



**Universidad
Zaragoza**



**Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado en Ciencias Ambientales



**Bases ecológicas para el refuerzo del crujiente (*Vella pseudocytisus* subsp. *pau*
Gómez-Campo) en el Valle del Alfambra (Teruel)**

Autor José Luis León Górriz jleongoriz@gmail.com

Directores

D. José Manuel González Cano. Servicio Provincial de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente de Teruel. Gobierno de Aragón.

Dr. Juan Herrero Cortés. Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Área de Ecología. Universidad de Zaragoza.

Dr. José Manuel Nicolau Ibarra. Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Área de Ecología. Universidad de Zaragoza.

Septiembre 2014

A mi Padre

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Dedico este TFG a mis Padres, por todo lo que han hecho y siguen haciendo a estas alturas de mi vida. Sin los cuidados de mi Madre, Jefa de Intendencia, y el trabajo e ilusión de mi Padre, este proyecto hubiera resultado muy difícil. La vida me ha dado la oportunidad de compartir con ellos un tiempo maravilloso en mis raíces turolenses. También la vida me ha privado de mi Padre al final de este camino. Allí donde estés este trabajo es para ti.

También quiero dedicar este trabajo a Sari, por compartirme sin reproches con la *Vella* y apoyarme siempre en aquello que me hace feliz, aunque suponga ausencias y olvidos para con ella. Soy muy afortunado de tenerte a mi lado.

Este TFG tampoco hubiera sido posible sin el interés y paciencia de mis Directores a los que les estoy profundamente agradecido. A D. José Manuel González por poner a mi disposición toda la información generada en tantos años de trabajo y por sus lecciones magistrales en campo que me han mostrado el camino a seguir. A D. José Manuel Nicolau por su apoyo e ilusión desde el principio por este proyecto y por sufrir, con la misma ilusión, todas esas horas de charla durante la planificación, desarrollo y corrección de este estudio. A D. Juan Herrero por sus múltiples aportaciones que han mejorado en mucho el resultado final. Y a todos, por vuestro apoyo en los momentos difíciles. Trabajar con vosotros no ha hecho más que incrementar mi pasión por la Ecología. Espero haber estado a la altura.

También quiero agradecer al personal del Laboratorio Agroambiental del Gobierno de Aragón y, en especial a Dña. Patro Catalán, por la realización de los análisis de suelo.

Por último, no quiero olvidarme del profesorado de la Escuela Politécnica Superior de Huesca que ha participado en mi formación, de mis compañeros de promoción por hacerme sentir como uno más, ni de mi hermana y amigos por poder contar siempre con ellos.

A todos, muchas gracias

José Luis León

ÍNDICE

RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
Esquema general del Trabajo Fin de Grado	x
1. INTRODUCCIÓN	1 - 16
1.1.- El crujiente (<i>Vella pseudocytisus</i> subsp. <i>pau</i> Gómez-Campo)	2
1.1.1. Sistemática y taxonomía del género <i>Vella</i>	2
1.1.2. Descripción morfológica	2
1.1.3. Distribución y censo del crujiente	3
1.1.4. Ecología del crujiente	4
1.1.4.1. Hábitat del crujiente	4
1.1.4.2. Filtros ecológicos que condicionan la distribución del crujiente	5
1.1.4.3. Fenología, biología reproductiva y dinámica demográfica del crujiente	6
1.1.5. Importancia, problemática y protección legal del crujiente	8
1.1.5.1. El Plan de Recuperación del Crujiente	9
1.2. El traslado como estrategia para la conservación de flora	10
1.2.1. Definiendo términos. <i>Sensu</i> UICN	10
1.2.2. Principios del traslado	10
1.2.3. Experiencias de traslado del crujiente	11
1.2.3.1. Experiencias de refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra	11
1.3. Justificación y objetivos del Trabajo Fin de Grado	14
1.4. Hipótesis ecológicas	15
2. ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA	17 - 45
2.1. Caracterización del área de estudio	19
2.1.1. Localización	19
2.1.2. Clima	19
2.1.3. Geología y geomorfología	20
2.1.4. Suelos	21
2.1.5. Vegetación y hábitats prioritarios	22
2.1.6. El hombre y sus actividades	23

2.2. Protocolo para el estudio de la experiencia de refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra	25
2.2.1. Información previa disponible	25
2.2.2. Planteamiento inicial y elección de la escala de trabajo	25
2.2.3. Planificación del estudio del refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra	26
2.2.3.1 Condiciones del muestreo	26
2.2.3.2. Elección de las variables del estudio del refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra	27
2.2.4. Procedimiento en campo para el estudio del refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra	31
2.2.4.1. Periodo de toma de datos en campo	31
2.2.4.2. Cifras del muestreo	31
2.2.4.3. Caracterización de los microambientes de refuerzo y de la respuesta del plantón	31
2.2.4.4. Medidas a escala de micrositio de refuerzo	32
2.3. Protocolo para el estudio de los núcleos poblacionales del crujiente en el Valle del Alfambra	35
2.3.1. Información previa disponible	35
2.3.2. Elección de la escala de trabajo	35
2.3.3. Planificación del estudio de los núcleos poblacionales del crujiente en el Valle del Alfambra	35
2.3.3.1. Selección de los núcleos poblacionales a incluir en el estudio y condiciones del muestreo	35
2.3.3.2. Elección de las variables del estudio de los núcleos poblacionales	36
2.3.4. Procedimiento en campo para el estudio de los núcleos poblacionales	38
2.3.4.1. Periodo de toma de datos en campo	38
2.3.4.2. Cifras del muestreo	38
2.3.4.3. Caracterización de los microambientes naturales y de la respuesta del crujiente	38
2.3.4.4. Medida a escala de micrositio natural	39
2.4. Tratamiento de los datos y análisis estadístico	40
2.5. Herramientas SIG	43
2.6. Protección de la información	43
2.7. Colaboraciones y permiso	43
3. RESULTADOS	46 - 76
3.1. Experiencia de refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra. Análisis previos	47
3.1.1. Análisis de independencia y asociación entre criterios de selección	47
3.1.2. Rangos de las variables ambientales y representatividad en el Valle	48
3.1.2.1. Litología	48

3.1.2.2. Geomorfología	49
3.1.2.3. Suelo	49
3.1.2.4. Cobertura vegetal	50
3.1.2.5. Interacción con cabra montesa y ganado	50
3.1.3. Caracterización de la respuesta del crujiente al traslado y relación entre variables respuesta	51
3.1.3.1. Efecto simple del año de traslado sobre el establecimiento de las plantaciones	51
3.2. Experiencia de refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra. Respuesta del crujiente al traslado	53
3.2.1. Tendencias generales	53
3.2.2. Contrastes de hipótesis	56
3.2.2.1. Establecimiento del crujiente en el ambiente de traslado	56
3.2.2.1.1. Papel de la cobertura vegetal en el establecimiento	56
3.2.2.1.2. Papel del ganado en el establecimiento	58
3.2.2.1.3. Papel del suelo en el establecimiento	59
3.2.2.2. Desarrollo del crujiente en el ambiente de traslado	60
3.2.2.2.1. Papel del suelo en el desarrollo	60
3.2.2.2.2. Papel del resto de filtros ambientales en el desarrollo	63
3.2.2.3. Reclutamiento del crujiente en el ambiente de traslado	63
3.3. Estudio de los núcleos poblacionales del crujiente en el Valle del Alfambra	65
3.3.1. Valores de referencia para el crujiente en el Valle del Alfambra	65
3.3.2. Condiciones ecológicas presentes en los núcleos poblacionales del crujiente en el Alfambra	65
3.3.2.1. Litología	65
3.3.2.2. Geomorfología	66
3.3.2.3. Suelo	67
3.3.2.4. Cobertura vegetal	68
3.3.2.5. Interacción con cabra montesa y ganado	69
3.3.2.6. Relación entre condiciones ecológicas	70
3.3.3. Respuesta del crujiente ante las condiciones ecológicas presentes en sus hábitats naturales	72
3.3.3.1. Biovolumen y floración en los microambientes naturales	72
3.3.3.2. Densidad y distancia media entre plantas en los microambientes naturales	74
3.3.4. Condiciones ecológicas más favorables para las plantas de reclutamiento reciente	75
4. DISCUSIÓN	78 - 92

4.1. Respuesta del crujiente ante las condiciones ecológicas presentes en sus ambientes de traslado o naturales _____	79
4.1.1. La costra biológica tiene un efecto negativo sobre cualquier fase de la respuesta de los plantones _____	79
4.1.2. Los suelos sueltos son favorables al traslado de los plantones _____	81
4.1.3. Mayores niveles de cobertura vegetal y ganado reducen el establecimiento y reclutamiento del crujiente _____	84
4.1.4. El ganado afecta al desarrollo del crujiente en sus hábitats naturales _____	84
4.1.5. La dinámica solana - umbría condiciona la cobertura vegetal en el microambiente de refuerzo _____	85
4.1.6. La geofoma condiciona los filtros ambientales que interactúan con el crujiente en sus hábitats naturales _____	86
4.1.7. La perturbación antrópica una oportunidad para el refuerzo _____	89
4.1.8. La pendiente favorece la dispersión de las semillas _____	90
4.1.9. Respuestas a las hipótesis ecológicas planteadas _____	90
4.2. Comentarios finales _____	91
5. CONCLUSIONES _____	93 - 95
6. RECOMENDACIONES _____	96 - 103
6.1. Selección de los microambientes de refuerzo _____	97
6.1.1. La aproximación cualitativa. Los criterios de selección _____	97
6.1.2. Selección de los microambientes en base a la costra biológica y la naturaleza del suelo ____	98
6.1.3. Selección de los microambientes en base al ganado _____	98
6.1.4. Selección de los microambientes en base a la cobertura vegetal _____	99
6..1.5. Selección de los microambientes en base a la orientación o geofoma ocupada _____	99
6.2. Selección de los micrositios de refuerzo _____	101
6.3. Condiciones de traslado _____	102
7. BIBLIOGRAFÍA _____	104 - 109

Bases ecológicas para el refuerzo del crujiente (*Vella pseudocytisus* subsp. *pavi* Gómez-Campo) en el Valle del Alfambra (Teruel)

RESUMEN

El crujiente, *Vella pseudocytisus* subsp. *pavi* Gómez-Campo, es una planta vascular endémica del sur de Aragón (España). La distribución natural se limita al Valle del Alfambra y al del Turia en torno a la ciudad de Teruel. Su rareza y escasa área de distribución, llevaron a su inclusión como taxon En Peligro de Extinción en el Catálogo de Especies Amenazadas en Aragón, contando desde 2003 con un Plan de Recuperación. Entre sus medidas de actuación se incluye la elaboración de un protocolo precautorio de reintroducción para la subespecie.

Desde 2004, el Gobierno de Aragón viene ensayando refuerzos poblacionales para el crujiente (*sensu* UICN) en puntos de hábitat potencial del Alfambra. Para su selección se utilizan como referencia las condiciones presentes en el área de ocupación natural de la planta en el Valle, pero sin renunciar a condiciones, en principio, menos favorables para evaluar la respuesta ante las mismas. Hasta la fecha son 138 puntos de refuerzo los testados, utilizando como método de traslado la siembra directa o la plantación de crujientes crecidos en vivero.

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado (TFG) es aumentar las probabilidades de éxito del refuerzo con la identificación de los filtros ambientales más favorables para el traslado por plantación en condiciones de mínima intervención. Para ello, adaptando nuestra metodología e hipótesis a los protocolos de la experiencia en curso, se han muestreado en campo los factores ambientales presentes y la respuesta de los plantones de crujiente en 42 ambientes de refuerzo distribuidos a lo largo del Valle. La información así obtenida se ha complementado con el muestreo de 37 ambientes naturales que han permitido caracterizar las condiciones ecológicas que interactúan con el crujiente en los núcleos poblacionales del Alfambra y su respuesta ante las mismas.

Nuestros resultados señalan como ambientes más favorables al refuerzo a los de suelo suelto, sin evidencias de costra biológica, con baja cobertura vegetal y nula o baja presión de pastoreo. Pendientes más elevadas o alta perturbación natural pueden favorecer estas condiciones, efecto que se asocia con la geofoma ocupada. Una perturbación intermedia por ganado o cabra montesa puede resultar positiva para el éxito del refuerzo por remoción de los suelos con tendencia al encostrado y el aclarado de la vegetación. Las plantas de reclutamiento reciente en los núcleos poblacionales del Alfambra confirman estos resultados y nos proporcionan algunos valores de referencia para el traslado de los plantones.

PALABRAS CLAVE: *Vella pseudocytisus* subsp. *pavi*; traslado conservacionista; refuerzo poblacional; filtros ambientales

Ecological basis for the reinforcement of the crujiente (*Vella pseudocytisus* subsp. *pau* Gomez-Campo) in the Alfambra Valley (Teruel, Spain)

ABSTRACT

The crujiente is a native vascular plant that lives naturally in the southern part of Aragon, in the province of Teruel (Spain). Its natural distribution is limited of two valleys around the city of Teruel (Alfambra and Turia). Its rarity and small distribution were the reason for its inclusion in the Catalogue of Threatened Species in Aragon as Endangered, having a Recovery Plan since 2003. Among the conservation initiatives, there is the elaboration of a reintroduction protocol.

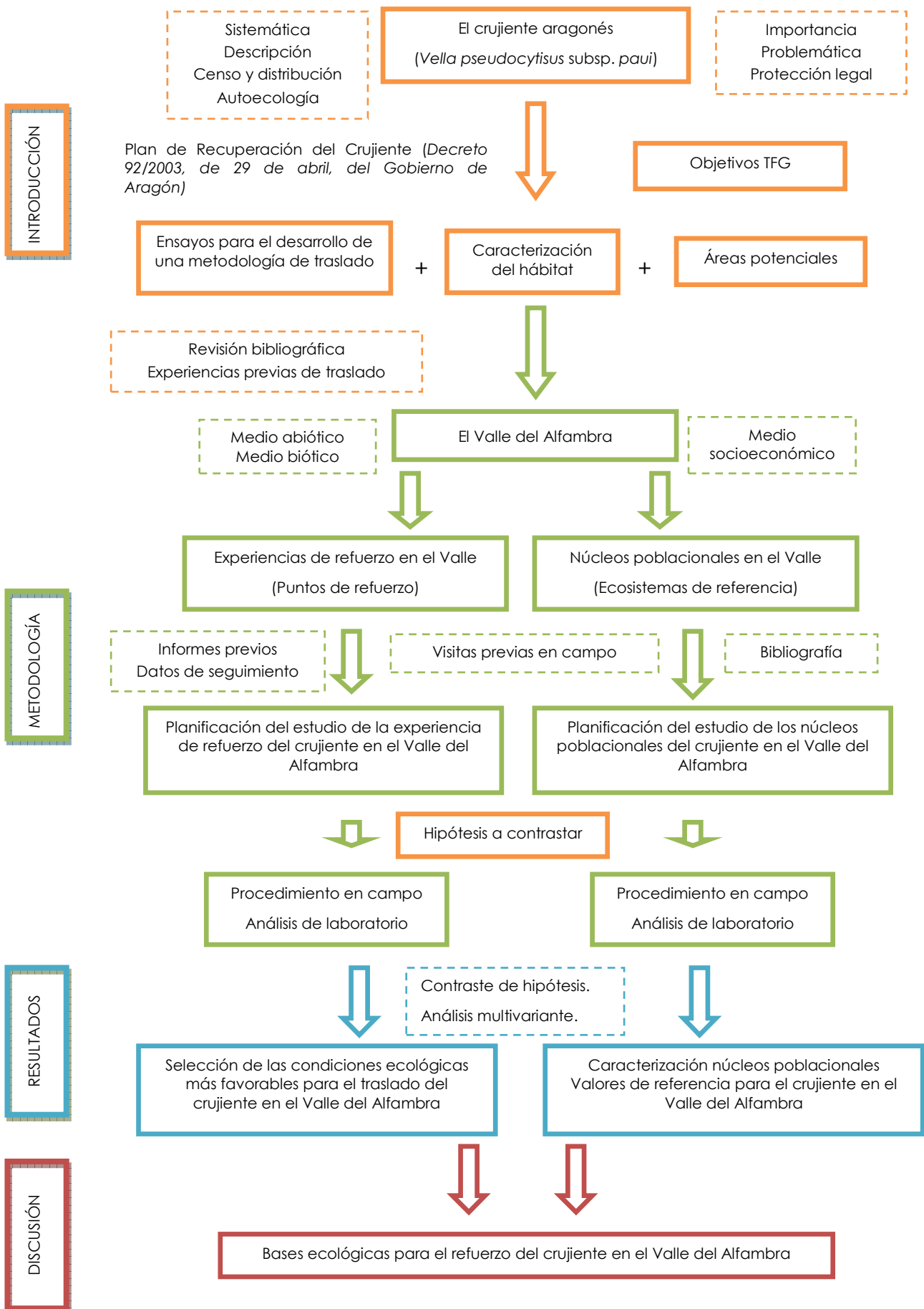
Since 2004, the Regional Government of Aragon is testing population reinforcements (*sensu* IUCN) in potential sites of the Alfambra Valley. For their selection, present conditions with living individuals are considered, and also potential sites which seem *a priori* less advantageous, in order to evaluate the answer of the plant to both kind of sites. In all, 138 reinforcement sites have been tested, using seeds or little plants grown *ex situ*.

The objective of this study is to understand the factors affecting plant establishment in order to increase reinforcement success, considering a minimal human intervention. For this purpose, adapting our methodology and hypothesis to the protocols of the experience in course, we have sampled the environmental filters and the answer of the plants in 42 reinforcement sites in the Alfambra Valley. The data obtained has been complemented with the sampling of another 37 natural sites, which have allowed characterizing the ecological conditions that interact with the taxon.

Our results indicate that the most advantageous conditions for the reinforcement success are the losing soils, without biological crust evidences, with low vegetation cover and null or low pasturing pressure. Higher slopes or high natural disturbance could favour these conditions, effect that is associated with geological formation occupied. Finally, the intermediate disturbance done by flock of domestic sheep *Ovis aries* or by Iberian wild goat *Capra pyrenaica* is positive, as they remove the crust soils and reduce vegetation cover. The plants of recent recruitment in natural sites confirm these results and provide some values of reference for other translocations.

KEYWORDS: *Vella pseudocytisus* subsp. *pau*; conservation translocation; population reinforcement; environmental filters

Esquema general del Trabajo Fin de Grado





**Universidad
Zaragoza**



**Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado en Ciencias Ambientales



Bases ecológicas para el refuerzo del crujiente (*Vella pseudocytisus* subsp. *pau* Gómez-Campo) en el Valle del Alfambra (Teruel)

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El crujiente (*Vella pseudocytisus* subsp. *pavi* Gómez-Campo)

1.1.1. Sistemática y taxonomía del género *Vella*

Vella pseudocytisus L. es una de las siete especies que la sistemática actual agrupa en el género *Vella* L. Los estudios filogenéticos sitúan a este género en el orden *Capparales*, familia *Brassicaceae*, tribu *Brassiceae*, subtribu *Vellinae* (Crespo, 2011). Se reconocen tres taxones infraespecíficos para la especie que nos ocupa, la subespecie *glabrata* Greuter, de distribución norteafricana (Marruecos y Argelia) y las subespecies *pavi* Gómez-Campo y *pseudocytisus* L., ambas endemismos hispánicos.

La nomenclatura popular recoge diferentes nombres para esta planta (arnachilla, cebollada, crujiente). En este trabajo se ha optado por el nombre de crujiente al ser el elegido por el Plan de Recuperación de la subespecie en Aragón.

1.1.2. Descripción morfológica

El crujiente es una crucífera leñosa que forma matas arbustivas, inermes, más o menos ramificadas en la base. Normalmente alcanza 1 m de altura (30 cm - 2 m) y una cobertura horizontal de hasta 1,2 m. Según Flora Ibérica (Gómez-Campo, 1993), sus hojas, sésiles y con estípulas vestigiales a menudo visibles, son enteras o cortamente espatuladas, obovadas y carnosas, con ápice redondeado. La disposición foliar es alterna, estando, a veces, las hojas basales reunidas en rosetas. En cuanto al indumento, en esta subespecie las hojas son glabras o con pelos sólo marginales, siendo ésta una característica morfológica fundamental para su separación de la subespecie tipo (figura 1.1).



Figura 1.1. Morfología del crujiente: hoja (izquierda), flor y glomérulos florales (centro), silicua (derecha). Obsérvese la falta de indumento de los diferentes órganos salvo los pelos marginales en las hojas. Esta característica morfológica es clave para su clasificación como subespecie.

El crujiente presenta inflorescencias abundantes, en racimos ebracteados de 10 a 40 flores, normalmente acompañados de otros racimos axilares secundarios. El eje de la inflorescencia es

glabro. Las flores son hermafroditas, actinomorfas, cruciformes, con corola completa (figura 1.1). Perianto formado por 4 sépalos libres, erectos y 4 pétalos amarillos alternando con los sépalos, y que presentan uña desarrollada y un limbo con venación oscura (generalmente violeta). Androceo con seis estambres con anteras libres, gineceo súpero y estilo persistente. Su silicua, sin indumento, presenta dos artejos bien diferenciados (figura 1.1): un artejo valvar elipsoidal, fértil y dehiscente, normalmente bilocular y un artejo estilar estéril, comprimido y cocleariforme. Sus semillas son elipsoidales, pardas y a menudo con un ala rudimentaria.

1.1.3. Distribución y censo del crujiente

La distribución del crujiente ocupa un área total muy pequeña, de 531.6 ha (6 cuadrículas UTM 10x10 km²; 36 cuadrículas UTM 1x1 km²), limitándose a dos valles en las proximidades de la ciudad de Teruel (figura 1.2).

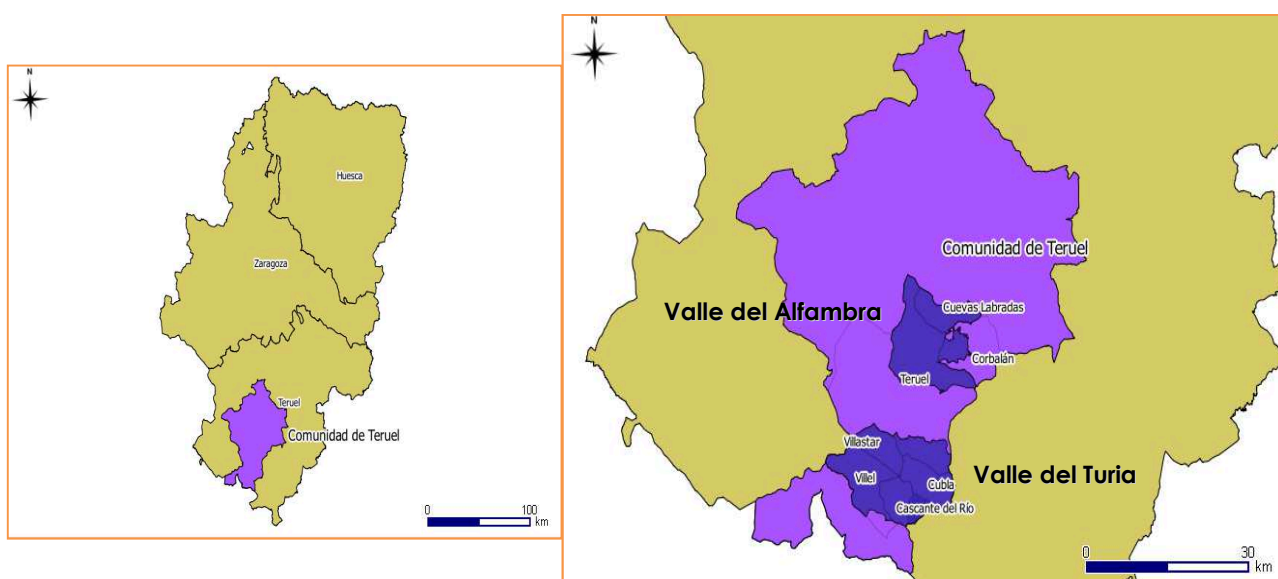


Figura 1.2. Distribución natural conocida del crujiente aragonés. Las zonas en el mapa sombreadas en azul señalan el ámbito de aplicación del Plan de Recuperación aprobado por el Gobierno de Aragón. (Elaboración propia a partir de los datos de <http://sitar.aragon.es/visor/>)

Al norte de la capital turolense, en el Valle del Alfambra, el crujiente aparece en el barrio rural de Villalba Baja y en el municipio de Cuevas Labradas, donde se localizan los núcleos poblacionales con mayor continuidad y extensión en el Valle. Además, existen otros reductos relativamente aislados, como el conocido como Puente del Alfambra, en el término municipal del barrio rural de Tortajada. Esta distribución en el Alfambra se ha visto incrementada por el descubrimiento en 2013 de un nuevo núcleo ubicado en el Puntal del Prado (Villalba Baja).

En el Valle del Turia, aparece fundamentalmente en los municipios de Villastar y Villel, con menor presencia en Cascante del Río y Cubla. Se conocen citas antiguas de la planta en Tramacastilla (Teruel) y de núcleos zaragozanos en Calatayud y en la Sierra de Vicort sin que haya vuelto a detectarse en estas localizaciones. En Ateca (Zaragoza) y Calatayud existen desde 2007 poblaciones reintroducidas por el Gobierno de Aragón.

En una estimación poblacional del año 2005, el censo de esta subespecie se cifró en torno a 1.800.000 ejemplares (Goñi y Campo, 2011). Estos valores se han visto incrementados por nuevos descubrimientos cuyo número de individuos se estima en unos 5.000. Por valles, el del Alfambra mantiene algo más de 170.000 individuos y Villel, en el Valle del Turia, es la localidad con mayor presencia del crujiente, con más de 1.500.000 ejemplares.

En lo referente al número de poblaciones que integran su área de ocupación, no existe acuerdo en la bibliografía consultada (V.V.A.A., 2011). Algunos autores hablan de dos grandes poblaciones coincidiendo con sus valles de distribución. Otros señalan de 4 a 6 poblaciones aplicando criterios genéticos. En este trabajo hemos optado por el criterio valle de distribución, (2 poblaciones: población del Alfambra o del Turia), considerando dentro de ellas a cada una de las zonas de presencia relativamente aislada, como núcleo poblacional o subpoblación.

1.1.4. Ecología del crujiente

1.1.4.1. Hábitat del crujiente

Goñi y Campo (2011), en un estudio del hábitat potencial del crujiente, integraron los ambientes que coloniza la planta en cuatro situaciones ecológicas: 1) rupícola; 2) laderas de acumulación en pendientes por debajo de 20°; 3) matorrales abiertos en laderas con pendiente variable; y 4) ribazos. Los tres primeros ambientes son los predominantes en el Valle del Alfambra (figura 1.3).



Figura 1.3. Plantas de crujiente colonizando: talud bajo escarpe en el Barranco de la Hoz (izquierda), escarpe rocoso en Puente del Alfambra (centro), ladera en el Barranco Lloro (derecha).

En sus hábitats naturales forma parte de una comunidad arbustiva modificada por el pastoreo, compitiendo con gipsófitos más o menos estrictos y plantas calcícolas (Domínguez y col., 2004). Además, en función de las características edáficas y de la presión de pastoreo, el suelo puede estar más o menos recubierto por un pastizal de vivaces y otros terófitos asociados al ganado, que suponen elevada competencia para la plántula (Sainz y Domínguez, 2011).

El abandono de cultivos o la apertura de pistas o carreteras ha provisto de nuevos hábitats al crujiente, en principio, transitorios (Domínguez y col., 2011b). En estos ambientes, el crujiente suele ser la especie arbustiva dominante, favorecida por los suelos sueltos y la menor incidencia de las ovejas (Sainz y Domínguez, 2011).

1.1.4.2. Filtros ecológicos que condicionan la distribución del crujiente

Goñi y Campo (2011) señalan a la litología como el filtro predictivo más importante de la presencia del crujiente. Nunca se ha encontrado la planta sobre margas y calizas del Jurásico, Triásico y Cretácico, seleccionándose positivamente las margas yesíferas, los yesos del Terciario y limonitas en menor grado. Sainz y Domínguez (2011) ubican las mejores manifestaciones de este taxon en las zonas de contacto entre los sustratos evaporíticos (margas y yesos) y las calizas y lutitas rojas dominantes en la zona.

El sustrato mayoritario sobre el que se asienta el crujiente son los suelos coluviales, muy pobres en materia orgánica, y con cierta presencia de yeso, aunque es frecuente su localización sobre suelos calcáreos (Domínguez y col., 2005). Aunque el crujiente aparece clasificado como gipsófito en el listado ibérico elaborado por Mota y col. (2009), el yeso en los suelos sobre los que se desarrolla es, en cualquier caso minoritario, puesto que la planta no crece sobre la costra yesosa tan favorable para otras especies gipsófilas (Domínguez y col., 2011e).

Otros factores ambientales analizados por Goñi y Campo (2011) fueron pendiente y orientación, sin que los resultados sean concluyentes. La pendiente sólo resultó significativa en el Valle del Alfambra, donde el crujiente coloniza ambientes con pendiente elevada (escarpes, taludes,...), a los que podría haber quedado relegado por los usos existentes. Sin embargo, estos autores detectan al crujiente creciendo en cualquier valor de pendiente. En cuanto a la orientación, sólo en el Valle del Turia se observó un efecto significativo de este factor, seleccionándose con mayor frecuencia dos orientaciones opuestas (SW y NE), lo que relativiza el efecto detectado.



Figura 1.4. Ovejas ramoneando un individuo de crujiente en el Barranco Lloro.

En lo que respecta al ganado, la bibliografía le atribuye cierto efecto negativo, especialmente si es muy intenso. Estudios en marcha para evaluar este efecto parecen empezar a mostrar resultados en esta dirección (Guzmán, *com. per.*). Sin embargo, el abandono del pastoreo en algunos de sus núcleos poblacionales se asocia con el cerramiento del matorral y el avance de la vegetación arbustiva, lo que puede comprometer la pervivencia del crujiente. Aunque la bibliografía le atribuye el ser un matorral poco palatable para el ganado, si se

detectan en campo evidencias de herbivorismo en hojas y elevada predilección por los órganos florales de la planta (figura 1.4).

