

Trabajo Fin de Grado

Evaluación de la colonización espontánea de
Gypsophila struthium subsp. *hispanica* a partir de
núcleos de dispersión en un vertedero de yesos de
desulfuración

Autor

Daniel Martínez Sancho

Director

José Miguel Castillejo Moreno

Ponente

Juan Herrero Cortés

Escuela Politécnica Superior de Huesca
2016

Índice

Resumen.....	1
Abstract.....	2
1. Introducción.....	3
1.1. Introducción.....	3
1.2. Objetivos.....	7
1.2.1. Objetivo general.....	7
1.2.2. Objetivos específicos.....	7
1.3. Hipótesis nulas.....	8
2. Material y métodos.....	9
2.1. Área de estudio.....	9
2.2. Características del sustrato.....	11
2.3. Metodología de restauración.....	13
2.4. Diseño experimental.....	14
2.4.2. Variables bióticas.....	14
2.4.3. Variables abióticas.....	15
2.4.4. Factores.....	17
2.4.5. Influencia climática.....	17
2.5. Análisis estadísticos.....	18
3. Resultados.....	20
3.1. Clasificación de los reclutamientos.....	20
3.2. Variables bióticas.....	21
3.3. Variables abióticas.....	32
3.4. Caracterización de los 10 últimos ciclos fenológicos.....	36
4. Discusión.....	40
4.1. Éxito de establecimiento de los reclutamientos.....	40
4.2. Sistemas de establecimiento.....	43
4.3. Potencial facilitador.....	45
5. Conclusiones.....	48
6. Bibliografía.....	49
7. Anexos.....	55
Anexo 1: Distribución de GSS, GSP, GSG y GSE.....	55
Anexo 2: Gráficos de los análisis estadísticos.....	56
Anexo 3: Medias anuales de las variables meteorológicas.....	67
Anexo 4: Fotografías.....	68

Resumen

La antigua mina Corta Barrabasa (Teruel, España) fue recalificada como vertedero para los yesos de desulfuración de la central térmica de Andorra. Un tecnosuelo formado por este residuo presenta unas condiciones físico-químicas que impiden la colonización espontánea. Este trabajo se enmarca en el proyecto de restauración del vertedero y se centra en *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica*, una especie seleccionada por su alto grado de gipsofilia y su capacidad primocolonizadora. Se introdujeron individuos de esta especie por los métodos de plantación y siembra que actuaron como núcleos de dispersión, generando nuevos reclutamientos. Para evaluar el éxito de establecimiento se analizaron los rasgos funcionales biovolumen y área foliar específica, además se estudiaron los cambios de las condiciones abióticas bajo el dosel para evaluar el posible efecto facilitador. Para determinar las influencias climáticas se analizaron variables meteorológicas de los últimos diez ciclos fenológicos. Los resultados reflejan que ambos métodos de introducción son exitosos, que los reclutamientos adoptan estrategias estrés-tolerantes para sobrevivir y que presenta potencial como planta nodriza aunque son necesarios estudios complementarios. Esta especie es capaz de establecerse y crecer en este sustrato gracias a su capacidad de adaptación, lo que la convierte en una especie óptima para la revegetación del vertedero.

Palabras clave: Restauración, reclutamiento, rasgos funcionales, facilitación, modificaciones abióticas.

Abstract

The abandoned mine of Corta Barrabasa (Teruel, Spain) was reclassified as a dump for desulfuration gypsum coming from the Andorra power plant. A substrate formed by this residue shows physical and chemical restrictions that prevents spontaneous plant colonization. This work is a part of the dump restoration project and focus on *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica*, selected according to gypsophily criteria and its first-colonization capacity. Individuals of this species were introduced by plantation and sowing methods, and they acted as dispersal units, generating new recruitments. In order to evaluate the establishment success, the functional traits of biovolume and specific leaf area were analyzed, in addition, modifications of the abiotic conditions under the canopy were studied to evaluate a potential facilitating effect. In order to determine climatic influences, meteorological variables of the last ten phenological cycles were analyzed. Our results reflect that both methods of introduction are successful, the recruitments adopt strategies stress-tolerant to survive and this taxon presents potential as a nurse plant (although complementary studies are needed). This species is able to establish and grow on this substrate because of its adaptability, which makes it an optimal species for dump revegetation.

Keywords: Restoration, recruitment, functional traits, facilitation, abiotic modifications.

1. Introducción

1.1. Introducción

La Central Térmica de Andorra produce electricidad mediante la combustión del carbón, generando tres residuos principalmente; cenizas, escorias y yesos de desulfuración, siendo éste el generado en mayor volumen. El destino teórico de estos residuos es la venta a empresas destinadas a fabricar materiales de construcción o, en el caso de los yesos, la obtención de fertilizantes. Debido al alto contenido de humedad de estos residuos no se pueden vender como materias primas, por lo que se depositan en el vertedero de Corta Barrabasa, una antigua mina de lignito a cielo abierto que se explotó desde 1986 hasta 2002, de acuerdo a lo establecido en el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y a la Orden AAA/661/2013, de 18 de abril que lo modifica. Según la Resolución de 19 de septiembre de 2016, del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental, se autoriza a Endesa Generación, S.A. la inscripción en el Registro de Productores de Residuos No Peligrosos, según lo establecido en la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, con el número de inscripción AR/PRNP-171, para los tres residuos citados anteriormente (entre otros): 1.100.000 t/año cenizas de hogar, escorias y polvo de caldera, 200.000 t/año cenizas volantes de carbón (escorias) y 1.500.000 t/año residuos cálcicos de reacción en forma sólida procedentes de la desulfuración de los gases de combustión (yesos).

Los yesos se generan en la técnica de desulfuración de tipo *vía húmeda* en la depuración de los gases derivados de la combustión del carbón, al añadir una lechada de agua y carbonato cálcico (CaCO_3) al proceso de combustión del carbón para reducir la emisión a la atmósfera de dióxido de azufre (SO_2), generando el residuo sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Orozco *et al.*, 2011). Se trata de yesos artificiales con un 95% de pureza. La reconstrucción geomorfológica del vaso de la antigua mina se está realizando mediante el relleno con los residuos producidos por la central, generando un sustrato yesífero alóctono ya que en la matriz espacial circundante no pueden encontrarse suelos yesíferos. La recuperación de la cubierta vegetal en un sistema de yesos, como en el caso de la Corta Barrabasa, se enfrenta a varios problemas, los más graves son de carácter edáfico: uno de origen físico y otro químico.

El efecto físico proviene de las costras de gran dureza características del material yesífero (Meyer, 1986), resultado del lavado de las sales del sustrato y el depósito de las mismas, mediante procesos de evapotranspiración y ascenso capilar en la superficie, lo que deriva en el desarrollo de horizontes endurecidos y de dichas costras (Escudero,

2009). Sumado a esta característica natural, nos encontramos en el vertedero un sustrato altamente compactado de forma artificial e intencionada, con el objetivo de acumular mayor cantidad de residuo y proteger los acuíferos de infiltraciones. Las costras actúan impidiendo que las semillas la atraviesen para alcanzar la superficie, restringiendo el establecimiento de las plántulas, por ello las especies gipsófilas son capaces de presentar como ventaja adaptativa en estos sistemas su capacidad de atravesar dicha barrera física (Romao & Escudero, 2005). El efecto de la costra edáfica también afecta en profundidad, limitando el desarrollo radicular de las plantas. En general, los sustratos yesíferos presentan una baja retención de agua lo que deriva en una alta infiltración del agua de lluvia, lo que, en ambientes de baja pluviosidad puede aumentar así el déficit hídrico para las plantas durante los períodos de sequía (Guerrero-Campo *et al.*, 1999) lo que se convierte en uno de los principales factores limitantes para su crecimiento (Guerrero-Campo & Montserrat, 1996), sin embargo, las particulares propiedades hídricas de estos sustratos provocan que haya una mayor disponibilidad de agua durante las épocas de sequía por lo que la disponibilidad de agua es probablemente menos limitante que las propiedades mecánicas y de baja fertilidad de estos sustratos (Meyer & García-Moya 1989). El efecto químico se debe a algún tipo de restricción ligada a la composición de los yesos (Palacio *et al.*, 2007, Castillejo *et al.*, 2011). Puede ser derivado de la escasez de macro y micronutrientes o de la toxicidad ocasionada por los compuestos sulfurados (Ruiz *et al.*, 2003). El intenso empobrecimiento de nutrientes que sufre el suelo se debe al intercambio de calcio para retener otros iones en el complejo del suelo (Palacios *et al.*, 2007; Guerrero Campo *et al.*, 1999). En concreto, se considera que el balance químico en estos suelos resulta como una escasez de ciertos macronutrientes (N, P y K), exceso de otros (S, Ca y Mg), antagonismos iónicos y toxicidad por micronutrientes (Palacios *et al.*, 2007).

La recuperación de la cubierta vegetal requiere de intervención humana debido a que se han superado los umbrales de la resiliencia (Hernández *et al.*, 2002), para ello se plantean dos métodos, la siembra y la plantación. La siembra es un método económico y eficaz para propagar plantas en trabajos de restauración (Bochet *et al.*, 2010; Ballesteros *et al.*, 2012), sin embargo los resultados de la siembra pueden presentar un éxito impredecible, sobre todo en ecosistemas áridos, semiáridos y mediterráneos. Las plantaciones surgen como método alterativo a la siembra y presentan la ventaja de que los individuos ya han superado las etapas críticas de germinación y emergencia (Kigel 1995, Escudero *et al.*, 1999, 2000, Romao & Escudero 2005).

La recuperación del vertedero Corta Barrabasa se basa principalmente en tres líneas de investigación:

- 1) Rehabilitación con matorral gipsófilo
- 2) Restauración ecológica del matorral mediterráneo
- 3) Reclamación con monocultivos de *Atriplex halimus*

Estas estrategias están representadas en la siguiente figura:

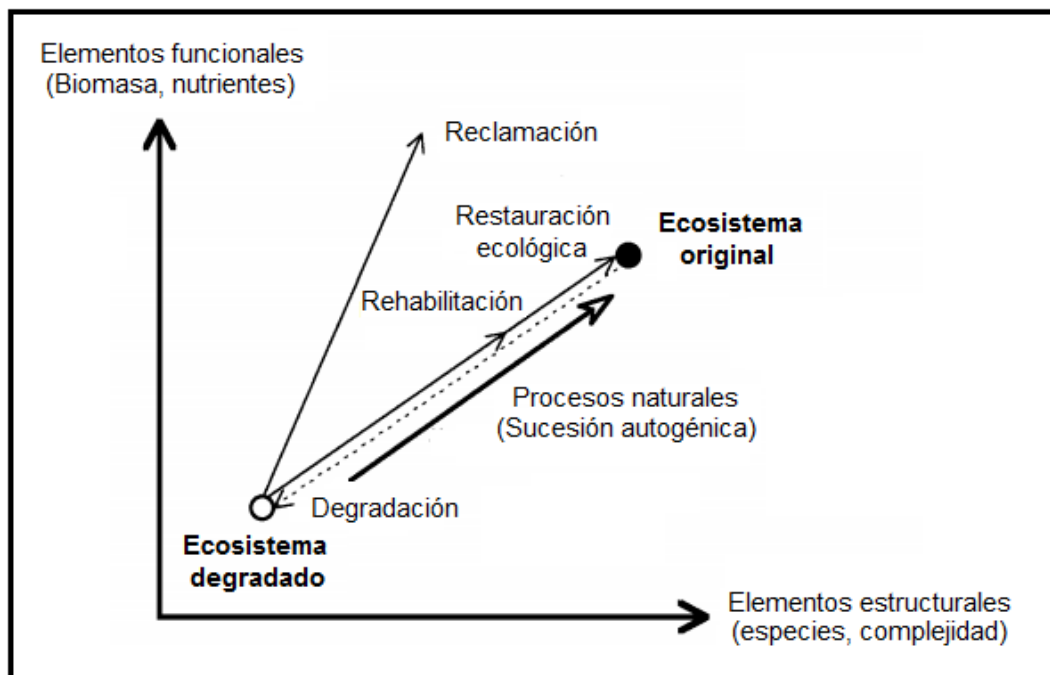


Figura 1. Estrategias de recuperación de un ecosistema degradado. (Bradshaw, 2002).

Este estudio se ubica en la primera línea de investigación, entendiendo rehabilitación como cualquier intento por recuperar elementos estructurales o funcionales dentro de un ecosistema (Meffé *et al.*, 1994), siendo una estrategia menos ambiciosa que la restauración ecológica como se observa en la Figura 1. Dentro de esta línea se centra en *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica*, una especie seleccionada por tener un alto grado de gipsofilia y por su capacidad primocolonizadora (Mota *et al.*, 2011). Concretamente en el estudio de la colonización espontánea a partir de núcleos de dispersión para evaluar el éxito que tendría su uso en una restauración pasiva asistida. Para evaluar el éxito de las actuaciones para la restauración del vertedero de Corta

Barrabasa se analizan rasgos funcionales de individuos de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* y modificaciones en las condiciones abióticas bajo su dosel.

Los rasgos funcionales son aspectos morfológicos, fisiológicos o fenológicos que influyen indirectamente en la capacidad de adaptación de cada individuo, dado que resumen los mecanismos funcionales que determinan el crecimiento, la reproducción y la supervivencia (Violle *et al.*, 2007). Pueden ser utilizados como medida indirecta de la funcionalidad ecosistémica (Díaz *et al.*, 2007) o de características físico-químicas que subyacen en el funcionamiento (Breshears & Barnes, 1999).

Las modificaciones en las condiciones abióticas bajo el dosel de las plantas están relacionadas con su capacidad para ejercer como nodrizas, ya que estas ejercen facilitación directa o indirectamente bajo su dosel, alterando favorablemente la luz, la compactación, la temperatura, la humedad del suelo, los nutrientes del suelo, la oxigenación del suelo, ofreciendo protección de los herbívoros, atracción de polinizadores compartidos, injertos de raíz, y produciendo cambios en micorrizas del suelo o en comunidades microbianas (Callaway, 1995).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la capacidad primocolonizadora de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* en el tecnosuelo de yesos de desulfuración de un vertedero en el marco de una restauración pasiva asistida.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el éxito de establecimiento de los reclutamientos de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica*.
- Comparar el éxito de establecimiento de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* entre los métodos de siembra y plantación.
- Determinar si *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* puede ejercer como planta nodriza facilitando el establecimiento mediante la mejora de las condiciones de compactación, humedad y bloqueo del PAR.

1.3. Hipótesis nulas

- El éxito de establecimiento es mayor para individuos germinados *in situ* que para plántulas procedentes de condiciones ambientales controladas.
- El estrés ecofisiológico de los individuos de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* es mayor para las plántulas con menor tiempo de establecimiento.
- La compactación y la humedad edáfica superficial es mayor bajo el dosel de plantas de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* que en los intersticios
- El bloqueo de radiación solar incidente es mayor bajo el dosel de plantas de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* que en los intersticios

2. Material y métodos

2.1. Área de estudio

La antigua mina de Corta Barrabasa (Coordenadas UTM Uso 30 X: 712.716 Y: 4.540.989) se ubica en el Val de Ariño, Sierra de Arcos, a 2 km de Andorra (Teruel, España) y se encuentra a una altitud aproximada de 650m.



Figura 2. Antigua mina de Corta Barrabasa (Fuente: Blog - Mineralogía Topográfica Ibérica).

Se trataba de una mina de carbón a cielo abierto que operaba con explotación por transferencia de paneles desde 1986 hasta el año 2002 (Comarca de Andorra-Sierra de Arcos, 2013). Tras la finalización de la actividad minera se convirtió en vertedero de los residuos derivados de la combustión del carbón realizada en la Central Térmica de Andorra (Propiedad de Endesa Generación, S.A.), yesos de desulfuración, cenizas y escorias principalmente.

Esta antigua mina tiene una extensión en proyección horizontal de aproximadamente 55 ha y una capacidad de volumen del vaso de 12,8 millones de m³, con una profundidad máxima de relleno de 60-75 m. En 2013 se estima una entrada anual de residuos de 690.000 m³, y una vida útil de 17 años (Resolución del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental, de 2 de Mayo de 2013). Ni en la Resolución de 1 de

junio de 2015 ni en la de 19 de septiembre de 2016 se ha vuelto a estimar el volumen anual de residuos.

