de las dunas parabólicas identificadas en las diferentes ortofotos. ....	375
<b>Tabla 71:</b> Distancia máxima de radiación. ....	422