1.1.4.3. Fenología, biología reproductiva y dinámica demográfica del crujiente

Domínguez y col. (2004, 2005, 2011c y d) han publicado diferentes estudios relativos a los comportamientos fenológicos, reproductivos y demográficos de la subespecie *pavi* y de sus implicaciones en la conservación. Algunos de los resultados se recogen a continuación.

El crujiente posee raíces largas y robustas, capaces de emitir rizomas subterráneos que prosperan en terrenos sin arado o pastoreo excesivo, y que presentan un mal rebrote tras el fuego (Sainz y col., 1996). Esta emisión de rizomas le permite la colonización de nuevos ambientes y le confiere un fuerte anclaje (figura 1.5), profundizando en el terreno y facilitándole el acceso a nutrientes y agua no disponibles para otros fanerófitos de su comunidad (Sainz y Domínguez, 2011). La raíz presenta yemas laterales que perduran y permiten su rebrote (figura 1.5), capacidad que puede tener un interés conservacionista a corto plazo (Domínguez y col., 2011b).



Figura 1.5. Planta de crujiente con raíz robusta que le permite el anclaje en zona de frecuentes descalzamientos (izquierda), rebrote de raíz (centro), coleóptero (*Tropinota sp.*) libando en flor de crujiente (derecha).

Su producción de flores es muy alta, ocurriendo en un intervalo corto (mayoritariamente abril-mayo). Se trata de una floración temprana para la zona que confiere al crujiente una ventaja competitiva, ya que su polinización mayoritaria es entomófila generalista (figura 1.5). La fructificación ocurre de 15 a 20 días tras la floración con 1(2) semillas por fruto, dispersadas por dehiscencia balística (hasta cuatro metros; 1-2 m la mayoritaria). Los altos valores de producción de flores y frutos, así como su naturaleza alógama facultativa, son una garantía para la conservación del crujiente y evidencian que no es el éxito reproductor uno de los factores limitantes de la presente distribución de la planta.

La bibliografía consultada no recoge datos del potencial de germinación de las semillas en la naturaleza. En vivero, este parámetro alcanza un valor del 60 % con un periodo de emergencia de

la plántula de entre 18 y 21 días (Coscolluela y Gracia, 2011). En condiciones naturales, las semillas parecen sufrir una alta tasa de mortalidad, siendo las principales causas identificadas su enterrado, el arado y la sequía seguida de inundaciones estivales. El banco de semillas en el suelo parece ser insignificante, aunque dada la alta productividad anual de frutos, no supone un factor limitante para la conservación de este taxon. En relación a las plántulas, de nuevo el estrés hídrico se configura como una de las causas más importantes de su mortalidad. Por ello, los sitios que pueden retener el agua, como los de suelo suelto o con baja pendiente, favorecen su supervivencia.

La figura 1.6 muestra la dinámica demográfica del crujiente para una población estructurada en seis fases de edad (Domínguez y col. 2011f). Su análisis se traduce en una dinámica con altas productividades, muy bajo reclutamiento, bajas mortalidades juveniles y casi nula mortalidad adulta. La resultante es una tasa media de crecimiento finito (λ) ligeramente inferior a uno (leve descenso poblacional). El análisis de sensibilidad de λ señala a la clase A1 como la de mayor contribución a la dinámica demográfica de las poblaciones del crujiente.

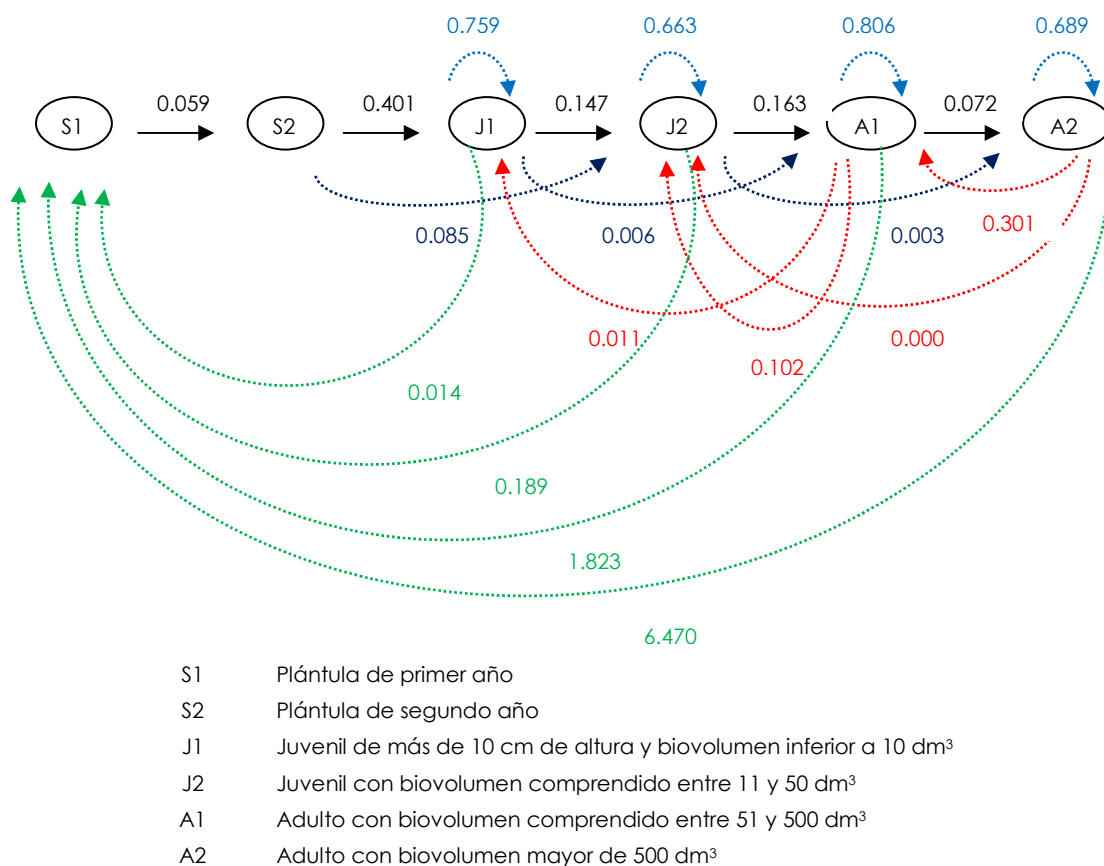


Figura 1.6. Dinámica demográfica de la población del crujiente en el Alfambra estructurada por fases de edad (tomado de Domínguez y col., 2011f). Los valores representan la magnitud media en la transición de la matriz de Lefkovich para un seguimiento final de 389 individuos durante 7 años, en el núcleo poblacional del Barranco de la Hoz (elaboración propia a partir de los datos de Domínguez y col., 2011c).

El análisis temporal de dicha dinámica estima en un valor medio de cinco años el tiempo necesario para que se alcance la floración y otros cuatro años para la transición de las plantas jóvenes a la clase adulta. Este lento desarrollo puede ser el responsable de la dificultad del crujiente para establecer nuevas poblaciones. Cabe mencionar que los ejemplares más viejos datados alcanzan los 47 años de edad, estimándose su longevidad entre los 30 y 50 años (Génova y Sánchez, 2011).

Ante estos comportamientos, Domínguez y col. (2009) concluyen que las poblaciones naturales del crujiente no parecen presentar serios problemas de viabilidad demográfica, debiéndose estar atentos a posibles declives derivados de las actividades humanas. Desde una óptica de gestión, estos autores llaman la atención sobre la lenta demografía observada, que puede conllevar el que la respuesta a la gestión aplicada, tanto negativa como positiva, no se manifieste de forma inmediata.

1.1.5. Importancia, problemática y protección legal del crujiente

La importancia del crujiente se fundamenta en su rareza y escasa área de distribución. Se trata, en palabras de su Plan de Recuperación, "*de un paleoendemismo aragonés que de desaparecer supondría su extinción a nivel mundial*". A ello, habría que añadir su carácter de crucífera arbustiva en ambiente de carácter estepario (Sainz y Domínguez, 2011) y su naturaleza gipsófito (Mota y col., 2009).

Su propia rareza es una amenaza intrínseca para el crujiente (Domínguez y col., 2011b), especialmente en el Valle del Alfambra donde sus núcleos poblacionales quedan circunscritos a una única casilla UTM 10 x 10 km² (30TXK67) y, en muchos de los casos, con tamaños censales bajos. Esta rareza tiene en parte un origen natural por la pérdida de hábitats debida a eventos geológicos o climáticos (Domínguez y col., 2011e). Tampoco contribuye a paliarla el ligero descenso poblacional detectado en el Alfambra o su lenta biología, que se traduce en dificultades para la expansión o generación de nuevos núcleos (Domínguez y col., 2011c y d).

Estos componentes naturales parecen suficientes como para considerar al crujiente como una planta con un alto grado de amenaza. Pero si a ello unimos la actividad antrópica en su área de ocupación se puede llegar a comprender su estado actual de conservación. La fragmentación del hábitat por el cultivo, además de reducir los hábitats naturales colonizables, ha provocado el aislamiento entre núcleos con difícil conectividad entre los mismos. Dicho aislamiento ha mostrado consecuencias sobre el flujo génico entre subpoblaciones (Catalán y col., 2007; Pérez-Collazos y Catalán, 2006, 2011), especialmente importantes entre los núcleos del Valle del Turia.

Además, la colonización de nuevos hábitats artificiales, como los ribazos, es útil sólo para incrementar el número de efectivos, pero no asegura su viabilidad a largo plazo (Domínguez y col., 2011b). La presión ganadera es también un componente antrópico importante cuyas implicaciones sobre el taxon han sido ya expuestas previamente. Cabe por último señalar algunas

amenazas derivadas de su proximidad a núcleos habitados como son la edificación ilegal o la apertura o mejora de vías de comunicación, o las que representa la existencia de una importante actividad minera en su área de distribución natural.

Lo aquí expuesto justifica la necesidad de protección de esta planta, cuya presencia en catálogos y listas conservacionistas se recoge en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Presencia del crujiente en listas, catálogos, convenios y legislación		
Figura de protección	Presencia	Categoría
Convenio de Berna	No	
Directiva 92/43/CEE	No	
Catálogo Español de Especies Amenazadas ⁽¹⁾	No	
Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón ⁽²⁾	Si	En Peligro de Extinción
UICN mundial ⁽³⁾	Si	EN b1ab(i,ii,iv,v)+ 2ab(i,ii,iv,v)
UICN para España ⁽³⁾	Si	idem
Libro rojo de la flora vascular de España ⁽³⁾	Si	idem

(1).- Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del listado de especies silvestres en régimen de protección especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas.

(2).- Decreto 49/1995, de 28 de marzo, de la Diputación General de Aragón, por el que se regula el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón.

(3) Bañares y col. (2004).

1.1.5.1. El Plan de Recuperación del Crujiente

Fruto de su catalogación autonómica como taxon de flora En Peligro de Extinción, el crujiente cuenta con un Plan de Recuperación aprobado por Decreto 92/2003, de 29 de abril, del Gobierno de Aragón, que establece su régimen de protección. Dicho régimen se justifica en el interés científico de la especie, y tiene como objetivo lograr la conservación del crujiente en todos los lugares donde crece en Aragón. El Plan se considerará cumplido cuando pueda pasar de la categoría de taxon En Peligro de Extinción a Vulnerable.

Tras delimitar el ámbito territorial al que se aplica (ver figura 1.2), el Plan de Recuperación establece las medidas tanto *in situ* como *ex situ* y las directrices a implantar para la consecución de sus objetivos. Por el interés para este Trabajo Fin de Grado, exponemos las medidas *in situ* dirigidas específicamente al traslado de la planta:

Medida *in situ* 4. Elaboración de un protocolo precautorio de reintroducción de *Vella pseudocytisus* subsp. *pau* en zonas potenciales.

Actuación 4.1. Identificar y caracterizar el hábitat de la especie.

Actuación 4.2. Elaborar un catálogo de las áreas potenciales de introducción.

Actuación 4.3. Ensayar diferentes métodos de reintroducción de la planta producida *ex situ* en las zonas seleccionadas según la actuación 4.2. Tras ello, diseñar y describir el protocolo normalizado para las reintroducciones.

1.2. El traslado como estrategia para la conservación de flora

1.2.1. Definiendo términos. *Sensu* UICN

La Guía de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) dedicada a las reintroducciones y otros traslados con fines conservacionistas (IUCN/SCC, 2013) define a éstos como los movimientos intencionados de organismos vivos con el objetivo de favorecer su conservación. Estos traslados comprenden un conjunto de acciones que son clasificadas en función de si el lugar de destino pertenece o no al rango histórico de distribución del organismo. En el primer caso, se habla de *restauración de poblaciones* y comprende dos acciones: *refuerzo* (cuando el traslado se realiza dentro de una población existente del organismo) o *reintroducción* (cuando el lugar de traslado pertenece al rango histórico, pero el organismo ha desaparecido). En el caso de traslados fuera del rango histórico, la denominación empleada es la de *introducción conservacionista* con dos principales actuaciones: la *colonización asistida* y el *reemplazo ecológico*.

1.2.2. Principios del traslado

La bibliografía señala una serie de principios que debe cumplir cualquier experiencia de traslado conservacionista y que pueden ser englobados en cuatro grandes grupos:

1.- *Justificación del uso de esta herramienta para el organismo en cuestión.* Aquellas especies o poblaciones con tamaños pequeños o en declive, estrecho rango de distribución y/o altas probabilidades de extinción deberían ser las primeras candidatas (IUCN/SCC, 2013).

2.- *Definición de los objetivos del traslado, del horizonte temporal para su consecución y de las medidas de manejo para su logro* (Escudero e Iriondo, 2003). Estos principios sólo pueden ser abordados desde un profundo conocimiento de la historia biológica de la especie, de la dinámica de sus poblaciones y de las complejas interacciones ecológicas que se establecen en sus ecosistemas con los factores abióticos y bióticos presentes en los mismos (IUCN/SCC, 2013). De hecho, la bibliografía señala a una mala identificación de estos filtros ecológicos clave como la causa del fracaso de muchas de las experiencias de traslado (Heywood e Iriondo, 2003; Godefroid y col., 2011; Pérez y col., 2012).

3.- *Definición de los criterios para la evaluación del éxito.* Godefroid y col. (2011) definen el éxito del traslado como la capacidad de los plantones de persistir y reproducirse. Estos autores critican el espacial énfasis de muchas experiencias de traslado en la variable supervivencia, con menor atención sobre crecimiento, floración y fructificación y reclutamiento, criterio este último señalado como prioritario para la valoración del éxito.

4.- *Necesidad de un adecuado seguimiento,* acorde con la autoecología del organismo implicado, con énfasis en los traslados exitosos, pero con la necesidad de identificar las causas de los fracasos (Primack, 2011).

1.2.3. Experiencias de traslado del crujiente

Tras la aprobación del Plan de Recuperación en 2003, y con fundamento en las medidas *in situ* recogidas en el mismo, el Gobierno de Aragón puso en marcha en 2004 para el crujiente una experiencia de refuerzo centrada en el Valle del Alfambra, al considerar un mayor grado de amenaza para la población de este Valle. En 2007, comenzaron en Ateca y Calatayud ensayos de reintroducción en un territorio con citas antiguas, pero donde la planta no había vuelto a ser detectada. Ambas experiencias, que se prolongan hasta la actualidad, comparten objetivos comunes pudiendo complementarse en la información generada.

Un completo informe de la experiencia de reintroducción se recoge en Guzmán y Sanz (2011). Aunque el periodo de ensayo es corto, los resultados obtenidos parecen esperanzadores. Nosotros nos centraremos en la experiencia de refuerzo en el Alfambra, de la que se nutre este Trabajo Fin de Grado, y cuya descripción pasamos a abordar de forma detallada en el siguiente apartado. Dicha descripción procede de informes internos que han sido amablemente cedidos por el Gobierno de Aragón para el desarrollo de este estudio (González Cano, *com. per.*).

1.2.3.1. Experiencia de refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra

a. Principios

El estrecho rango de distribución, los pequeños tamaños poblacionales y el ligero descenso poblacional del crujiente en el Valle del Alfambra están en la justificación de la experiencia de traslado abordada por el Gobierno de Aragón para el taxon que nos ocupa.

El estado de conservación del crujiente en el Alfambra es preocupante, pero no supone un riesgo inminente. Sin embargo, su Plan de Recuperación señala la necesidad de recopilar información ante futuras intervenciones conservacionistas, en previsión de un empeoramiento de la situación actual y la necesidad de una respuesta rápida. Queremos comentar que durante los últimos años se ha realizado un importante esfuerzo investigador en este sentido (V.V.A.A., 2011), que sitúa al crujiente entre los taxones españoles amenazados con mayor grado de conocimiento (Domínguez y col., 2011a). Este nivel de información supone una ventaja para cualquier experiencia de traslado conservacionista (Armstrong y Seddon, 2007; IUCN/SCC, 2013).

A este conocimiento también pretende contribuir la experiencia de refuerzo del Alfambra, cuyo análisis inicial del comportamiento del crujiente en los núcleos poblacionales del Valle, señaló como condiciones más favorables al traslado los terrenos con alto potencial erosivo sobre suelos minerales, escasamente evolucionados, en condiciones de baja competencia vegetal y pastoreo y con zonas contiguas susceptibles de dispersión de semillas por gravedad o escorrentía. Sin embargo, con el objeto de recopilar mayor información, la experiencia del Gobierno de Aragón no renunció a:

1. testar ambientes con condiciones menos favorables para conocer la respuesta de la planta ante las mismas.
2. evaluar condiciones ecológicas ligeramente alejadas de las existentes para el crujiente en sus hábitats naturales actuales. Esta metodología se ajusta a las previsiones de la IUCN/SCC (2013), para la cual, en los estudios de requerimiento de hábitat en especies que sobreviven en la naturaleza, establecer las áreas potenciales sólo en base a su distribución actual puede no ser acertado, especialmente, cuando las poblaciones han sido forzadas a algunos refugios de hábitat sub-óptimo.

Otro aspecto considerado por los responsables del traslado fue el nivel de manejo a aplicar, al ser señalado como un factor clave para el éxito de una experiencia de reintroducción vegetal (Godefroid y col., 2011). El Gobierno de Aragón ha optado por mínima intervención, fundamentalmente por dos razones:

- a. por el interés en conocer la respuesta de la planta en las condiciones naturales y antrópicas existentes en el Valle,
- b. por adaptar la experiencia a las posibilidades de recursos humanos y económicos existentes.

Ante este nivel de intervención, el calificativo *favorable* aplicado por la experiencia a cualquiera de las condiciones ecológicas evaluadas se entiende como buena respuesta del plantón en ausencia o con mínimo manejo.

b. Metodología

La metodología de trabajo de la experiencia de refuerzo comienza con la selección por los responsables del Gobierno de Aragón de ambientes favorables (o no favorables) al traslado del crujiente en el Valle del Alfambra, siempre por inspección visual, y trabajando a tres escalas, que de menor a mayor, son las que siguen:

- a. escala de paisaje, que integra la heterogeneidad ambiental existente en el Valle y que también contempla como objetivo la conectividad entre núcleos poblacionales.
- b. escala de plantación, mediante la selección de pequeñas áreas de hábitat donde proceder al traslado. Para esta escala la selección tiene una naturaleza básicamente cualitativa (geoforma ocupada, orientación preferente, suelo, paso de ganado, cobertura, etc.).
- c. escala de planta, donde se seleccionan los puntos concretos de traslado. Para ello se utilizan los anteriores criterios, también valorados por inspección visual, pero con mayor atención a los aspectos cuantitativos (más o menos ganado, más o menos cobertura, etc.).

Para el traslado se seleccionaron dos métodos: la siembra directa o la plantación. En ambos casos, el procedimiento siempre comienza con la recolección de semilla de crujiente en alguno de sus núcleos poblaciones del Valle. Las semillas se almacenan en condiciones adecuadas hasta la siembra o se trasladan para su cultivo hasta los viveros del Gobierno de Aragón, sitios en Santa Eulalia del Campo (Teruel). Para esta subespecie las condiciones de germinación, cultivo y propagación en vivero están muy desarrolladas (Coscolluela y Gracia, 2011) obteniéndose plantones viables con buen rendimiento.

Cada año el traslado de semillas o plantones hasta los ambientes de elección se ha llevado a cabo durante los meses de octubre y noviembre. Se trata de que los plantones se aclimaten lo máximo posible al ambiente, fuera del estrés hídrico estival, y antes de la llegada del invierno. Para la siembra directa se prepara manualmente con azada una superficie continua de aproximadamente 2m², dispersándose sobre el suelo removido 2 cm³ de semillas. Estas superficies se cubren con una ligera capa de paja de cereal sobre la que se fija una malla de gallinero para mantener estable el punto de siembra.



Figura 1.7. Ejemplo de plantón de crujiente de traslado reciente (2013). Obsérvese la presencia de heces de cabra montesa entorno al punto de introducción.

Para la plantación se han utilizado plantones en envase forestal de 15 cm de profundidad (la experiencia ha ido seleccionado como más adecuadas a los plantones de dos savias, con tallos a ser posible leñosos y con altura superior a 10 cm) (figura 1.7). Cabe señalar que la experiencia de refuerzo no ha contemplado en el traslado ningún criterio fijo en cuanto a la densidad de plantones o la distancia entre los mismos, aunque siempre se proporcionó al plantón el suficiente espacio para su desarrollo, sin que el resto de individuos plantados supongan competencia para aquél.

Una vez introducido el plantón en el terreno, es liberado de competencia en su radio más próximo y se marca con elementos del lugar para facilitar su identificación y darle cierta protección frente a escorrentía excesiva. El riego tras la siembra o la plantación no ha sido la práctica habitual, salvo en el año 2010, donde las condiciones de humedad del suelo aconsejaron el aporte de agua para favorecer el enraizamiento de los crujientes trasladados.

Los ambientes de refuerzo son visitados anualmente durante los meses de mayo y junio. En estos seguimientos se recogen datos sobre el número de plantones supervivientes, tamaño medio de plantón, existencia de floración-fructificación y existencia de reclutamiento en forma de plántulas o hijas. También se toma nota de cualquier cambio en las condiciones iniciales que llevaron a la

selección de dichas áreas de traslado. En algunos puntos de refuerzo, donde la viabilidad del plantón estaba comprometida por competencia vegetal excesiva o por formación de costra, se realizaron entrecavados, pero, como se ha comentado, la intervención no es la práctica habitual en esta experiencia de refuerzo.

Al inicio de nuestro trabajo en campo (diciembre de 2012), el número total de ambientes de refuerzo en el Valle del Alfambra era de 138, con 23 de ellos procedentes de siembra directa y 115 donde la metodología empleada fue la plantación. El número de plantones introducidos ascendía a 7.149. Los datos hablan, sin duda, de un esfuerzo de traslado muy importante por el Gobierno de Aragón.

1.3. Justificación y objetivos del Trabajo Fin de Grado

La información recopilada durante esta introducción deja pocas dudas del alto grado de amenaza que experimenta el crujiente aragonés. Probablemente, en su rareza actual hayan participado eventos geológicos o climáticos que redujeron su hábitat (Domínguez y col., 2011e). Sin embargo, el hombre ha acentuado su aislamiento natural, trastocando la dinámica de sus poblaciones (Domínguez y col., 2005). Ante estas condiciones parece ético actuar favoreciendo la conservación de la subespecie.

El marco legal para la conservación del crujiente es su Plan de Recuperación, cuyas medidas y actuaciones en relación a la reintroducción se han expuesto previamente. Con dichos objetivos nació la experiencia de refuerzo del Gobierno de Aragón en el Alfambra, ya en curso desde hace más de 9 años, y a la que este Trabajo Fin de Grado pretende contribuir con el análisis de la información generada y la elaboración de unas bases ecológicas para el refuerzo en el Valle. **No es nuestro objetivo valorar el éxito o no del refuerzo realizado sino identificar las condiciones ecológicas que lo determinan e incrementar las probabilidades de éxito con la selección de las más favorables.**

Además, este trabajo ha considerado que dicha probabilidad puede verse aumentada con una caracterización de las condiciones ecológicas presentes en sus ecosistemas de referencia (núcleos poblacionales) del Alfambra, y de la respuesta del crujiente ante las mismas. Dicha caracterización podría también ayudar a la decisión de los factores del ambiente a seleccionar para el refuerzo.

Lo expuesto en esta justificación se articula a través de los siguientes objetivos de este TFG:

1.- **La selección de las condiciones ecológicas más favorables para el refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra**, mediante el análisis de la respuesta de plantaciones y plantones ante los factores del medio presentes en sus ambientes de traslado.

2.- **La obtención de los valores de referencia para el crujiente en el Valle del Alfambra** en aquellos factores ambientales considerados por la experiencia de refuerzo. Estos valores de referencia

ayudarán a la decisión y elección de las condiciones para el traslado. Además, el cumplimiento de este objetivo permitirá:

2.1.- La caracterización ecológica de los núcleos poblacionales del crujiente en el Valle, incorporando la información de los núcleos de descubrimiento reciente.

2.2.- La evaluación de la respuesta del crujiente en sus ambientes naturales.

3.- con la información recopilada con los anteriores objetivos, **establecer unas bases ecológicas para el refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra.**

Con el cumplimiento de estos objetivos, y de acuerdo con el Plan de Recuperación vigente, este Trabajo Fin de Grado pretende contribuir: 1) a la elaboración de un protocolo para el refuerzo de la planta en su población del Alfambra; 2) al conocimiento de los hábitats naturales del crujiente en dicho Valle y 3) a la identificación de nuevos hábitats potenciales con la información aportada.

1.4. Hipótesis ecológicas

Para el análisis del refuerzo, nuestro estudio se apoya en: 1) las condiciones ecológicas seleccionadas como hipótesis de trabajo por la experiencia de refuerzo y 2) la revisión bibliográfica, para plantear las siguientes hipótesis ecológicas (tabla 1.2):

Tabla 1.2. Naturaleza de los contrastes de hipótesis para evaluar la respuesta ^(a) del crujiente trasladado en función de filtro ambiental y tipo de aproximación.		
Aproximación	Filtro ambiental	Naturaleza de las hipótesis ecológicas a contrastar
Cualitativa	Costra biológica	La presencia de costra biológica tiene un efecto negativo en la respuesta
	Ganado	El paso de ganado tiene un efecto negativo en la respuesta
	Geoforma	La ubicación en talud tiene un efecto positivo en la respuesta
	Orientación	La orientación a solana tiene un efecto positivo en la respuesta
Cuantitativa	Insolación	Un mayor coeficiente de insolación tiene un efecto positivo en la respuesta
	Pendiente	Una mayor pendiente tiene un efecto positivo en la respuesta
	Contenido yeso	Un mayor contenido en yeso tiene un efecto negativo en la respuesta
	Materia orgánica	Un mayor contenido en materia orgánica tiene un efecto negativo en la respuesta
	Altura competidoras	Una mayor altura de competidoras tiene un efecto negativo en la respuesta
	Cobertura total	Una mayor cobertura total tiene un efecto negativo en la respuesta
	Distancia competidoras	Una mayor distancia a sus competidoras tiene un efecto positivo en la respuesta
	Escorrentía	Un mayor acceso a la escorrentía tiene un efecto positivo en la respuesta
	Densidad heces cabra	Una mayor densidad de heces de cabra varía la respuesta
	Densidad heces ganado	Una mayor densidad de heces de ganado tiene un efecto negativo en la respuesta

(a).- El concepto respuesta del crujiente trasladado es definido en el apartado 2.2.3.2 de la metodología

En el estudio de los núcleos poblacionales del Alfambra se intentará contrastar:

1. La existencia de diferencias ecológicas entre los hábitats colonizados por el crujiente y el papel de los factores abióticos y bióticos en dichas diferencias.
2. La existencia de diferente respuesta del crujiente ante los cambios en los anteriores factores ambientales.
3. La existencia de diferencias en las condiciones ecológicas que interactúan con plantas de reclutamiento reciente frente al resto de plantas muestreadas. Para su verificación se aplicarán contrastes similares en su naturaleza a los expuestos en la tabla 1.2.