Según la clasificación de Rivas Martínez (1983), la provincia de Teruel se enmarca en la Región Mediterránea, del tipo supramediterráneo, siendo el clima de la zona es mediterráneo seco, de inviernos frescos. En concreto, el clima de la comarca Andorra-Sierra de Arcos, según el Atlas Climático de Aragón, se caracteriza por ser del tipo submediterráneo continental frío, caracterizado por una notable amplitud térmica, tanto media como absoluta, y por unos escasos volúmenes de precipitación. La comarca muestra contrastes propios de un área de transición entre las dos zonas climáticas características de la provincia de Teruel, el Bajo Aragón y las serranías. En concreto, al ubicarse el vertedero en la zona más septentrional de la misma, el ambiente es semiárido, de lluvias escasas e irregulares (18 días de precipitación, 300 mm/año), temperaturas medias elevadas (13,5 °C de media anual) y fuertes vientos desecantes (Programa de desarrollo rural sostenible, 2011).

La vegetación del territorio de la mina Corta Barrabasa se compone en las zonas más bajas, cálidas, soleadas y de suelos pobres de *Quercus coccifera*, que forma bosques no muy extensos y acompaña a árboles y arbustos. El matorral mediterráneo está muy extendido y se compone principalmente de *Rosmarinus officinalis* y *Ulex parviflorus*, acompañados por *Thymus vulgaris*, *Salvia officinalis*, *Lavandula latifolia* y *Satureja montana* (Programa de desarrollo rural sostenible, 2011). A excepción de *Rosmarinus officinalis* esta vegetación es poco o nada tolerante a suelos yesíferos, por lo que la colonización espontánea es inviable y la restauración de la vegetación original no es posible.

2.2. Características del sustrato

El sustrato está formado por los residuos vertidos en el hueco minero: Los yesos de desulfuración procedentes de la depuración de los gases de combustión, las cenizas volantes y las escorias, resultantes de la combustión del carbón. La naturaleza y características de los residuos mencionados se exponen a continuación:

a) Las cenizas volantes son un subproducto de la combustión del carbón pulverizado en las centrales térmicas, por lo que su composición química está determinada por la fracción no combustible de éste. González (2013) revela en su estudio la composición mineralógica de las cenizas y escorias generadas en la Central Térmica de Andorra, determinada mediante difracción de rayos X. Según dicho estudio, los minerales predominantes en las cenizas volantes fueron el cuarzo (SiO_2 , 45%) y la mullita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$, 40%), y en menor medida los hematites (Fe_2O_3 , 15%). Estas cenizas son un residuo de partículas muy finas, típicamente esféricas, cuyo diámetro se encuentra entre $1\mu\text{m}$ y $150\mu\text{m}$ (Malhotra & Ramezani pour, 1994) por lo que son arrastradas por la corriente de los gases de combustión producidos en las calderas. El método para retirarlas y evitar la contaminación atmosférica es hacer pasar dicha corriente gaseosa por unos colectores de partículas instalados en las chimeneas de las centrales. En el caso de la central térmica de Andorra se trata de un precipitador electrostático. Constituyen aproximadamente el 80% del total de las cenizas generadas, siendo el 20% restante las cenizas de hogar o escorias.

b) Las escorias y cenizas de hogar son la fracción no combustible del carbón que se deposita por gravedad en los fondos de las calderas. Las escorias son un residuo vítreo, insoluble en agua se forman por el enfriamiento del mineral fundido. Las cenizas de hogar no llegan fundir. Los componentes químicos presentes en las escorias procedentes de la Central Térmica de Andorra son los mismos que los de las cenizas volantes, presentados en diferente proporción: cuarzo (SiO_2 , 53%), mullita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$, 34%) y hematites (Fe_2O_3 , 13%), (González, 2013).

c) Los carbones españoles presentan un elevado contenido en azufre respecto a otros lignitos. A fin de eliminar la mayor parte del azufre presente en los gases de combustión, en la central se lleva a cabo un tratamiento de depuración por la vía húmeda, para ello cuenta con una planta de desulfuración que tiene como equipo principal un lavador de gases o absorbedor. Se trata de un proceso químico que permite capturar los óxidos de azufre producidos por la combustión del carbón y consiste en el lavado de los gases de salida de las calderas, rociándolos con una lechada de caliza (CaCO_3) que reacciona con el dióxido de azufre (SO_2) produciendo sulfito cálcico. Posteriormente, el

sulfito se oxida mediante la inyección de aire atmosférico y se convierte en sulfato de calcio (CaSO₄), es decir, yeso. (Orozco *et al.*, 2011).

En la Tabla 1 se pueden ver los contenidos de elementos totales de los diferentes materiales formadores de suelo (González, 2013).

Parámetros	Escorias	Cenizas	Yesos
Humedad (%)	0,32	0,26	22,38
pH	7,91	10,08	8,32
CE (dS/m)	1,01	1,96	2,81
% Arena	92	30	45
% Limo	5	50	55
% Arcilla	3	20	n.d
Al (ppm)	135	119	3
P (ppm)	3	2	1
S (ppm)	2	8	116
K (ppm)	9	22	0
Ca (ppm)	34	136	184
Ti (ppm)	5	4	0
Cr (ppm)	n.d	n.d	0
Mn (ppm)	0	1	0
Fe (ppm)	172	65	2
Ni (ppm)	0	n.d	n.d
Cu (ppm)	n.d	n.d	n.d
Zn (ppm)	0	n.d	0
Rb (ppm)	1	n.d	n.d
Sr (ppm)	1	1	0
Pb (pmm)	n.d	n.d	n.d

Tabla 1. Contenidos de elementos totales. (mg/kg) (n.d= no disponible).

2.3. Metodología de restauración

El proyecto de reconstrucción geomorfológica de la mina consiste en el rellanado del vaso mediante los residuos anteriormente citados mediante un modelo de plataforma-talud, que consiste en la formación de tres plataformas escalonadas de diferentes alturas, con orientación Oeste, iniciando desde una cota máxima de 680 m en la parte Este y terminando en una cota de 636 en la parte Oeste. El área experimental de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* corresponde a seis parcelas de 10x10 m dispuestas longitudinalmente, las franjas de 2 m que las separan y un borde exterior perimetral de 0,5 m.

El tecnosuelo del área experimental de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* está formado exclusivamente por los yesos de desulfuración, yesos artificiales al 95% de pureza, a diferencia de otros nodos en los que se han realizado enmiendas edáficas con los otros residuos. La única enmienda realizada es de carácter físico, una descompactación de los 30 primeros centímetros superficiales para eliminar en la medida de lo posible el efecto de la costra. Una vez que se descompactó el horizonte superficial, la estrategia que se siguió fue la siguiente:

- En primavera de 2012 se realizó un semillado de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* de cinco parcelas, con 25 puntos de semillado por parcela, utilizando 10 semillas por punto y en total 1250 semillas. El éxito de emergencia fue del 15%.
- En otoño de 2012 debido al escaso éxito de la siembra se hizo una plantación de 18 individuos de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* procedentes de vivero y se identificaron y anillaron como GSP. También se identificaron 19 individuos procedentes del sembrado y se anillaron como GSS.

A partir de esas intervenciones los individuos presentes actuaron como núcleos de dispersión, produciendo semillas que han logrado establecerse a pesar del elevado estrés ambiental, generando nuevos individuos llamados reclutamientos.

2.4. Diseño experimental

2.4.1. Selección de individuos

Para analizar rasgos funcionales de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* y modificaciones en las condiciones abióticas bajo su dosel se seleccionaron todos los individuos procedentes de la plantación, los 18 individuos GSP y los procedentes de la siembra, los 19 individuos GSS. Para determinar si esta división debía mantenerse o si debían considerarse en un mismo grupo se midió su biovolumen y se realizó una prueba estadística (tanto el rasgo funcional biovolumen como la prueba realizada serán descritos más adelante) el resultado fue que estadísticamente eran diferentes y debían considerarse por separado.

Además de estos 37 individuos se determinó que era necesario seleccionar una muestra representativa de entre todos los reclutamientos. Se seleccionaron otros 40 individuos aleatoriamente, de los cuales 20 serían seleccionados entre los reclutamientos grandes (identificados y anillados como GSG) y 20 serían seleccionados entre los reclutamientos pequeños (identificados y anillados como GSE) dando un total de 77 individuos de estudio. Las cifras se deben a tener grupos similares, lo cual facilita los análisis estadísticos. Para establecer qué reclutamientos podían considerarse pequeños y cuáles grandes se contabilizaron todos y se formaron los grupos de grandes y pequeños en función de su altura mediante un análisis estadístico que será descrito más adelante. Para seleccionar los reclutamientos de forma aleatoria se dividió el área experimental en una cuadrícula, asignando un número para cada cuadrícula y generando números al azar con el programa Excel.

Es decir, los objetos de estudio fueron 77 individuos; 18 individuos procedentes de plantación (GSP), 19 individuos procedentes de siembra (GSS), 20 individuos procedentes de los reclutamientos grandes (GSG) y 20 individuos procedentes de los reclutamientos pequeños (GSE). Su distribución en el área experimental aparece reflejada en el Anexo 2.

2.4.2. Variables bióticas

A continuación se describen los dos rasgos funcionales que se analizaron, biovolumen y área foliar específica (SLA). Fueron medidos para los 77 individuos de estudio en junio de 2016.

El biovolumen permite estimar la biomasa de la planta, se midió con cinta métrica la altura, el diámetro horizontal mayor de su parte aérea y el menor en perpendicular o a

este. La altura se debe medir como la diferencia entre la elevación del mayor tejido fotosintético en el dosel y la base de la planta. Los escapos y pedúnculos no se incluyen como tejido fotosintético ya que lo relevante es la altura del dosel, no la de la inflorescencia (Westoby, 1998). Los datos de volumen se obtuvieron según la fórmula de Phillips (Phillips & MacMahon, 1981), la cual considera las plantas como un esferoide achatado (una elipse rotada sobre su eje menor):

$$V = \frac{\pi a^2 b}{6}$$

Siendo “a” el eje menor de la planta (ya sea la altura o el diámetro medio), y “b” el eje mayor (altura o diámetro medio). Como ejes se considerarán la altura y el diámetro medio de la planta, siendo éste la media entre el diámetro horizontal mayor y el menor en perpendicular al primero.

El SLA o área específica foliar es el área de un lado de una hoja, dividida por su peso seco (Cornelissen *et al.*, 2003, Weiher *et al.*, 1999), expresada en cm²/g. El trabajo de campo ha consistido en realizar la toma de una muestra foliar por individuo, de la parte media de la zona vegetativa de la planta, a fin de homogeneizar en la medida de lo posible las edades foliares y otros aspectos ecofisiológicos. Las muestras fueron transportadas en un contenedor fresco para evitar la pérdida de humedad y turgencia. En laboratorio se realizó su pesado con una balanza de precisión, en fresco y en seco, tras 72 horas en estufa a 60°C. La superficie foliar en fresco ha sido determinada mediante su digitalización a través de fotografías y el software de Photoshop®.

2.4.3. Variables abióticas

A continuación se describen las tres condiciones abióticas analizadas; compactación y humedad edáfica superficial y bloqueo relativo del PAR ejercido por los individuos. Se tuvo que medir en dos micrositos distintos, bajo el dosel de los individuos y en los intersticios (control). De este modo se pudo comparar resultados y establecer una relación para determinar si bajo el dosel se dan condiciones más favorables para el establecimiento de plántulas. Para que la diferencia sea máxima la medida en el dosel se hace con orientación norte, y la medida del intersticio con orientación sur. Se considera intersticio a una distancia aproximada de 15cm en las plantas pequeñas y a 45cm en las plantas grandes. Al igual que con las variables bióticas, la compactación, la humedad y el bloqueo relativo del PAR fueron medidos para los 77 individuos de estudio en junio de 2016.

En la medición de la compactación se ha utilizado un dinamómetro BFG (Basic Force Guage), Mecmesing 500N, al romper la costra física superficial con el dinamómetro registra la fuerza empleada en Newton, que dividida por el área (2.54 cm²) del extremo dinamómetro que penetra en el suelo se obtiene la presión (kPa) necesaria para romperla. Esta variable se ha estudiado en forma de porcentaje de descompactación, es decir el porcentaje de descompactación que hay bajo el dosel en relación al intersticio, como se observa en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Descompactación} = \frac{I - D}{I} \times 100$$

I: Compactación en el intersticio

D: Compactación bajo el dosel

La humedad edáfica superficial se midió con el aparato TDR (Time Domain Reflectometry, Reflectometria de Dominio de Tiempo) modelo FieldScout, TDR200 Soil Moisture Meter, que mide la humedad a través de dos sensores (sondas de 3,8cm) que se introducen en el sustrato, y por medio de una señal eléctrica es capaz de determinar el porcentaje de humedad que contiene.

El PAR (Photosintetic Active Radiation) se define como la cantidad de radiación que incide sobre una superficie. Para su medición se ha utilizado un PAR-metro (Spectrum Technologies Field Scout Quantum Meter), las medidas se realizaron con el aparato orientado hacia el sol, en un día soleado entre las 12h y las 13h para que las diferencias entre dosel e intersticio fuesen máximas. El bloqueo relativo del Par se halla mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Bloqueo relativo del PAR} = \frac{I - D}{I} \times 100$$

I: PAR que incide en el intersticio

D: PAR que incide bajo el dosel

2.4.4. Factores

Para la realización de las pruebas estadísticas es fundamental la elección de variables y de factores, ya que estos últimos se utilizan para formar los grupos que se comparan. Como factores se han considerados los siguientes:

- Tipo: Este es el factor que más grupos genera, clasificando los 77 individuos en cuatro grupos, que son los siguientes: Tipo 1, plantadas originales (GSP), Tipo 2, sembradas originales (GSS), Tipo 3, reclutamientos grandes (GSG) y Tipo 4, reclutamientos pequeños (GSE).
- Edad: Los individuos GSP y GSS son más antiguos que los reclutamientos como se ha comentado anteriormente, generando dos grupos: Edad 1 formado por GSP y GSS y Edad 2 formado por GSG y GSE.

2.4.5. Influencia climática

Para estudiar la influencia climática en las variables estudiadas se evaluaron los 10 últimos ciclos fenológicos desde el año de muestreo, 2015-2016 (ciclo 1), tomando el inicio y fin del ciclo en septiembre y agosto respectivamente. Los ciclos fenológicos están caracterizados por las siguientes variables meteorológicas; Temperatura media (°C), Temperatura máxima (°C), Temperatura mínima (°C), Humedad media (%), Humedad máxima (%), Humedad mínima (%), Velocidad del viento (m/s), Dirección del viento (°), Velocidad máxima del viento (m/s), Dirección del viento a velocidad máxima (°), Radiación solar (MJ/m²), Precipitación (mm) y Evapotranspiración (mm).

Los datos se obtuvieron de la estación agroclimática más próxima, la estación de Calanda (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío, Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente) ubicada a unos 20 km del área de estudio. Los datos obtenidos corresponden a mediciones diarias pero en los análisis estadísticos se trabaja con las medias anuales calculadas mediante las medias mensuales, a excepción de las variables precipitación y evapotranspiración que se trabaja con los sumatorios anuales.

2.5. Análisis estadísticos

Para clasificar los reclutamientos en grandes y pequeños se realizó un test k-means con el sistema de análisis Ginkgo, del paquete estadístico Vegana.

Las variables bióticas analizadas fueron Biovolumen y SLA, pero además se analizaron las subvariables con los que se obtuvieron esas dos variables, es decir, se analizó Biovolumen pero también la Altura y el Diámetro medio de los individuos y se analizó SLA pero también el Peso de la hoja y el Área de la hoja. Las variables abióticas analizadas fueron Descompactación y Bloqueo relativo del PAR. Como se verá más adelante no se pudieron hacer análisis estadísticos de la variable Humedad.

El objetivo del análisis estadístico es determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos determinados por los factores. Antes de realizar ningún análisis se eliminaron los datos atípicos y extremos mediante diagramas box plot, determinados por el factor Tipo. Para determinar si las variables se analizaban con una prueba paramétrica (ANOVA) o con una no paramétrica (Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney para muestras independientes) se realizaron pruebas de normalidad y homocedasticidad de las variables. Para comprobar la normalidad se realizaron pruebas de Kolmogórov-Smirnov, y para la homocedasticidad pruebas de Levene. Las variables que cumplieron los criterios de normalidad y homocedasticidad fueron analizados con una prueba ANOVA, mientras que las que no cumplieron dichos criterios fueron analizadas con los pruebas Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney (Dependiendo de si se factoriza en dos o en más grupos respectivamente). Estas pruebas determinan si hay diferencias en dos grupos o más pero no explican en cuáles de ellos (ni cuántas hay), para saber qué grupos difieren entre sí se utilizaron pruebas post-hoc, comparaciones dos a dos controlando la significación (Tukey en el caso de la prueba ANOVA y las predeterminadas por el programa para las otras pruebas). Todas las pruebas se realizaron con un 95% de confianza por lo que el valor de significancia es de 0,05 y se utilizó el programa estadístico SPSS 20.0 (Inc., Chicago, USA).