**Universidad
Zaragoza**



**Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado en Ciencias Ambientales



**Bases ecológicas para el refuerzo del crujiente (*Vella pseudocytisus* subsp. *pau*
Gómez-Campo) en el Valle del Alfambra (Teruel)**

2. ÁREA DE ESTUDIO Y MÉTODOLÓGÍA

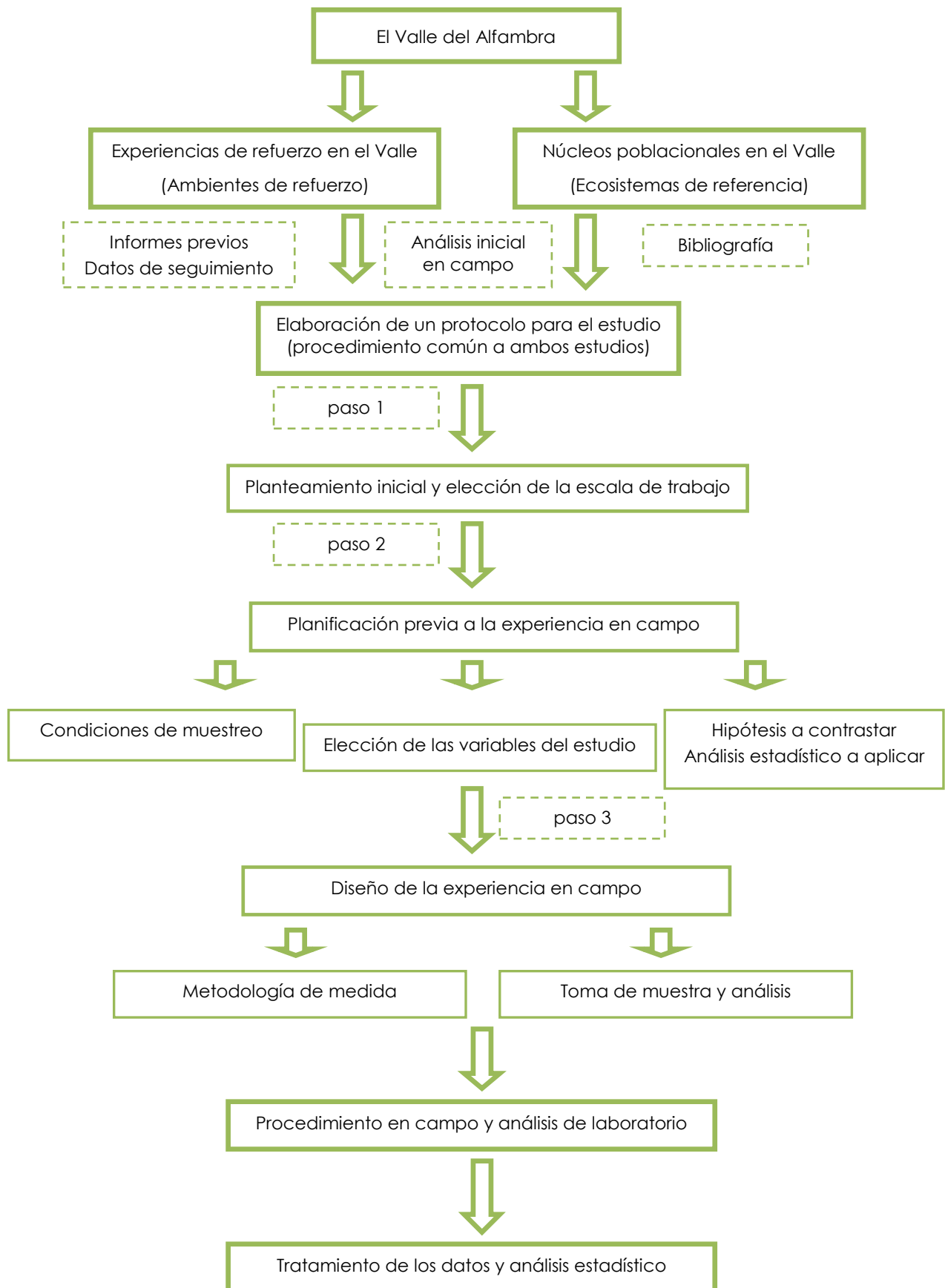


Figura 2.0.- Esquema del proceso metodológico empleado en el Trabajo Fin de Grado

2. ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

2.1. Caracterización del área de estudio

2.1.1. Localización

El área de estudio se localiza en la denominada depresión del Alfambra - Teruel, al sur de la provincia turolense. El trabajo se ha desarrollado en los términos municipales de Alfambra, Cuevas Labradas y Peralejos y en el de los barrios rurales de Conclud, Tortajada, Valdecebro y Villalba Baja, pertenecientes al municipio de Teruel. El área comprende una superficie potencial de 300 km² y abarca un gradiente lineal de 21 km en dirección NNE-SSW, en el tramo final del río Alfambra, cuyo valle vertebraba dicho territorio.

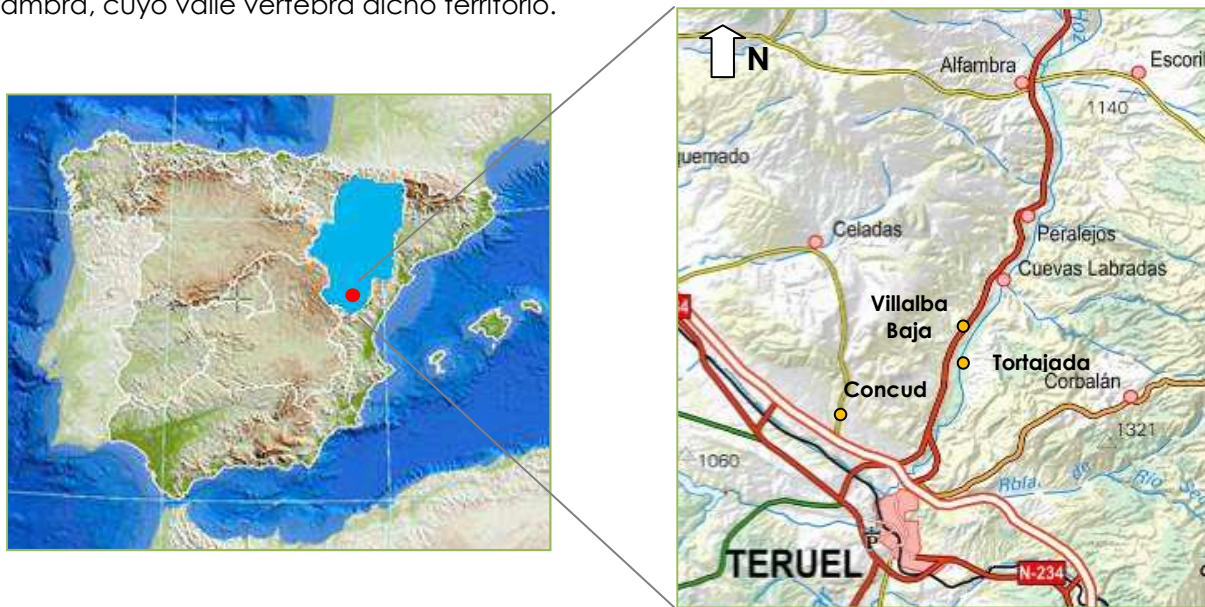


Figura 2.1. Localización del área de estudio.

2.1.2. Clima

El Atlas Climático de Aragón (Gobierno de Aragón, 2013b), que sigue la clasificación climática de Köppen, sitúa al área de estudio dentro de la tipología submediterránea continental fría. Dicha tipología viene caracterizada por dos factores: la continentalidad (amplias variaciones estacionales en los parámetros climáticos) y la xericidad (bajas precipitaciones desigualmente repartidas a lo largo del año).

Esta caracterización climática debe ser matizada para nuestra área de estudio (Peña y col., 2002; Sainz y Domínguez, 2011). La conexión del Valle del Alfambra con el Valle del Turia, y de éste con el Mediterráneo, provoca un ascenso térmico que suaviza los valores de temperatura extremos. Por otra parte, su posición deprimida frente a las mayores altitudes vecinas supone un cierto aislamiento a los frentes y perturbaciones atmosféricas que reduce los valores de precipitación en relación a su entorno geográfico.

La figura 2.2 recoge el diagrama ombrotérmico para el periodo 1981 – 2010 a partir de los datos de la estación meteorológica de Teruel (la más próxima con valores accesibles para este periodo). Siguiendo los índices bioclimáticos propuestos por Rivas – Martínez (2008), nos encontraríamos con unos valores climáticos en la transición entre los macroclimas Mediterráneo y Templado (Índice de Termicidad = 193), con semicontinentalidad atenuada, seco (precipitación = 378 mm anuales, con importante déficit hídrico estival) y de variante esteparia (las precipitaciones estivales doblan a las invernales).

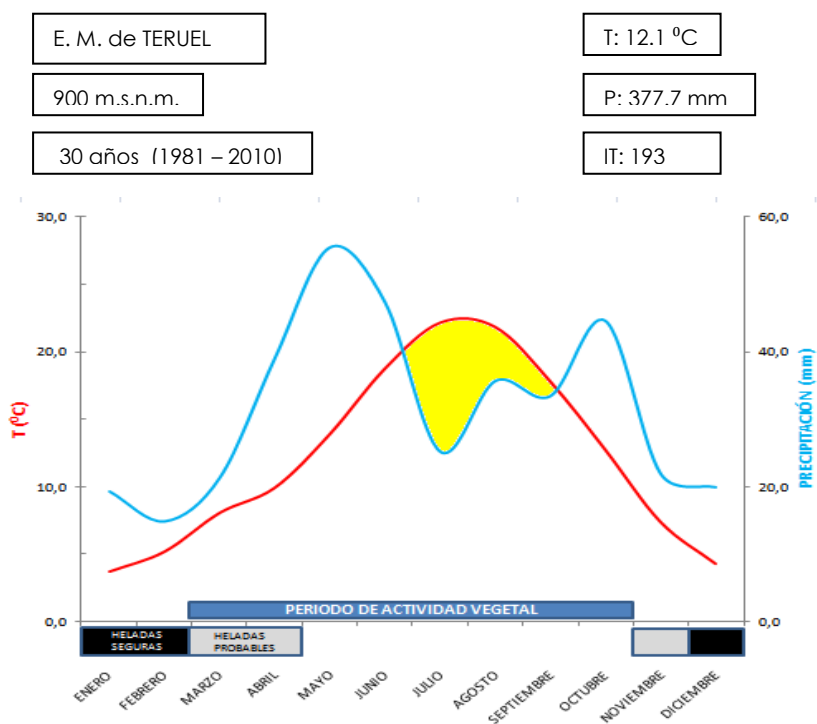


Figura 2.2. Diagrama ombrotérmico para el periodo 1981 – 2010 en el área de estudio. Datos: E.M. de Teruel (40° 21' 06'' N; 01° 07' 22'' O). Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (2013). Elaboración propia.

En lo referente al cambio en las condiciones climáticas a lo largo del gradiente lineal estudiado, los modelos del Atlas Climático de Aragón (Gobierno de Aragón, 2013a) muestran una variabilidad muy pequeña, con un ligero incremento del déficit hídrico hacia el sur del Valle. Este comportamiento nos permite considerar unas condiciones climáticas homogéneas entre nuestros puntos de muestreo.

2.1.3. Geología y geomorfología

El área de trabajo queda incluida en las Hojas 567 (Teruel) y 542 (Alfambra) del Mapa Geológico Nacional (MAGNA) a escala 1:50.000 (Instituto Geográfico y Minero de España, 1983). La información recogida en dichas hojas, junto con las descripciones a escala de provincia (Gutiérrez Elorza y Meléndez, 1991) y comarca (Monforte, 2010) constituyen la base de esta síntesis geológica del área de estudio.

La denominada fosa de Alfambra – Teruel se localiza en la Rama Aragonesa del Sistema Ibérico. Se trata de una fosa tectónica asimétrica de dirección NNE-SSW, generada durante el Mioceno y rellenada durante el Terciario Superior por materiales de diverso origen. La mayor parte del relleno procede de la acción erosiva sobre las elevaciones cercanas y está constituido por materiales detríticos, fundamentalmente arcillas rojas con intercalaciones de conglomerados y areniscas. Sobre estos materiales se depositaron, con espesor variable, yesos y calizas margosas de origen lacustre. Además, la acción erosiva de los cauces y barrancos han hecho aflorar en algunos puntos litologías más antiguas como arcillas y margas varioladas con intercalaciones de varias formas de yesos (Triásico Superior) y calizas del Jurásico.

La instalación de una red fluvial cuaternaria sobre estos materiales neógenos ha generado un sistema de terrazas fluviales, con conglomerados, cantos rodados y gravas con diferente cementación, y de glaciares constituidos en su mayor parte por gravas arenosas. La terraza subactual constituye el lecho mayor del río Alfambra, de ancho cauce, y con un abundante sistema tributario, de funcionamiento esporádico, pero susceptible de abarrancamiento importante.

Geomorfológicamente, la fosa se caracteriza por un relieve medio, suavemente alomado. La diferente resistencia a la erosión de los materiales, la acción de los cursos de agua y una climatología árida han modelado un relieve con estructura tabular, dominado por valles en artesa, cerros testigo, muelas, cornisas y taludes de arcillas rojas. En las zonas de depósito de yesos (que alcanzan en algunos puntos los 150 m de espesor) los procesos kársticos han originado dolinas, simas y lapiazes de diferentes tipologías (Sánchez Fabre, M., 1989). Junto a la karstificación, los materiales más blandos han estado sometidos a un intenso proceso de acaravamiento, generando una topografía dominada por puntales y escarpes entre los que discurren estrechos barrancos.

2.1.4. Suelos

Según el Sistema Español de Información de Suelos (SEISnet, C.S.I.C.), que sigue la clasificación de suelos U.S.D.A. de 1987, predominan en nuestra área de estudio tres tipologías de suelo:

- a. orden: *Aridisol*; suborden: *Orthid*; grupo: *Calciorthid*.
- b. orden: *Entisol*; suborden: *Orthent*; grupo: *Xerorthent*.
- c. orden: *Inceptisol*; suborden: *Ochrept*; grupo: *Xerochrept*.

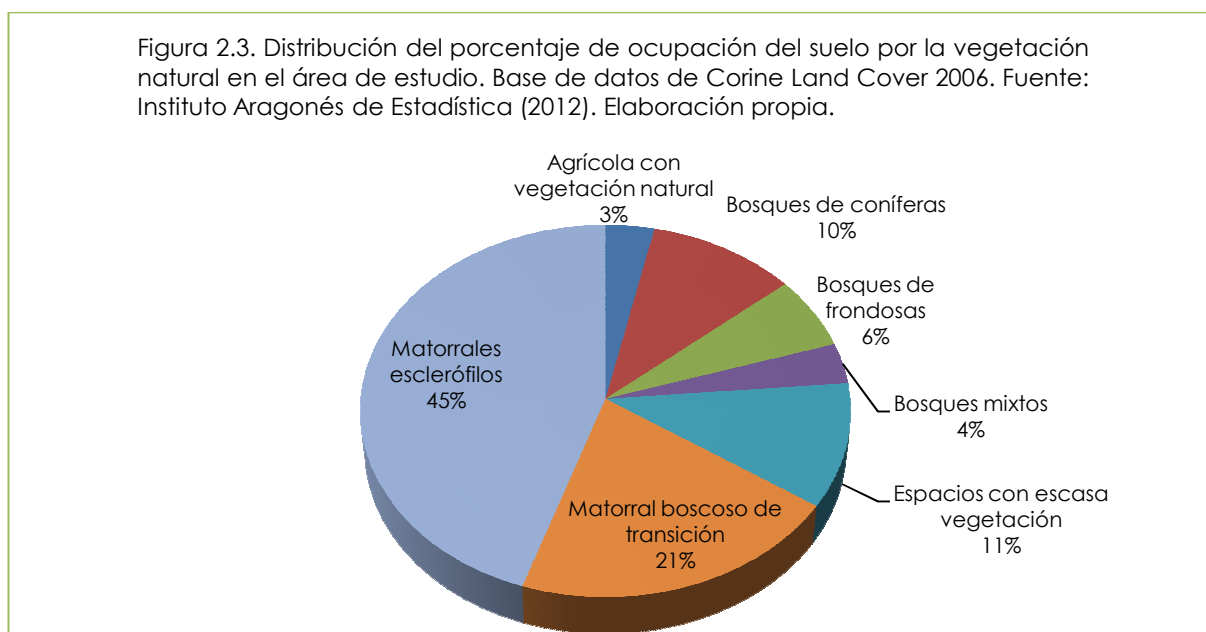
Se trata, en general, de suelos poco evolucionados, de baja productividad y con fuerte influencia del material original (Gisbert, 2002). Entre los procesos formadores juega un papel importante la climatología (aridez), con predominio de la meteorización física frente a la química (por la baja disponibilidad de agua), y un desarrollo en horizontes muy condicionado por la topografía (a mayor pendiente menor desarrollo) y los procesos de escorrentía superficial.

2.1.5. Vegetación y hábitats prioritarios

El área de estudio se ubica en las cuadrículas UTM 10 x 10 km 30TXK67 y 30TXK68. La distribución natural del crujiente en el Valle del Alfambra se circunscribe a la cuadrícula 30TXK67.

Atendiendo a la clasificación de los usos del suelo de la base de datos Corine Land Cover 2006, predominan en la zona los espacios ocupados por matorral esclerófilo y matorral boscoso de transición (figura 2.3). En ellos, las comunidades presentan una estructura parcheada, con una matriz de suelo desnudo salpicada de pequeñas manchas de matorral y ejemplares, más o menos dispersos, de carrasca (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.); enebro (*Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus*) y sabina (*Juniperus thurifera* L.).

En las zonas donde el contenido en yeso del suelo gana importancia, la vegetación se vuelve más rara, y si las condiciones topográficas y climáticas así lo permiten, la matriz de suelo pasa a estar ocupada por una costra biológica dominada por líquenes. Es en estos espacios con escasa vegetación donde se encuentran los mejores ejemplos de plantas especialistas en yesos, entre otras, *Gypsophila struthium* subsp. *hispanica* (Willk.) G. López; *Helianthemum squamatum* (L.) Pers.; *Herniaria fruticosa* L.; *Lepidium subulatum* L. y *Ononis tridentata* L.



La importancia de estos ambientes sobre yesos como hábitats prioritarios en España (Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Tipología 1520 * Vegetación gipsícola ibérica (*Gypsophiletalia*)) y en Aragón (Benito, 2011. Tipología 15.9 Matorrales y tomillares ibéricos de yesos) llevó a la propuesta en el año 2000 del Lugar de Interés Comunitario "Yesares y Laguna de Tortajada" (LIC ES2420131) perteneciente a la Red Natura 2000. Este espacio natural, es el único con figura de protección en el área de estudio.

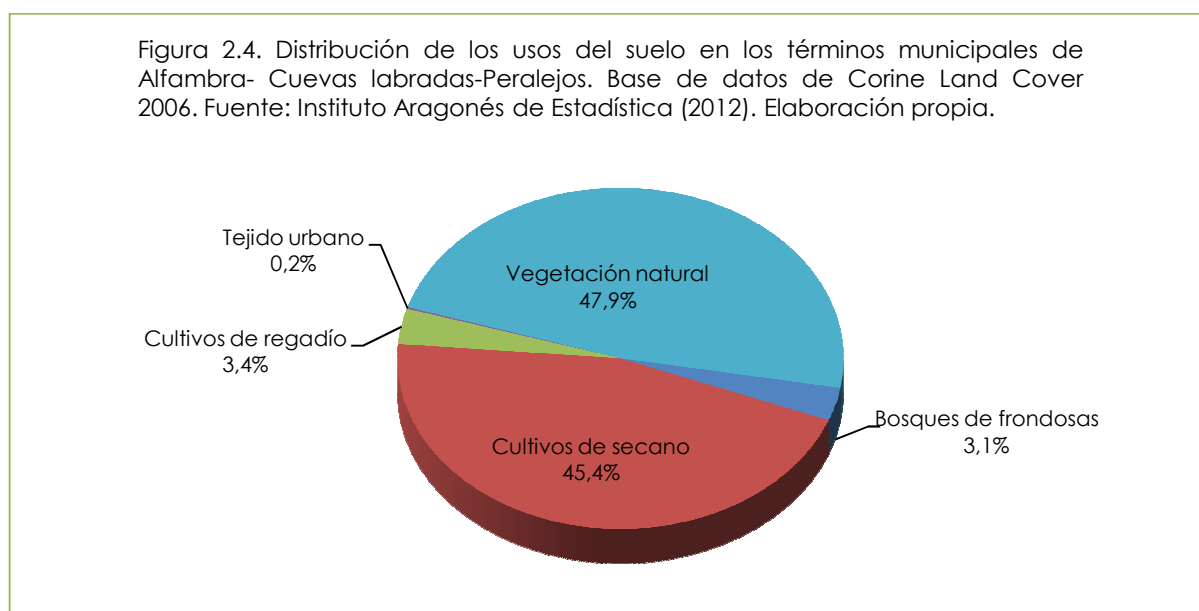
2.1.6. El hombre y sus actividades

Si atendemos a los datos de la tabla 2.1, el área de trabajo puede ser considerada un desierto demográfico (densidad de población: 3,8 hab/km²). El territorio está salpicado de pequeñas unidades poblacionales, cuyo censo sufrió un decaimiento importante por el éxodo rural durante el siglo XX, estabilizándose en las últimas décadas. Se trata, en todo caso, de una población envejecida, con una tendencia de crecimiento natural negativa (Instituto Aragonés de Estadística, 2012) (datos no mostrados).

Tabla 2.1. Datos demográficos básicos del área de estudio.				
Unidad de población	Superficie (km ²)	Población ⁽¹⁾ (habitantes)	Densidad (habitantes/km ²)	Edad media ⁽²⁾ (años)
Alfambra	122,44	622	5,1	54,2
Concud	-	161	-	-
Cuevas Labradas	40,80	128	3,1	55,5
Peralejos	36,10	83	2,3	57,2
Tortajada	30,62	87	2,8	-
Valdecebro	28,76	47	1,6	-
Villalba Baja	42,04	187	4,4	-
Total	300,76	1.315	3,8	-

(1).- Fuente: Nomenclator (2013). Instituto Nacional de Estadística. (2).- Fuente: Indicadores de estructura demográfica en Aragón (2012). Instituto Aragonés de Estadística.

Aun con escasa población, la acción antrópica sobre el territorio es intensa. La figura 2.4 muestra la distribución de los usos del suelo en el tramo Alfambra – Cuevas Labradas que consideramos extrapolable al total del área de muestreo.



Los datos señalan que aproximadamente el 50 % del territorio está sometida a algún tipo de explotación agrícola, fundamentalmente en secano, quedando aquellas zonas con peor suelo o difícil orografía libres de cultivo. El regadío se circunscribe a la vega del Alfambra y está dominado por choperas (*Populus sp.*) para la obtención de madera. Predominan, en todo caso, las explotaciones minifundistas con una elevada mecanización de las labores agrícolas.

Además del uso agrícola, en la conformación actual del paisaje y de sus comunidades vegetales ha jugado un papel importante la intensiva explotación ganadera al que ha sido sometido el territorio y que parece mantenerse a tenor de los datos recogidos en la tabla 2.2. Queremos señalar que estos datos corresponden al Censo Agrario de 2009 y, aunque sin datos oficiales en los que apoyarnos, el número de cabezas de ganado parece encontrarse en declive en el Valle en los últimos años. A ello, habría que sumar el incremento de explotaciones en régimen de estabulización.

Tabla 2.2. Explotaciones ganaderas y número de cabezas de ganado ovino en el área de estudio.		
Unidad de población	Número de explotaciones	Número animales
Alfambra	18	13.273
Cuevas Labradas	5	1.927
Peralejos	4	1.316
Resto	3	≈ 5.000
Total	30	≈ 21.586

Fuente: Censo Agrario (2009). Instituto Nacional de Estadística

Por último, comentar la existencia de una importante actividad minera que se ubica en el tramo final del Valle. Se trata de explotaciones de tamaño reducido dedicadas a la extracción de caliza. Dicha actividad, con un impacto ambiental importante, se encuentra muy próxima a alguno de los núcleos poblacionales del crujiente y puede llegar a ocupar una superficie de 273 ha en el ámbito territorial de su Plan de Recuperación, según datos del Catastro Minero de España (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2012).

2.2. Protocolo para el estudio de la experiencia de refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra

2.2.1 Información previa disponible

Previo al inicio de la experiencia en campo, se contó con la siguiente información:

1. Informe interno del Gobierno de Aragón (González Cano, *com. per.*).
2. Localización cartográfica de los ambientes de refuerzo ensayados.
3. Fecha de traslado, metodología empleada y número de plantones trasladados.
4. Datos de los seguimientos anuales.
5. Visitas y mediciones previas en campo.
6. Opinión de expertos.
7. Bibliografía.

Dicha información fue analizada y sirvió para la planificación y diseño del trabajo en campo.

2.2.2. Planteamiento inicial y elección de la escala de trabajo

El estudio del refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra se adaptó al protocolo de actuación seguido por la experiencia del Gobierno de Aragón, con el objeto de que sus resultados tuvieran una aplicación directa en la misma. Para ello, trabajamos a dos escalas (se descartó la escala de paisaje cuyos objetivos quedan fuera del ámbito de este Trabajo Fin de Grado), que de menor a mayor son las que siguen:

1. Una escala que hemos denominado como microambiente de refuerzo o escala de plantación (figura 2.5) y que se refiere a las pequeñas áreas de hábitat donde se procedió al traslado, incluyendo las zonas contiguas susceptibles de dispersión de semillas. Dado que los criterios para su selección por la experiencia fueron básicamente cualitativos y se determinaron por inspección visual, la toma de datos a esta escala la hemos realizado en base a dichos criterios y por los mismos medios.
2. Una escala de micrositio de refuerzo o escala de plantón (figura 2.5) y que hace referencia a los puntos concretos de traslado. Para esta escala, las condiciones de dichos puntos han sido evaluadas mediante la cuantificación de los factores ambientales en un área de 1 m² en torno al plantón introducido.

¿Por qué hemos trabajado a dos escalas? Porque los datos de los seguimientos anuales y las visitas previas a campo evidenciaron que la información proporcionada por ambas escalas puede no ser siempre coincidente. Microambientes poco exitosos pueden presentar algunos ejemplares que se separan claramente de la media y presentan una evolución interesante. Por el contrario, en microambientes con buenos resultados algunos de los plantones presentaban mal estado o se habían extinguido. Es decir, existe cierta heterogeneidad ambiental dentro de los microambientes de refuerzo, que hace que las condiciones ambientales que interactúan con cada plantón no sean similares, y que consideramos, debía ser integrada en el análisis.



Figura 2.5. Microambiente de refuerzo VB-V1d: talud bajo escarpe rocoso donde se han trasladado por plantación 20 ejemplares de crujiente ocupando un área de 60 m² (izquierda), micrositio de refuerzo con plantón superviviente en el microambiente VB-1d. El área del micrositio viene delimitada por un cuadrado de 1 m de lado en torno al punto de plantación (derecha).

2.2.3. Planificación del estudio del refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra

2.2.3.1. Condiciones del muestreo

Los datos del refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra proporcionan 138 microambientes susceptibles de ser incluidos en el estudio. Sin embargo, existen ciertos aspectos metodológicos que dificultan su consideración como un conjunto homogéneo: a.- el método empleado en el traslado (siembra o plantación); b.- el año de traslado y c.- distinto número de plantones trasladados a cada microambiente y, por tanto, diferentes áreas de ocupación por los mismos.

Ante estas condiciones, se optó por aplicar una serie de filtros que homogeneizaran la colección de microambientes a muestrear para dar mayor representatividad a los datos obtenidos. En concreto:

- 1.- *Incluir únicamente microambientes de refuerzo cuya metodología de traslado fue la plantación.* Sólo con esta metodología se dispone de datos del número inicial de plantones.
- 2.- *Incluir únicamente microambientes de refuerzo con un tiempo mínimo de desarrollo en campo de tres años.* En base a los seguimientos anuales y la bibliografía (Godefroid y col., 2011) consideramos este periodo de tiempo como suficiente para la aclimatación de los ejemplares trasladados a las condiciones del micrositio de refuerzo, superándose la fase de *estrés por traslado* (Armstrong y Seddon, 2007). Esta hipótesis de trabajo deberá ser en todo caso contrastada con los datos obtenidos.
- 3.- *Incluir únicamente microambientes con un número de plantones igual o superior a veinte.* Este número de plantones, determinado en experiencias previas en campo, permite recoger una suficiente heterogeneidad ambiental entre sus micrositios de traslado.

Tras aplicar estos filtros el número de microambientes a incluir en el estudio se redujo hasta 66, con 5.396 plantones de refuerzo.

En cuanto a la tipología del muestreo, se decidió por aplicar un muestreo aleatorio simple. Para ello, se introdujeron los nombres de los 66 microambientes en una bolsa cerrada y se procedió a su extracción uno a uno, generándose un listado que es el que se siguió en el procedimiento en campo. En aquellos casos en los que hubo que descartar algún microambiente por dificultades de acceso con los medios disponibles, se pasó al inmediatamente posterior en la lista. Como criterio para la determinación del número de microambientes a muestrear se eligió la estabilización de las medias de las variables cuantificadas a escala de micrositio de refuerzo.

En el muestreo de los micrositios presentes en un microambiente de refuerzo, se realizó una primera estratificación utilizando como criterio la supervivencia del plantón (micrositios supervivientes o extintos), eligiendo 5 miembros de cada una de los grupos generados (10 micrositios por microambiente).

La planificación inicial del muestreo puede verse distorsionada ya en campo por las propias características del microambiente de refuerzo. Podemos encontrarnos microambientes extintos, microambientes donde el número de plantones supervivientes sea inferior a 5, o microambientes donde sea imposible identificar 5 micrositios extintos por la remoción del suelo por erosión o ganado. Por ello, para intentar homogeneizar las condiciones de muestreo se optó por mantener, siempre que fuera posible, la proporción entre micrositios supervivientes y extintos. A su vez, con el objeto de recoger suficiente heterogeneidad ambiental dentro del microambiente, se decidió que el área total muestreada a nivel de micrositio no debería ser inferior a un 10 % del área ocupada por el microambiente de refuerzo.

2.2.3.2. Elección de las variables del estudio del refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra

a. Variables respuesta

El ciclo para un nuevo individuo de crujiente comienza con la llegada de la semilla a un micrositio cuyos factores abióticos y bióticos permiten que germine, se establezca y se desarrolle, generando nuevas semillas que inicien un nuevo ciclo. Se trata, en todo caso, de un proceso continuo en que cada parte necesita de la anterior para plasmarse y que se espera se repita muchas veces.

Para el plantón cultivado en vivero su traslado al micrositio de refuerzo supone el mismo proceso vital, comenzando en este caso en la fase de establecimiento, lo que supone una primera ventaja al superarse dos fases críticas en el ciclo como son la germinación y desarrollo de la plántula (Domínguez y col., 2011c). Si se consigue su establecimiento en las condiciones del ambiente de traslado, se espera que el plantón complete el ciclo y genere descendencia. Sólo de esta forma se puede considerar que el traslado ha sido exitoso (Godefroid y col., 2011, Primack, 2011).

Además, el traslado cuenta con otra ventaja frente al ciclo natural. Los factores ambientales con los que van a interactuar el plantón, y sus posibles semillas, pueden ser seleccionados.

En este estudio, que persigue la selección de esas condiciones más favorables para el traslado, hemos dividido el ciclo del plantón en tres fases que se definen a continuación:

1. Establecimiento: capacidad del plantón de sobrevivir durante un periodo mínimo de tres años en las condiciones del microambiente o micrositio de refuerzo.
2. Desarrollo: capacidad del plantón de incrementar su biovolumen y florecer-fructificar en las condiciones del microambiente o micrositio de refuerzo.
3. Reclutamiento: capacidad de la plantación de generar descendencia en el microambiente de refuerzo.

Para la evaluación de dichas fases se proponen las variables recogidas en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Variables respuesta del estudio del refuerzo en función de escala y fase del ciclo vital evaluada.			
Escala	Fase	Variable	Descripción
Microambiente	Establecimiento	Supervivencia ($SPV_{plantación}$)	Relación entre el número de plantones del microambiente que sobreviven en el momento del muestreo (PTV) y el número inicial de plantones (PTI). $SPV_{plantación} = \left(\frac{PTV}{PTI}\right) * 100 \text{ (\%)}$
	Desarrollo	Biovolumen medio anual ($BMA_{plantación}$)	Valor medio de los biovolúmenes de los plantones supervivientes en el microambiente (BPS) corregido por el número de años desde su traslado (ATI). $BMA_{plantación} = \frac{Media \ BPS}{ATI} \text{ (cm}^3/\text{año)}$
		Floración ($FLR_{plantación}$)	Relación, en el momento del muestreo, entre el número de plantones de crujiente con evidencias de floración o fructificación (PTF) y el número de plantones supervivientes (PTV) $FLR_{plantación} = \left(\frac{PTF}{PTV}\right) * 100 \text{ (\%)}$
	Reclutamiento	Reclutamiento	variable cualitativa con dos modalidades, 1) no. En el microambiente no se ha observado reclutamiento en ningún momento del periodo de seguimiento desde el traslado. 2) sí. En el microambiente se ha observado reclutamiento en algún momento del periodo de seguimiento desde el traslado.
Micrositio	Establecimiento	Supervivencia ($SPV_{plantón}$)	Variable cualitativa con dos modalidades <i>no/si</i>
	Desarrollo	Biovolumen anual ($BVA_{plantón}$)	Valor de biovolumen del plantón (BPS) corregido por el número de años desde su traslado (ATI). $BVA_{plantón} = \frac{BPS}{ATI} \text{ (cm}^3/\text{año)}$
		Floración ($FLR_{plantón}$)	Variable cualitativa con dos modalidades <i>no/si</i> .

Queremos señalar que el estudio del reclutamiento resultó inabordable a una escala de micrositio de refuerzo. En primer lugar, porque la época de muestreo en campo (diciembre-abril) queda

fuera de la época de germinación de las semillas (sólo al final del periodo de muestreo se detectaron plántulas). Pero también, porque las semillas pueden ser dispersadas más allá del área cubierta por el micrositio de refuerzo (1m²), y serán entonces las condiciones del microambiente y de sus zonas próximas de dispersión, las de mayor influencia sobre el reclutamiento. Este último comentario reafirma la decisión de trabajar a dos escalas.

La metodología para la medida de las variables respuesta se describirá durante el apartado de procedimiento en campo.

b. Filtros ambientales

Denominaremos filtro ambiental a aquel factor del medio que interactúa con el plantón determinando su capacidad de establecimiento, desarrollo y reclutamiento. Siguiendo el análisis inicial que la experiencia de refuerzo hace de los filtros con mayor influencia en la respuesta del plantón, este trabajo ha evaluado el papel de geomorfología, suelo, cobertura vegetal e interacción con cabra montesa y ganado, siendo abordado:

b.1. con una aproximación cualitativa o criterios de selección

Son la variante cualitativa de los filtros ambientales, que sirven como base para la selección de los microambientes de refuerzo y cuyas modalidades permiten caracterizarlos. Se ha optado por incluir como filtros cualitativos en este trabajo:

1.- Evidencias de formación de *costra biológica* en el suelo del microambiente de refuerzo, con dos modalidades *no/sí*. Entendemos por costra biológica a la colonización de un suelo, con tendencia al encostrado, por organismos macro y/o microscópicos (cianobacterias, algas, líquenes, musgos,...), colonización que la diferencia de la denominada costra física (Castillo-Monroy y Maestre, 2011). En este estudio, la formación de costra biológica se asocia con la tendencia del suelo al encostrado y con su contenido en yeso.

2.- La *geoforma* sobre la que se asienta el microambiente de refuerzo. Las formas del relieve representadas en la experiencia de refuerzo del crujiante en el Valle son (figura 2.6):

- a. Cresta: clasificaremos dentro de esta modalidad a aquellos microambientes localizados en la zona de nacimiento de las distintas vertientes de una elevación.
- b. Ladera: incluiremos en esta modalidad a aquellos microambientes ubicados en una vertiente de pendiente variable, sin presencia de escarpe rocoso superior, y donde predominan los procesos erosivos.
- c. Talud: asignaremos a esta modalidad los microambientes situados en una vertiente de pendiente variable, bajo escarpe rocoso, y donde conviven los procesos erosivos con los acumulativos por la caída de material del escarpe.



Figura 2.6. Ilustración de las geoformas más representadas en la experiencia de refuerzo del crujiente. Los barrancos presentes en el territorio son áreas potenciales interesantes, que proporcionan diferentes microambientes de introducción con condiciones distintas en sus criterios de selección.

3.- La *orientación* del microambiente de refuerzo. Con dos modalidades: *solana/umbría*

4.- Evidencias de *paso de ganado* por el microambiente de refuerzo, con dos modalidades *no/si*.

b.2. con una aproximación cuantitativa o variables ambientales

En este grupo se incluyen aquellas variables que cuantifican los filtros abióticos y bióticos del microsítio de refuerzo y que señalan las condiciones promedio del microambiente en el que se ubican. Para este trabajo se han seleccionado las variables ambientales recogidas en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Variables ambientales incluidas en el estudio del refuerzo del crujiente.		
Filtro ambiental	Variable ambiental	Unidades
Geomorfología	Coeficiente de insolación	adimensional
	Orientación	° respecto al N
	Pendiente	°
Suelo	ver tabla 2.5	
Cobertura vegetal	Altura de competidoras	cm
	Anchura accesible a la escorrentía	m
	Cobertura total	%
	Distancia a competidoras	cm
Interacción con fauna/ganado	Densidad de heces de cabra montesa	heces cabra/m ²
	Densidad de heces de ganado	heces ganado/m ²

La metodología para la medida de criterios de selección y variables ambientales se expondrá durante el apartado que describe el procedimiento en campo. Hemos de señalar, que el estudio de la naturaleza de los suelos sobre los que se ha desarrollado la experiencia de refuerzo sólo podrá ser abordado a escala de microambiente de refuerzo.

2.2.4. Procedimiento en campo para el estudio del refuerzo del crujiante en el Valle del Alfambra

2.2.4.1. Periodo de toma de datos en campo

El trabajo se realizó durante 20 jornadas de campo en el periodo comprendido entre los meses de diciembre de 2012 a abril de 2013. El tiempo estimado para su realización fue de 160 horas. Las visitas y mediciones previas en campo se realizaron durante el periodo de prácticas externas de la titulación del Grado en Ciencias Ambientales.

2.2.4.2. Cifras del muestreo

Siguiendo el criterio de la estabilización de las medias de las variables cuantitativas, al final del periodo de muestreo los datos de éste eran los que siguen:

- 42 microambientes de refuerzo muestreados (un 64 % del total de microambientes seleccionados para el estudio).
- 404 micrositios de refuerzo muestreados (un 8 % de los plantones inicialmente trasladados) que se reparten de la siguiente forma:
 - 200 micrositios con plantón superviviente en el momento del muestreo,
 - 204 micrositios donde el plantón se había extinguido.

Estos números denotan la alta variabilidad existente, lo que ha obligado a un esfuerzo de muestreo muy importante.

2.2.4.3. Caracterización de los microambientes de refuerzo y de la respuesta del plantón

Llegados al microambiente de refuerzo, e identificados y marcados los micrositios de plantación, se procedió como sigue:

- 1.- Se delimitó el perímetro de la plantación, determinándose su área y altitud media con GPS.
- 2.- Se asignó el microambiente a una de las geoformas incluidas en el estudio y se recorrió el área de ocupación, y sus zonas próximas colonizables, a la búsqueda de evidencias de: formación de costra biológica, paso de ganado (heces, sendas,...), y existencia de reclutamiento (figura 2.7).
- 3.- Se contabilizó el número de plantones supervivientes y, de éstos, el número con evidencias de floración o fructificación. Señalar que el crujiante mantiene estas evidencias durante gran parte del año por lo que es una variable aplicable aun cuando el muestreo se realice fuera de la época de floración-fructificación anual. En ningún caso se incluyeron en estos conteos las plántulas o hijas.

4.- Se midió el biovolumen de cada una de los plantones supervivientes. Para ello, se utilizó la aproximación al cilindro a partir de los datos de altura y perímetro máximo de plantón medidos con cinta métrica (precisión de medida $\pm 0,5$ cm). Esta aproximación ha mostrado ser un buen estimador de la biomasa en otros matorrales como el tomillo (Belmonte y López-Bermúdez, 2003) y la consideramos aplicable a nuestro estudio dada de la morfología de la mayoría de plantones de refuerzo.



Figura 2.7. Evidencias de reclutamiento: plántula de 2013 que aún conserva los cotiledones (izquierda). Hija de reclutamiento reciente (derecha).

2.2.4.4. Medidas a escala de micrositio de refuerzo

El método de los cuatro cuadrantes (o punto-centro-cuadrado) fue el utilizado para la medida de los micrositios de refuerzo (figura 2.8). Para ello, se colocó un cuadrado de 1 m de lado orientado en la dirección preferente de escorrentía y con el crujiente trasladado en el punto donde se cruzan las diagonales principales. Colocado el cuadrado, se realizó una foto pre y post-plantón para el cálculo de la cobertura total y como referencia para posibles consultas durante el análisis de los datos.

En el área delimitada por el cuadrado se midieron las variables ambientales de este estudio empleando la metodología que pasamos a describir:

1.- *Pendiente* ($^{\circ}$). La pendiente se midió con un clinómetro de mano (precisión $\pm 1^{\circ}$), a una distancia de 30 cm del plantón en la diagonal principal de cada uno de los cuadrantes. El valor de pendiente del micrositio fue la media de las cuatro determinaciones realizadas.

2.- *Orientación* ($^{\circ}$ y tipo). La orientación se midió mediante la brújula de un GPS orientado en la línea principal de escorrentía (precisión $\pm 1^{\circ}$). Se tomó además el tipo de orientación dentro de una de estas variantes: N; NNE; NE; ENE; E; ESE; SE; SSE; S; SSW; SW; WSW; W; WNW; NW; o NNW.

Para asignar la orientación del microambiente de refuerzo a solana o umbría se utilizaron los siguientes criterios:

- a. Solana. Se incluyeron dentro de esta modalidad todos aquellos microambientes con un valor de orientación medio entre 91° E y 270° O.
- b. Umbría. Se asignaron a esta modalidad todos los microambientes con un valor de orientación medio entre 271° O y 90° E.

3.- *Coefficiente de insolación* (adimensional): con los datos de pendiente (convertidos a porcentaje) y tipo de orientación se extrapoló el valor del coeficiente de insolación a partir de la tabla de doble entrada propuesta por Gandullo (1974) para el cálculo del coeficiente de insolación de una unidad de terreno (tomado de V.V.A.A., 2006).

4.- *Altura de las competidoras* (cm). En cada uno de los cuadrantes, se determinó la altura de la competidora más cercana mediante cinta métrica (precisión de medida $\pm 0,5$ cm). A aquellos cuadrantes en los que no se detectó competidora se les asignó un valor de 0 cm. El valor de altura de competidoras utilizado en el estudio fue la media resultante de las cuatro mediciones.

5.- *Anchura accesible a la escorrentía* (m). En la línea de planta, perpendicular a la línea principal de escorrentía, se midió con cinta métrica (precisión $\pm 0,5$ cm) el espacio libre de vegetación preplanta (rango de la variable: 0 – 1 m). Esta medida, que intenta estimar las posibilidades de acceso del plantón al agua en superficie, aunque no muy precisa, si es fácil de determinar en campo y la consideramos suficiente para los propósitos de este estudio.

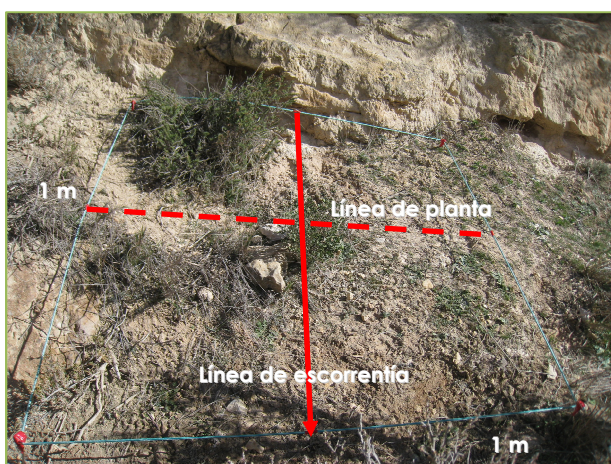


Figura 2.8. Ilustración del método de los cuatro cuadrantes para la medida de los micrositos de refuerzo.

6.- *Cobertura total* (%). A partir de las fotos pre y post-plantón se estimó la cobertura total del microsito de refuerzo por la comparación con patrones. En ningún caso se incluyó en este valor la cobertura atribuible al crujiente trasladado.

7.- *Distancia a competidoras* (cm). En cada uno de los cuadrantes, se midió la distancia desde el punto de traslado a la competidora más cercana con cinta métrica (precisión de medida $\pm 0,5$ cm). A aquellos cuadrantes donde no se detectó competidora se les asignó el mayor valor de distancia posible en el cuadrante (70,7 cm en la diagonal) (rango de la variable: 0 – 70,7 cm). El valor de distancia a competidoras utilizado en el estudio fue la media resultante de las cuatro mediciones.

8.- *Densidad de heces de cabra montesa* (heces cabra/m²). Para la determinación de esta variable se inspeccionó el área del microsito, contabilizando las heces de cabra presentes. Señalar que durante las experiencias previas en campo se entrenó en la identificación de este tipo de heces para separarlas de las heces de ganado.

9.- *Densidad de heces de ganado* (heces ganado/m²). Para la determinación de esta variable se inspeccionó el área del micrositio, contabilizando las heces de ganado presentes.

10.- *Muestreo y análisis de suelo*. En el área ocupada por cada uno de los micrositios se tomó una muestra de los primeros 30 cm de suelo. En el caso de micrositios con plantón superviviente, para evitar perturbarlo, la muestra fue recogida en su zona limítrofe. El total de muestras recogidas en un microambiente se unió en una única muestra compuesta y se almacenó en lugar seco hasta su análisis. Durante el almacenamiento, las muestras fueron periódicamente removidas para favorecer su secado y homogenización.

Tras el almacenaje en las condiciones descritas, las 42 muestras de suelo fueron transportadas hasta el Laboratorio Agroambiental del Gobierno de Aragón sito en Montañana (Zaragoza) para su análisis. El almacenamiento prosiguió hasta su completo secado, tras el cual fueron molidas y analizadas siguiendo la metodología que se describe en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Metodología del análisis de las variables de suelo		
Variable de suelo	Unidades	Método de referencia
Conductividad eléctrica (1:5 a 25 °C)	dS/m	Electrometría ⁽¹⁾
Contenido en CaSO ₄ ·2H ₂ O	% p/p	Gravimetría
Materia orgánica oxidable	(g/100g)	Espectrofotometría ⁽²⁾
pH al agua (1:2,5)	adimensional	Potenciometría ⁽³⁾
Arena	% p/p	Sedimentación
Arcilla	% p/p	
Limo fino	% p/p	
Limo grueso	% p/p	

(1).- Orden de 5 de diciembre de 1975 (BOE, nº 78 de 31/3/1976); (2).- Procedimiento interno acreditado MT-SUE-002; (3).- Procedimiento interno acreditado MT-SUE-007.

Todos los resultados se refirieron a materia seca al aire. Para su interpretación se siguió como referencia la *Guía de Descripción de Suelos* de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2009). Para la clasificación textural del suelo se utilizó la pirámide USDA.

2.3. Protocolo para el estudio de los núcleos poblacionales del crujiente en el Valle del Alfambra

2.3.1. Información previa disponible

1.- Cartografía de los núcleos poblacionales del crujiente en el Valle del Alfambra. Ya con la experiencia en marcha, se adjuntó la distribución del nuevo núcleo poblacional descubierto en el Puntal del Prado durante el periodo anual de seguimientos de 2013 (González Cano, *com. per.*).

2.- Análisis inicial de los núcleos poblacionales mediante visitas a campo. Este análisis consistió en un recorrido por los mismos recopilando información de la biología y fenología de la planta (porte, floración, reproducción sexual o asexual,...) y de los hábitats en los que se desarrolla (litologías, geformas presentes, orientaciones preferentes, naturaleza del suelo, presión del ganado, etc.). Los núcleos considerados para este análisis inicial fueron Barranco de los Chopos, Barranco de la Hoz, Barranco Labradores, Barranco Lloro, Ermita San Cristóbal, Monteagudo, Puente del Alfambra y Puntal del Prado.

3.- Opinión de expertos.

4.- Bibliografía.

2.3.2. Elección de la escala de trabajo

Para una correcta aplicación de los resultados a la experiencia de refuerzo, se optó por mantener las escalas de microambiente y micrositio, en este caso, naturales.

2.3.3. Planificación del estudio de los núcleos poblacionales del crujiente en el Valle del Alfambra

2.3.3.1. Selección de los núcleos poblacionales a incluir en el estudio y condiciones del muestreo

Tras el análisis inicial, y con base en la litología, conexión entre núcleos, comportamiento de la planta y filtros del medio, consideramos tres grandes núcleos poblacionales a muestrear:

1.- *Barranco de la Hoz + Ermita San Cristóbal + Barranco de los Chopos*. Sobre margas yesíferas y calizas arcillosas del Terciario, la planta coloniza barrancos más o menos angostos, fundamentalmente sobre escarpes rocosos o taludes bajo escarpe, en cualquier orientación y con baja presión del ganado (salvo en algunos puntos a la entrada del Barranco de la Hoz o taludes en el Barranco de los Chopos).

2.- *Barranco Lloro*. Sobre litología variable, mayoritariamente caliza, pero con presencia en algún punto de materiales aluviales, la planta coloniza laderas con orientación preferente a solana, ribazos con alta densidad de ejemplares y campos de cultivo abandonados con disposición en terrazas. Salvo en algunos ribazos, la presión de ganado es elevada.

3.- *Puntal del Prado*. Sobre yesos, con algún afloramiento de calizas y margas, la planta coloniza las partes altas de laderas en cualquier orientación, con menor representación en las crestas y

zonas bajas junto a barrancos. La presión del ganado es variable entre zonas lo que condiciona el desarrollo de la vegetación circundante.

El resto de núcleos analizados fueron descartados en el muestreo al considerar que la información que aportaban era similar a la de los núcleos anteriormente descritos y por contar con censos muy bajos.

Ya dentro de cada uno de los núcleos poblacionales seleccionados, se realizó:

- a. una primera estratificación en función de las modalidades de geoforma presentes en los mismos.
- b. Una estratificación entre geoformas en base a su orientación en el núcleo

La resultante fue la obtención de una colección de microambientes naturales para muestrear en cada uno de los núcleos poblacionales. Para su selección se utilizó un muestreo aleatorio simple.

Dado que uno de nuestros objetivos es obtener unos valores de referencia para el crujiente con las condiciones existentes en el total del Valle, el muestreo a esta escala intentó respetar la importancia censal de los núcleos poblacionales, con el fin de no sobrevalorar ninguno de ellos y ofrecer así una imagen realista. Por el mismo motivo, el muestreo a escala de núcleo poblacional intentó ponderar la representación de geoformas y orientaciones presentes.

Por último, para el muestreo de los micrositios naturales dentro de un microambiente se utilizó un muestreo aleatorio simple entre las plantas presentes en el mismo.

2.3.3.2- Elección de las variables del estudio de los núcleos poblacionales

a.- Variables respuesta

Como variables respuesta para el estudio de los núcleos poblacionales, a escala de microambiente natural se eligieron:

- 1.- El biovolumen medio de planta (dm^3).
- 2.- El porcentaje de floración-fructificación de las plantas del microambiente.
- 2.- La *densidad de plantas* (DNP), definida como la relación existente entre el número de plantas de crujiente presentes en el microambiente (NPL) y el área ocupada por el mismo (ARM).

$$DNP = \frac{NPL}{ARM} \text{ (plantas/m}^2\text{)}$$

- 3.- La *distancia media entre plantas* (m), cuyo valor es la media de las distancias individuales entre las plantas del crujiente del microambiente, determinadas mediante transectos (ver figura 2.11).

A escala de micrositio natural se optó por las siguientes variables respuesta:

1.- El *biovolumen de planta* (dm^3).

2.- *Floración-fructificación de la planta*. Variable cualitativa nominal con dos modalidades *no/si*.

3.- Durante el muestreo a escala de micrositio se midieron plantas pequeñas, muy similares en tamaño y forma a los plantones de la experiencia de refuerzo, y que en ningún caso procedían del rebrote de raíz. Consideramos que podría ser interesante conocer si los filtros ambientales que interactúan con estas plantas, que consideramos de reclutamiento reciente, son diferentes a las del resto de plantas medidas. Por ello, optamos por incluir una nueva variable cualitativa que denominaremos *planta de reclutamiento reciente*, con dos modalidades *no/si*.

La metodología para la medida de las variables respuesta se describirá durante el apartado de procedimiento en campo.

b. Filtros ambientales

b.1. aproximación cualitativa.

Para la caracterización de los microambientes naturales se utilizaron las siguientes variables cualitativas:

1.- La *geoforma* sobre la que se asienta el microambiente de refuerzo. El análisis inicial de los núcleos poblacionales detectó cinco modalidades para esta variable: cresta, escarpe rocoso, ladera, ribazo y talud. La figura 2.9 ilustra las geoformas escarpe rocoso y ribazo no descritas hasta el momento en este estudio.



Figura 2.9.- Ejemplos de plantas de crujiente colonizando: escarpe rocoso en el Barranco de la Hoz (izquierda), ribazo en el Barranco Lloro (derecha).

2.- El *paso de ganado* por el microambiente, con dos modalidades *no/si*.

3.- La *orientación media* del microambiente de refuerzo. Con dos modalidades *solana/umbría*.

El análisis inicial descartó la inclusión como variable cualitativa a la formación de costra biológica al estar poco representada en los ambientes colonizados por el crujiente en el Valle.

B.2.- *aproximación cuantitativa*. Son las variables ambientales recogidas en la tabla 2.4. Las variables relacionadas con el suelo sólo se estudiaron a escala de microambiente natural.

La metodología empleada para la medida de estas variables se describe en el siguiente apartado.

2.3.4. Procedimiento en campo para el estudio de los núcleos poblacionales

2.3.4.1. Periodo de toma de datos en campo

El trabajo se realizó durante 17 jornadas de campo en el periodo comprendido entre los meses de mayo a junio de 2013. El tiempo estimado para su realización fue de 136 horas.

2.3.4.2. Cifras del muestreo

Al final del trabajo en campo, los números del muestreo de los núcleos poblacionales del crujiente en el Valle del Alfambra eran los que siguen:

- 37 microambientes naturales muestreados.
- 302 micrositios naturales de los que 78 fueron clasificados como plantas de reclutamiento reciente.

2.3.4.3. Caracterización de los microambientes naturales y de la respuesta del crujiente

Llegados al microambiente natural se procedió como sigue:

1.- Se delimitó una parcela de 10 m de lado (100 m²) representativa de las condiciones del microambiente elegido (figura 2.10). En ocasiones, el área del microambiente fue inferior a 100 m², adaptándose la parcela a dicha área.

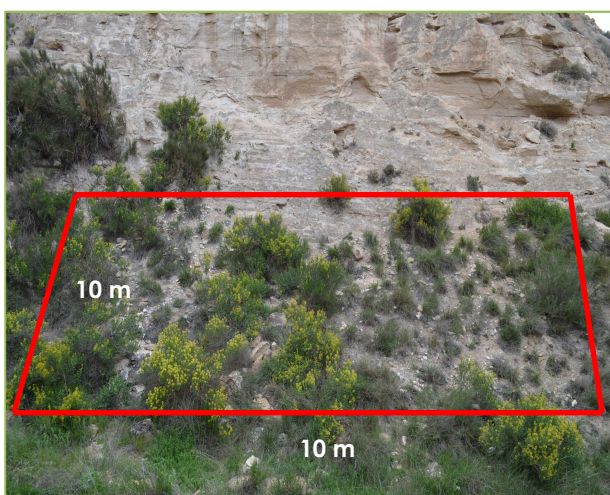


Figura 2.10. Ejemplo de parcela de muestreo en talud bajo escarpe rocoso. Barranco de la Hoz.

2.- Se determinó la altitud media del microambiente con GPS. Se asignó el microambiente a una de las geoformas incluidas en el estudio y se recorrió el área de ocupación a la búsqueda de evidencias de paso de ganado.

3.- Se contabilizó el número de plantas de crujiente en el área delimitada. En ningún caso se incluyeron en estos conteos las plantas procedentes de rebrote de raíz o las plántulas presentes.

4.- Se midió con cinta métrica (precisión de medida $\pm 0,5$ cm) el biovolumen de cada una de las plantas contabilizadas. Se utilizó la metodología propuesta por Domínguez y col. (2011b).

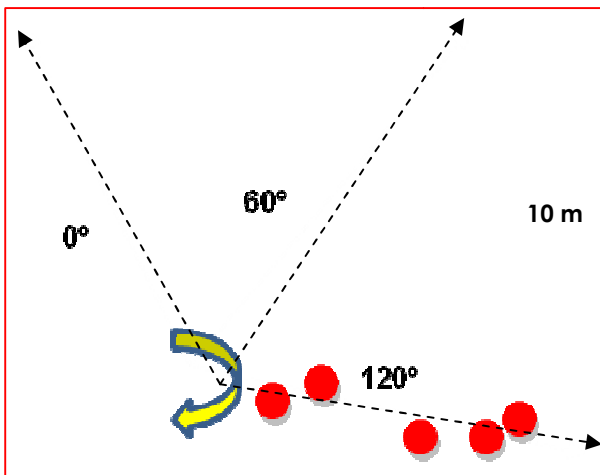


Figura 2.11. Procedimiento para la medida de la distancia media entre plantas. Los puntos rojos representan individuos de crujiente interceptados en el transecto.

5.- Se midió la distancia media entre plantas. Para ello, desde un ejemplar de crujiente seleccionado al azar, se realizaron transectos entre éste y los límites de la parcela comenzando por orientación 0° N e incrementando la dirección del transecto en 60° hasta completar el círculo. En cada transecto, la medición consistió en la extensión de cinta métrica y medida de la distancia entre los puntos centrales de los ejemplares de crujiente interceptados (precisión ± 1 cm). El valor de distancia es la media del total de distancias medidas en los transectos. La figura 2.11 ilustra el procedimiento seguido para esta variable.

6.- En varios puntos de la parcela, intentando crear la menor perturbación posible, se tomaron muestras de los primeros 30 cm de suelo. El conjunto de muestras de un microambiente se unió en una única muestra compuesta y se almacenó en lugar seco hasta su análisis (total 40 muestras de suelo). Durante el almacenamiento, las muestras fueron periódicamente removidas para favorecer su secado y homogenización. El análisis de las muestras siguió las condiciones recogidas en el apartado 2.2.4.4 de este material y métodos. Señalar que el estudio de los suelos de los núcleos poblacionales incluyó muestras de los núcleos Puente del Alfambra, Barranco del Santo y Barranco de los Labradores.

2.3.4.4.- Medida a escala de micrositio natural



Figura 2.12. Ejemplo de micrositio natural clasificado como planta de reclutamiento reciente.

Para la medida de las variables seleccionadas para el estudio de los micrositios naturales se siguió la metodología descrita en el apartado 2.2.4.4 para los micrositios de refuerzo. El procedimiento comenzó en todo caso con la clasificación de los micrositios como planta de reclutamiento reciente o no (figura 2.12). Se fue muy estricto a la hora de designar una planta dentro de la modalidad si para evitar la inclusión de plantas procedentes del rebrote de raíz. Se trata en todo caso de plantas de pequeño tamaño con hojas poco engrosadas y

tallos no o poco lignificados, y sin ninguna evidencia de conexión con la posible planta madre. En ningún caso se incluyeron plántulas (cuyo éxito esta aun por probar).

2.4. Tratamiento de los datos y análisis estadístico

El tratamiento estadístico recogido en este apartado sigue los tratados de Hair y col. (1999) y Underwood (1997). Esta descripción es aplicable a cualquiera de las partes de este estudio (refuerzo o núcleo poblacional) y a ambas escalas de trabajo (microambiente o micrositio).

a. Tratamiento de los datos

a.1. Estandarización de las dimensiones

El primer paso consistió en una estandarización de las dimensiones de las variables cuantitativas de este estudio para evitar posible distorsión sobre el resultado de posteriores análisis. Así se trabajo siempre en tanto por uno, metros para cualquier longitud y decímetros cúbicos para el biovolumen, manteniéndose el resto de unidades propuestas.

a.2. Estudio de atípicos

Los datos a cualquier escala fueron sometidos a un análisis de atípicos (datos no mostrados). En todo caso, dados los objetivos del estudio, decidimos no excluir ninguno de los microambientes o micrositios atípicos, al considerar importante la información que proporcionan (la causa o causas de este comportamiento atípico).

a.3. Agrupamiento de los datos

Para cada uno de las partes en que se divide este trabajo (refuerzo/núcleo poblacional):

- a. las variables cualitativas fueron agrupadas en una tabla de contingencia de entradas múltiples con todas las modalidades tanto en filas como en columnas. La información recogida en la misma fueron las frecuencias absolutas de cada modalidad, así como de cada interacción doble entre modalidades.
- b. Para cada escala de trabajo, las variables cuantitativas se agruparon en una única matriz de datos.

b. Análisis estadístico

b.1. Análisis descriptivo de los datos

Todas las variables del estudio fueron sometidas a un análisis descriptivo mediante el cálculo de los principales estadísticos de posición y dispersión acompañado de análisis gráfico. Para las variables cuantitativas se eligió rango, media, desviación estándar, mediana y rango intercuartílico como estadísticos descriptores, mientras que para las de naturaleza cualitativa se optó por la frecuencia observada en cada una de sus modalidades. Este primer análisis sirvió para hacer alguna

pequeña modificación en el planteamiento inicial en lo que se refiere a las variables a incluir en el estudio. Así se decidió para cualquiera de las partes del estudio o escalas:

- Eliminar la orientación como variable cuantitativa a incluir en el análisis. La interpretación de su efecto resulta compleja ya que un valor de 1° o de 359° nos está proporcionando una información muy similar. Además, su efecto ya es estudiado de forma cualitativa (solana/umbría) y se recoge en el coeficiente de insolación donde participa en su cálculo a través del tipo de orientación general.
- Eliminar la variable pH del suelo como variable cuantitativa a incluir en el análisis por el escaso rango cubierto (7.8 – 8.8).