Las variables bióticas Área de la hoja, Peso de la hoja y SLA fueron las únicas que cumplieron los criterios de normalidad y homocedasticidad por lo que fueron analizadas con una prueba ANOVA y post-hoc Tukey. El resto de variables bióticas; Altura, Diámetro medio, Biovolumen junto con las variables abióticas Descompactación y Bloqueo relativo del PAR no cumplieron los criterios de normalidad y homocedasticidad por lo que fueron analizadas con una prueba Kruskal-Wallis o U de Mann-Whitney (Dependiendo del factor) y un post hoc predeterminado por SPSS.

Los datos meteorológicos fueron analizados mediante un Análisis de Componentes Principales (PCA) con el sistema de análisis Ginkgo del paquete estadístico Vegana, de modo que los últimos 10 ciclos fenológicos fueron ordenados de acuerdo a las principales variables que influenciaron las condiciones ambientales.

3. Resultados

3.1. Clasificación de los reclutamientos

Se contabilizaron 3753 reclutamientos y se midió la altura de todos. Los resultados del test k-means fueron la clasificación por altura de los reclutamientos en individuos grandes y pequeños:

- Grupo 1 pequeños: 1-12cm: 2971 individuos
- Grupo 2 grandes: 13-112 cm: 782 individuos

Es decir, los reclutamientos grandes (GSG) fueron seleccionados al azar entre reclutamientos que medían entre 13 y 112cm, y los reclutamientos pequeños (GSE) fueron seleccionados al azar entre los que medían entre 1 y 12cm.

3.2. Variables bióticas

A continuación se muestran los resultados de los análisis de cada variable biótica para cada factor.

Altura (factor Tipo)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Altura es la misma entre las categorías Tipo	Kruskal Wallis de muestras independientes	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 2. Prueba de Kruskal Wallis para la variable Altura.
Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Pareja Tipo	Significancia	Decisión
4-3	0,000	Rechazar la hipótesis nula
4-1	0,000	Rechazar la hipótesis nula
4-2	0,000	Rechazar la hipótesis nula
3-1	1,000	Aceptar la hipótesis nula
3-2	0,047	Rechazar la hipótesis nula
1-2	0,360	Aceptar la hipótesis nula

Tabla 3. Comparación por parejas de la prueba de Kruskal Wallis para la variable Altura.
Nivel de significancia = 0,05.

Variable	GSP (1)	GSS (2)	GSG (3)	GSE (4)
Altura	38,89 ± 2,13 ab	47,68 ± 1,98 a	36,55 ± 1,84 b	7,4 ± 0,432 c

Tabla 4. Grupos resultantes de la comparación por parejas de la prueba de Kruskal Wallis para la variable Altura. Incluyendo valor medio y error típico (cm). Nivel de significancia = 0,05.
(Siendo a > ab > b > bc > c).

Como puede observarse en los grupos formados los individuos GSS son los más altos, seguidos por los GSG y los GSE. Los individuos GSP presentan una altura intermedia entre los grupos GSS y GSG.

Altura (factor Edad)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Altura es la misma entre las categorías Tipo	Kruskal Wallis de muestras independientes	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 5. Prueba de U de Mann-Whitney para la variable Altura. Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2)

Variable	GSP y GSS (1)	GSG y GSS (2)
Diámetro medio	43,89 ± 1,57 a	21,97 ± 2,51 b

Tabla 6. Grupos resultantes de la prueba de U de Mann-Whitney para la variable Altura. Incluyendo valor medio y error típico (cm). Nivel de significancia = 0,05. (Siendo a > ab > b > bc > c).

Como puede observarse los individuos más antiguos GSP y GSS presentan mayor altura que los más jóvenes GSG y GSE.

Diámetro medio (factor Tipo)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Diámetro medio es la misma entre las categorías Tipo	Kruskal Wallis de muestras independientes	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 7. Prueba de Kruskal Wallis para la variable Diámetro medio. Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Pareja Tipo	Significancia	Decisión
4-3	0,003	Rechazar la hipótesis nula
4-1	0,000	Rechazar la hipótesis nula
4-2	0,000	Rechazar la hipótesis nula
3-1	0,443	Aceptar la hipótesis nula
3-2	0,010	Rechazar la hipótesis nula
1-2	0,286	Aceptar la hipótesis nula

Tabla 8. Comparación por parejas de la prueba Kruskal Wallis para la variable Diámetro medio. Nivel de significancia = 0,05.

Variable	GSP (1)	GSS (2)	GSG (3)	GSE (4)
Diámetro medio	52,11 ± 2,83 ab	67,94 ± 3,22 a	38,95 ± 2,87 b	3,61 ± 0,28 c

Tabla 9. Grupos resultantes de la comparación por parejas de la prueba de Kruskal Wallis para la variable Diámetro medio. Incluyendo valor medio y error típico (cm). Nivel de significancia = 0,05. (Siendo $a > ab > b > bc > c$).

Como puede observarse en los grupos formados los individuos GSS son los que mayor diámetro medio presentan, seguidos por los GSG y los GSE. Los individuos GSP presentan un diámetro intermedio entre los grupos GSS y GSG.

Diámetro medio (factor Edad)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Diámetro medio es la misma entre las categorías Tipo	Kruskal Wallis de muestras independientes	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 10. Prueba de U de Mann-Whitney para la variable Diámetro medio.

Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Variable	GSP y GSS (1)	GSG y GSS (2)
Diámetro medio	60,02 ± 2,05 a	22,21 ± 3,26 b

Tabla 11. Grupos resultantes de la prueba de U de Mann-Whitney para la variable Diámetro medio Incluyendo valor medio y error típico (cm).

Nivel de significancia = 0,05. (Siendo $a > ab > b > bc > c$).

Como puede observarse los individuos más antiguos GSP y GSS presentan mayor diámetro medio que los más jóvenes GSG y GSE.

Biovolumen (factor Tipo)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Biovolumen es la misma entre las categorías Tipo	Kruskal Wallis de muestras independientes	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 12. Prueba de Kruskal Wallis para la variable Biovolumen.

Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Pareja Tipo	Significancia	Decisión
4-3	0,001	Rechazar la hipótesis nula
4-1	0,000	Rechazar la hipótesis nula
4-2	0,000	Rechazar la hipótesis nula
3-1	0,100	Aceptar la hipótesis nula
3-2	0,004	Rechazar la hipótesis nula
1-2	0,203	Aceptar la hipótesis nula

Tabla 13. Comparación por parejas de la prueba Kruskal Wallis para la variable Biovolumen. Nivel de significancia = 0,05.

Variable	GSP (1)	GSS (2)	GSG (3)	GSE (4)
Biovolumen	43716,24	85781,23	30434,75	61,54
	±	±	±	±
	5814,81	10310,69	4628,95	11,25
	ab	a	b	c

Tabla 14. Grupos resultantes de la comparación por parejas de la prueba de Kruskal Wallis para la variable Biovolumen. . Incluyendo valor medio y error típico (cm³).

Nivel de significancia = 0,05. (Siendo a > ab > b > bc >c).

Como puede observarse en los grupos formados los individuos GSS son los que mayor biovolumen presentan, seguidos por los GSG y los GSE. Los individuos GSP presentan un biovolumen intermedio entre los grupos GSS y GSG.

Biovolumen (factor Edad)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Biovolumen es la misma entre las categorías Tipo	Kruskal Wallis de muestras independientes	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 15. Prueba de U de Mann-Whitney para la variable Biovolumen.

Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Variable	GSP y GSS (1)	GSG y GSS (2)
Biovolumen	65917,21 ± 6982,46	16047,44 ± 3465,14
	a	b

Tabla 16. Grupos resultantes de la prueba de U de Mann-Whitney para la variable Biovolumen. Incluyendo valor medio y error típico (cm³).

Nivel de significancia = 0,05. (Siendo a > ab > b > bc >c).

Como puede observarse los individuos más antiguos GSP y GSS presentan mayor biovolumen que los más jóvenes GSG y GSE.

Área de la hoja (factor Tipo)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Área de la hoja es la misma entre las categorías Tipo	ANOVA de un factor	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 17. Prueba de ANOVA de un factor para la variable Área de la hoja. Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Tipo	Tipo (Comparación)	Significancia	Decisión
1	2	0,002	Rechazar la hipótesis nula
	3	0,088	Aceptar la hipótesis nula
	4	0,010	Rechazar la hipótesis nula
2	1	0,002	Rechazar la hipótesis nula
	3	0,461	Aceptar la hipótesis nula
	4	0,000	Rechazar la hipótesis nula
3	1	0,088	Aceptar la hipótesis nula
	2	0,461	Aceptar la hipótesis nula
	4	0,000	Rechazar la hipótesis nula
4	1	0,010	Rechazar la hipótesis nula
	2	0,000	Rechazar la hipótesis nula
	3	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 18. Post hoc Tukey de la prueba ANOVA de un factor para la variable Área de la hoja. Nivel de significancia = 0,05.

Variable	GSP (1)	GSS (2)	GSG (3)	GSE (4)
Área de la hoja	0,19 ± 0,01 b	0,26 ± 0,1 a	0,23 ± 0,12 ab	0,13 ± 0,01 c

Tabla 19. Grupos resultantes del post hoc Tukey de la prueba ANOVA de un factor para la variable Área de la hoja. Incluyendo valor medio y error típico (cm²). Nivel de significancia = 0,05. (Siendo a > ab > b > bc > c)

Como puede observarse los individuos GSS son los que mayor área de la hoja presentan, seguidos por los individuos GSP, y los GSE. Los individuos GSG presentan un área de la hoja intermedio entre los grupos GSS y GSP.

Área de la hoja (factor Edad)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Área de la hoja es la misma entre las categorías Edad	ANOVA de un factor	0,006	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 20. Prueba de ANOVA de un factor para la variable Área de la hoja. (Gráfico en el Anexo 2). Nivel de significancia = 0,05.

Variable	GSP y GSS (1)	GSG y GSE (2)
Edad	0,23 ± 0,01 a	0,18 ± 0,1 b

Tabla 21. Grupos resultantes de la ANOVA de un factor para la variable Área de la hoja. Incluyendo valor medio y error típico (cm²). Nivel de significancia = 0,05. (Siendo a > ab > b > bc > c).

Como puede observarse los individuos más antiguos, GSP y GSS presentan mayor peso de la hoja que los individuos más jóvenes GSG y GSE

Peso de la hoja (factor Tipo)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Peso de la hoja es la misma entre las categorías Tipo	ANOVA de un factor	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 22. Prueba de ANOVA de un factor para la variable Peso de la hoja. Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Tipo	Tipo (Comparación)	Significancia	Decisión
1	2	0,091	Aceptar la hipótesis nula
	3	0,020	Rechazar la hipótesis nula
	4	0,349	Aceptar la hipótesis nula
2	1	0,091	Aceptar la hipótesis nula
	3	0,933	Aceptar la hipótesis nula
	4	0,000	Rechazar la hipótesis nula
3	1	0,020	Rechazar la hipótesis nula
	2	0,933	Aceptar la hipótesis nula
	4	0,000	Rechazar la hipótesis nula
4	1	0,349	Aceptar la hipótesis nula
	2	0,000	Rechazar la hipótesis nula
	3	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 23. Post hoc Tukey de la prueba ANOVA de un factor para la variable Peso de la hoja. Nivel de significancia = 0,05.

Variable	GSP (1)	GSS (2)	GSG (3)	GSE (4)
Peso de la hoja	2,99 ± 0,30 bc	3,95 ± 0,26 ab	4,18 ± 0,29 a	2,33 ± 0,25 c

Tabla 24. Grupos resultantes del post hoc Tukey de la prueba ANOVA de un factor para la variable Peso de la hoja. Incluyendo valor medio y error típico (mg).

Nivel de significancia = 0,05. (Siendo a > ab > b > bc > c).

Como puede observarse los individuos GSG son los que mayor peso de la hoja presentan, seguidos por los individuos, GSE. Los individuos GSS y GSP presentan un peso de la hoja intermedio entre los grupos GSG y GSE, siendo el peso de la hoja de GSS mayor que el de GSP.

Peso de la hoja (factor Edad)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Peso de la hoja es la misma entre las categorías Edad	ANOVA de un factor	0,455	Aceptar la hipótesis nula

Tabla 25. Prueba de ANOVA de un factor para la variable Peso de la hoja. Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Variable	GSP y GSS (1)	GSG y GSE (2)
Peso de la hoja	3,50 ± 0,21 a	3,23 ± 0,24 a

Tabla 26. Grupos resultantes de la ANOVA de un factor para la variable Peso de la hoja. Incluyendo valor medio y error típico (mg). Nivel de significancia = 0,05. (Siendo a > ab > b > bc > c).

Como puede observarse no existen diferencias significativas, por lo que los individuos más antiguos GSP y GSS presentan el mismo peso de la hoja que los individuos más jóvenes GSG y GSE

SLA (factor Tipo)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de SLA es la misma entre las categorías Tipo	ANOVA de un factor	0,026	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 27. Prueba de ANOVA de un factor para la variable SLA. Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Tipo	Tipo (Comparación)	Significancia	Decisión
1	2	1,000	Aceptar la hipótesis nula
	3	0,521	Aceptar la hipótesis nula
	4	0,049	Rechazar la hipótesis nula
2	1	1,000	Aceptar la hipótesis nula
	3	0,530	Aceptar la hipótesis nula
	4	0,043	Rechazar la hipótesis nula
3	1	0,521	Aceptar la hipótesis nula
	2	0,530	Aceptar la hipótesis nula
	4	0,518	Aceptar la hipótesis nula
4	1	0,049	Rechazar la hipótesis nula
	2	0,043	Rechazar la hipótesis nula
	3	0,518	Aceptar la hipótesis nula

Tabla 28. Post hoc Tukey de la prueba ANOVA de un factor para la variable SLA. Nivel de significancia = 0,05.

Variable	GSP (1)	GSS (2)	GSG (3)	GSE (4)
SLA	64,71 ± 1,93	64,39 ± 2,15	59,50 ± 2,72	54,53 ± 3,23
	a	a	ab	b

Tabla 29. Grupos resultantes del post hoc Tukey de la prueba ANOVA de un factor para la variable SLA. Incluyendo valor medio y error típico (cm²/g). Nivel de significancia = 0,05. (Siendo a > ab > b > bc > c).

SLA (factor Edad)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de SLA es la misma entre las categorías Edad	ANOVA de un factor	0,006	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 30. Prueba de ANOVA de un factor para la variable SLA. Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Variable	GSP y GSS (1)	GSG y GSE (2)
SLA	64,53 ± 1,44 a	57,09 ± 2,11 b

Tabla 31. Grupos resultantes de la ANOVA de un factor para la variable SLA. Incluyendo valor medio y error típico (cm²/g). Nivel de significancia = 0,05. (Siendo a > ab > b > bc > c).

Como puede observarse los individuos más antiguos GSP y GSS presentan mayor SLA que los individuos más jóvenes GSG y GSE.

3.3. Variables abióticas

Los resultados de humedad edáfica superficial fueron 0% en todos los casos y en ambos micrositios, dosel e intersticio, por lo que estos datos no pudieron ser analizados estadísticamente. Este dato no se ha interpretado como que no existe diferencia entre la humedad del dosel y del intersticio ya que los resultados se deben a las escasas precipitaciones que hubo los días previos al muestreo. A continuación se muestran los resultados de los análisis de cada variable abiótica para cada factor:

Descompactación (factor Tipo)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Descompactación es la misma entre las categorías Tipo	Kruskal Wallis de muestras independientes	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 32. Prueba de Kruskal Wallis para la variable Descompactación. Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Pareja Tipo	Significancia	Decisión
4-3	0,596	Aceptar la hipótesis nula
4-1	0,000	Rechazar la hipótesis nula
4-2	0,000	Rechazar la hipótesis nula
3-1	0,007	Rechazar la hipótesis nula
3-2	0,003	Rechazar la hipótesis nula
1-2	1,000	Aceptar la hipótesis nula

Tabla 33. Comparación por parejas de la prueba Kruskal Wallis para la variable Descompactación. Nivel de significancia = 0,05.