Para el estudio descriptivo de los datos obtenidos en los núcleos poblacionales del crujiente, así como para el cálculo de los percentiles 5 % y 95 % de cada variable cuantitativa, se utilizó la metodología bootstrap, a partir de 1000 iteraciones con un nivel de significación del 5 % ($\alpha = 0,05$).

b.2. Análisis de normalidad y homocedasticidad de las variables ambientales

A cada escala de trabajo, se testó la normalidad de las variables ambientales a varios niveles:

- a. total de datos de la variable.
- b. datos de la variable ambiental dentro de cada modalidad de variable respuesta, criterio de selección e interacción doble entre criterios de selección. Para este nivel de análisis se testó además la homocedasticidad de la variable ambiental entre las modalidades de criterio de selección o interacción doble.

Para el análisis de normalidad se eligió la prueba de Kolmogorov-Smirnov con la modificación de Lilliefors. En aquellos casos donde el n° de muestras fue inferior a cuatro, la prueba de elección fue la de Shapiro-Wilk. La homocedasticidad fue testada con la prueba de Levene de igualdad de varianzas tomando como valor central la mediana. En todos los casos, el nivel de significación elegido fue del 5 % ($\alpha = 0,05$).

b.3. Análisis de independencia y asociación entre variables cualitativas

Sobre las tablas de contingencia construidas para las variables cualitativas, se aplicó un análisis de independencia y asociación para el estudio de las relaciones entre variables. Sólo en el caso de la experiencia de refuerzo, se analizó, además, el efecto de adicionar una tercera variable a la relación existente entre dos de ellas (paradoja de Simpson).

Para el análisis de independencia se aplicó la prueba de la Chi-cuadrado de Pearson con corrección de continuidad de Yates. En aquellos casos, donde alguna de las frecuencias observadas fue inferior al 5 %, se optó por el método de Monte Carlo a partir de 10.000 iteraciones. La asociación entre criterios fue evaluada por la V de Cramer. En todos los casos, el nivel de significación elegido fue del 5 % ($\alpha = 0,05$).

b.4. Contraste de hipótesis entre variables cuantitativas y cualitativas

De acuerdo con los resultados de normalidad y homocedasticidad, se procedió a la selección de la prueba estadística aplicable a cada contraste de hipótesis (tablas 2.6 a y b). Ante la imposibilidad de evaluar en un solo análisis el efecto de criterios de selección y sus interacciones dobles se optó por analizar cada interacción como un criterio individual. Sólo se analizaron las interacciones dobles en el estudio de la experiencia de refuerzo.

Las pruebas de elección fueron los que siguen:

- 1) Paramétricos (normalidad y homocedasticidad):
 - a) Variable respuesta o criterio de elección con dos modalidades: t de Student con varianzas iguales.
 - b) Criterio de selección o interacción doble con más de dos modalidades: ANOVA de un factor y análisis *post hoc* mediante prueba de Tuckey HSD.
- 2) No paramétricos:
 - a) Normalidad y heterocedasticidad:
 - i) Variable respuesta o criterio de elección con dos modalidades: t de Student con varianzas desiguales.
 - b) No normalidad:
 - i) Variable respuesta o criterio de elección con dos modalidades: prueba de Mann-Whitney.
 - ii) Criterio de selección o interacción doble con más de dos modalidades: prueba de suma de rangos de Kruskal - Wallis y análisis *post hoc* por el método de Dunn con corrección de Bonferroni.

Para cualquiera de los test seleccionados, el p-valor se calculó con el método de Montecarlo a partir de 10.000 iteraciones. El nivel de significación elegido fue del 5 % ($\alpha = 0,05$).

b.5. Matriz de correlaciones

Para el estudio de la relación entre variables cuantitativas, cada una de las matrices de datos se sometió a análisis de correlación de Pearson y de Spearman. Para la elección de una tipología u otra de análisis, aplicada a la relación entre dos variables, se utilizó el análisis de normalidad sobre los datos totales de las mismas. El nivel de significación elegido para considerar correlación significativa fue del 5 % ($\alpha = 0,05$).

b.6. Análisis multivariante

Para el análisis conjunto de las variables del estudio a una escala de microambiente de refuerzo se aplicó un Análisis de Componentes Principales tipo Spearman con inclusión de las variables cualitativas como variables suplementarias. Previo al análisis se realizó sobre las variables cuantitativas un estudio de multicolinealidad (tolerancia y factor de inflación de la varianza) y

matrices de similitud/disimilitud para la elección de las variables a incluir. Los valores discriminantes para la eliminación de una variable fueron una tolerancia $< 0,1$ y un factor de inflación de la varianza > 10 .

c. Software estadístico

Todos los análisis de este trabajo fueron realizados utilizando el software XLSTAT 2014.1.02, desarrollado por Addinsoft. <http://www.xlstat.com/es/> y los paquetes estadísticos del software libre R 3.0.1. <http://www.r-project.org/>

2.5. Herramientas SIG

El análisis espacial de este trabajo se basó en los datos recopilados en los siguientes visores SIG:

- Atlas Climático de Aragón (versión digital). Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. <http://anciles.aragon.es/AtlasClimatico/>
- Geovisor del Instituto Geológico y Minero de España. <http://www.igme.es/infoigme/visor/>
- IBERPIX. Instituto Geográfico Nacional. <http://www.ign.es/iberpix2/visor/>
- Sistema Español de Información de Suelos (SEIS.net). Consejo Superior de Investigaciones Científicas. <http://www.evenor-tech.com/banco/seisnet/seisnet.htm>
- Sistema de Información Territorial de Aragón (SITAR). Gobierno de Aragón. <http://sitar.aragon.es/visor/>

2.6. Protección de la información

Dado el grado de protección sobre el taxon que nos ocupa, omitiremos cualquier referencia en este trabajo a la ubicación de microambientes de refuerzo y núcleos poblacionales.

2.7. Colaboraciones y permiso

Este trabajo ha contado con la colaboración y asesoramiento del personal del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de Aragón. Para este estudio se tramitó el permiso necesario para la realización de medidas sobre la planta y toma de muestras de suelo en sus hábitats naturales.

Tabla 2.6a- Tipo de prueba estadística aplicable al contraste de hipótesis entre variables cuantitativas y cualitativas en función de la escala de trabajo. Experiencia de refuerzo

ESCALA	Criterio o interacción	RESPUESTA DE LA PLANTA ⁽¹⁾				GEOMORFOLOGÍA ⁽²⁾		PROPIEDADES DEL SUELO ⁽³⁾						COBERTURA VEGETAL ⁽⁴⁾				FAUNA/GANADO ⁽⁵⁾	
		BVP	FLR	RCL	SPV	CFI	PND	ARC	ARN	LIM	CE _{25°C}	MTO	YES	ALT	CBT	DST	ESC	DHC	DHG
Escala microambiente de refuerzo	datos totales	NP ^(a)	P	-	P	P	P	NP	P	P	P	P	NP	P	P	P	P	NP	NP
	reclutamiento	MW ^(b)	MW	-	TVD	TVI	TVD	MW	TVI	TVI	MW	MW	MW	TVD	TVI	TVI	TVI	MW	MW
	año traslado	KRW	KRW	MC	AVA	AVA	AVA	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	AVA	AVA	AVA	KRW	KRW
	costra biológica	MW	MW	CHI	TVD	TVI	TVI	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	TVI	TVI	TVI	MW	MW
	ganado	MW	MW	CHI	TVI	TVI	TVI	MW	MW	MW	MW	MW	MW	TVI	MW	TVI	TVI	MW	MW
	geoforma	KRW	KRW	MC	AVA	AVA	AVA	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	AVA	AVA	AVA	KRW	KRW
	orientación	MW	MW	CHI	TVI	TVI	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	TVI	TVD	TVI	TVI	MW	MW
	costra - ganado	KRW	KRW	MC	AVA	AVA	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	AVA	AVA	KRW	AVA	KRW	KRW
	costra - geoform	KRW	KRW	MC	KRW	KRW	AVA	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	AVA	KRW	KRW
	costra - orientac	KRW	KRW	MC	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW
	ganado - geofor	KRW	KRW	MC	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW
geoform- orient	KRW	KRW	MC	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	
Escala micrositio de refuerzo	datos totales	NP	-	-	-	NP	P	-	-	-	-	-	-	NP	NP	NP	P	NP	NP
	floración	MW	-	-	-	MW	TVD	-	-	-	-	-	-	TVD	MW	TVD	MW	MW	MW
	supervivencia	-	-	-	-	MW	TVD	-	-	-	-	-	-	MW	MW	MW	MW	MW	MW

(1).- BVP: biovolumen de planta (a escala de microambiente valor medio; en experiencias de refuerzo corregido por año de plantación); FLR: floración-fructificación (a escala de microambiente valor medio); RCL: reclutamiento; SPV: supervivencia. (2).- CFI: coeficiente de insolación; PND: pendiente. (3). Sólo escala microambiente; ARC: arcilla; ARN: arena; CE: conductividad eléctrica; LIM: limo; MTO: materia orgánica; YES: yeso. (4).- ALT: altura competidoras; CBT: cobertura total; DST: distancia competidoras; ESC: anchura accesible a la escorrentía. (5).- DHC: densidad heces de cabra; DHG: densidad heces de ganado.

(a).- P: paramétrico; NP: no paramétrico. (b).- AVA: análisis de la varianza; CHI: chi-cuadrado de Pearson; KRW: prueba de Kruskal-Wallis; MC: Monte Carlo (10.000 iteraciones); MW: prueba de Mann-Whitney; TVI: t de Student con varianzas iguales; TVD: t de Student con varianzas no iguales; -: no aplicable o no estudiado.

Tabla 2.6b- Tipo de test estadístico aplicable al contraste de hipótesis entre variables cuantitativas y cualitativas en función de la escala de trabajo. Núcleos poblacionales

ESCALA	Criterio	RESPUESTA DE LA PLANTA ⁽¹⁾				GEOMORFOLOGÍA ⁽²⁾		PROPIEDADES DEL SUELO ⁽³⁾						COBERTURA VEGETAL ⁽⁴⁾				FAUNA/GANADO ⁽⁵⁾	
		BVP	FLR	DNS	DSM	CFI	PND	ARC	ARN	LIM	CE _{25°C}	MTO	YES	ALT	CBT	DST	ESC	DHC	DHG
Escala microambiente natural	datos totales	NP ^(a)	P	P	P	P	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	P	P	NP	P	NP	NP
	ganado	MW	MW	TVI	TVD	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	TVD	TVD	MW	TVD	MW	-
	geoforma	KRW	KRW	AVA	AVA	KRW	AVA	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	AVA	AVA	KRW	AVA	KRW	KRW
	núcleo poblac	KRW	KRW	AVA	AVA	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	KRW	AVA	KRW	AVA	AVA	KRW	KRW
	orientación	MW	TVI	TVI	TVD	TVI	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	TVD	TVI	MW	TVI	MW	MW
Escala microsítio natural	datos totales	NP	NP	NP	NP	NP	NP	-	-	-	-	-	-	NP	NP	NP	NP	NP	NP
	floración	MW	-	-	-	MW	MW	-	-	-	-	-	-	MW	MW	MW	MW	MW	MW
	reclutamiento reciente	-	-	-	-	MW	MW	-	-	-	-	-	-	MW	MW	MW	MW	MW	MW

(1).- BVP: biovolumen de planta (a escala de microambiente valor medio); FLR: floración-fructificación (a escala de microambiente valor medio); DNS: densidad de plantas; DSM: distancia media entre plantas. (2).- CFI: coeficiente de insolación; PND: pendiente. (3). Sólo escala microambiente; ARC: arcilla; ARN: arena; CE: conductividad eléctrica; LIM: limo; MTO: materia orgánica; YES: yeso. (4).- ALT: altura competidoras; CBT: cobertura total; DST: distancia competidoras; ESC: anchura accesible a la escorrentía. (5).- DHC: densidad heces de cabra; DHG: densidad heces de ganado.

(a).- P: paramétrico; NP: no paramétrico. (b).- AVA: análisis de la varianza; KRW: prueba de Kruskal-Wallis; MW: prueba de Mann-Whitney; TVI: t de Student con varianzas iguales; TVD: t de Student con varianzas no iguales (test de Welch); -: no aplicable o no estudiado.



**Universidad
Zaragoza**



**Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado en Ciencias Ambientales



**Bases ecológicas para el refuerzo del crujiente (*Vella pseudocytisus* subsp. *pau*
Gómez-Campo) en el Valle del Alfambra (Teruel)**

3. RESULTADOS

3. RESULTADOS

Nuestro objetivo es contribuir a la experiencia de refuerzo del Gobierno de Aragón en el Alfambra con la elaboración de unas bases ecológicas para el traslado del crujiente en el Valle. Para ello, es necesario identificar la respuesta de los plantones ante los cambios en las condiciones del ambiente de refuerzo, con el objeto de seleccionar las más favorables.

Sin embargo, antes de evaluar dicha respuesta, consideramos necesario abordar unas cuestiones previas que nos informen de la validez y representatividad de nuestros resultados. A este respecto, nos interesa conocer:

1. el grado de independencia entre criterios de selección a la hora de evaluar su efecto sobre la respuesta del crujiente trasladado.
2. si se está cubriendo un rango importante en los filtros cuantitativos que condicionan la respuesta de los plantones, y en qué medida dichos filtros son representativos de los existentes en el Valle.
3. si los cambios en los diferentes filtros ambientales evaluados generan verdaderas diferencias en la respuesta de plantones y plantaciones.

Intentaremos dar respuesta a estas cuestiones en el siguiente apartado.

3.1. Experiencia de refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra. Análisis previos

3.1.1. Análisis de independencia y asociación entre criterios de selección

La tabla A.1 del anexo a este trabajo recoge las modalidades de criterio de selección presentes en cada uno de los microambientes muestreados. La frecuencia de aparición en el muestreo de dichas modalidades (y de las interacciones dobles) se muestra en la tabla A.3.

Un primer análisis de estos datos señala que nuestro muestreo resulta desequilibrado con mayor representación de microambientes en algunas de las modalidades de los criterios de selección o de sus interacciones dobles. Este resultado puede condicionar la interpretación de su efecto simple sobre la respuesta del crujiente. Ante ello, realizamos un análisis de independencia y asociación entre criterios cuyos resultados se exponen en la tabla A.4 del anexo a este trabajo.

Las relaciones detectadas sugieren la posibilidad de explicar los efectos de la costra biológica o del paso de ganado a partir de su efecto simple. Sí se detectan grados de asociación elevados entre costra biológica y ganado en orientaciones a umbría (66,1 %), entre costra biológica y geoforma en la misma orientación (75,6 %), y entre costra biológica y orientación cuando el microambiente se ubica en ladera (61,7 %).

Para los criterios geoforma y orientación, el análisis muestra un elevado grado de dependencia y asociación entre ellos, y sólo en los microambientes con costra biológica o en los microambientes

sin paso de ganado, su efecto puede considerarse independiente. Este resultado dificultará la atribución de los comportamientos observados a los efectos simples de dichos criterios que deberán ser matizados a través de su interacción.

En todo caso, ante estos resultados, y dada la elevada variabilidad detectada en el estudio, optamos por analizar todas las interacciones dobles entre criterios de selección para una mejor interpretación de sus efectos.

3.1.2. Rangos de las variables ambientales y representatividad en el Valle

A través de la estadística descriptiva (tabla A.5), se realizó un breve análisis de los rangos representados en los filtros ambientales evaluadas. El resultado de este análisis fue cotejado con las condiciones descritas para el área de trabajo (ver apartado 2.1) para valorar, de esta forma, su representatividad en el Alfambra.

3.1.2.1. Litología

Las litologías presentes y su frecuencia en los microambientes de refuerzo muestreados se recogen en la tabla 3.1. Aunque la litología no ha sido incluida entre los criterios evaluados en este trabajo, sí creemos necesaria su descripción, al ser considerada por la bibliografía como un importante factor predictivo de la distribución del crujiendo (ver apartado 1.1.4.2).

Tabla 3.1. Distribución de microambientes de refuerzo entre las litologías representadas en el estudio. Experiencia de refuerzo	
Material litológico (MAGNA 1:50.000) ⁽¹⁾	Nº microambientes
Arcillas, limolitas y conglomerados rojos (Terciario)	7
Arcillas y margas varioladas. Yesos (Triásico)	2
Calizas y margas (Terciario)	6
Calizas y margas blancas (Terciario)	2
Calizas y margas con algún nivel de limolitas rojas (Terciario)	3
Conglomerados, arenas y limos. Glacis y abanicos (Cuaternario)	5
Conglomerados y limolitas rojas (Terciario)	2
Dolomías, calizas dolomíticas y margas a techo (Triásico)	1
Margas yesíferas y calizas arcillosas (Terciario)	1
Yesos (Terciario)	13

(1).- Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Instituto Geográfico y Minero de España.

Los microambientes sobre yesos son los mayoritarios en el muestreo, con baja representación de algunas litologías como las margas yesíferas y calizas arcillosas (material muy representado en los núcleos poblacionales del Valle). Predominan los materiales terciarios sobre los cuaternarios (estos últimos conglomerados en algunos microambientes limítrofes al cauce actual), con una pequeña representación de materiales no neógenos como las arcillas y margas varioladas del Triásico.

Consideramos que esta representación de litologías en el muestreo recoge de forma correcta la heterogeneidad de materiales existente en el Valle (ver apartado 2.1.3).

3.1.2.2. Geomorfología

Coeficiente de insolación y pendiente son las variables cuantitativas seleccionadas para la caracterización geomorfológica de nuestros microambientes y micrositos de refuerzo. Aun con lo desequilibrado del muestreo para geoforma y orientación, para estas variables, y a cualquier escala de trabajo, es posible afirmar que los rangos cubiertos por los datos son amplios, con una buena dispersión de los valores en el mismo y no muy elevada variabilidad (ver tabla A.5).

3.1.2.3. Suelo

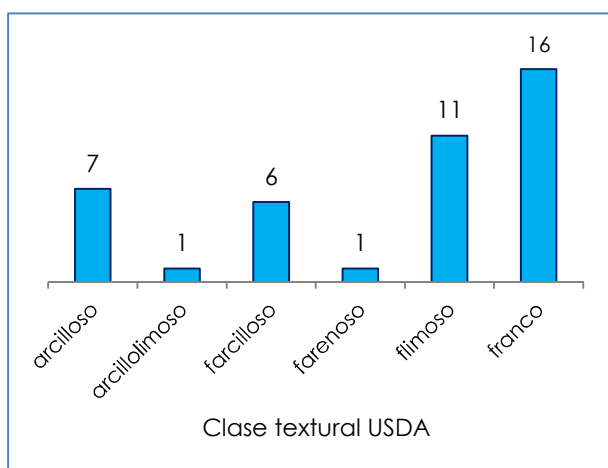


Figura 3.1. Distribución de microambientes en función de la clase textural del suelo.

La aproximación a las propiedades del suelo en la experiencia de refuerzo únicamente ha podido ser abordada a una escala de microambiente de refuerzo. Predominan en ellos los suelos de tipología franca (figura 3.1) con mayor representación de las texturas medias y finas. Se trata en todo caso de suelos neutros o ligeramente alcalinos, con muy poca oscilación entre sus valores de pH (7,8 - 8,8). La medida de conductividad eléctrica señala salinidades entre ligeras y moderadas con predominio de las primeras (mediana = 1,00 dS/m).

Aunque el rango de contenido en materia orgánica es amplio, predominan los suelos de naturaleza mineral, en su mayoría poco evolucionados (mediana = 1,46 g materia orgánica oxidable/100 g de suelo). Salvo en el microambiente VZ1-V1, el yeso está siempre presente en los suelos de nuestro estudio, mayoritariamente con contenido bajo (tabla 3.2), pero estando representados otros suelos, donde el contenido en yeso llega a superar el 90,0 %.

Tabla 3.2. Distribución de microambientes de refuerzo en función del contenido en yeso del suelo.

Clasificación del contenido en yeso ⁽¹⁾	Contenido en yeso (%)	Nº microambientes
Ligeramente gípsico	0 - 5	25
Moderadamente gípsico	5 - 15	2
Fuertemente gípsico	15 - 60	7
Extremadamente gípsico	> 60	8

(1) F.A.O. (2009)

Cuando se comparan las propiedades del suelo de nuestros microambientes de refuerzo con las descritas para el área de estudio creemos que nuestro muestreo recoge la variabilidad de suelos existentes en el Valle (ver apartado 2.1.4).

3.1.2.4. Cobertura vegetal

Las variables seleccionadas para la medida de las condiciones de cobertura vegetal en los microambientes y microsítios de refuerzo han intentado evaluar no sólo la cobertura total existente sino también la configuración espacial de la misma a través de la medida del espacio disponible para la planta trasladada (distancia a competidoras), su accesibilidad al agua en superficie (anchura accesible a la escorrentía) o su disponibilidad de luz (altura de competidoras).

En el caso de las variables cobertura total y altura de competidoras, el análisis descriptivo señala intervalos estrechos, algo mayores a escala de microsítio, y con una mayor concentración de datos en los valores más bajos del rango (ver tabla A.5). En el resto de variables de cobertura, los datos ocupan casi todo el intervalo posible para la variable, especialmente a escala de microsítio de refuerzo, con una buena dispersión de las medidas y baja variabilidad.

Estas tendencias en los datos recolectados puede deberse a la propia configuración de la vegetación natural en el Valle del Alfambra, donde la geomorfología, la naturaleza de los suelos y el uso antrópico del territorio han conformado una estructura de la vegetación abierta con predominio de manchas de matorral creciendo con baja densidad y claros con escasa vegetación (ver figura 2.3). Pero también participa la selección de los microambientes y microsítios de refuerzo por los responsables del Gobierno de Aragón, que tienden a favorecer condiciones de baja cobertura vegetal. En todo caso, consideramos que estos datos se ajustan a las características de la vegetación en el Valle y permiten evaluar de forma realista el papel de la cobertura vegetal en el establecimiento, desarrollo y reclutamiento del crujiente trasladado.

3.1.2.5. Interacción con cabra montesa y ganado

Los datos de densidad de heces de cabra o ganado muestran rangos muy amplios a cualquiera de las escalas de trabajo, pero también, en ambos casos, los datos se concentran en la parte inferior del intervalo ya que son muchos los microsítios y microambientes donde no se ha detectado ganado o cabra (medianas = 0 heces/m²). La explicación podría encontrarse en la tendencia de la experiencia de refuerzo a la selección de ambientes poco pastoreados. Ello no excluye que se hayan testado microambientes con elevada presencia de ganado o cabra para evaluar la respuesta de los plantones ante estas condiciones (ver tabla A.5).

3.1.3. Caracterización general de la respuesta del crujiente al traslado y relación entre variables respuesta

En este apartado se va a realizar una caracterización general de la respuesta de plantaciones y plantones, cuyos resultados se recogen en la tabla A.5 del anexo a este trabajo. Se aprovechará también para exponer las relaciones existentes entre las variables respuesta de este estudio a ambas escalas analizadas (tablas A.8 y A.9).

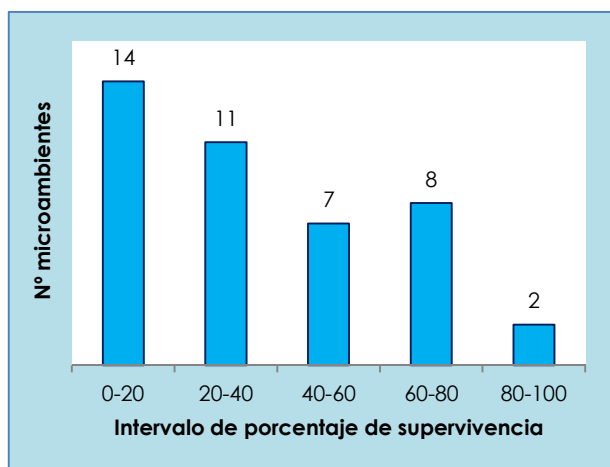


Fig. 3.2. Distribución de microambientes en función de intervalo de porcentaje de supervivencia.

La supervivencia de las plantaciones oscila entre el 0,0 y el 88,0 %, con una buena representación de microambientes en el intervalo, aunque algo desplazada hacia los porcentajes más bajos (figura 3.2). El muestreo incluye cuatro microambientes donde la plantación se ha extinguido (VB-7a, VB-7b, VB-8 y VJ-V1a) y un grupo de microambientes, con valores de supervivencia muy interesantes para experiencias de este tipo, por encima del 80 % (VF-V1a y VI-V1).

En cuanto al desarrollo de los plantones, los biovolúmenes alcanzados por los supervivientes

presentan una alta variabilidad a cualquiera de las escalas de trabajo, con algunos ejemplares de gran tamaño, pero predominando los de bajo crecimiento anual (mediana = 38,1 cm³/año).

Un mayor biovolumen medio del plantón incrementa las posibilidades de supervivencia de la plantación (rho de Spearman = 0,51; n = 42; p < 0,050). De igual forma, la probabilidad de floración se ve favorecida por un mayor biovolumen (U de Mann-Whitney = 4.669,5; n = 200; p < 0,001). Esta última relación explica el porqué los valores de floración de nuestras plantaciones se concentran en la parte inferior del rango representado (mediana = 22,2 %).

Por último, el reclutamiento está poco presente en el estudio, con sólo 9 microambientes donde se han detectado plántulas o hijas durante el muestreo o en los seguimientos anuales. La lógica nos hace pensar que el reclutamiento se verá favorecido por todos aquellos factores ambientales que permitan el incremento del biovolumen medio anual de la plantación y, por tanto, su floración. El análisis estadístico confirma estas hipótesis para el crujiente trasladado (reclutamiento vs. biovolumen anual: U de Mann-Whitney = 24,0; n = 42; p < 0,001; reclutamiento vs. floración: U de Mann-Whitney = 31,0; n = 42; p < 0,001).

3.1.3.1. Efecto simple del año de traslado sobre el establecimiento de las plantaciones

La respuesta de las plantaciones al año de traslado, salvo para su reclutamiento, se recoge en la tabla A.6 del anexo a este trabajo. Este análisis también se apoya en las fichas de seguimiento elaboradas para cada uno de los microambientes de refuerzo (datos no mostrados).

Los datos que nos aportaban los seguimientos anuales para la evolución de la supervivencia de las plantaciones, nos llevó a la hipótesis de que tres años desde el traslado era un periodo de tiempo suficiente para que el plantón se hubiera establecido en las condiciones del microambiente de refuerzo. Estos comportamientos se veían apoyados por el hecho de que todas

las plantaciones extintas del estudio lo estaban ya transcurrido este periodo de tiempo de evolución en campo.

La prueba estadística aplicada para evaluar el efecto del año de plantación sobre la variable supervivencia parece confirmar esta hipótesis. No se detecta efecto significativo del año de traslado sobre el establecimiento de las plantaciones. Además, se observan valores medios de supervivencia más altos en los primeros años del periodo de traslado estudiado (figura 3.3), tendencia que se opone a la expuesta en la bibliografía para experiencias de este tipo (Godefroid y col., 2011), donde es normal que periodos de tiempo más amplios desde el traslado supongan descensos más elevados del porcentaje de supervivientes.

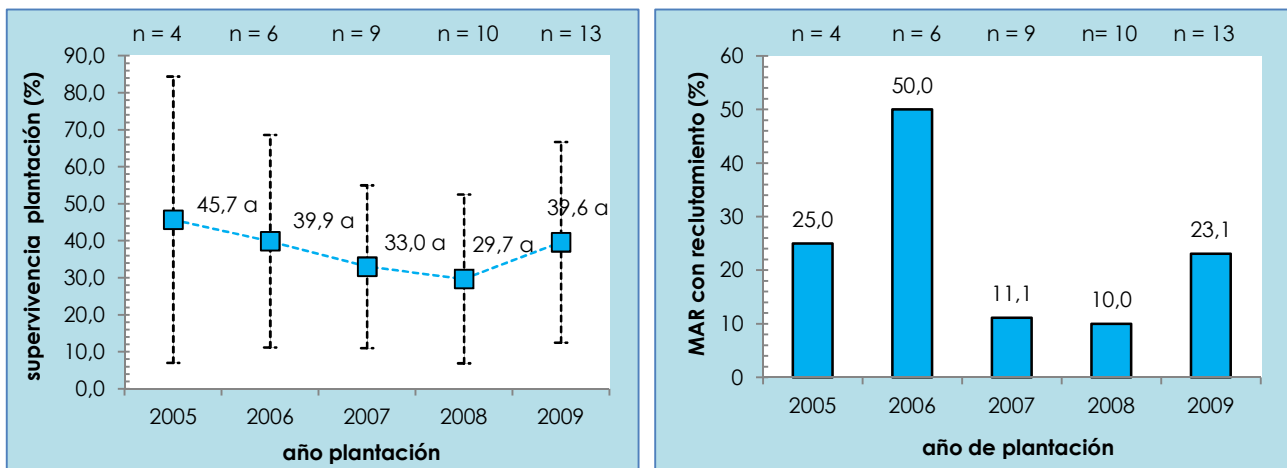


Figura 3.3. Medias de la variable supervivencia de la plantación (%) en función de modalidad del factor año de plantación con barras de desviación típica. Letras diferentes tras la media denotan efecto significativo al 95 % en la prueba de Tuckey HSD (izquierda). Porcentaje de reclutamiento detectado en los microambientes de refuerzo (MAR) de cada modalidad del factor año de plantación (derecha).

El repunte de supervivencia para las plantaciones del año 2009 podría hacernos dudar del total establecimiento de las plantaciones de este año. Sin embargo, el resultado observado para su reclutamiento parece ir en esta dirección (figura 3.3). De nuevo, la prueba estadística no detecta diferencias entre años de traslado, presentando los microambientes del año 2009 porcentajes de reclutamiento muy similares a los de 2005. Este comportamiento señala que si la planta supera los filtros del microambiente, el reclutamiento puede aparecer ya en una fase temprana de desarrollo de la plantación.

Ambos resultados parecen validar nuestro filtro de un mínimo de tres años de evolución en campo para la inclusión de la plantación en el muestreo. Consideramos que tras tres años desde el traslado, los plantones ya muestran su respuesta ante los filtros abióticos y bióticos del microambiente de refuerzo, desarrollándose favorablemente en algunos de los casos, sólo estableciéndose en otros o muriendo. Este comportamiento da mayor representatividad a los resultados obtenidos en el resto del estudio.

3.2. Experiencia de refuerzo del crujiente en el Valle del Alfambra. Respuesta del crujiente al traslado

3.2.1. Tendencias generales

Antes de abordar los contrastes de las hipótesis planteadas en este trabajo, se optó por integrar toda la información recopilada a escala de microambiente de refuerzo (la única con datos de suelo y reclutamiento) en un Análisis de Componentes Principales (en adelante ACP). No se incluyó en el ACP el criterio paso de ganado, al encontrarse cuantificado a través de la densidad media de sus heces en el microambiente. De igual forma, los análisis previos de tolerancia y similitud/disimilitud descartaron la inclusión de las variables porcentaje de arena y porcentaje de limo por su baja tolerancia y elevado valor de inflación de la varianza (datos no mostrados).

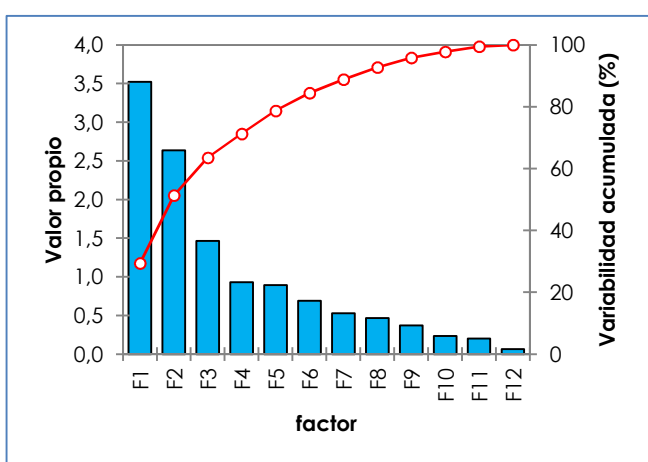


Figura 3.4. Valor propio y porcentaje de variabilidad acumulada para cada uno de los factores generado en el Análisis de Componentes Principales. Escala microambiente de refuerzo.

El ACP señala hasta 12 factores para explicar el total de la variabilidad observada (figura 3.4). De ellos, sólo los tres primeros superan el valor propio de 1, siendo los seleccionados para incluir en el análisis (regla de Kaiser) (variabilidad explicada: 63,5 %). A esta explicación contribuyen especialmente los factores F1 (29,4 %) y F2 (22,0 %) con menor relevancia del factor F3 (12,2 %).

La contribución de las variables ambientales en el comportamiento asumido por estos tres factores se recoge en la tabla 3.3. Su análisis indica que los filtros cobertura vegetal (F1) y suelo (F2) son los que explican la mayor variabilidad en los microambientes de refuerzo y, por ende, en los microsítios elegidos para el traslado de los plantones. A esta posición preponderante en el ACP podría contribuir la elevada correlación detectada entre las variables de cobertura, entre las variables de suelo, y entre materia orgánica y cobertura total (tabla A.8). Geomorfología e interacción con fauna y ganado parecen tener, en principio, una participación menor al aparecer en el factor F3.

La figura 3.5 muestra la dispersión de las variables respuesta y ambientales y de los criterios de selección en el espacio bidimensional generado por los factores F1 y F2. El análisis gráfico parece señalar diferente implicación de los filtros ambientales en las fases en las que se ha dividido la respuesta de las plantaciones.

Así, la supervivencia (establecimiento) responde fundamentalmente a los filtros bióticos del microambiente de traslado (cobertura vegetal y ganado), los cuales parecen condicionados en mayor medida por la geoforma y orientación ocupada por el microambiente de refuerzo. Suelo,

pendiente e insolación muestran menor incidencia sobre esta variable respuesta. Por contra, desarrollo del plantón (biovolumen y floración) y reclutamiento de las plantaciones dependen en mayor medida de los filtros abióticos del ambiente, y en especial, de la aparición de costra biológica, la cual, parece totalmente condicionada por la naturaleza del suelo sobre la que se desarrolla la plantación. Estas tendencias serán contrastadas en el siguiente apartado.

Tabla 3.3. Contribución de las variables cuantitativas (en porcentaje) a la explicación de la variabilidad asumida por los factores F1, F2 y F3 del Análisis de Componentes Principales (1).				
Filtro ambiental	Variable	Contribución al factor (%)		
		F1	F2	F3
Geomorfología	Coefficiente insolación	0,1	5,7	29,0
	Pendiente	2,8	4,4	28,6
Suelo	Arcilla	0,1	28,7	1,5
	CE _{25°C}	2,8	23,1	2,2
	Materia orgánica	13,7	0,2	0,1
	Yeso	1,9	22,9	1,2
Competencia vegetal	Altura competidoras	16,3	0,0	10,1
	Anchura accesible a escorrentía	19,1	3,4	3,0
	Cobertura total	23,0	1,2	0,1
	Distancia competidoras	13,8	5,0	0,1
Interacción fauna/ganado	Densidad heces cabra	3,4	5,5	9,9
	Densidad heces ganado	3,1	0,0	14,3

(1).- las casillas sombreadas muestran aquellas variables con mayor contribución a la explicación del factor

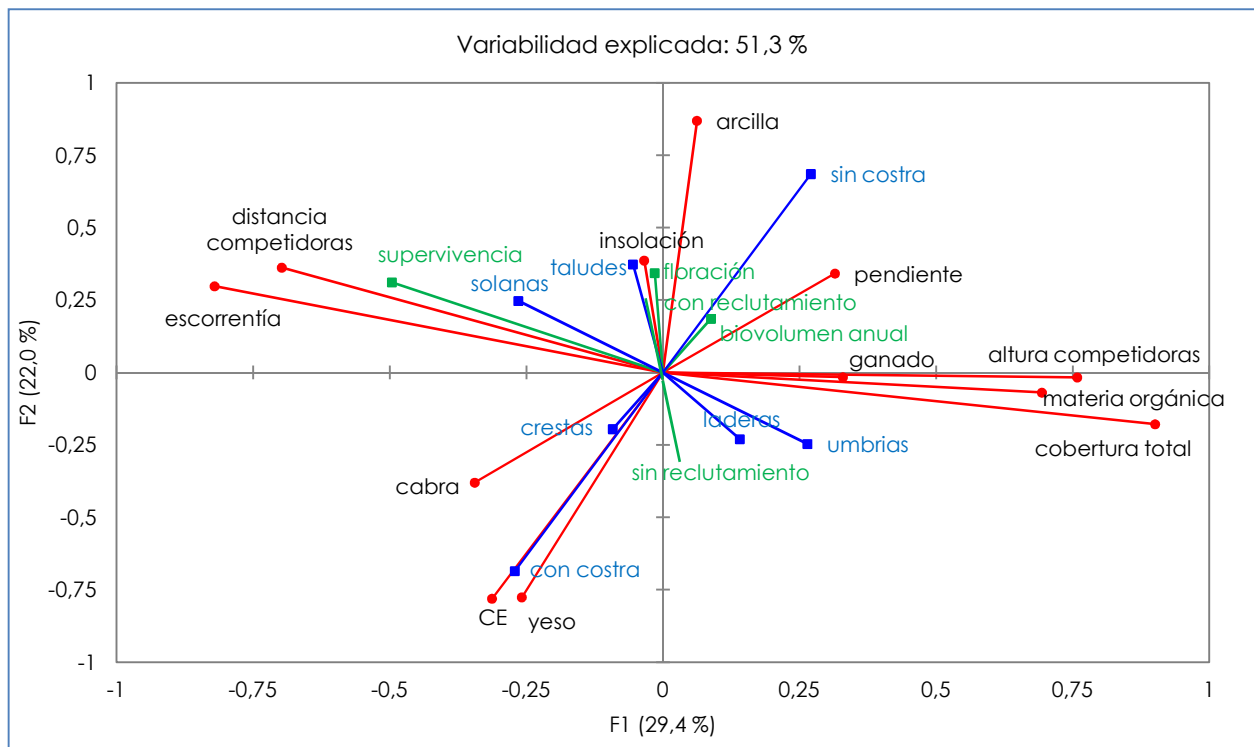


Figura 3.5. Dispersión de variables ambientales (líneas rojas), variables respuesta (líneas verdes) y criterios de selección (líneas azules) en el espacio bidimensional generado por los factores F1 y F2 del ACP.

Tabla 3.4. Significación estadística (p-valor) del contraste de hipótesis entre modalidades de criterio de selección o interacciones dobles para las variables cuantitativas en función de la escala de trabajo. Experiencia de refuerzo

Escala de análisis	Criterio o interacción	Condición ambiental																	
		Respuesta de la planta ⁽¹⁾				Geomorfología ⁽²⁾		Propiedades del suelo ⁽³⁾						Cobertura vegetal ⁽⁴⁾				Fauna/ganado ⁽⁵⁾	
		BVP	FLR	RCL	SPV	CFI	PND	ARC	ARN	LIM	CE _{25°C}	MTO	YES	ALT	CBT	DST	ESC	DHC	DHG
Escala microambiente de refuerzo	Reclutamiento	0,00	0,00	-	0,00	0,13	0,09	0,07	0,91	0,12	0,18	0,71	0,08	0,34	0,95	0,03	0,83	0,26	0,03
	Año traslado	0,04	0,00	0,11	0,82	0,19	0,56	0,23	0,25	0,38	0,09	0,72	0,11	0,86	0,65	0,64	0,46	0,79	0,10
	Costra biológica	0,00	0,00	0,08	0,11	0,22	0,09	0,00	0,12	0,00	0,00	0,11	0,00	0,12	0,26	0,28	0,60	0,01	0,36
	Ganado	0,92	0,99	0,90	0,86	0,44	0,46	0,36	0,15	0,49	0,10	0,18	0,20	0,08	0,23	0,09	0,16	0,25	-
	Geoforma	0,08	0,11	0,37	0,03	0,06	0,00	0,14	0,21	0,41	0,98	0,80	0,03	0,56	0,51	0,49	0,10	0,53	0,04
	Orientación	0,48	0,18	0,69	0,02	0,00	0,19	0,36	0,19	0,31	0,23	0,80	0,59	0,43	0,03	0,04	0,02	0,20	0,04
	Costra - ganado	0,00	0,02	0,13	0,04	0,60	0,11	0,00	0,40	0,00	0,00	0,49	0,00	0,11	0,17	0,61	0,24	0,11	-
	Costra - geof	0,00	0,01	0,18	0,03	0,22	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	0,93	0,00	0,42	0,36	0,91	0,18	0,15	0,34
	Costra - orient	0,01	0,01	0,11	0,06	0,00	0,61	0,00	0,49	0,00	0,00	0,67	0,00	0,65	0,29	0,52	0,26	0,10	0,25
	Ganado - geof	0,23	0,30	0,13	0,06	0,31	0,00	0,32	0,42	0,43	0,66	0,94	0,05	0,73	0,78	0,56	0,29	0,14	-
Geof - orient	0,07	0,01	0,33	0,04	0,00	0,00	0,06	0,18	0,15	0,83	0,96	0,02	0,85	0,49	0,46	0,07	0,27	0,16	
Escala micrositio de refuerzo	Floración	0,00	-	-	-	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	0,21	0,06	0,02	0,00	0,12	0,10
	Supervivencia	-	-	-	-	0,03	0,58	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00

(1).- BVP: biovolumen de planta (a escala de microambiente valor medio; en experiencias de refuerzo corregido por año de plantación); FLR: floración-fructificación (a escala de microambiente valor medio); RCL: reclutamiento; SPV: supervivencia. (2).- CFI: coeficiente de insolación; PND: pendiente. (3).- Sólo escala microambiente; ARC: arcilla; ARN: arena; CE: conductividad eléctrica; LIM: limo; MTO: materia orgánica; YES: yeso. (4).- ALT: altura competidoras; CBT: cobertura total; DST: distancia competidoras; ESC: anchura accesible a la escorrentía. (5).- DHC: densidad heces de cabra; DHG: densidad heces de ganado.

Las casillas sombreadas señalan los contrastes significativos al 95 % (p-valor < 0,05).

3.2.2. Contrastes de hipótesis

El p-valor de todos los contrastes de hipótesis planteados en este estudio para evaluar el efecto de las variables cualitativas y de sus interacciones dobles se recogen en la tabla 3.4. El contraste entre variables cuantitativas se abordará a partir de los resultados de las matrices de correlación que para la escala de micrositio y microambiente de refuerzo se recogen en las tablas A.8 y A.9 del anexo a este trabajo. Además, la información generada para evaluar el efecto de los criterios de selección sobre las variables cuantitativas del estudio se recoge en las tablas A.10 a A.15.

Toda esta información será utilizada para valorar el efecto de las condiciones ambientales sobre la respuesta del crujiente trasladado en cada una de las fases en las que hemos dividido el ciclo iniciado tras la introducción. Al establecimiento de plántones y plantaciones se dedica el siguiente apartado.

3.2.2.1. Establecimiento del crujiente en el ambiente de traslado

La información generada para evaluar la respuesta en la supervivencia de los crujientes trasladados a los cambios en los factores ambientales del estudio, se recogen en las tablas A.6 y A.7 (escala microambiente) del anexo a este trabajo. La tabla 3.5 recoge dicha información en nuestros micrositios de refuerzo.

Tabla 3.5. Estadísticos y significación de los contrastes de hipótesis para las variables ambientales del estudio en función de modalidad de la variable supervivencia de la planta. Escala micrositio de refuerzo							
Filtro ambiental	Variable ambiental	Variable supervivencia de la planta					
		Modalidad extinta			Modalidad superviviente		
		Media ⁽¹⁾	s_{n-1}	Mediana	Media	s_{n-1}	Mediana
Geomorfología	Coefficiente insolación	1,007 a	0,226	1,050	1,053 b	0,206	1,070
	Pendiente (°)	16,4 a	8,4	16,0	16,8 a	9,7	16,1
Cobertura vegetal	Anchura accesible a la escorrentía (m)	0,44 a	0,26	0,41	0,62 b	0,25	0,62
	Altura competidoras (cm)	15,3 b	7,7	14,2	12,2 a	7,2	11,6
	Cobertura total (%)	16,8 b	12,4	13,6	10,6 a	10,3	8,1
	Distancia competidoras (cm)	37,5 a	13,8	35,8	44,4 b	14,7	44,6
Interacción con fauna/ganado	Densidad heces de cabra (heces/m ²)	2,4 a	10,3	0,0	3,5 a	14,7	0,0
	Densidad heces ganado (heces/m ²)	8,2 b	16,0	1,0	3,1 a	6,5	0,0

(1).- Para cada variable ambiental, letras diferentes tras la media de las modalidades de la variable supervivencia denotan efecto significativo al 95 % en la prueba estadística aplicable.

3.2.2.1.1. Papel de la cobertura vegetal en el establecimiento

El ACP señala al grado de cobertura vegetal como uno de los filtros ambientales más importantes a superar por el plantón para su supervivencia. Nuestros análisis muestran que el establecimiento

se ve favorecido por menores coberturas en el ambiente de traslado, confirmando las hipótesis ecológicas planteadas para este grupo de variables.

Una menor cobertura total (U de Mann-Whitney = 13.669,5; n = 404; $p < 0,001$), una mayor anchura accesible a la escorrentía (U de Mann-Whitney = 28.320,0; n = 404; $p < 0,001$), una menor altura de competidoras (U de Mann-Whitney = 28.320,0; n = 404; $p < 0,001$), y una mayor distancia a competidoras (U de Mann-Whitney = 26.007,5; n = 404; $p < 0,001$) son las condiciones que favorecen supervivencias más altas de los crujientes trasladados.

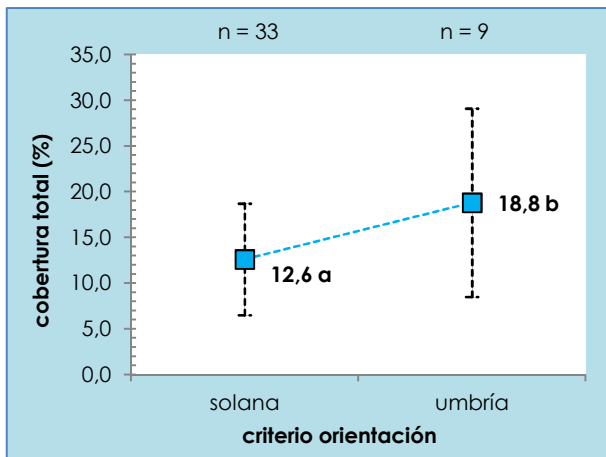


Figura 3.6. Medias de la variable cobertura total (%) en función de modalidad del criterio orientación con barras de desviación típica. Letras diferentes tras la media denotan efecto significativo al 95 % en la t de Student.

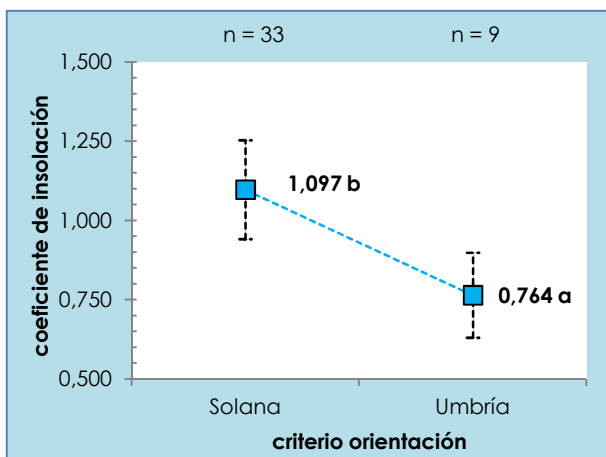


Figura 3.7. Medias de la variable insolación en función de modalidad del criterio orientación con barras de desviación típica. Letras diferentes tras la media denotan efecto significativo al 95 % en la t de Student.

¿Dónde predominan estas condiciones de baja cobertura vegetal en nuestro estudio?

1.- en las solanas, donde se detectan valores más bajos de cobertura total (t de Student = 2,8; n = 42; $p < 0,050$) (figura 3.6) y mayores de anchura accesible a la escorrentía (t de Student = -2,0; n = 42; $p < 0,050$), y distancia a competidoras (t de Student = -1,7; n = 42; $p < 0,050$).

2.- En microambientes con mayor insolación, dada la correlación detectada entre coeficiente de insolación y cobertura total (coeficiente de correlación de Pearson = -0,332; n = 42; $p < 0,050$). Estas condiciones de mayor insolación, a las que también responde positivamente el crujiente trasladado (U de Mann-Whitney = 22.588,5; n = 404; $p < 0,050$), se asocian, de nuevo, en nuestro estudio con las orientaciones a solana (t de Student = -5,9; n = 42; $p < 0,001$) (figura 3.7).

3.- en suelos con menor materia orgánica, al resultar significativas las correlaciones de dicho contenido con la anchura accesible a la escorrentía (coeficiente correlación de Pearson = -0,458; n = 42; $p < 0,010$), la cobertura total (coeficiente correlación de Pearson = 0,402; n = 42; $p < 0,010$) y la distancia a competidoras (coeficiente correlación de Pearson = -0,437; n = 42; $p < 0,010$). Este efecto de materia orgánica

resulta independiente de criterio de selección o interacción doble (tabla A.12).

Cabe señalar que ni el criterio costra biológica, ni el ganado muestran efecto sobre el valor de cobertura vegetal (ver tablas 3.4 y A.13 y A.14), aunque el ACP si parece asociar a los microambientes con costra con valores más bajos de cobertura.

3.2.2.1.2. Papel del ganado en el establecimiento

El ACP también muestra un papel importante del ganado en el establecimiento de los plantones. Una mayor densidad de heces de ganado supone una menor supervivencia del crujiente trasladado (U de Mann-Whitney = 17.332,0; n = 404; $p < 0,010$), aceptándose nuestra hipótesis ecológica. Frente al ganado, la densidad de heces de cabra no muestra efectos significativos sobre el establecimiento de los plantones (ver tabla 3.5).

A respecto del pastoreo, conviene matizar que cuando la aproximación al ganado es cualitativa (criterio paso de ganado), no llega a ser detectado efecto significativo sobre la supervivencia de las plantaciones (aunque la estadística descriptiva si muestra supervivencias menores cuando el ganado está presente, ver tabla A.6). Este resultado señalaría que más que la evaluación de existencia o no de ganado lo importante puede ser valorar la densidad del mismo.

Nuestros datos señalan un papel importante de los criterios geoforma y orientación a la hora de informar sobre el nivel de pastoreo a los que se ven sometidas sus modalidades. Son detectadas mayores densidades de heces de ganado en umbría (U de Mann-Whitney = 205,0; n = 42; $p < 0,050$) y sobre ladera (K de Kruskal-Wallis = 5,9; n = 42; $p < 0,050$) (figura 3.8).

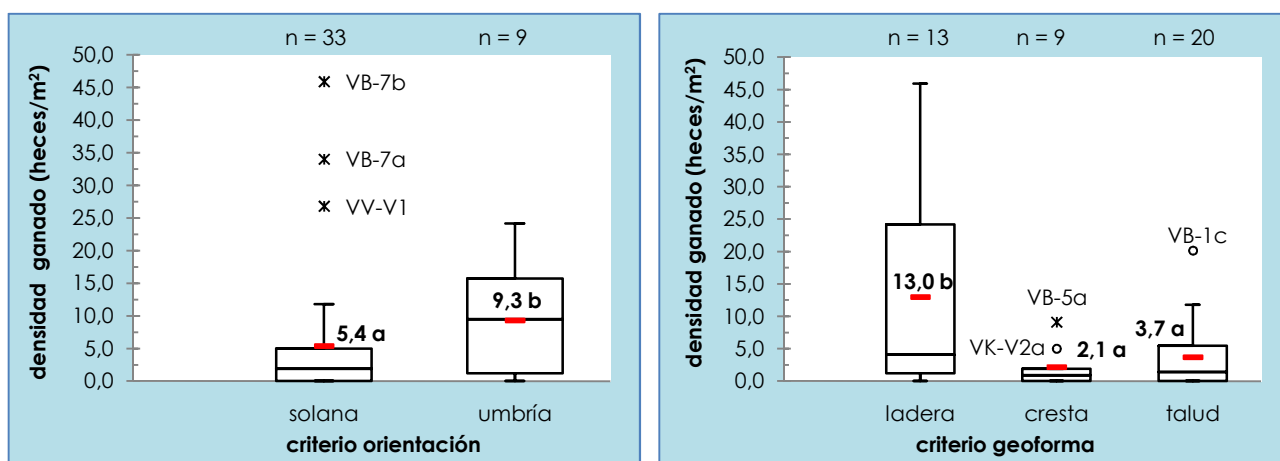


Figura 3.8. Box-plot para la variable densidad de heces de ganado (heces/m²) en función de modalidad del criterio orientación (izquierda). Box-plot para la variable densidad de heces de ganado (heces/m²) en función de modalidad del criterio geoforma (derecha). Los asteriscos y círculos señalan microambientes de refuerzo con valores atípicos extremos y leves, respectivamente. Los valores en negrita representan la media para cada modalidad del criterio. Letras diferentes tras la media denotan efecto significativo al 95 % en la prueba de: Mann-Whitney (izquierda), Dunn con corrección de Bonferroni (derecha).

La menor cobertura vegetal, el mayor nivel de insolación y la menor presión del ganado en solana estarían explicando la mayor probabilidad de supervivencia de las plantaciones introducidas en esta orientación (t de Student = 2,1; $n = 42$; $p < 0,050$) (figura 3.9), confirmando nuestra hipótesis de partida. De igual forma, la mayor presión de ganado en las laderas justificaría el peor comportamiento de los plantones en esta geoforma (F de Snedecor = 3,8; $n = 42$; $p < 0,050$) (figura 3.9). Sin embargo, estos resultados deben ser matizados. El desequilibrio observado tras el muestreo (ver tabla A.3) señala que crestas y taludes se orientan total o mayoritariamente a solana, mientras que las umbrías están principalmente representadas en ladera. Ello dificulta la atribución de un mejor o peor establecimiento a una de las geoformas evaluadas que será en todo caso dependiente de su orientación preferente.

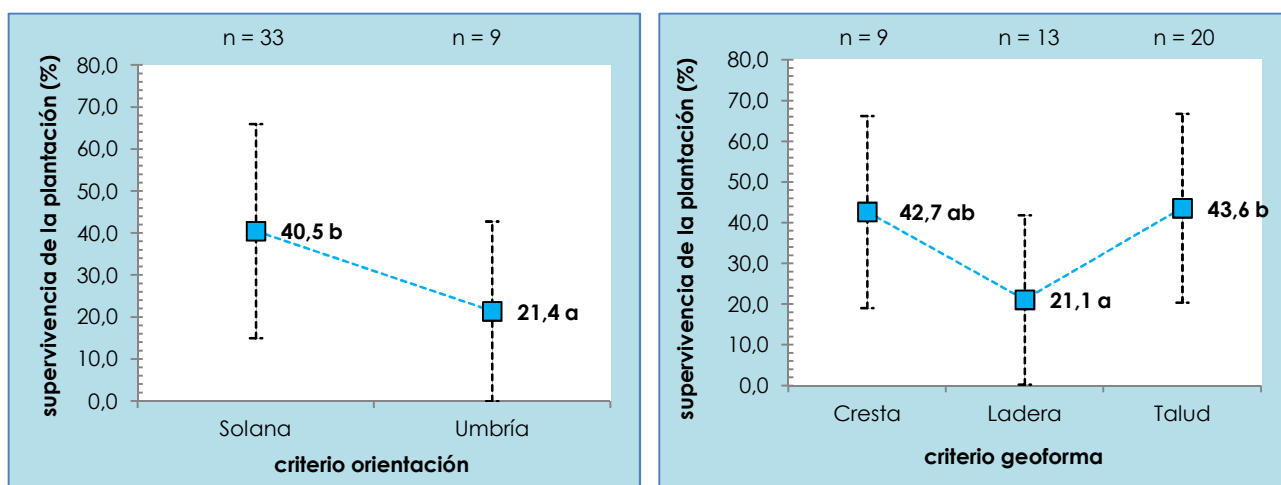


Figura 3.9. Medias de la supervivencia de la plantación (%) en función de modalidad del criterio orientación con barras de desviación típica (izquierda). Medias de la supervivencia de la plantación (%) en función de modalidad del criterio geoforma con barras de desviación típica (derecha). Letras diferentes tras la media denotan efecto significativo al 95 % en: la t de Student (izquierda), prueba de Tuckey HSD (derecha).

3.2.2.1.3. Papel del suelo en el establecimiento

Falta por analizar el papel de la naturaleza del suelo sobre el establecimiento de las plantaciones. Nuestra hipótesis ecológica atribuye un papel negativo a la presencia de costra biológica sobre dicho establecimiento. Esta hipótesis no puede ser confirmada con nuestros datos al no detectarse como significativa la relación entre costra biológica y establecimiento (la estadística descriptiva si muestra menores valores medios de supervivencia en aquellos microambientes con presencia de costra biológica (39,5 % sin costra vs. 27,8 % con costra)). Tampoco ninguna de las correlaciones entre supervivencia y variables del análisis de suelo muestra efectos significativos.

El análisis de las interacciones entre costra biológica y el resto de criterios de selección no modifica sustancialmente la información aquí aportada. Pero sí son interesantes los resultados de la interacción que se establece entre los criterios costra biológica y ganado, significativa en el caso de la supervivencia (F de Snedecor = 3,8; $n = 42$; $p < 0,050$) y cuyo comportamiento se ilustra

en la figura 3.10. La comparación múltiple por pares, separa a los microambientes sin evidencias de formación de costra biológica ni paso de ganado, con las mejores supervivencias, de aquellos microambientes donde se forma costra biológica y no pasa el ganado, que representan la peor combinación posible para el establecimiento de la plantación.

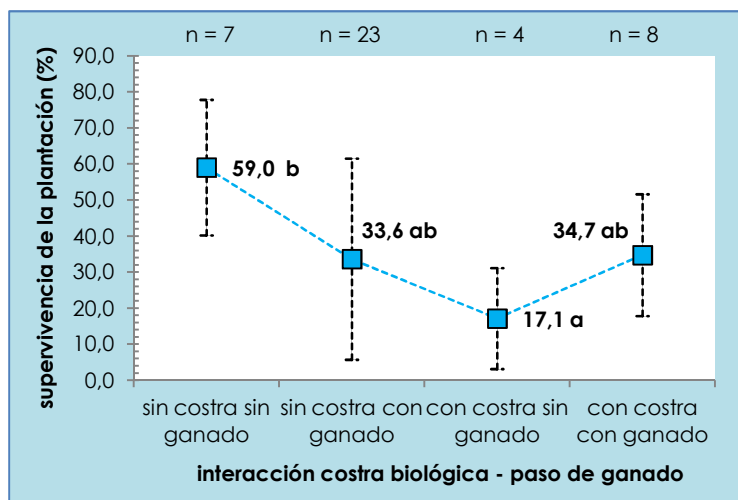


Figura 3.10. Medias de la supervivencia de la plantación (%) en función de modalidad de la interacción costra biológica - paso de ganado con barras de desviación típica. Letras diferentes tras la media denotan efecto significativo al 95 % en la prueba de Tuckey HSD.

Estos resultados: 1.- detectan como significativo un efecto negativo de la costra biológica sobre el establecimiento, antes no resuelto y 2.- muestran cierta modulación del ganado en los microambientes con costra, favoreciendo su paso una mayor supervivencia, aunque no puede confirmarse estadísticamente.