Variable	GSP (1)	GSS (2)	GSG (3)	GSE (4)
Descompactación	62,34	61,73	39,27	25,59
	± 3,06	± 1,84	± 4,26	± 4,73
	a	a	b	b

Tabla 34. Grupos resultantes de la comparación por parejas de la prueba de Kruskal Wallis para la variable Descompactación. Incluyendo valor medio y error típico (%). Nivel de significancia = 0,05. (Siendo a > ab > b > bc > c).

Como puede observarse en los grupos formados los individuos GSP y GSS son los que mayor descompactación generan en su dosel en comparación con los individuos GSG y GSE.

Descompactación (factor Edad)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Descompactación es la misma entre las categorías Tipo	Kruskal Wallis de muestras independientes	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 35: Prueba de U de Mann-Whitney para la variable Descompactación. Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Variable	GSP y GSS (1)	GSG y GSS (2)
Descompactación	61,98 ± 1,64	32,12 ± 3,49
	a	b

Tabla 36. Grupos resultantes de la prueba de U de Mann-Whitney para la variable Descompactación. Incluyendo valor medio y error típico (%). Nivel de significancia = 0,05. (Siendo a > ab > b > bc > c).

Como puede observarse los individuos más antiguos GSP y GSS presentan mayor descompactación que los más jóvenes GSG y GSE.

Bloqueo relativo del PAR (factor Tipo)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Bloqueo relativo del PAR es la misma entre las categorías Tipo	Kruskal Wallis de muestras independientes	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 37. Prueba de Kruskal Wallis para la variable Bloqueo relativo del PAR. Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Pareja Tipo	Significancia	Decisión
4-3	0,001	Rechazar la hipótesis nula
4-1	0,000	Rechazar la hipótesis nula
4-2	0,000	Rechazar la hipótesis nula
3-1	0,247	Aceptar la hipótesis nula
3-2	0,041	Rechazar la hipótesis nula
1-2	1,000	Aceptar la hipótesis nula

Tabla 38. Comparación por parejas de la prueba Kruskal Wallis para la variable Bloqueo relativo del PAR. Nivel de significancia = 0,05.

Variable	GSP (1)	GSS (2)	GSG (3)	GSE (4)
Bloqueo relativo del PAR	81,73 ± 3,36 ab	87,16 ± 1,59 a	70,79 ± 3,05 b	3,5 ± 0,63 c

Tabla 39. Grupos resultantes de la comparación por parejas de la prueba de Kruskal Wallis para la variable Bloqueo relativo del PAR. Incluyendo valor medio y error típico (%).

Nivel de significancia = 0,05. (Siendo $a > ab > b > bc > c$).

Como puede observarse en los grupos formados los individuos GSS son los que mayor bloqueo del PAR generan, seguidos por los GSG y los GSE. Los individuos GSP presentan un bloqueo del PAR intermedio entre los grupos GSS y GSG.

Bloqueo relativo del PAR (factor Edad)

Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
La distribución de Bloqueo relativo del PAR es la misma entre las categorías Tipo	Kruskal Wallis de muestras independientes	0,000	Rechazar la hipótesis nula

Tabla 40. Prueba de U de Mann-Whitney para la variable Bloqueo relativo del PAR. Nivel de significancia = 0,05. (Gráfico en el Anexo 2).

Variable	GSP y GSS (1)	GSG y GSS (2)
Bloqueo relativo del PAR	84,44 ± 1,89 a	36,28 ± 5,65 b

Tabla 41. Grupos resultantes de la prueba de U de Mann-Whitney para la variable Bloqueo relativo del PAR. Incluyendo valor medio y error típico (%). Nivel de significancia = 0,05. (Siendo a > ab > b > bc > c).

Como puede observarse los individuos más antiguos GSP y GSS presentan mayor bloqueo del PAR que los más jóvenes GSG y GSE.

3.4. Caracterización de los 10 últimos ciclos fenológicos

Para la elaboración del PCA se consideraron únicamente los componentes principales con un autovalor (Eigenvalue) mayor que uno (Quinn & Keogh, 2002), que fueron los cuatro primeros (Tabla 42) explicando conjuntamente un 89% del total de la varianza.

EigenValues	% Varianza total	% Varianza total acumulada
EV-1 5,4920	42,2459	42,2459
EV-2 2,8120	21,6309	63,8767
EV-3 1,9655	15,1196	78,9963
EV-4 1,3114	10,0876	89,0840

Tabla 42. Autovalores (EigenValues). Relación de autovalores mayores que uno.

Se proyectó un “Biplot de correlación” para representar gráficamente los ciclos fenológicos (Figura 3).

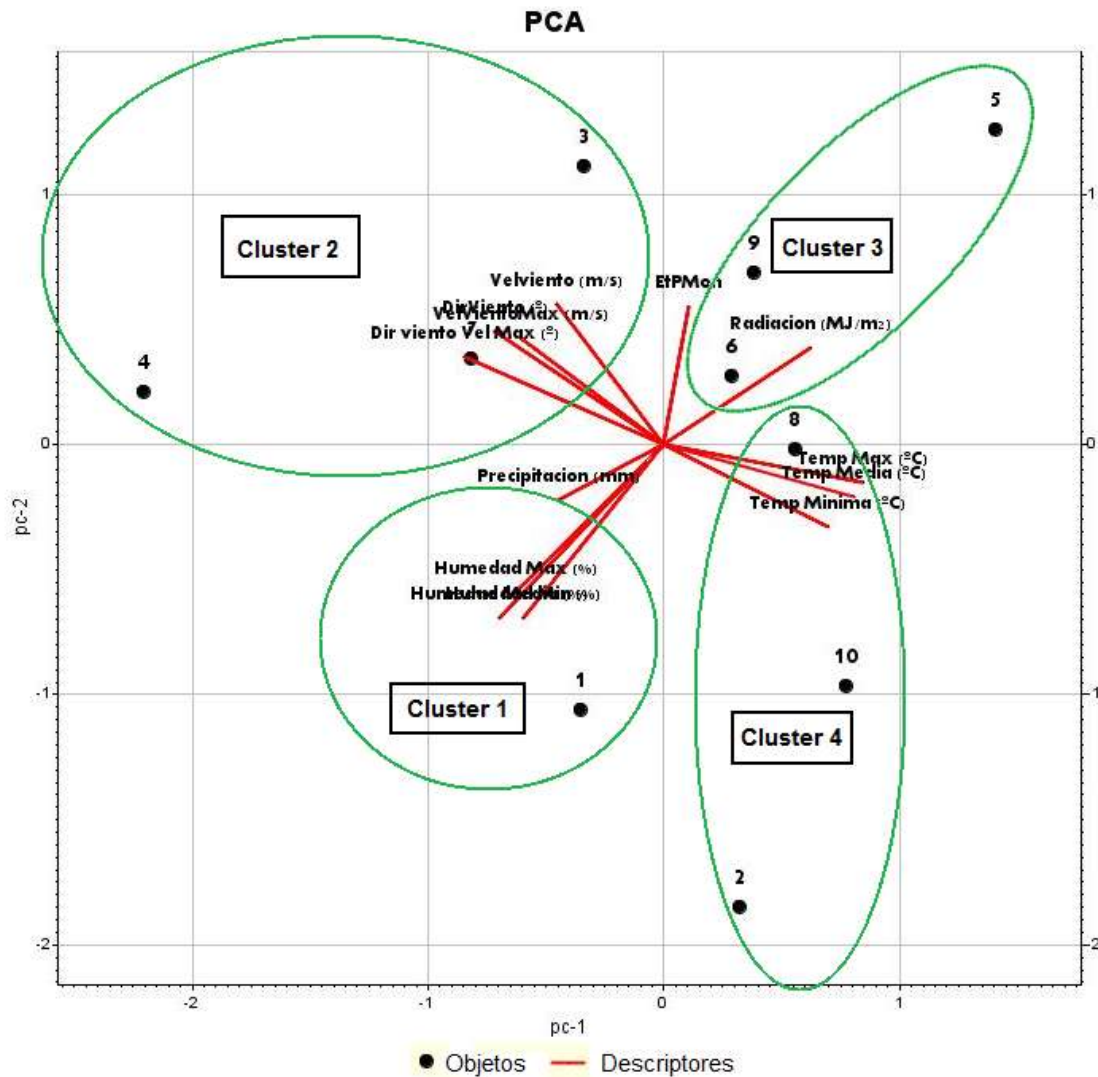


Figura 3. Biblot de correlación con los 10 ciclos fenológicos como objetos y las variables como descriptores. Ciclos: 1 (2016-2015), 2 (2015-2014), 3 (2014-2013), 4 (2013-2012), 5 (2012-2011), 6 (2011-2010), 7 (2010-2009), 8 (2009-2008), 9 (2008-2007), 10 (2007-2006). En verde los clusters creados por afinidad.

La representación de los resultados se realizó en base a los dos componentes principales seleccionados, pc-1 (EV-1), pc-2 (EV-2) (Tablas 43 y 44) al igual que la interpretación, ya que explican respectivamente el 42% y el 21% de la varianza total.

Variable	pc-1	pc-2
Temp Media (°C)	0,34	-0,13
Temp Max (°C)	0,36	-0,09
Temp Mínima (°C)	0,3	-0,2
Humedad Media (%)	-0,3	-0,41
Humedad Max (%)	-0,27	-0,35
Humedad Min (%)	-0,25	-0,41
Velviento (m/s)	-0,19	0,33
DirViento (°)	-0,3	0,27
VelVientoMax (m/s)	-0,26	0,26
Dir viento Vel Max (°)	-0,36	0,21
Radiación (MJ/m ²)	0,27	0,23
Precipitación (mm)	-0,19	-0,13
EtPMon	0,04	0,33

Tabla 43. Puntuaciones para las variables meteorológicas de los componentes principales 1 y 2.

Ciclo fenológico	pc-1	pc-2
1 (2016-2015)	-0,82	-1,78
2 (2015-2014)	0,75	-3,1
3 (2014-2013)	-0,8	1,87
4 (2013-2012)	-5,18	0,36
5 (2012-2011)	3,29	2,11
6 (2011-2010)	0,67	0,46
7 (2010-2009)	-1,92	0,58
8 (2009-2008)	1,3	-0,03
9 (2008-2007)	0,89	1,15
10 (2007-2006)	1,81	-1,62

Tabla 44. Coordenadas de los objetos (ciclos fenológicos) en el biplot de correlación.

Los ciclos más importantes son el ciclo 1 (2016-2015) durante el cual se ha realizado este estudio, los ciclos 4 y 5 (2013-2012, 2012-2011) durante los cuales se realizaron la plantación y el semillado, y el periodo que comprende los últimos cuatro ciclos fenológicos, que es cuando se han producido los reclutamientos. Como puede observarse en el biplot de correlación (Anexo 3) el ciclo 1 (2016-2015) destaca por su humedad, ya que presenta los niveles más altos de Humedad media, Humedad máxima, Humedad mínima y Precipitación. El ciclo 4 (2013-2012) durante el que se realizó la plantación (GSP) se caracteriza por niveles medio altos de Precipitación, Humedad y Velocidad del viento, y bajos de Temperatura. El ciclo 5 (2012-2011) durante el que se realizó el semillado (GSS) es el que presenta los mayores valores de Radiación y Evapotranspiración.

En la figura 1 se observan los cuatro clusters que resultan de dividir los ciclos en relación a su posición en el eje de las "x" (PC-1, que explica un 42,25% de la varianza) y en el eje de las "y" (PC-2, que explica un 21,63%). El cluster 1 formado por el ciclo 1 (2016-2015) que destaca por ser un ciclo con elevados niveles de Humedad y Precipitación, el cluster 2 formado por los ciclos 3,4 y 7 (2014-2013, 2013-2012, 2010-2009) que destacan por elevados valores de Velocidad del viento, el cluster 3 formado por los ciclos 5,6 y 9 (2012-2011, 2011-2010, 2008-2007) que destacan por elevados niveles de Radiación y Evapotranspiración y el cluster 4 formado por los ciclos 2, 8 y 10 (2015-2014, 2009-2008, 2007-2006) que destacan por elevados valores de Temperatura.

Teniendo en cuenta el mayor peso relativo del PC-1 en relación al PC-2, por lo que el eje de las "x" tiene mayor peso que el eje de las "y" se comparan los cluster 1 y 2 con los cluster 3 y 4, el resultado es que si se excluyen los ciclos 2 y 7 se puede concluir con que los últimos cuatro ciclos fenológicos han sido lluviosos, húmedos y venteados, mientras que los seis siguientes han sido cálidos y secos.

4. Discusión

4.1. Éxito de establecimiento de los reclutamientos

El SLA es un rasgo funcional blando, entendiendo como blandos los fácilmente medibles. Se trata de uno de los componentes descriptivos más relevantes de la tasa de crecimiento relativa (RGR), considerada como un rasgo duro (difícilmente medible) de la cual puede explicar hasta el 80% de sus variaciones (Villar *et al.*, 2004). Es decir es un reflejo objetivo y fácilmente medible de la evolución vegetativa de un individuo en un periodo de tiempo determinado. Este rasgo da respuesta a cuestiones adaptativas; en general se asume que las especies con alto SLA tendrían ventajas en hábitats productivos (gran disponibilidad de recursos) en detrimento de la longevidad foliar (ej. especies caducifolias), mientras que las especies con bajo SLA (mayor longevidad foliar, ej. taxones perennifolios) tendrían ventajas en hábitats con estrés ambiental (Cornelissen *et al.*, 1996 & Antúnez *et al.*, 2001). Según la necesidad de crecer o defenderse, la planta invertirá recursos en compuestos defensivos (hoja más resistente y pesada) o en hojas más grandes y ligeras, afectando al SLA (Coley, 1988)

En general, el SLA refleja estrategias de tolerancia o evitación, lo cual implica un coste energético que supone un menor crecimiento, pero a cambio obtiene una mayor probabilidad de supervivencia (Cornelissen *et al.*, 1997). En el caso de la Corta Barrabasa existe una necesidad de tolerancia al estrés químico y físico de los yesos artificiales y a las sequías propias del clima mediterráneo. Por lo tanto una tendencia decreciente en el SLA indica que el individuo se está viendo negativamente afectado por las condiciones abióticas y una tendencia creciente indica que se está adaptando a esas condiciones abióticas.

Si se relaciona el biovolumen con la tasa de crecimiento, una rápida tasa de crecimiento se traduce en un mayor biovolumen en menos tiempo, lo que supone una ventaja ecológica al posibilitar una mayor captación de recursos (Villar *et al.*, 2004). Sin embargo en condiciones adversas como las del área de estudio se requiere una estrategia diferente para lograr la supervivencia, enfocada a desarrollar una óptima tolerancia al estrés. (Villar *et al.*, 2004). Como se ha dicho anteriormente la tolerancia implica un coste energético, que se traduce el menor crecimiento y mayor posibilidad de supervivencia. Por lo tanto una tendencia creciente en el biovolumen supone una óptima adaptación al ambiente.

Los escasos individuos plantados y sembrados en 2012 actuaron como núcleos de dispersión generando nuevas semillas que se establecieron a pesar de las condiciones adversas, dando lugar a los reclutamientos. En otoño de 2014 ascendían a 616 reclutamientos (Foronda A., datos no publicados), para este estudio volvieron a contabilizarse, ascendiendo a 3753 reclutamientos en junio de 2016. Queda demostrada la gran capacidad primocolonizadora de esta especie, cualidad que la hace ser recomendada para la restauración de las explotaciones mineras de yeso a cielo abierto (Mota *et al.*, 2011). Hay que tener en cuenta que según los resultados del PCA los últimos cuatro ciclos fenológicos han sido lluviosos, húmedos, lo cual puede haber favorecido el aumento de los reclutamientos.

Los resultados del análisis del SLA demuestran que los individuos que llevan más tiempo establecidos están menos estresados. Los reclutamientos pequeños son más numerosos que los grandes pero se encuentran más estresados, esto es debido a que los reclutamientos pequeños son más jóvenes que los grandes. El SLA es menor y por lo tanto el estrés es mayor en los individuos jóvenes GSE ya que todavía están en fase de establecimiento y adaptación, y no todos ellos sobrevivirán, esto se puede observar en la proporción de individuos pequeños respecto a individuos grandes, que es casi de 4 a 1 por lo que aproximadamente solo uno de cada cuatro reclutamientos pequeños alcanza el tamaño de los reclutamientos grandes. Hay que tener en cuenta que aunque esta idea es correcta el dato es solo una aproximación, ya que cada año el potencial reproductivo puede ser diferente, además el crecimiento poblacional puede estar todavía en durante la fase exponencial propia del comienzo del proceso sucesional.

La estrategia de colonización que se interpreta de los resultados indica que cuando los nuevos individuos se establecen predominan las estrategias defensivas o estrés tolerantes, de hojas pequeñas y pesadas y bajo SLA destinadas a asegurar su supervivencia frente al crecimiento o aumento de biovolumen, las condiciones de estrés impiden la supervivencia de todos los individuos por lo que muchos mueren, los que logran sobrevivir y adaptarse al medio aumentan progresivamente su biovolumen y su SLA como reflejan los individuos GSG, con valores intermedios entre los individuos más antiguos GSP y GSS y los reclutamientos GSE, aunque que sobrevivan no quiere decir que dejen de estar estresados. Para contrastar esta teoría sería necesario comparar datos temporales, ya que cada año pueden crecer de forma distinta y mayor tamaño no implica necesariamente mayor edad.

Esta especie tiene una gran potencial como primocolonizadora ya que ha logrado establecerse con éxito en un medio tan adverso como lo es el área de estudio del presente trabajo, aunque esa adversidad se ha manifestado en la necesidad de la adaptación para asegurar la supervivencia, sobre todo en los individuos más jóvenes.

4.2. Sistemas de establecimiento

La siembra es un método económico y eficaz para recuperar la cubierta vegetal en trabajos de restauración (Bochet *et al.*, 2010; Ballesteros *et al.*, 2012), sin embargo, los resultados de la siembra pueden ser impredecibles, sobre todo en ecosistemas áridos, semiáridos y mediterráneos. En este área de estudio la siembra está desaconsejada para otras especies, pero no para *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* aunque existe incertidumbre debida a factores climáticos como el viento (Niinemets *et al.*, 2007) ya que el relieve en el área de estudio tiene altas velocidades del viento como manifestó el PCA y además tiene forma de cañón, siendo el viento dirigido por él y su velocidad aumentada, la incertidumbre también se debe a la germinación de la semilla y a la emergencia de la plántula (Escudero *et al.*, 1999, 2000; Romao *et al.*, 2005) y a otros factores como la ruptura de la dormancia o la fauna.

La plantación presenta la ventaja de que los individuos ya han superado la etapa crítica de germinación y emergencia de la plántula (Kigel, 1995; Romao & Escudero 2005). En el caso concreto de sistemas gípsicos, se evita el factor limitante de la costra edáfica, que puede dificultar la emergencia, aunque no se evita la dificultad de la penetración radicular (Meyer, 1998). Otra ventaja de la plantación frente a la siembra es que el primer verano es crucial para el establecimiento de las nuevas plántulas emergidas durante la última primavera y para muchas especies también del otoño anterior (Rey-Benayas, 1998), una plantación podría evitar en cierta medida, las restricciones de porte y desarrollo de una siembra, aunque un individuo adulto recién establecido es muy demandante de agua. Además de ello la introducción de especies vegetales por plantación en un ecosistema reduce inmediatamente la velocidad del viento en el suelo, así como la escorrentía y la erosión (Villar *et al.*, 2004). Las desventajas de la plantación son el estrés que produce la adaptación a un nuevo sustrato, sobre todo el del área de estudio por sus condiciones físico-químicas y su elevado coste económico ya que no solo es más caro comprar plántulas de vivero que semillas sino que también lo es el transporte de estas, requiere más mano de obra y más horas de trabajo para su establecimiento y además necesita riego hasta después del primer verano.

En esta área de estudio ambos métodos presentan la ventaja de la ausencia de especies competidoras, debido a que para establecerse tendrían que superar la costra física típica de yesos, que es uno de los factores más limitantes para la emergencia de nuevas plántulas (Harper *et al.*, 1965). Por otra parte, los suelos yesíferos presentan una composición química que puede resultar tóxica para determinadas especies, impidiendo la germinación de la semilla, el establecimiento de las plántulas o su correcto desarrollo.

Entre estos elementos se encuentran principalmente los iones sulfato ($\text{SO}_4^{=}$) y calcio (Ca^{2+}).

La siembra realizada en primavera de 2012 tuvo un éxito de establecimiento del 15%, este escaso éxito se explica mediante el hecho de que el ciclo fenológico 5 (2012-2011) destacó por sus elevados valores de radiación y evapotranspiración como reveló el PCA, y que las fases de germinación de la semilla y emergencia de la plántula son críticas. Observando los resultados que se obtuvieron en campo el 100% de los individuos plantados (GSP) y sembrados anillados (GSS) han sobrevivido desde 2012, por lo que ambos métodos han sido exitosos. El cambio de sustrato del vivero al área experimental fue una fase crítica que se ha manifestado en que los individuos GSP son de menor tamaño, teniendo unos niveles más bajos de biovolumen que los individuos que se establecieron directamente en el área experimental, por lo que ese cambio de sustrato fue más estresante que el primer verano de los individuos sembrados. Se observó que los grupos formados por la variable biovolumen coinciden con lo de altura y diámetro medio, por lo que las plantas GSS crecieron de la misma forma que las GSP pero alcanzaron mayor altura y diámetro medio. Las únicas ventajas significativas que presenta la plantación sobre la siembra en esta área de estudio son la inmediatez de la cobertura vegetal y la consiguiente reducción de los procesos erosivos.

Teniendo en cuenta que el área de estudio son 55 ha, el elevado coste de la plantación respecto a la siembra y que ambos métodos son exitosos, se recomienda la siembra como método de establecimiento de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* en el vertedero de yesos de desulfuración Corta Barrabasa, aunque el semillado ha de llevarse a cabo en días con ausencia de viento, para evitar que este extraiga las semillas del sustrato y lo deje desprovisto de ellas.

Combinar los dos métodos sería favorecedor para los individuos sembrados por la reducción de la velocidad en el viento en el suelo ejercida por los individuos plantados y por el posible efecto facilitador que se analizará más adelante, sin embargo no es necesario ya que la siembra obtiene niveles de éxito adecuados, y si lo fuera podría estudiarse utilizar objetos inanimados como rocas (Nobel *et al.*, 1992) ya que resultaría más económico.

4.3. Potencial facilitador

La facilitación y la competencia coexisten tanto en el espacio como en el tiempo (Bertness *et al.*, 1994). La facilitación es mayor bajo condiciones de estrés y el efecto competidor es mayor en condiciones óptimas para los individuos (Hopzapfel *et al.*, 2006). El balance facilitación-competencia puede cambiar dependiendo de varios factores (Bertness *et al.*, 1994), por ejemplo un aumento de la herbivoría puede aumentar las interacciones positivas de la facilitación, mientras que unas condiciones climáticas benignas pueden disminuir el estrés físico y aumentar las interacciones negativas de la competencia, como puede observarse en la Figura 4.

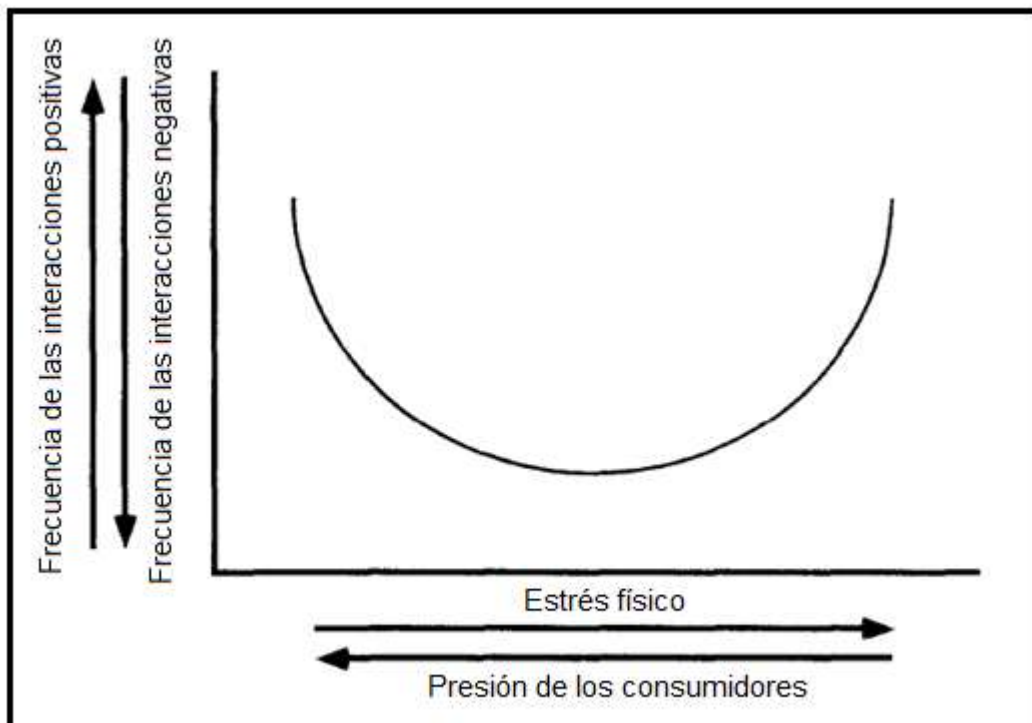


Figura 4. Modelo de la variación facilitación-competencia. (Bertness *et al.*, 1994).

Este estudio es solo una aproximación al posible efecto facilitador de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* ya que solo se tomaron datos en un momento determinado al final de la primavera de 2016 y no de forma continuada en el tiempo.

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) puede llegar a ser un factor limitante en la etapa de crecimiento en ambientes áridos y semiáridos debido a la alta radiación solar, es por ello que el bloqueo del PAR que ejerce una plántula puede facilitar que nuevos individuos de su misma especie o de otra se establezcan bajo su dosel, al crear

un micrositio más favorable, (Pugnaire & Haase, 1996; Maestre *et al.*, 2001), aunque puede existir una competencia por la radiación (Benayas, 2005).

El tecnosuelo del área de estudio se compactó para poder almacenar mayor cantidad de residuo, como enmienda se realizó una descompactación superficial de los primeros 30cm pero a pesar de ello el suelo sigue compactado debido principalmente a las costras de gran dureza características del material yesífero (Meyer, 1986). La compactación afecta directamente a la emergencia de las plántulas, impidiendo su establecimiento (Meyer, 1986; Escudero, 2009). Está demostrado que el dosel se encuentre menos compactado que el intersticio, debido al efecto facilitador (Maestre, 2002)

Los resultados del PCA revelaron que el ciclo 2016-2015 era húmedo y con elevadas precipitaciones, sin embargo la humedad medida en el suelo fue del 0% en todas las mediciones realizadas, tanto doseles como intersticios. Esto fue debido a que los días previos al muestreo hubo elevados niveles de radiación y no hubo precipitaciones.

Los resultados del análisis del bloqueo del PAR determinaron la formación de cuatro grupos distintos, cuyo bloqueo del PAR era mayor cuanto mayor era su tamaño (Medido en forma de Altura, Diámetro medio y Biovolumen), en cambio los resultados del análisis de la compactación determinaron la formación de solo dos grupos, que coinciden con los dos grupos resultantes de la división de los individuos por edad y se observó que los individuos más antiguos, que también son los de mayor tamaño eran los que menos compactado tenían su dosel. Los resultados reflejaron por lo tanto que las condiciones abióticas eran diferentes para los dos micrositios analizados, siendo más favorables para el establecimiento de las plántulas en el micrositio dosel.

Los efectos facilitadores aumentan con el tamaño es decir, son dependientes del tamaño porque los individuos de mayor tamaño son los que mayores modificaciones producen de las condiciones abióticas bajo su dosel. El bloqueo del PAR es más dependiente del tamaño del individuo que la capacidad de descompactar, esto se observa al comparar los reclutamientos grandes (GSG) con los pequeños (GSS) ya que para esta variable ejercen distinto bloqueo (significancia 0,001) mientras que para la variable descompactación el análisis no reveló diferencias significativas (significancia 0,596). La competencia también aumenta con el aumento de tamaño de los individuos, hay que tener en cuenta que las interacciones positivas y negativas coexisten ejerciendo un efecto neto, y que se trata de equilibrios inestables que pueden variar con facilidad.

Los nuevos reclutamientos ejercerán descompactación desde sus primeras fases juveniles mientras que no producirán un bloqueo del PAR significativo hasta que alcancen cierto tamaño. Sin embargo el área del dosel de estos reclutamientos jóvenes será menor que el de individuos adultos, ya que el radio de su dosel será mayor y la profundidad de la descompactación también será mayor en individuos más grandes.

Queda demostrado que al final de la primavera y principio del verano *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* mejora las condiciones abióticas de PAR y compactación, y que esta mejora aumenta significativamente con el tamaño de los individuos, por lo que puede ejercer como planta nodriza para su propia especie o para otras. Durante el trabajo de campo se observó la presencia de reclutamientos juveniles de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* y de otras especies bajo el dosel de varios individuos (Figuras 22, 23, 24 y 25 del Anexo 4).

Para determinar con exactitud si ejerce como planta nodriza serían necesarios otros estudios complementarios que estudiaran estas y otras variables abióticas a lo largo del tiempo, y que explorasen otros conceptos como la ecología espacial. Como se ha dicho anteriormente facilitación y competencia coexisten en espacio y tiempo, y aunque en este estudio sí se ha observado esa mejora de las condiciones abióticas, cuando el nivel del factor más limitante es tan bajo que los beneficios proporcionados por la planta facilitadora no puede superar su propia captación de recursos predomina la competencia (Maestre & Cortina, 2004).

5. Conclusiones

- *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* es una especie capaz de establecerse y crecer en un sustrato formado por yesos de desulfuración. Su capacidad de adaptarse a este sustrato la convierte en una especie óptima para la revegetación del vertedero.
- *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* recluta gran cantidad de individuos, pero no todos sobreviven debido a que no todos logran adaptarse a las condiciones adversas del sustrato.
- Los rasgos funcionales SLA y biovolumen se consolidan como buenas y fáciles herramientas indicadoras del estado de las plantas.
- *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* es apta para ser introducida tanto por el método de plantación como por el de siembra, pero debido principalmente a motivos económicos la siembra presenta más beneficios.
- Al final de la primavera y principio del verano *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* ejerce facilitación, mejorando las condiciones abióticas de PAR y compactación bajo su dosel.

Una vez ampliados los estudios sobre el potencial facilitador de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica*, se podría determinar si puede ser utilizada como planta nodriza para poder introducir especies que de otro modo no sería posible, con fines ecológicos o económicos.

6. Bibliografía

- Antúnez, I., Retamosa, E. C., & Villar, R. (2001). Relative growth rate in phylogenetically related deciduous and evergreen woody species. *Oecologia*, 128(2), 172-180.
- Ballesteros, M., E. M. Cañadas, A. Foronda, E. Fernández-Ondoño, J. Peñas & J. Lorite. (2012). Vegetation recovery of gypsum quarries: short-term sowing response to different soil treatments. *Applied Vegetation Science*, 15, 187–197.
- Benayas, J. M. R., Navarro, J., Espigares, T., Nicolau, J. M., & Zavala, M. A. (2005). Effects of artificial shading and weed mowing in reforestation of Mediterranean abandoned cropland with contrasting *Quercus* species. *Forest ecology and management*, 212(1), 302-314.
- Bertness M.D., Callaway R. (1994). "Positive interactions in communities". *TREE*, 9 (5), 191-193.
- Bochet, E., García-Fayos P. & Tormo J. (2010). How can we control erosion of roadslopes in semiarid mediterranean areas? Soil improvement and native plants establishment. *Land degradation & development*, 21(2), 110-121.
- Bradshaw, A. D. (2002). Introduction and Philosophy. En M. R. Perrow, & A. J. Davy, editors. *Handbook of Ecological Restoration*, 1 Principles of restoration, 3-9.
- Breshears, D.D., Nyhan, J.W., Heil, C.E., Wilcox, B.P., (1998). Effects of woody plants on microclimate in a semiarid woodland: soil temperature and evaporation in canopy and intercanopy patches. *International Journal of Plant Sciences*, 159, 1010–1017.
- Breshears, D.D. & Barnes, F.J. (1999). Interrelationships between plant functional types and soil moisture heterogeneity for semiarid landscapes within the grassland/forest continuum: a unified conceptual model. *Landscape Ecology*, 14(5), 465-478.
- Castillejo, J. M., Castello, R., San Cristóbal, A. G. & Abad, S. (2011). Soil–plant relationship along a semiarid gypsum gradient (Rio de Aguas, SE Spain). *Plant Ecology*, 212, 1287–1297.
- Comarca de Andorra-Sierra de Arcos. (2013). Las minas de la comarca Andorra-Sierra de Arcos. *Cuadernos comarcanos*, 8, 27.