3.2.2.2. Desarrollo del crujiente en el ambiente de traslado

La información generada para evaluar el desarrollo de plántulas y plantaciones ante los cambios en los filtros ambientales del estudio, se recogen en las tablas A.6, A.7 y A.8 (escala microambiente) del anexo a este trabajo. La tabla 3.6 recoge dicha información para la floración en nuestros micrositios de refuerzo.

3.2.2.2.1 Papel del suelo en el desarrollo

El ACP señala a la naturaleza del suelo como un filtro ambiental importante a la hora de explicar el comportamiento de las variables que evalúan el desarrollo de nuestras plantaciones (biovolumen y floración). Los contrastes de hipótesis confirman este papel en el caso del criterio costra biológica, aceptándose la hipótesis ecológica de partida. Su presencia supone menores valores de biovolumen medio anual (U de Mann-Whitney = 293,0; $n = 42$; $p < 0,010$) y menores floraciones (K de Kruskal-Wallis = 280; $n = 42$; $p < 0,010$) (figura 3.11). Sin embargo, como en el caso del establecimiento, cuando el estudio de las variables del análisis de suelo es abordado de forma individual, no se detectan efectos significativos sobre el biovolumen medio o floración de nuestras plantaciones (ver tabla A.8).

Tabla 3.6.- Estadísticos y significación de los contrastes de hipótesis para las variables ambientales del estudio en función de modalidad de la variable floración de la planta. Escala microsítio de refuerzo.							
Filtro ambiental	Variable ambiental	Variable respuesta floración de la planta					
		Modalidad con flor			Modalidad sin flor		
		Media ⁽¹⁾	S _{n-1}	Mediana	Media	S _{n-1}	Mediana
Geomorfología	Coeficiente insolación	1,122 b	0,199	1,183	1,005 a	0,198	1,030
	Pendiente (°)	20,7 b	10,6	19,8	14,2 a	8,0	13,8
Cobertura vegetal	Anchura accesible a la escorrentía (m)	0,68 b	0,24	0,64	0,58 a	0,26	0,57
	Altura competidoras (cm)	12,7 a	9,1	12,3	11,8 a	5,5	11,5
	Cobertura total (%)	10,5 a	12,6	6,0	10,7 a	8,5	8,8
	Distancia competidoras (cm)	47,0 b	17,1	47,4	42,5 a	12,7	41,5
Interacción con fauna/ganado	Densidad heces de cabra (heces/m ²)	1,1 a	4,4	0,0	5,2 a	18,5	0,0
	Densidad heces ganado (heces/m ²)	2,2 a	5,8	0,0	3,7 a	6,8	0,0

(1).- Para cada variable ambiental, letras diferentes tras la media de las modalidades de la variable floración denotan efecto significativo al 95 % en la prueba estadística aplicable.

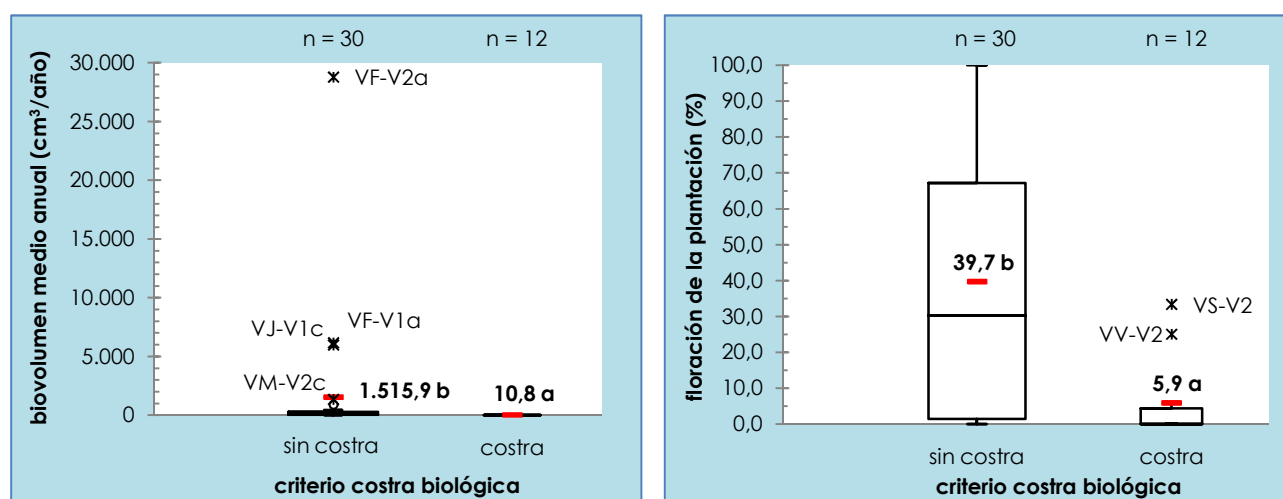


Figura 3.11. Box-plot para el biovolumen medio anual (cm³/año) en función de modalidad del criterio costra biológica (izquierda) Box-plot para la variable floración de la plantación (%) en función de modalidad del criterio costra biológica (derecha). Los asteriscos y círculos señalan microambientes de refuerzo con valores atípicos extremos y leves, respectivamente. Los valores en negrita representan la media para cada modalidad de criterio. Letras diferentes tras la media denota efecto significativo al 95 % en la prueba de Mann-Whitney.

El efecto observado de la costra biológica sobre el desarrollo de las plantaciones se muestra independiente de la forma en que se combine con el resto de criterios de selección. La presencia de este tipo de costra explica el comportamiento del crujiente trasladado en su biovolumen y floración en cualquiera de las interacciones dobles donde participa (ver tabla A.7).

Sólo el ganado muestra una interacción significativa con la costra para el biovolumen medio anual (K de Kruskal-Wallis = 17,8; $n = 42$; $p < 0,010$), de similar naturaleza a la expuesta para la supervivencia. En los ambientes con costra, los plantones tienen mayores posibilidades de desarrollo si el ganado está presente. Sin embargo, los crecimientos anuales detectados son, en todo caso, muy pequeños y los plantones siguen mostrando bajos biovolúmenes y raramente florecen (ver tabla A.7).

Estos resultados obtenidos para la interacción costra-ganado hace que cobre importancia la relación detectada entre densidad de heces de cabra y presencia de costra biológica (U de Mann-Whitney = 180,0; $n = 42$; $p < 0,050$) en la forma de una mayor densidad de heces en microambientes con evidencias de la misma (tabla A.15). Si como los resultados señalan, la cabra predomina en estas zonas con tendencia a la formación de costra, su paso por los microambientes de refuerzo podría tener un efecto similar al observado para el ganado tanto para el establecimiento como para las posibilidades de desarrollo de los plantones.

¿Cuáles son estas zonas con mayor aparición de costra biológica en nuestros microambientes de refuerzo? Nuestros datos señalan a las propiedades de los suelos como un factor fundamental en dicha aparición. Se ha detectado un mayor contenido en yeso (U de Mann-Whitney = 17,5; $n = 42$; $p < 0,001$) en microambientes con evidencias de costra biológica (figura 3.12). Este contenido se asocia de forma directa con la fracción limo (ρ de Spearman = 0,472; $n = 42$; $p < 0,010$) y con los valores de conductividad eléctrica más altos en el rango representado (ρ de Spearman = 0,650; $n = 42$; $p < 0,001$). Frente al yeso, un mayor porcentaje de arcilla se asocia significativamente con la no presencia de costra biológica (U de Mann-Whitney = 343,0; $n = 42$; $p < 0,001$) (figura 3.12).

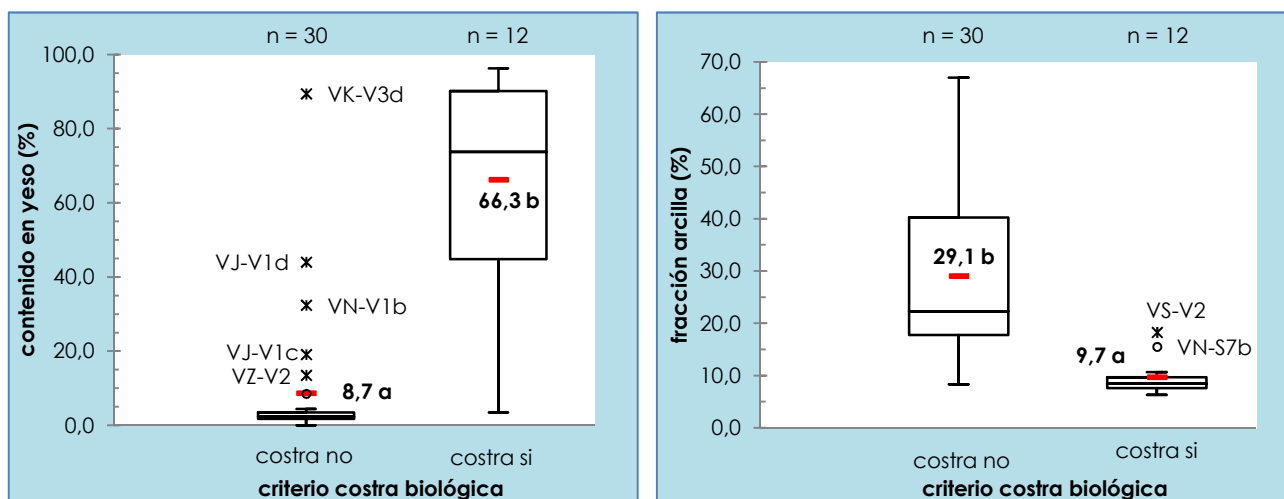


Figura 3.12. Box-plot para contenido en yeso (%) en función de modalidad del criterio costra biológica (izquierda). Box-plot para la fracción textural arcilla (%) en función de modalidad del criterio costra biológica (derecha). Los asteriscos y círculos señalan microambientes de refuerzo con valores atípicos extremos y leves, respectivamente. Los valores representan la media para cada modalidad del criterio costra biológica. Letras diferentes tras la media denotan efecto significativo al 95 % en la prueba de Mann-Whitney.

La experiencia de refuerzo proporciona evidencias de plantones creciendo favorablemente en suelos con contenidos en yeso elevados siempre que no formen costra biológica. Es el caso del microambiente VK-V3d, donde el yeso alcanza valores superiores al 80 %. Este microambiente se ubica en talud, a solana, con alta pendiente y evidencias de paso de ganado y cabra montesa, aunque con baja densidad de heces (ver tabla A.1). Ante este resultado cabría preguntarse qué condiciones del medio estarían favoreciendo la no formación de costra biológica en estos suelos frente a otros, de composición similar, y donde la costra biológica sí es detectada.

Como se ha comentado, no se detecta asociación de geoforma u orientación con la aparición de costra biológica. Tampoco la aproximación cuantitativa proporciona información a este respecto. El ACP parece relacionar la presencia de costra con menores pendientes, mayores insolaciones, menores contenidos en materia orgánica y menores densidades de heces de ganado. Sin embargo, ninguno de estos efectos resulta significativo en los contrastes de hipótesis planteados (ver tabla 3.4).

3.2.2.2 Papel del resto de filtros ambientales en el desarrollo

Junto a la costra biológica, las variables pendiente e insolación muestran efectos significativos sobre el desarrollo del crujiente trasladado. Un mayor coeficiente de insolación y una mayor pendiente favorecen mayores crecimientos anuales (biovolumen vs. coeficiente de insolación: rho de Spearman = 0,328; n = 200; $p < 0,050$; biovolumen vs. pendiente: rho de Spearman = 0,340; n = 200; $p < 0,050$) y, por tanto, mayores floraciones (floración vs. coeficiente de insolación: U de Mann-Whitney = 3.134,0; n = 200; $p < 0,001$; floración vs. pendiente t de Student = -4,7; n = 200; $p < 0,001$). Este efecto positivo de pendiente e insolación sobre el desarrollo nos lleva a aceptar las hipótesis ecológicas planteadas para estas variables.

Ambos factores abióticos están muy condicionados por la orientación y geoforma ocupada por el microambiente de refuerzo. Como hemos visto, la solana supone mayores condiciones de insolación (ver figura 3.5) mientras que es la modalidad de geoforma el criterio con mayor influencia sobre el valor de pendiente (F de Snedecor = 11,0; n = 42; $p < 0,001$), aunque sólo con el talud separándose significativamente del resto de modalidades (20,6° talud vs. 15,6° ladera y 9,6° crestas).

Por último, frente al establecimiento de los plantones, los filtros bióticos del ambiente pierden importancia a la hora de explicar el crecimiento y floración del crujiente trasladado. Así, el ganado no muestra efecto sobre el desarrollo ya sea la aproximación al mismo cualitativa o cuantitativa, y sólo la floración responde al filtro cobertura vegetal, detectándose un mayor número de plantones con evidencias de flor o fruto ante una mayor anchura accesible a la escorrentía (U de Mann-Whitney = 3.669,5; n = 200; $p < 0,010$) y una mayor distancia a competidoras (U de Mann-Whitney = 3.247; n = 200; $p < 0,010$).

3.2.2.3. Reclutamiento del crujiente en el ambiente de traslado

Los resultados de los contrastes de hipótesis para el reclutamiento en los microambientes muestreados se recogen en la tabla 3.7

Tabla 3.7. Estadísticos y significación de los contrastes de hipótesis para las variables ambientales del estudio en función de modalidad de la variable reclutamiento de la plantación. Escala microambiente de refuerzo.

Filtro ambiental	Variable ambiental	Variable reclutamiento plantación					
		Modalidad no			Modalidad si		
		Media ⁽¹⁾	S _{n-1}	Mediana	Media	S _{n-1}	Mediana
Geomorfología	Coefficiente insolación	1,007 a	0,198	1,035	1,095 a	0,224	1,159
	Pendiente (°)	15,9 a	6,4	15,8	19,6 a	9,8	17,3
Propiedades del suelo	Contenido en arcilla (%)	22,3 a	16,2	17,8	27,9 a	13,9	22,7
	Contenido en arena (%)	35,4 a	11,3	34,4	34,9 a	13,9	36,1
	Contenido en limo (%)	42,3 a	12,1	45,1	37,2 a	8,3	35,9
	Contenido en yeso (%)	28,28 a	34,97	3,50	13,52 a	29,03	2,20
	CE _{25 °C} (dS/m) ^(b)	1,20 a	0,94	1,20	0,82 a	0,83	0,30
	Materia orgánica (g/100g)	1,98 a	1,40	1,39	2,11 a	1,50	1,69
Cobertura vegetal	Anchura accesible a la escorrentía (m)	0,51 a	0,18	0,49	0,57 a	0,11	0,60
	Altura competidoras (cm)	13,5 a	3,9	13,7	14,6 a	7,0	13,8
	Cobertura total (%)	13,9 a	7,8	12,3	14,1 a	6,8	14,9
	Distancia competidoras (cm)	39,2 a	9,0	41,7	45,8 b	7,7	45,3
Interacción con fauna/ganado	Densidad heces de cabra (heces/m ²)	3,6 a	10,5	0,0	2,0 a	4,0	0,0
	Densidad heces ganado (heces/m ²)	7,7 b	11,1	3,0	1,0 a	1,0	0,8

(1).- Para cada variable ambiental, letras diferentes tras la media de las modalidades de la variable reclutamiento denotan efecto significativo al 95 % en el test estadístico aplicable.

Entre los filtros abióticos del ambiente, es la aparición de costra biológica el único con efecto significativo sobre el reclutamiento detectado en las plantaciones (Chi-cuadrado de Pearson = 4,9; n =42; $p < 0,050$). Su presencia anula, en todo caso, la detección de de plántulas e hijas en los microambientes de refuerzo, aceptándose la hipótesis ecológica para este criterio de selección.

De nuevo, como para establecimiento y desarrollo, ninguna de las variables de suelo analizadas muestra efecto significativo sobre el reclutamiento, aunque la estadística descriptiva sí señala como más favorables, para cualquier fase de la respuesta del crujiente trasladado, a los terrenos con menor contenido en yeso y limo, menor conductividad eléctrica y mayor porcentaje de la fracción arcilla (condiciones también más proclives a la aparición de costra biológica en los microambientes muestreados).

Sin presencia de costra biológica, el reclutamiento sí es posible en cualquier modalidad de criterio de selección o interacción doble (ver tabla A.1). De hecho, no son detectadas diferencias significativas en el reclutamiento entre modalidades de los criterios ganado, geofoma u orientación, ni entre sus posibles combinaciones. Las frecuencias absolutas si señalan valores de

reclutamiento algo más altos en microambientes sin ganado, a solana y sobre geofoma talud (ver tabla A.3).

Al igual que para el establecimiento, los filtros bióticos del ambiente también juegan un papel importante en el reclutamiento en los microambientes de refuerzo, respondiendo éste significativamente a la distancia del crujiente trasladado a sus competidoras (t de Student = -2,0; $n = 42$; $p < 0,050$) (mayor reclutamiento con competidoras más lejanas), y la densidad de heces de ganado (U de Mann-Whitney = 210,0; $n = 42$; $p < 0,050$) (menor reclutamiento con una mayor densidad de heces). Ambos resultados apoyan el aceptar las hipótesis ecológicas planteadas para estas variables ambientales.

3.3. Estudio de los núcleos poblacionales del crujiente en el Valle del Alfambra

3.3.1. Valores de referencia para el crujiente en el Valle del Alfambra

Las tablas B.1 y B.2 del anexo a este trabajo recogen respectivamente los datos de media y desviación típica, y el intervalo de valores entre los percentiles 5 % y 95 % para las variables respuesta y ambientales del estudio de los núcleos poblacionales. Estos datos, con las condiciones particulares de nuestro muestreo, constituyen los valores de referencia para el crujiente en el Valle del Alfambra y pueden contribuir a la toma de decisiones en la experiencia de refuerzo.

Los anteriores datos han sido desglosados en función de ganado, geoforma, núcleo poblacional y orientación. Este desglose, junto con la frecuencia de microambientes en función de los mismos criterios (tabla B.3), va a ser utilizada para una caracterización de las condiciones ecológicas presentes en los núcleos poblacionales del Alfambra y de la respuesta del crujiente ante las mismas. Los resultados de los contrastes planteados para evaluar estos aspectos se recogen en la tabla B.5.

3.3.2. Condiciones ecológicas presentes en los núcleos poblacionales del crujiente en el Alfambra

3.3.2.1. Litología

Las litologías representadas en los núcleos poblacionales del Valle se muestran en la tabla 3.8

Tabla 3.8.- Litologías y número de microambientes muestreados en los núcleos poblacionales del Alfambra		
Material litológico (MAGNA 1:50.000) ⁽¹⁾	microambientes muestreados	presente en núcleo poblacional
Arcillas, limolitas y conglomerados rojos (Terciario)	0	Puente del Alfambra
Calizas y margas (Terciario)	1	Barranco del Santo Puntal del Prado
Calizas y margas con algún nivel de limolitas rojas (Terciario)	9	Barranco Lloro
Gravas, arenas y arcillas. Aluviales. (Cuaternario)	1	Barranco Lloro
Gravas, terrazas. (Cuaternario)	2	Barranco Lloro
Margas yesíferas y calizas arcillosas (Terciario)	17	Barranco de la Hoz Barranco de los Chopos Ermita San Cristóbal Monteagudo
Yesos (Terciario)	7	Puntal del Prado

(1).- Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Instituto Geográfico y Minero de España.

Los materiales con mayor presencia en el área de distribución del crujiente en el Alfambra son las de origen Terciario, con las calizas y margas con algún nivel de limolitas rojas del Barranco Lloro y las margas yesíferas y calizas arcillosas de los Barrancos de la Hoz, Barranco de los Chopos y Ermita San Cristóbal manteniendo el mayor número de ejemplares (figura 3.13).

El crujiente es también capaz de colonizar con eficiencia materiales de naturaleza arcillosa como los del núcleo Puente del Alfambra y pequeñas zonas de materiales aluviales del Cuaternario en el Barranco Lloro (figura 3.13).

En el Alfambra, sólo el descubrimiento del nuevo núcleo poblacional del Puntal del Prado ubica a la subespecie sobre yesos del Terciario. También en este núcleo coloniza algunos afloramientos de calizas y margas, fundamentalmente en las crestas de los puntales.



Figura 3.13. Material litológico en los núcleos poblacionales del crujiente: margas yesíferas y calizas arcillosas del Terciario en el Barranco de la Hoz. La presencia de afloramientos venosos de lignito es muy frecuente en los escarpes colonizados por el crujiente (izquierda). Conglomerados del Cuaternario en el Barranco Lloro (derecha).

3.3.2.2. Geomorfología

Los datos de frecuencia (ver tabla B.3) señalan en este orden a las laderas, taludes bajo escarpe y escarpes rocosos como las geoformas con mayor grado de colonización por el crujiente en el Valle del Alfambra. Crestas y ribazos están mínimamente representados. En lo que a orientaciones se refiere predominan en el muestreo los microambientes a solana.

Los resultados del análisis de independencia y asociación (tabla B.4) indican que esta distribución de geoformas (Chi-cuadrado Monte Carlo = 43,3; $n = 37$; $p < 0,001$) y orientaciones (Chi-cuadrado Monte Carlo = 6,7; $n = 37$; $p < 0,050$) es dependiente del núcleo poblacional de que se trate. En los núcleos agrupados como Barranco de la Hoz, predominan los escarpes rocosos y taludes bajo escarpe (siendo la combinación de ambos la dominante) y con una selección de orientaciones bastante equilibrada. En el resto de núcleos, los escarpes y taludes adquieren un carácter testimonial, predominando las laderas, con mayor aparición de plantas en solana, especialmente en el Barranco Lloro. En el Alfambra, la presencia del crujiente en ribazos sólo ha sido detectada en este último núcleo poblacional, mientras que las crestas en el estudio aparecen en el Puntal del Prado y en zonas antiguas de cultivo, hoy abandonadas, en el Barranco Lloro.

Los cambios que la geoforma impone sobre el valor de pendiente (F de Snedecor = 27,4; $n = 37$; $p < 0,001$), configuran a este variable ambiental con un papel importante en las diferencias entre núcleos poblacionales (K de Kruskal-Wallis = 10,4; $n = 37$; $p < 0,010$), con el Barranco de la Hoz con los valores más altos por la presencia del crujiente en escarpes rocosos (figura 3.14).

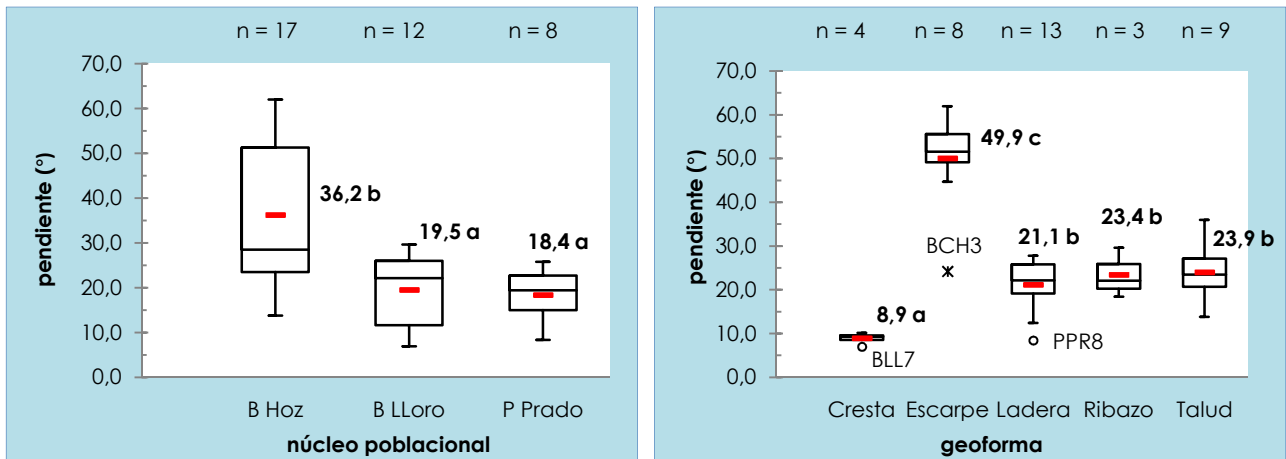


Figura 3.14. Box-plot para la variable pendiente (°) en función de núcleo poblacional (izquierda). Box-plot para la variable pendiente (°) en función de geoforma (derecha). Los asteriscos y círculos señalan microambientes naturales con valores atípicos extremos y leves, respectivamente. Los valores representan la media para cada modalidad de núcleo poblacional o geoforma. Letras diferentes tras la media denotan efecto significativo al 95 % en la prueba de Dunn con corrección de Bonferroni.

La presencia de estos escarpes rocosos también justifica los altos valores medios de pendiente seleccionados por la planta en la población del Alfambra (ver tabla B.1), aunque se ha detectado al crujiente creciendo en un rango amplio de pendientes (1° - 75°). De igual forma, la planta coloniza prácticamente el total del intervalo posible de orientaciones (32° - 344°).

3.3.2.3. Suelo

El análisis inicial de los núcleos poblacionales no detectó la presencia de costra en los terrenos ocupados por el crujiente, descartándose su inclusión como criterio de selección en esta parte del estudio. El análisis del nuevo núcleo poblacional del Puntal del Prado también mostró que la aparición de este tipo de costra supone una causa de discontinuidad en la aparición de la planta. Ambas evidencias parecen señalar un papel muy importante de la costra biológica en la distribución de la subespecie.

No son detectadas diferencias significativas entre núcleos poblacionales para las variables de suelo analizadas (lo que podría sugerir cierta homogeneidad en los suelos colonizados por el crujiente) (ver tabla B.1). Podemos hablar para la población del Alfambra de un predominio de suelos de naturaleza franca, con mayor tendencia hacia las texturas gruesas (arenosa y limosa) (tabla 3.10).

Son suelos neutros o ligeramente alcalinos, de salinidad moderada y valores bajos de contenido en materia orgánica, aunque algo mayores de lo esperado, a tenor del bajo grado de desarrollo de los suelos observada por inspección visual.

Tabla 3.9. Clase textural USDA y número de microambientes muestreados en los núcleos poblacionales del Alfambra (*)		
Clase textural USDA	microambientes muestreados	presente en núcleo poblacional
Franco	22	Barranco de los Chopos Barranco de la Hoz Barranco del Santo Barranco Labradores Barranco Lloro Ermita San Cristóbal Puntal del Prado
Franco-arcilloso	2	Barranco Lloro Puntal del Prado
Franco -arenoso	7	Barranco de la Hoz Barranco Lloro
Franco -arenoarcilloso	0	Puente del Alfambra
Franco-limoso	6	Barranco de la Hoz Barranco Lloro Puntal del prado

(*).- Se incluye muestras para los núcleos poblacionales de Barranco Labradores, Barranco del Santo y Puente del Alfambra.

El yeso siempre está presente en los suelos muestreados en los núcleos del Alfambra (tabla 3.10). Predominan los suelos con porcentaje de yeso inferior al 5 %. Sí hemos detectado valores de yeso algo más altos, especialmente en el Puntal del Prado (sobre litología yeso), con valores entre el 10 y el 20 % que no se traducen en diferencias significativas entre núcleos.

Tabla 3.10. Distribución del número de muestras de suelo en función del contenido en yeso. Núcleos poblacionales

Clasificación del contenido en yeso ⁽¹⁾	Contenido en yeso (%)	Nº muestras suelo
Ligeramente gípsico	0 - 5	35
Moderadamente gípsico	5 - 15	2
Fuertemente gípsico	15 - 60	3
Extremadamente gípsico	> 60	0

(1) F.A.O. (2009)

3.3.2.4. Cobertura vegetal

Los valores medios de cobertura vegetal en la población del Alfambra indican que el crujiente tiende a seleccionar ambientes con baja cobertura, tanto en su valor total como en la distribución espacial de la misma (ver tabla B.1). Ello no excluye el que se detectan plantas de crujiente creciendo ante altos niveles de cobertura (ver tabla B.2). Cuando el análisis es aplicado a escala de núcleo poblacional, son detectados efectos significativos del núcleo sobre cobertura total (K de Kruskal-Wallis = 6,6; n = 37; $p < 0,050$), anchura accesible a la escorrentía (F de Snedecor = 4,0; n = 37; $p < 0,050$) y distancia a competidoras (K de Kruskal-Wallis = 21,8; n = 37; $p < 0,001$) con el Barranco de la Hoz con menores valores de competencia (figura 3.15).

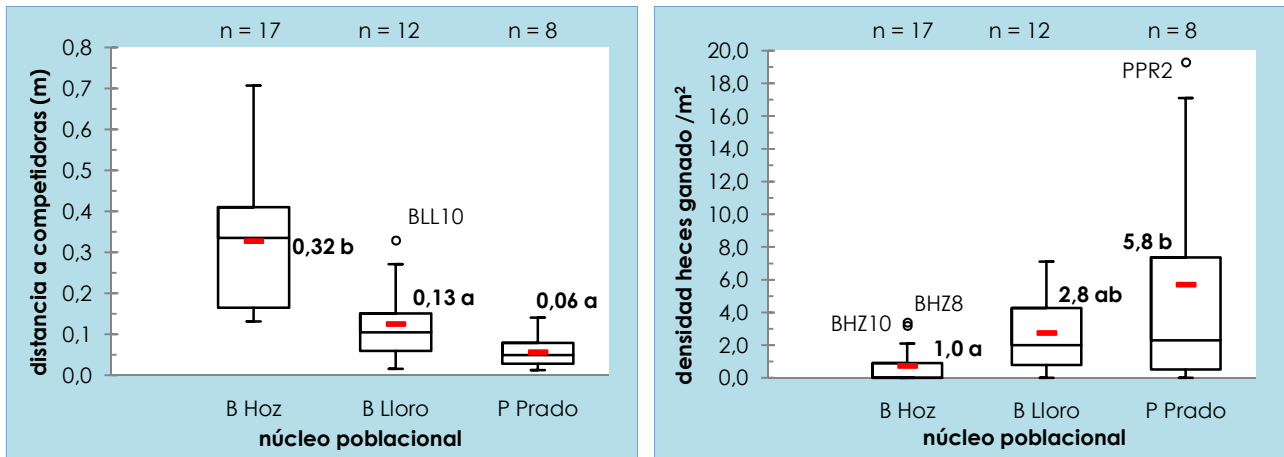


Figura 3.15. Box-plot para la variable distancia a competidoras (m) en función de núcleo poblacional (izquierda). Box-plot para la variable densidad de heces de ganado (heces/m²) en función de núcleo poblacional (derecha). Los círculos señalan microambientes naturales con valores atípicos leves. Los valores representan la media para cada modalidad de núcleo poblacional. Letras diferentes tras la media denotan efecto significativo al 95 % en la prueba de Dunn con corrección de Bonferroni.