- Callaway, R.M. (1995). Positive interactions among plants. *Botanical Review*, 61, 306-349
- Coley, P.D. (1988). Effects of Plant-Growth Rate and Leaf Lifetime on the Amount and Type of Anti-Herbivore Defense. *Oecologia*, 74(4), 531-536.
- Cornelissen, J.H.C., Diez, P.C. & Hunt, R. (1996). Seedling growth, allocation and leaf attributes in a wide range of woody plant species and types. *Journal of Ecology*, 84(5), 755-765
- Cornelissen J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Diaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., Reich, P. B., Steege, H., Morgan, H.D., Van der Heijden, M. G. A., Pausas, J. & Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51, 335-380.
- Díaz, S., Lavorel, S., de Bello, F., Quétier, F., Grigulis, K. & Robson, T. M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 104(52), 20684-20689.
- Escudero, A., Somolinos, R.C., Olano, J.M. & Rubio, A. (1999). Factors controlling the establishment of *Helianthemum squamatum*, an endemic gypsophile of semi-arid Spain. *Journal of Ecology*, 87(2), 290-302.
- Escudero, A. (2009). *1520 Vegetación gipsícola mediterránea (Gypsophiletalia)*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 78 p.
- Escudero, A., Iriondo, J.M., Olano, J.M., Rubio, A. & Somolinos, R.C. (2000). Factors affecting establishment of a gypsophyte: The case of *Lepidium subulatum*. *American Journal of Botany*, 87(6), 861-871.
- González, M. (2013). *Evaluación de materiales formadores de suelo en minas de carbón a cielo abierto sometidas a procesos de restauración ecológica*. Master en Restauración de Ecosistemas. Universidad Autónoma de Madrid. 33.
- Guerrero-Campo, J. y Montserrat Martí, G. (1996). *La vegetación de zonas erosionadas en la depresión media del Ebro y en el Prepirineo. Influencia de factores climáticos, topográficos y geomorfológicos en la composición florística de las comunidades vegetales*. IV Reunión de Geomorfología. Grandal d'Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J., Eds. Sociedad Española de Geomorfología. O Castro (A Coruña).

- Guerrero-Campo, J., Alberto, F., Hodgson, J., García-Ruiz, J. M. & Montserrat-Martí, G. (1999). Plant community patterns in a gypsum area of NE Spain. I. Interactions with topographic factors and soil erosion". *Journal of Arid Environments* 41(4), 401-410.
- Harper, J.L., Williams, J.T. & Sagar, G.R. (1965). The Behavior of Seeds in Soil .1. the Heterogeneity of Soil Surfaces and its Role in Determining the Establishment of Plants from Seed. *Journal of Ecology*, 53(2), 273.
- Hernández, A. J., Urcelay, A., & Pastor Piñeiro, J. (2002). *Evaluación de la resiliencia en ecosistemas terrestres degradados encaminada a la restauración ecológica*. Actas de la II Reunión Española de Ciencia de Sistemas. Universidad de Méndez y Pelayo.
- Holzapfel, C., Tielbörger, K., Parag, H. A., Kigel, J., & Sternberg, M. (2006). Annual plant–shrub interactions along an aridity gradient. *Basic and Applied Ecology*, 7(3), 268-279.
- Kigel, J. (1995). Seed germination in Arid and Semiarid Regions. *Seed Development and Germination*, 645–699.
- Maestre, F.T., Bautista, S., Cortina, J., (2001). Potential for using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecological Applications*, 11, 1641–1655.
- Maestre, F.T., Bautista, S., Cortina, J., (2001). Potential for using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecological Applications*, 11, 1641–1655.
- Maestre, F.T., Cortina, J., (2002). Spatial patterns of surface soil properties and vegetation in a Mediterranean semi-arid steppe. *Plant and Soil*, 241, 279-291.
- Malhotra V. & Ramezani-pour A., (1994). *Fly ash in concrete*. Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET), Canada, 297.
- Matesanz, S. & Valladares, F. (2007). Improving revegetation of gypsum slopes is not a simple matter of adding native species: Insights from a multispecies experiment. *Ecological Engineering*, 30, 67-77.
- Meffe, G. K., Carroll, C. R. (1994). *Principles of Conservation Biology*. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts.

- Meyer, S. E. & García-Moya, E. (1989). Plant community patterns and soil-moisture regime in gypsum grasslands of north central Mexico. *Journal of arid environments*, 16(2), 147-155.
- Meyer, S. E., Carlson, S. L., & Garvin, S. C. (1998). Seed germination regulation and field seed bank carryover in shadscale (*Atriplex confertifolia*: *Chenopodiaceae*). *Journal of Arid Environments*, 38(2), 255-267.
- Meyer, S. E. (1986). The ecology of gypsophile endemism in the eastern Mojave Desert. *Ecology*, 67(5), 1303-1313
- Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. Sistema de Información Agroclimática para el Regadío. Disponible en <http://eportal.magrama.gob.es/websiar/Inicio.aspx>. Consultado el 20/10/2016)
- Mota J.F., Sánchez-Gómez P., Guirado J.S. (2011). *Diversidad vegetal de las yeseras ibéricas. El reto de los archipiélagos edáficos para la biología de la conservación*. ADIF- Mediterráneo Asesores Consultores. Almería. 175.
- Moro, M., Pugnaire, F., Haase, P., Puigdefabregas, J., (1997). Mechanisms of interaction between a leguminous shrub and its understorey in a semi-arid environment. *Ecography* 20, 175–184.
- Niinemets, Ü., Portsmouth, A., Tena, D., Tobias, M., Matesanz, S., & Valladares, F. (2007). “Do we underestimate the importance of leaf size in plant economics? Disproportional scaling of support costs within the spectrum of leaf physiognomy”. *Annals of Botany*, 100(2), 283-303.
- Nobel P.S., Miller P.M., Graham E.A. (1992). Influence of Rocks on Soil-Temperature, Soil-Water Potential, and Rooting Patterns for Desert Succulents. *Oecologia* 92: 90-96.
- Orden AAA/661/2013, de 18 de abril, por la que se modifican los anexos I, II y III del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero
- Orozco, C., Pérez, A., González, M. N., Rodríguez, F. J. & Alfayate, J. M. (2011). *Contaminación Ambiental*. 2nd edition, Paraninfo, Madrid, 682.
- Padilla, F. M., & Pugnaire, F. I. (2006). The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(4), 196-202.

- Palacio, S., Escudero, A., Montserrat-Martín, G., Maestro, M., Milla, R. & Albert, M. (2007). Plants living on gypsum: beyond the specialist model. *Annals of Botany* 99(2), 333–343.
- Phillips, D. L., & MacMahon, J. A. (1981). Competition and spacing patterns in desert shrubs. *The Journal of Ecology*, 69(1), 97-115.
- Programa de desarrollo rural sostenible. (2011). *Plan de zona de desarrollo rural sostenible de la comarca de Andorra-Sierra de Arcos*. Gobierno de Aragón.
- Pugnaire, F.I., Haase, P., (1996). Comparative physiology and growth of two perennial tussock grass species in a semi-arid environment. *Annals of Botany*, 77, 81–86.
- Quinn, G. P., & Keough, M. J. (2002). *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press.
- Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero
- Rey Benayas, J. M. (1998). Growth and survival in *Quercus ilex* L. seedlings after irrigation and artificial shading on Mediterranean set-aside agricultural land. *Annales des Sciences Forestières (Paris)*, 55(7), 801-807.
- Resolución de 29 de octubre de 2007 del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental, por la que se formula Declaración de Impacto Ambiental de la Adecuación de la Corta Barrabasa como vertedero de los residuos procedentes de la combustión de la Central Térmica Teruel promovida por Endesa Generación, S.A. y se otorga la Autorización Ambiental Integrada a las instalaciones existentes de la Central Térmica Teruel de Endesa Generación S.A., en Andorra (Teruel), (INAGA/500301/02.2005/6680).
- Resolución de 2 de mayo de 2013, del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental, por la que se renueva y actualiza la autorización ambiental integrada de la central térmica Teruel y de su vertedero asociado, ubicados en el término municipal de Andorra (Teruel) promovidos por Endesa Generación, S.A. (N.º Expte: INAGA/500301/02/2011/12057)
- Resolución de 1 de junio de 2015, del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental, por la que se modifica puntualmente la Resolución de 2 de mayo de 2013, por la que se renueva y actualiza la autorización ambiental integrada de la central térmica Teruel y de su vertedero asociado, ubicados en el término municipal de

Andorra (Teruel), promovidos por Endesa Generación, S.A. (Número Expte. INAGA 500301/02/2014/08728).

- Resolución de 19 de septiembre de 2016, del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental, por la que se modifica puntualmente la Resolución de 2 de mayo de 2013, por la que se renueva y actualiza la autorización ambiental integrada de la central térmica Teruel y de su vertedero asociado, ubicados en el término municipal de Andorra (Teruel), promovidos por Endesa Generación, S.A. (Número Expte. INAGA500301/02/2015/04262).
- Rivas-Martínez, S. (1983). *Pisos bioclimáticos de España*. Lazaroa, 5:33-43.
- Romao, R. L. & Escudero, A. (2005). Gypsum physical soil crusts and the existence of gypsophytes in semi-arid central Spain. *Plant Ecology*, 181(1), 127-137.
- Ruiz, J. M., López-Cantarero, I., Rivero, R. & Romero, L. (2003). Sulphur phytoaccumulation in plant species characteristic of gypsiferous soils. *International Journal of Phytoremediation*, 5(3), 203-210.
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J. L., Poorter, H., Valladares, F. & Marañón, T. (2004). *Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas*. En: Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. 191-227.
- Violle C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I. & Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, 116(5), 882-892.
- Weiher, E., van der Werf, A., Thompson, K., Roderick, M., Garnier E. & Eriksson, O. (1999). Challenging Theophrastus: A common core list of plant traits for functional ecology. *Journal of Vegetation Science*, 10, 609-620.
- Westoby, M., (1998). A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *School of Plant and Soil*. 199: 213–227, 1998.

7. Anexos

Anexo 1: Distribución de GSS, GSP, GSG y GSE.

N →						2 m ↔	
							↑2 m
X			X			X	
				GSS-1			
		GSE-1					
X			GSS-2		GSG-1	X	
			GSS-3	GSS-4	GSE-2		
X			X			X	
		GSG-2		GSE-3	GSG-3		
X	GSE-4	GSG-4	GSS-5	GSE-5		X	
GSE-6	GSS-6	GSS-7		GSG-5			
GSG-6	GSE-7		GSG-7				
X	GSG-8		X		GSG-9	X	
GSE-8	GSP-1	GSP-2	GSP-3	GSP-4	GSP-5		
	GSP-6	GSP-7	GSP-8	GSP-9	GSP-10		
X	GSP-11	GSP-12	GSP-13	GSP-14	GSP-15	X	
				GSE-9			
	GSP-16	GSP-17	GSP-18				
		GSE-10	GSS-8				
X			X			X	
			GSG-10		GSS-9		
			GSS-10	GSS-18			
X			GSS-11	GSS-12	GSS-13	X	
GSE-11	GSG-11			GSS-14	GSS-15		
					GSE-12		
X		GSE-13	X	GSG-12	GSG-13	X	
		GSE-14			GSG-14		
				GSE-15			
X		GSG-15			GSS-16	X	
		GSS-17	GSS-19				
		GSE-16					
					GSG-16		
X	GSG-17		X			X	
	GSG-18				GSG-19	GSE-17	
X			X			X	
		GSE-18			GSE-19		
			GSG-20				
X	GSE-20		X			X	

Tabla 45. Distribución de GSS, GSP, GSG y GSE. Cada individuo de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* aparece numerado dentro de los tipos a los que pertenecen, GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños. Las 6 parcelas están sombreadas en color y aparecen subdivididas en cuadrículas de 5x5 cuadros, equivalentes a 2x2 m, las franjas que las separan están sombreadas en un tono más claro y el área perimetral aparece sin sombreadar. Cada X representa un individuo de *Lygeum spartum* y las cuadrículas en las que aparecen son ajenas a este estudio).

Anexo 2: Gráficos de los análisis estadísticos

VARIABLES BIÓTICAS:

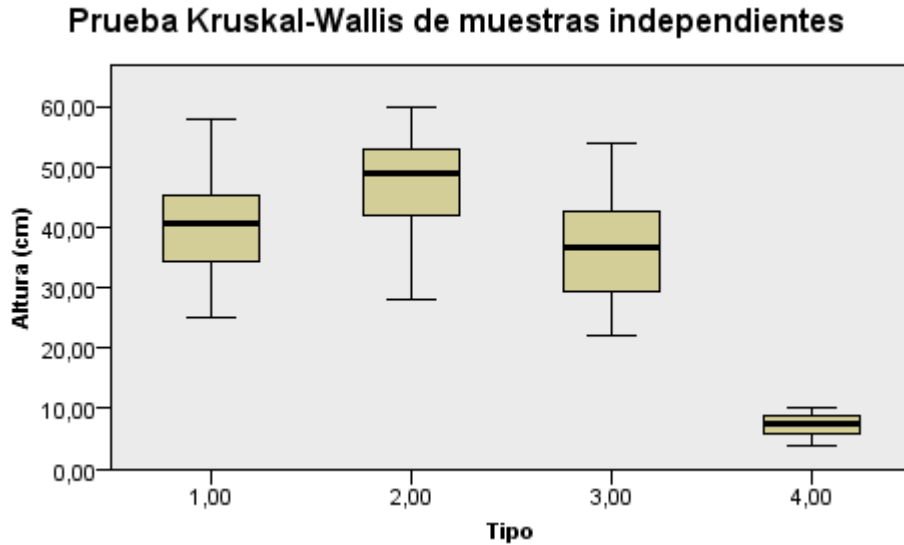


Figura 5. Prueba de Kruskal-Wallis de muestras independientes para la variable Altura y factor Tipo. 1 = GSP, 2 = GSS, 3 = GSG, 4 = GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

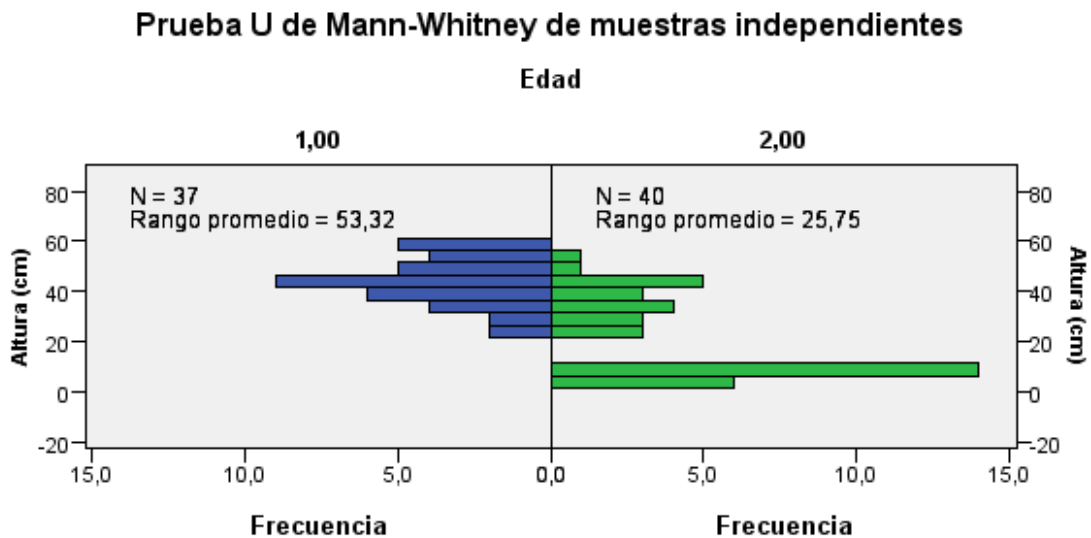


Figura 6. Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes para la variable Altura y factor Edad. 1 = GSP y GSS, 2 = GSG y GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes

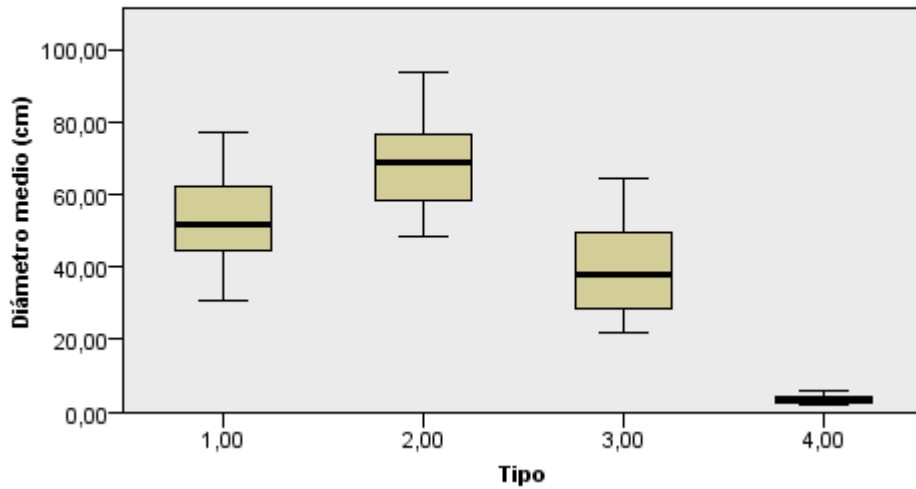


Figura 7. Prueba de Kruskal-Wallis de muestras independientes para la variable Diámetro medio y factor Tipo. 1 = GSP, 2 = GSS, 3 = GSG, 4 = GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes

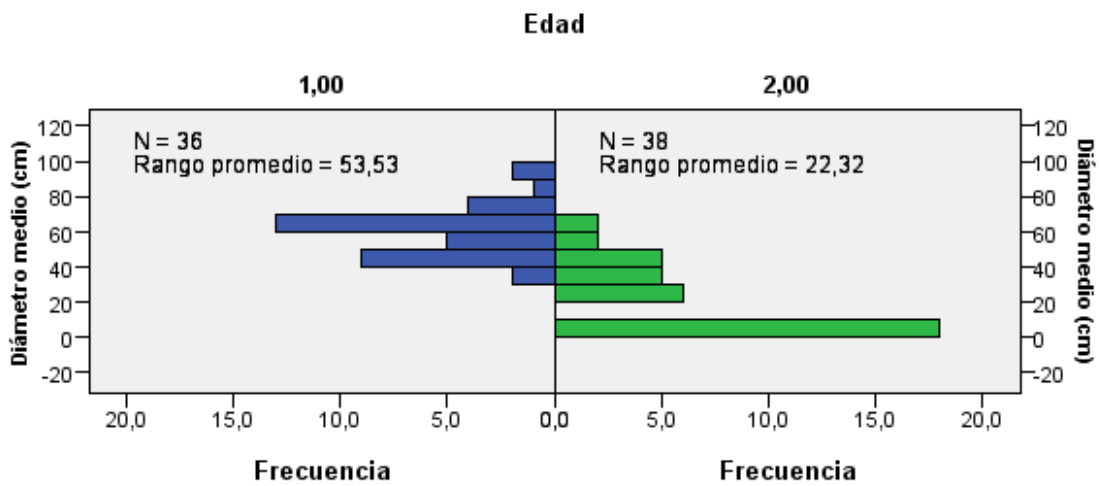


Figura 8. Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes para la variable Diámetro medio y factor Edad. 1 = GSP y GSS, 2 = GSG y GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes

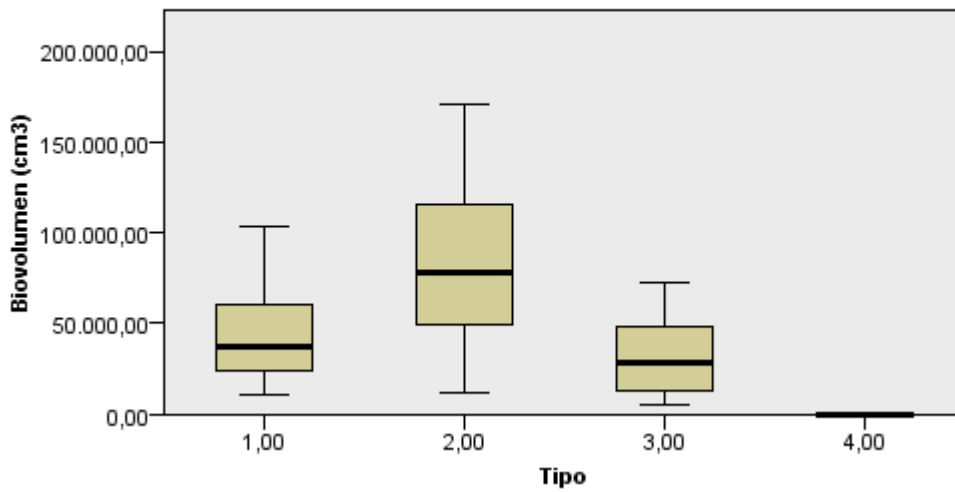


Figura 9. Prueba de Kruskal-Wallis de muestras independientes para la variable Biovolumen y factor Tipo. 1 = GSP, 2 = GSS, 3 = GSG, 4 = GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes

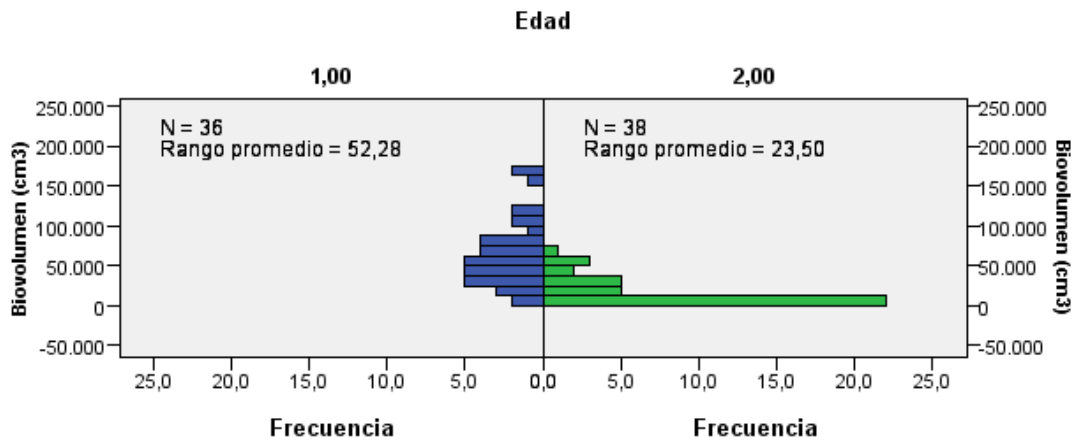


Figura 10. Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes para la variable Biovolumen y factor Edad. 1= GSP y GSS, 2 = GSG y GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

Para las variables que fueron analizadas con pruebas paramétricas ANOVA se muestran los Boxplot de tendencias:

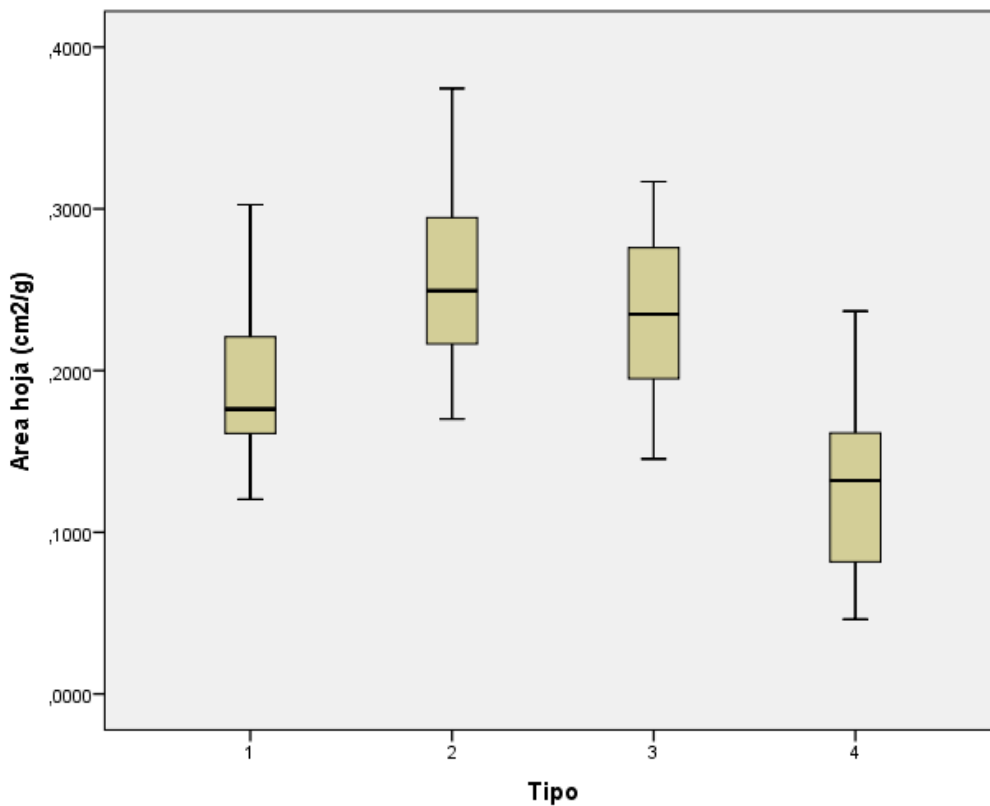


Figura 11. Boxplot de tendencias para la variable Área de la hoja y factor Tipo. 1 = GSP, 2 = GSS, 3 = GSG, 4 = GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

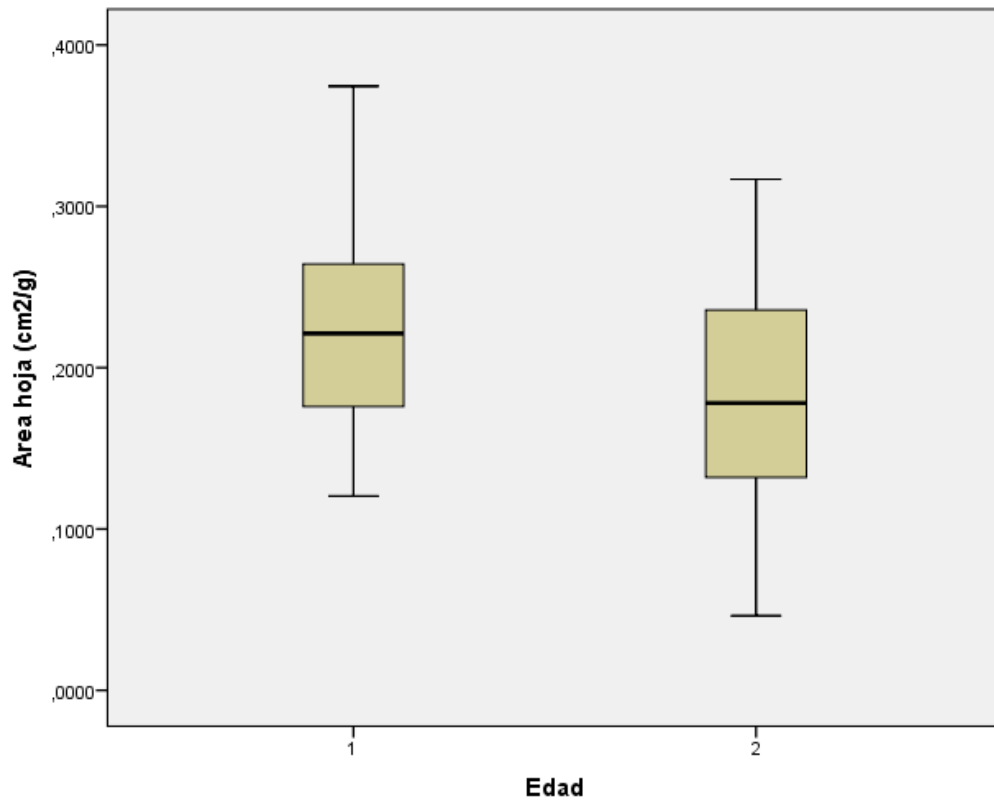


Figura 12. Boxplot de tendencias para la variable Área de la hoja y factor Edad. 1= GSP y GSS, 2 = GSG y GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

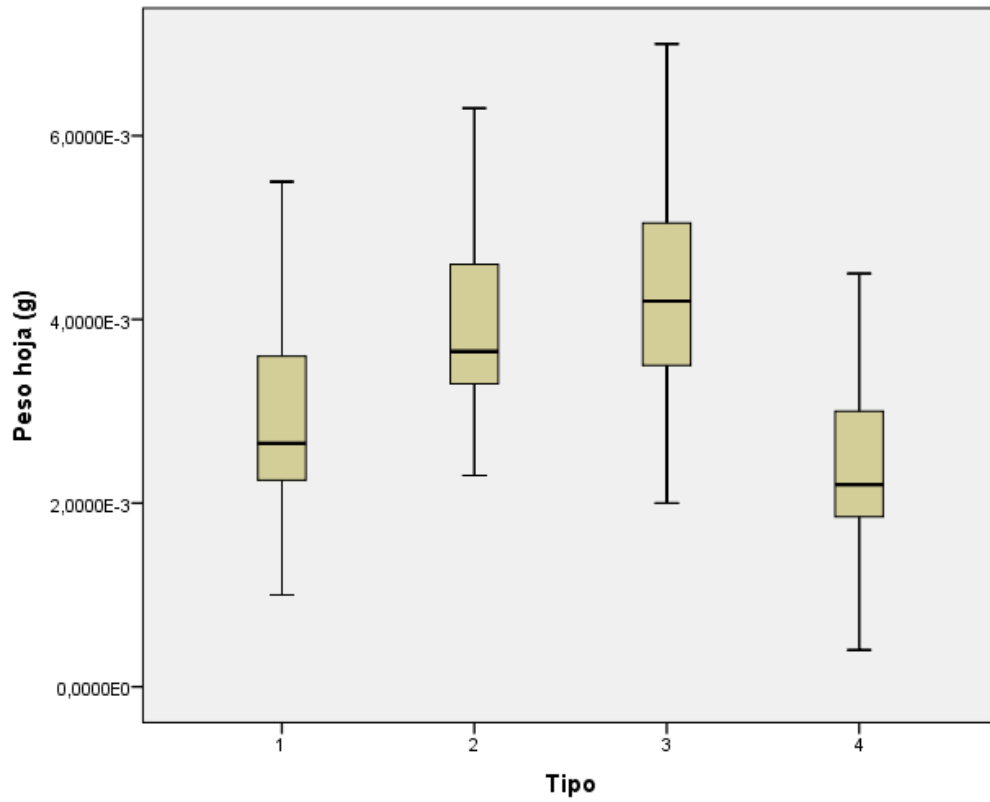


Figura 13. Boxplot de tendencias para la variable Peso de la hoja y factor Tipo. 1 = GSP, 2 = GSS, 3 = GSG, 4 = GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

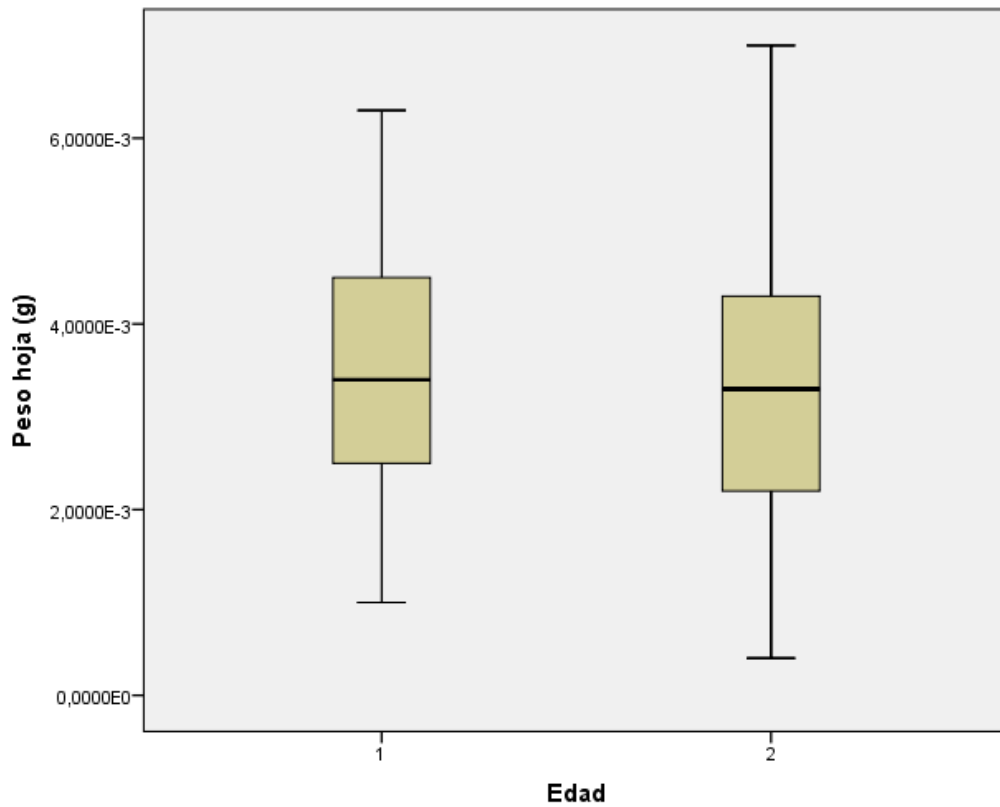


Figura 14. Boxplot de tendencias para la variable Peso de la hoja y factor Edad. 1= GSP y GSS, 2 = GSG y GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

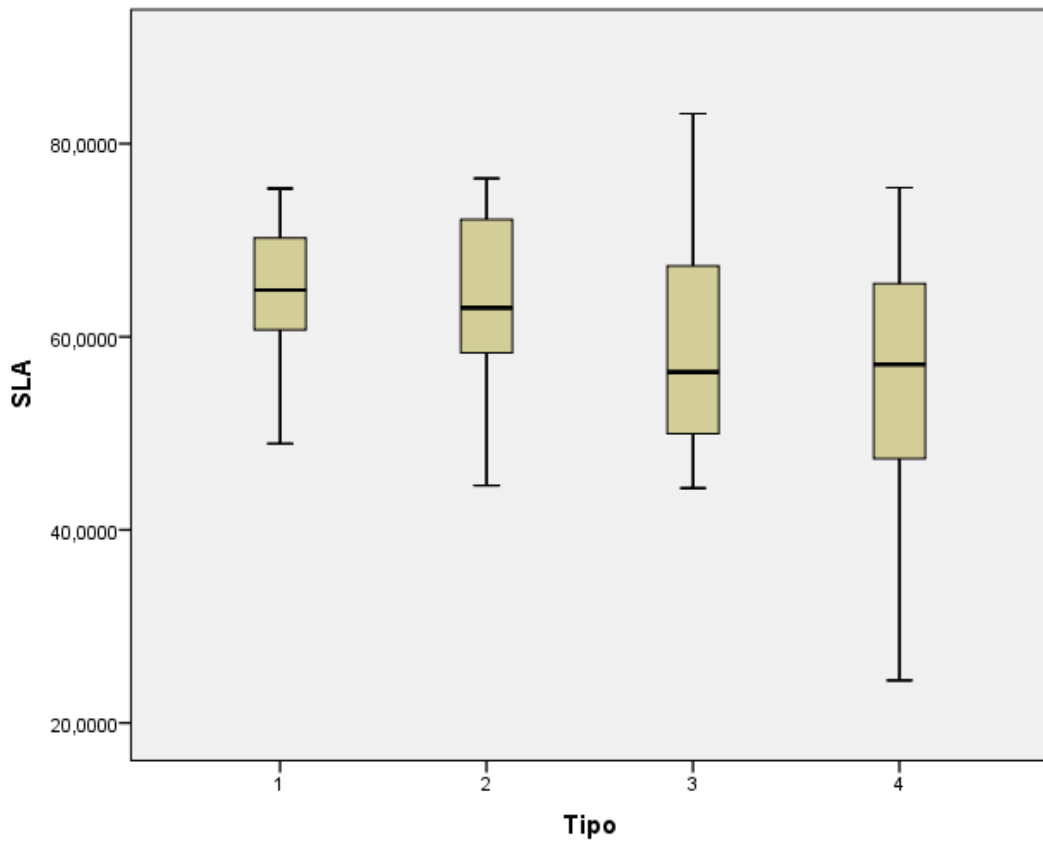


Figura 15. Boxplot de tendencias para la variable SLA y factor Tipo. 1 = GSP, 2 = GSS, 3 = GSG, 4 = GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

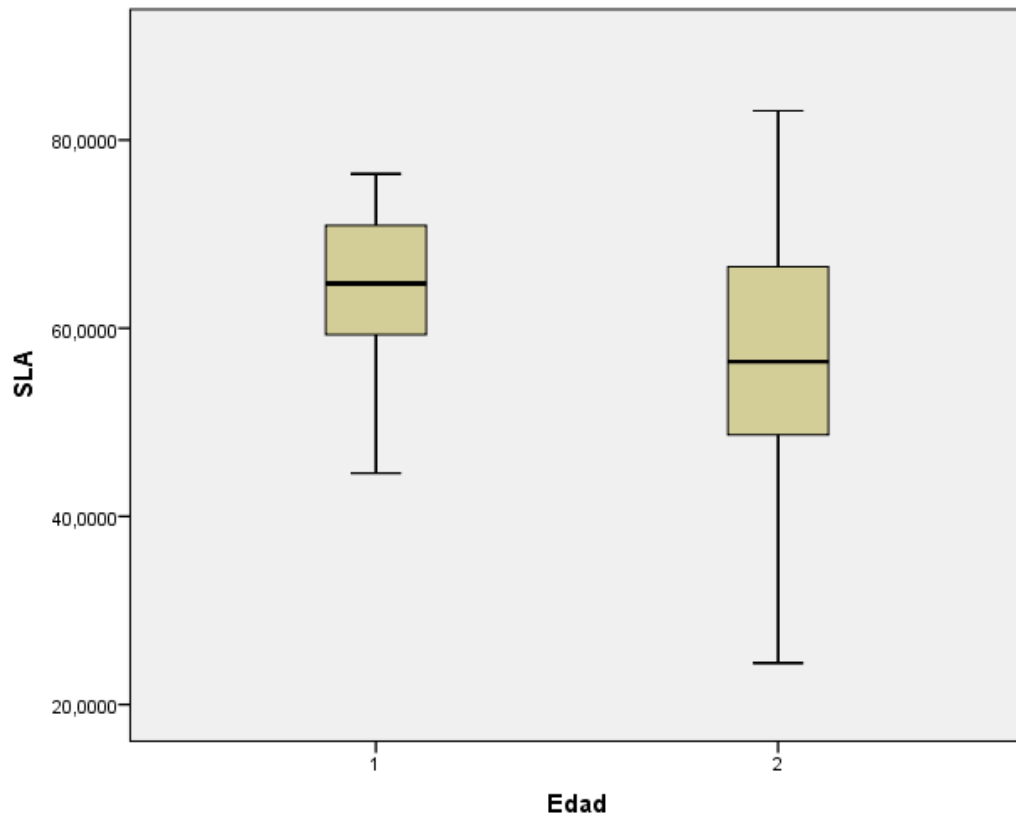


Figura 16. Boxplot de tendencias para la variable SLA y factor Edad. 1= GSP y GSS, 2 = GSG y GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

Variables abióticas:

Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes

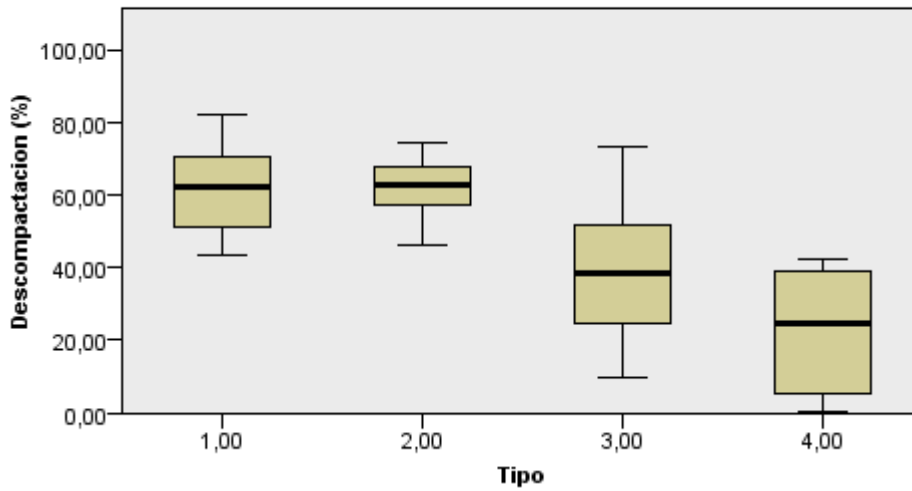


Figura 17. Prueba de Kruskal-Wallis de muestras independientes para la variable Descompactación y factor tipo. 1 = GSP, 2 = GSS, 3 = GSG, 4 = GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes

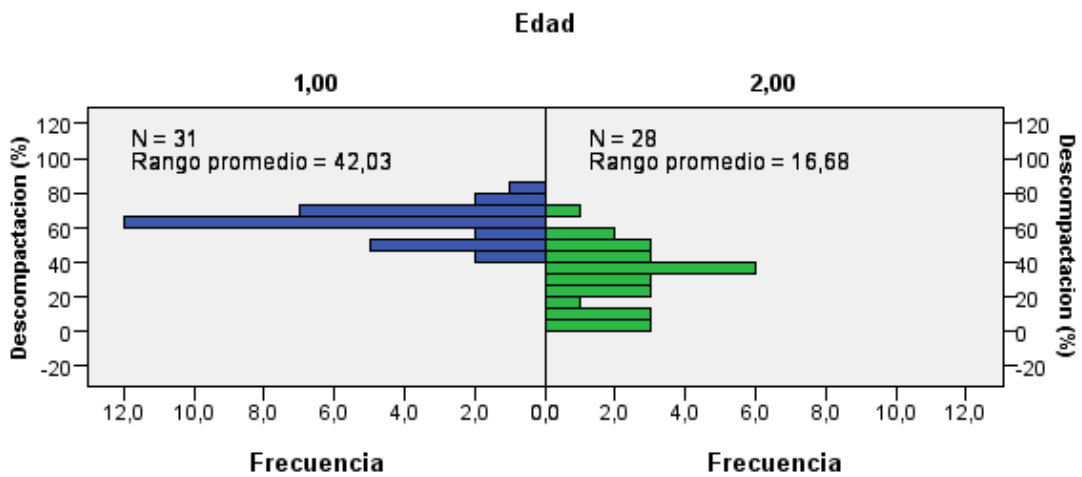


Figura 19. Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes para la variable Descompactación y factor edad. 1= GSP y GSS, 2 = GSG y GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

Prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes

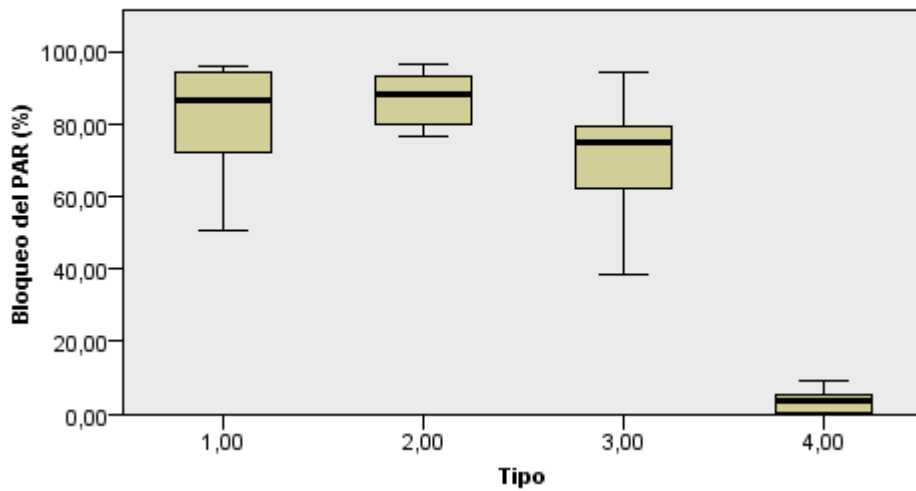


Figura 20. Prueba de Kruskal-Wallis de muestras independientes para la variable Bloqueo del PAR y factor tipo. 1 = GSP, 2 = GSS, 3 = GSG, 4 = GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes

Edad

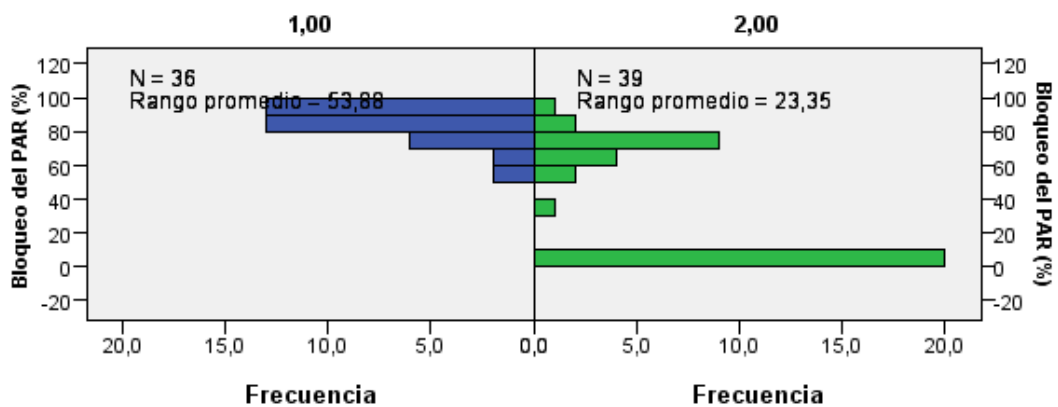


Figura 21. Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes para la variable Bloqueo del PAR y factor edad. 1= GSP y GSS, 2 = GSG y GSE. GSP: individuos plantados, GSS: individuos sembrados, GSG: reclutamientos grandes, GSE: reclutamientos pequeños.

Anexo 3: Medias anuales de las variables meteorológicas

	1 (2016- 2015)	2 (2015- 2014)	3 (2014- 2013)	4 (2013- 2012)	5 (2012- 2011)	6 (2011- 2010)	7 (2010- 2009)	8 (2009- 2008)	9 (2008- 2007)	10 (2007- 2006)	Media
TMe	14,55	15,20	14,69	13,99	15,42	14,32	14,46	15,02	14,42	15,22	14,73
TMa	20,52	21,15	20,57	19,76	21,58	20,25	20,18	20,97	20,34	21,04	20,64
TMí	8,96	9,64	9,14	8,64	9,54	8,87	9,23	9,33	8,97	9,71	9,20
HMe	62,00	62,21	59,37	62,84	57,40	59,11	60,16	59,38	58,94	60,18	60,16
HMa	82,25	83,33	79,90	83,01	79,67	79,78	82,30	80,33	79,08	80,00	80,96
Hm	41,18	40,97	38,45	41,74	36,54	37,19	38,04	38,72	37,85	39,37	39,01
VV	2,41	2,50	2,65	2,77	2,69	2,45	2,61	2,47	2,49	2,48	2,55
DV	244,73	230,44	247,27	252,40	239,70	238,61	249,39	245,16	239,12	239,13	242,60
VV	7,78	7,95	8,43	8,63	8,19	7,67	8,16	7,80	7,85	7,84	8,03
DVV	230,98	225,71	248,27	254,60	225,64	228,77	249,20	232,07	233,57	232,57	236,14
RS	16,06	16,54	16,69	16,35	17,30	16,45	15,71	16,71	17,14	16,60	16,56
PPT	229,44	555,90	380,90	516,65	246,45	352,81	292,00	334,60	371,80	251,40	353,20
EtP	1.302	1.318	1.369	1.266	1.456	1.344	1.323	1.335	1.355	1.032	1.310

Tabla 46. Medias anuales de cada variable para los 10 ciclos fenológicos. Precipitación y evapotranspiración son sumatorios anuales. TMe.: Temperatura media (°C). Tma.: Temperatura máxima (°C). Tmi.: Temperatura mínima (°C). HMe.: Humedad media (%). HMa.: Humedad máxima (%). Hm.: Humedad mínima (%). VV.: Velocidad del viento (m/s). DV.: Dirección del viento (°). VV.: Velocidad máxima del viento (m/s). DVV.: Dirección del viento a velocidad máxima (°). RS.: Radiación solar (MJ/m²). PPT.: Precipitación (mm). ETP.: Evapotranspiración (mm).

Anexo 4: Fotografías



Figura 22. Reclutamientos de *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica*.



Figura 23. Reclutamiento de *Helianthemum squamatum*.



Figura 24. Reclutamiento de *Helianthemum squamatum* de mayor tamaño.



Figura 25. Reclutamientos de *Salsola kali*.