3.3.2.5. Interacción con cabra montesa y ganado

Los datos medios de densidad de heces en la población del Alfambra no señalan valores demasiado elevados para cabra montesa y ganado (ver tabla B.1), aunque en el caso de éste último, los resultados se muestran muy dependientes del núcleo poblacional de que se trate (Chi-cuadrado Monte Carlo = 6,6; n = 37; $p < 0,050$). La cuantificación del ganado señala al Puntal del Prado como el núcleo poblacional con mayor pastoreo de entre los estudiados, aunque sólo separándose significativamente del Barranco de la Hoz (K de Kruskal-Wallis = 7,3; n = 37; $p < 0,050$) (figura 3.15).

Esta caracterización del ganado en los núcleos poblacionales del crujiente resulta demasiado simple si atendemos a nuestro recorrido inicial por los mismos. Así en el Barranco de la Hoz, la presencia de ganado puede ser importante en algunos taludes en la zona final del mismo, de mayor anchura, y con proximidad a majadas, reduciéndose progresivamente a medida que profundizamos hacia su origen. También hemos detectado bastante intensidad de pastoreo en el Barranco de los Chopos en algunos taludes y repisas. Para el Barranco Lloro la intensidad de pastoreo es alta y bastante uniforme en todo el núcleo poblacional (figura 3.16), comportamiento contrario al observado en el Puntal del Prado que combina zonas muy pastoreadas con otras donde el ganado está ausente. El abandono del pastoreo en algunas zonas de este nuevo núcleo poblacional está derivando en cierto cerramiento de la vegetación en torno a los individuos de crujiente (figura 3.16).

Por último, la cabra montesa es detectada en cualquiera de los núcleos poblacionales de la subespecie en el Alfambra, especialmente sobre geoforma talud (K de Kruskal-Wallis = 11,9; n = 37;

$p < 0,050$), coincidiendo con descansaderos, aunque siempre con densidades muy bajas. Nuestros datos no permiten atribuir diferencias entre núcleos en lo que a la cabra montesa se refiere.



Figura 3.16. Ganado pastoreando ladera con ejemplares de crujiente en el Barranco Lloro (izquierda). Microambiente del Puntal del Prado donde se observa cerramiento de la vegetación con avance de la aliga, efedra y espino albar. En este microambiente no hemos detectado heces de ganado en los microsítios muestreados (derecha).

3.3.2.6. Relación entre condiciones ecológicas

Los contrastes de hipótesis planteados en el estudio de los núcleos poblacionales del crujiente en el Alfambra (ver tabla B.5) señalan al criterio geoforma (y la pendiente que éste condiciona) como el factor ecológico más importantes a la hora de explicar las diferencias en cobertura vegetal y pastoreo en los hábitats colonizados por la planta.

Para las variables que miden la cobertura, son detectados efectos significativos de la geoforma sobre la distancia a competidoras (F de Snedecor = 10,2; $n = 37$; $p < 0,001$) con escarpes y taludes, con mayor valor de distancia (figura 3.17), y sobre cobertura total (F de Snedecor = 5,6; $n = 37$; $p < 0,050$) y acceso a la escorrentía (F de Snedecor = 5,6; $n = 37$; $p < 0,001$) que indican que es las ladera la geoforma con peores condiciones de competencia. Todos estos resultados se ven confirmados por las correlaciones detectadas entre pendiente y variables de cobertura (ver tabla B.6 y B.7). Pendientes más altas suponen menores grados de cobertura vegetal.

Mientras, la intensidad del ganado que interactúa con el crujiente en sus ambientes naturales, también se ve determinada por la geoforma ocupada por éste (K de Kruskal-Wallis = 9,5; $n = 37$; $p < 0,050$). Estas diferencias hablan de una mayor presión del ganado en las laderas (figura 3.17), aunque sólo separándose significativamente de los escarpes rocosos que es la geoforma con menor densidad de heces, posiblemente por su difícil accesibilidad. Conviene señalar que esta dependencia y asociación entre ganado y geoforma sólo es detectada cuando el ganado es cuantificado (ver tablas B.4 y B.5) lo que sitúa de nuevo a la aproximación cuantitativa como la más adecuada para la valoración del efecto del pastoreo.

El conjunto de estos resultados explican las menores condiciones de cobertura vegetal y pastoreo en el Barranco de la Hoz (escarpes y taludes) frente al resto de núcleos poblacionales testados (fundamentalmente en ladera) (ver figura 3.14).

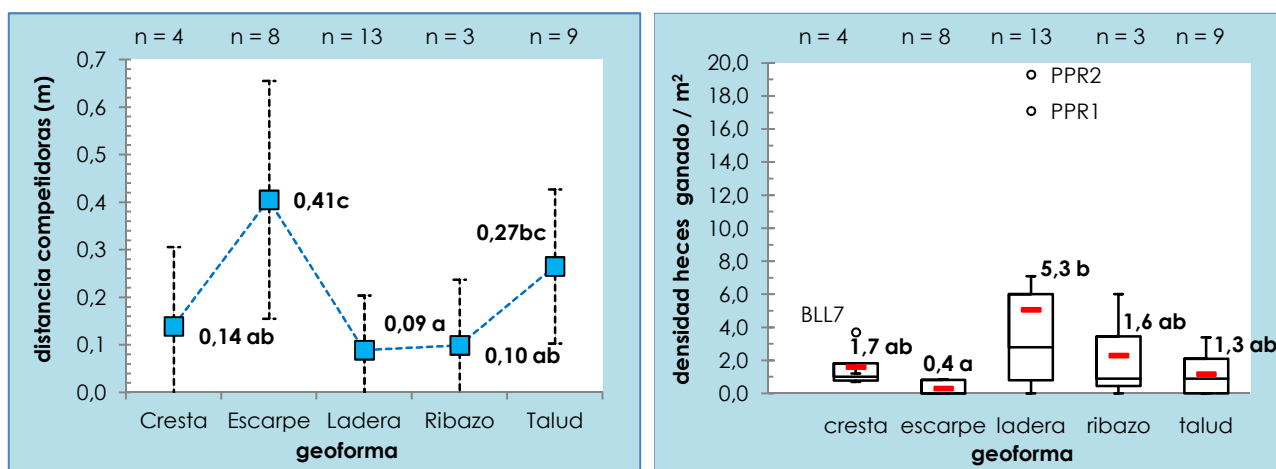


Figura 3.17. Medias de la variable distancia a competidoras con barras de desviación típica (izquierda). Box-plot para la variable densidad heces ganado (heces/m²) en función de geoforma. Los círculos señalan microambientes naturales con valores atípicos leves (derecha). Los valores representan la media para cada modalidad de geoforma. Letras diferentes tras la media denotan efecto significativo al 95 % en: prueba de Tuckey HSD (izquierda), prueba de Dunn con corrección de Bonferroni (derecha).

Otras correlaciones detectadas entre condiciones ecológicas participarían en la explicación de las diferencias de cobertura vegetal entre microambientes naturales. Independientemente de geoforma o núcleo poblacional:

1.- existe un efecto significativo del contenido en materia orgánica sobre el grado de cobertura que interactúa con la planta, con correlaciones negativas con el acceso a la escorrentía (rho de Spearman = -0,383; n = 37; p < 0,050) y la distancia a competidoras (rho de Spearman = -0,396; n = 37; p < 0,050).

2.- aunque, frente a los resultados del refuerzo, ninguno de los contrastes de hipótesis planteados entre orientación y las variables de cobertura vegetal muestra efectos significativos (ver tabla B.5), la orientación sí está participando de las mayores insolaciones observadas en solana (t de Student = 8,4 n = 37; p < 0,001). Para coeficiente de insolación son detectadas correlaciones significativas, aunque bajas, con anchura accesible a la escorrentía (rho de Spearman = 0,119; n = 302; p < 0,050) y distancia a competidoras (rho de Spearman = 0,115; n = 302; p < 0,050).

3.- las diferencias en la intensidad de pastoreo estarían participando en el diferente grado de cobertura vegetal que experimenta el crujiente en sus microambientes y micrositos naturales. Es la aproximación cuantitativa la que proporciona resultados más claros detectándose una menor cobertura total (rho de Spearman = -0,129; n = 302; p < 0,050) y una menor altura de competidoras (rho de Spearman = -0,144; n = 302; p < 0,050) con el aumento del ganado, lo que podría estar

indicando cierto aclarado de la vegetación por el mismo. En todo caso, las correlaciones son bajas.

3.3.3. Respuesta del crujiente ante las condiciones ecológicas presentes en sus hábitats naturales

El análisis de las condiciones ecológicas en los núcleos poblacionales del Alfambra muestra la existencia de diferencias ecológicas entre los mismos, especialmente atribuibles a las geformas presentes y su papel en el grado de cobertura vegetal e intensidad de pastoreo. Ello confirmaría nuestra hipótesis ecológica de diferentes condiciones que interactúan con el crujiente en función del hábitat colonizado.

Cabe ahora preguntarse si estas diferencias implican realmente una respuesta diferente del crujiente y cuál es la naturaleza de dicha respuesta. Este análisis también permitirá caracterizar la tipología de planta existente en los núcleos poblacionales.

3.3.3.1. Biovolumen y floración en los microambientes naturales

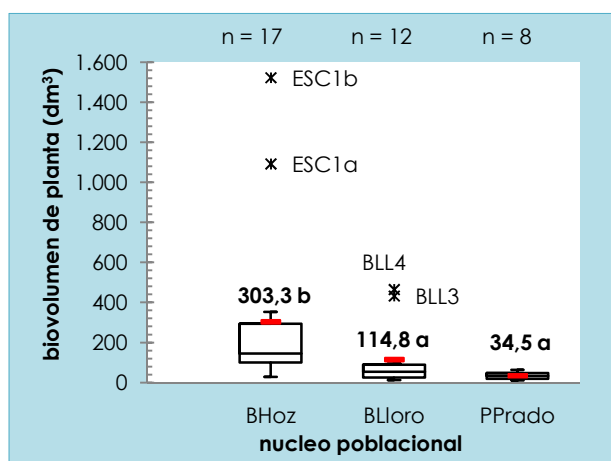


Figura 3.18. Box-plot para biovolumen medio de planta (dm^3) en función de núcleo poblacional. Los asteriscos señalan valores atípicos extremos. Los valores en negrita representan la media para cada núcleo testado. Letras diferentes tras la media denota efecto significativo al 95 % en la prueba Dunn-Bonferroni.

Los datos mostrados corresponden a la medición del biovolumen del total de plantas presentes en los microambientes naturales muestreados ($n = 931$), su agrupamiento en los intervalos propuestos por Domínguez y col. (2011c) y su desglose en función de núcleo poblacional.

El análisis de dichas distribuciones muestra un predominio de los ejemplares de alto biovolumen en el Barranco de la Hoz, mínima representación de los mismos en el Puntal del Prado, y el Barranco

La respuesta del crujiente en su biovolumen y floración en función de filtro cualitativo se muestra en la tabla B.1.

El contraste de hipótesis muestra un claro efecto del núcleo poblacional sobre el valor de biovolumen medio de planta en los microambientes naturales (K de Kruskal-Wallis = 12,8; $n = 37$; $p < 0,010$) con el Barranco de la Hoz significativamente separados del resto por su mayor tamaño medio (figura 3.18). Este efecto se traslada, con la misma naturaleza, a las floraciones de los diferentes núcleos (K de Kruskal-Wallis = 11,0; $n = 37$; $p < 0,010$).

El efecto del núcleo poblacional no sólo se circunscribe al valor medio de biovolumen sino que también se manifiesta en la distribución de tamaños de planta (figura C.1 del anexo a este trabajo).

Lloro con valores intermedios. La figura también permite evaluar la estructura por tamaños de la población del Alfambra, donde predominan los ejemplares de biovolumen pequeño y medio frente a los de gran biovolumen. La mayor contribución al muestreo de plantas del Barranco Lloro, y la distribución de tamaños observada en el nuevo núcleo poblacional del Puntal del Prado, donde se detectan pocos individuos de crujiente de gran biovolumen, explican este resultado.

La aproximación cualitativa a los filtros ambientales señalan a la geoforma (K de Kruskal-Wallis = 15,2; n = 37; p < 0,010) y al ganado (K de Kruskal-Wallis = 8,5; n = 37; p < 0,010) como los principales factores que influyen sobre el tamaño medio del crujiente en sus microambientes naturales (figura 3.19). Este resultado es también aplicable a la floración media de los mismos, con la misma naturaleza. Por el contrario, la orientación del microambiente natural no muestra ningún efecto significativo sobre el comportamiento fenológico de la planta en lo que ha biovolumen o floración se refiere.

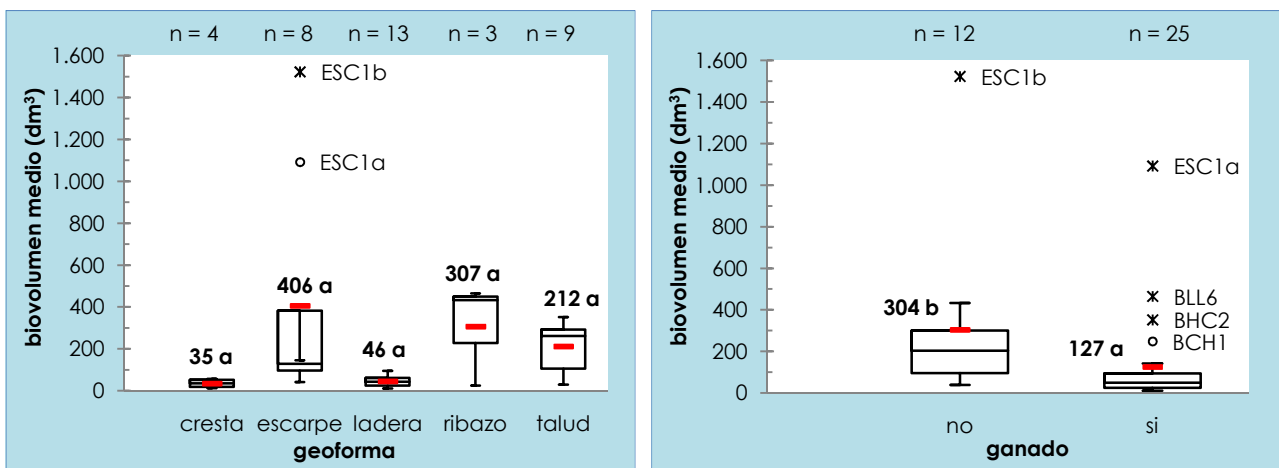


Figura 3.19. Box-plot para la variable biovolumen medio (dm³) en función de geoforma (izquierda). Box-plot para la variable biovolumen medio (dm³) en función de paso de ganado (derecha). Los asteriscos y círculos señalan microambientes naturales con valores atípicos extremos y leves, respectivamente. Los valores representan la media para cada modalidad de geoforma o paso de ganado. Letras diferentes tras la media denotan efecto significativo al 95 % en la prueba de (Izquierda).- Dunn con corrección de Bonferroni; (Derecha).- Mann-Whitney.

En el caso de la geoforma el análisis *post hoc* no permite separar entre modalidades aunque la estadística descriptiva sí muestra diferencias muy importantes entre las mismas. Así los escarpes, ribazos y taludes suponen biovolúmenes medios de planta más altos, claramente separados de crestas y laderas. Estas diferencias entre geoformas participan decisivamente no sólo en los cambios de biovolumen medio entre núcleos poblacionales, sino en su distribución de tamaños (figura C.2). El predominio de plantas de alto biovolumen en escarpes y taludes explica los mayores tamaños del Barranco de la Hoz, mientras que el predominio de las laderas en el resto de núcleos favorece tamaños menores. Los ribazos del Barranco Lloro explicarían la posición intermedia en los biovolúmenes medios del crujiente en este núcleo poblacional.

Para el ganado, su paso por el microambiente de refuerzo reduce el biovolumen medio de planta, aspecto que contribuiría a los tamaños medios más bajos en el Barranco Lloro y especialmente Puntal del Prado por su mayor nivel de pastoreo (ver figura 3.14). Las diferencias detectadas entre geofomas en la densidad de ganado (ver figura 3.16) estarían también participando en este comportamiento de los núcleos poblacionales.

Cuando la aproximación a los efectos sobre el biovolumen del crujiente es a partir de los filtros cuantitativos, esta vez a una escala de micrositio natural, se mantienen las tendencias anteriormente comentadas. Así se detecta correlación significativa del biovolumen de planta con pendiente (rho de Spearman = 0,288; n = 302; $p < 0,001$) y ganado (rho de Spearman = -0,210; n = 302; $p < 0,001$). Sigue sin detectarse efecto del coeficiente de insolación sobre el biovolumen o floración del crujiente.

3.3.3.2. Densidad y distancia media entre plantas en los microambientes naturales

Desde un punto de vista metodológico, nos parece interesante conocer el efecto de los factores ambientales sobre la densidad de plantas y la distancia entre las mismas, con el objeto de aplicar este conocimiento a las condiciones de plantación. Los datos para ambas variables se recogen en la tabla B.1.

Los contrastes de hipótesis no muestran efecto de núcleo poblacional, ganado, geofoma ni orientación sobre la densidad de plantas en los microambientes naturales (ver tabla B.4), lo que hablaría de cierta uniformidad en la respuesta de la planta para esta variable. El valor medio de densidad para una parcela de 100 m² como la utilizada en el procedimiento en campo se sitúa en las 40 plantas, con un intervalo de confianza para el total del Valle entre las 20 y 50 plantas.

Diferentes son los resultados obtenidos para la configuración espacial de esta densidad, medida por la distancia media entre plantas de crujiente. Los contrastes de hipótesis planteados para la variable distancia sí detectan efecto significativo en el caso del ganado (t de Student = 2,1; n = 37; $p < 0,050$) y de la orientación (t de Student = 3,3; n = 37; $p < 0,010$) (figura 3.20).

Para el ganado, su paso por el microambiente natural aumenta la distancia entre plantas, lo que parece confirmar su papel en el aclarado de la vegetación que ya se apuntaba anteriormente. Mientras, en lo que respecta a la orientación preferente del microambiente de refuerzo, es la solana la que supone una mayor distancia entre plantas. Este efecto se asocia positivamente con un mayor coeficiente de insolación (coeficiente de correlación de Pearson = 0,488; n = 37; $p < 0,010$), y con menores coberturas totales (rho de Spearman = -0,389; n = 37; $p < 0,050$) variables con las que también se correlaciona significativamente la distancia media entre plantas. Por tanto, la solana sí podría estar suponiendo menores condiciones de competencia vegetal para el crujiente, efecto no detectado hasta el momento en sus núcleos poblacionales, pero muy evidente en el estudio del refuerzo.

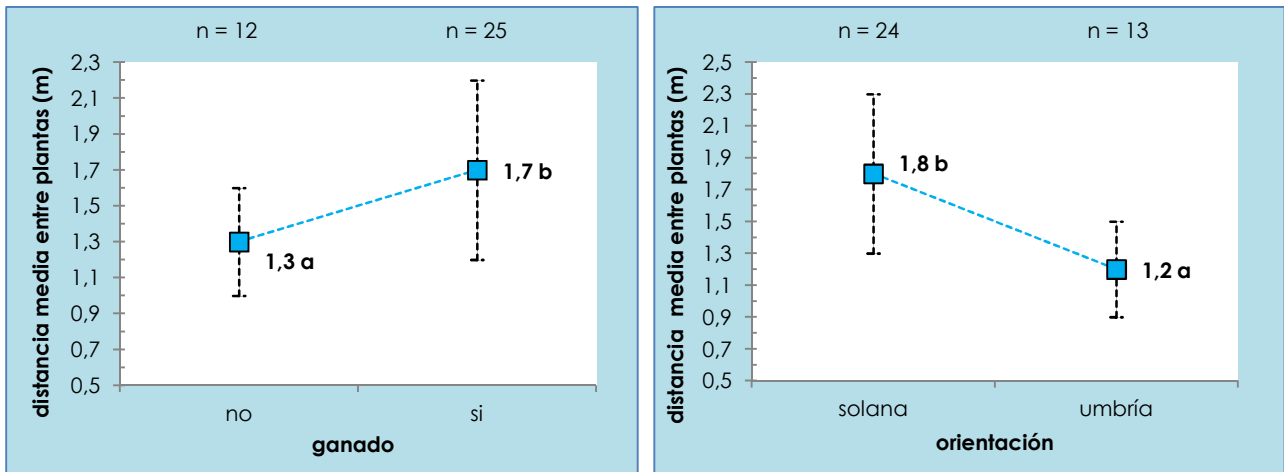


Figura 3.20. Diagrama de las medias para la variable distancia media entre plantas (m) en función del paso de ganado con barras de desviación típica (izquierda). Diagrama de las medias para la variable distancia media entre plantas (m) en función de orientación con barras de desviación típica. Los valores representan la media para cada modalidad de los criterios orientación o ganado. Letras diferentes tras la media denotan efecto significativo al 95 % en la t de Student.

3.3.4. Condiciones ecológicas más favorables para las plantas de reclutamiento reciente

El resultado de los contrastes de hipótesis planteados para evaluar las diferencias en las condiciones ecológicas que interactúan con plantas de reclutamiento reciente y el resto de plantas se recogen en la tabla 3.11. Conviene recordar que el sentido de dichos contrastes era similar al expuesto para los plantones en la experiencia de refuerzo (ver tabla 1.2).

El reclutamiento reciente en los núcleos poblacionales del crujiente en el Alfambra no se muestra dependiente de la insolación recayente en el micrositio natural, rechazándose la hipótesis ecológica. También debe rechazarse ésta en el caso de la pendiente, para la que sí se detecta efecto significativo (U de Mann-Whitney = 6775,5; $n = 307$; $p < 0,010$), pero de naturaleza contraria a la inicialmente planteada, predominando la presencia de plantas de reclutamiento reciente en pendientes de menor ángulo.

Sí se cumplen todas las hipótesis ecológicas para las variables de cobertura vegetal. Mayores anchuras accesibles a la escorrentía (U de Mann-Whitney = 9.976,5; $n = 307$; $p < 0,050$); menores alturas de sus competidoras (U de Mann-Whitney = 3.708,5; $n = 307$; $p < 0,001$); menores coberturas totales (U de Mann-Whitney = 6.701,5; $n = 307$; $p < 0,001$); y mayores distancias a sus competidoras (U de Mann-Whitney = 11.074,5; $n = 307$; $p < 0,001$) son las condiciones ecológicas más favorables para el reclutamiento reciente, tal como ocurría en el refuerzo.

En el caso de las variables de interacción con fauna y ganado, la densidad de heces de ganado es la única con efecto significativo (U de Mann-Whitney = 9.625,5; $n = 307$; $p < 0,050$), con menores densidades en los micrositios con planta de reclutamiento reciente, lo que nos lleva a aceptar la hipótesis ecológica.

Tabla 3.11.- Media y desviación típica y significación estadística para las variables ambientales en función de modalidad de la variable cualitativa planta de reclutamiento reciente.

Filtro ambiental	Variable ambiental	Variable planta reclutamiento reciente			
		Modalidad no		Modalidad si	
		Media	s _{n-1}	Media	s _{n-1}
Geomorfología	Coefficiente insolación	0,959 a ⁽¹⁾	0,322	1,021 a	0,245
	Pendiente (°)	26,7 b	15,6	19,7 a	9,9
Cobertura vegetal	Anchura accesible a la escorrentía (m)	0,49 a	0,30	0,56 b	0,27
	Altura competidoras (cm)	30,4 b	14,7	17,6 a	7,8
	Cobertura total (%)	33,8 b	25,1	23,5 a	17,8
	Distancia competidoras (cm)	17,1 a	19,1	23,9 b	19,3
Interacción fauna/ganado	Densidad heces de cabra (heces/m ²)	0,3 a	1,3	0,6 a	2,5
	Densidad heces ganado (heces/m ²)	3,1 b	6,3	1,9 a	6,2

(1).- Para cada variable ambiental, letras diferentes tras la media de las modalidades de la variable reclutamiento reciente denotan efecto significativo al 95 % en el test estadístico aplicable.

La coincidencia de muchos de los resultados obtenidos en este apartado con los expuestos para la experiencia de refuerzo nos hace pensar que son éstas las condiciones más favorables para el reclutamiento, establecimiento y posterior desarrollo de las nuevas plantas, lo que parece señalar a los valores medidos en estas plantas de reclutamiento reciente como los de referencia para la experiencia de refuerzo.



**Universidad
Zaragoza**



**Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado en Ciencias Ambientales



Bases ecológicas para el refuerzo del crujiente (*Vella pseudocytisus* subsp. *pau* Gómez-Campo) en el Valle del Alfambra (Teruel)

4. DISCUSIÓN

4. DISCUSIÓN

El primer paso para establecer las bases ecológicas a las que aspira este TFG pasa por la selección de las condiciones ambientales más favorables para el éxito del traslado. Hemos de recordar que para este estudio, éxito se define como la capacidad del plantón de establecerse, desarrollarse y reclutar ante los filtros abióticos y bióticos presentes en el ambiente de traslado aplicando mínima intervención. Dedicaremos esta discusión al análisis de la información, que a este respecto, nos proporcionan los datos del refuerzo y de los ecosistemas de referencia (núcleos poblacionales) en el Valle del Alfambra.

4.1. Respuesta del crujiente ante las condiciones ecológicas presentes en sus ambientes de traslado o naturales

Para la selección de las áreas potenciales de traslado, la experiencia de refuerzo ha priorizado determinadas condiciones ecológicas (las hipótesis de partida) sin renunciar a condiciones, en principio, menos favorables para conocer la respuesta del crujiente ante las mismas. Nuestros resultados indican que esta estrategia de trabajo ha sido eficaz, pues los traslados poco exitosos o extintos proporcionan una información que ha resultado tan discriminante como la de los refuerzos más prometedores. Resultados similares se recogen en la bibliografía (Godefroid y col., 2011; Primack, 2011).

Además, con esta metodología, se ha valorado un amplio rango de condiciones ambientales, que consideramos representativas del territorio donde se desarrolla la experiencia de refuerzo y que han inducido en los plantones respuestas diversas. Todo ello da mayor validez a nuestros resultados a la hora de establecer unas bases ecológicas para el refuerzo del crujiente con aplicación en el Valle del Alfambra.

4.1.1. La costra biológica tiene un efecto negativo sobre cualquier fase de la respuesta de los plantones

Entre las condiciones poco favorables, la experiencia de refuerzo ha ensayado un conjunto de microambientes donde existe evidencia de costra biológica en sus suelos. Son conocidas las limitaciones que esta costra impone sobre el crecimiento vegetal (Castillo-Monroy y Maestre, 2011; Gil y Ramos, 2011; Maestre y col., 2011) y sobre la emergencia y establecimiento de las plántulas (Prasse y Bornkamn, 2000; Langhans y col., 2009).

El crujiente no es ajeno a estas dificultades, detectándose efecto negativo de la costra sobre cualquiera de las fases en las que se ha dividido el ciclo del plantón tras su traslado. La presencia de costra biológica reduce el establecimiento, limita el crecimiento y anula el reclutamiento de los plantones de crujiente. Dichas respuestas se ven confirmadas por el comportamiento de la planta en sus hábitats naturales, donde la aparición de costra biológica supone una causa de discontinuidad en su distribución (figura 4.1).

Domínguez y col. (2011e) también señalan la ausencia del crujiente sobre suelos con tendencia a la formación de costra, que denominan como yesosa. En ambientes semiáridos como el que nos ocupa, la aparición de costra biológica se asocia con un elevado contenido en yeso en el suelo (Gil y Ramos, 2011), comportamiento también detectado en nuestro estudio. Los trabajos que evalúan la relación del crujiente con el yeso la clasifican como planta gipsófito (Mota y col., 2009; Domínguez y col., 2011e), aunque seleccionando sustratos con valores de yeso por debajo del 5 % (Domínguez y col., 2005). Nuestros análisis en los hábitats naturales coinciden con este resultado, aunque también se ha detectado la planta creciendo en contenidos algo mayores (10 - 20 %).



Figura 4.1. Ladera en el Puntal del Prado donde se observa una zona de discontinuidad (flecha azul) en la distribución del crujiente por la aparición de costra biológica (izquierda). Evidencias de costra biológica en la zona de discontinuidad (derecha).

Sin embargo, ni el yeso, ni el resto de componentes del suelo con los que éste se asocia (arcilla, limo o conductividad eléctrica), explica la respuesta de los plantones ante el factor suelo. La experiencia de refuerzo ha testado microambientes extremadamente gípsicos (> 60 % de yeso) donde muchos de los plantones presentan buen establecimiento y desarrollo y donde se detectan plántulas e hijas que comienzan a prosperar (microambiente VK-V3d; figura 4.2).

En todo caso, este último resultado en relación al yeso debe ser observado con prudencia ya que la bibliografía señala distorsiones en los valores de yeso, por interferencias entre éste y las fracciones texturales del suelo, cuando el método de análisis es la sedimentación y el contenido en yeso supera el 15 % (Gil y Ramos, 2011). Se necesitaría un estudio en mayor profundidad, y con otra metodología de análisis, para conclusiones al respecto del comportamiento del crujiente ante valores de yeso elevados.

Pero lo que sí demuestra el comportamiento del crujiente en el microambiente VK-V3d es que la formación de la costra biológica es el factor clave para explicar la respuesta de los plantones en suelos con composición favorable al encostrado. La intervención de otros factores del medio estaría dando como resultado la aparición en este microambiente de un suelo suelto que, frente a lo observado en su entorno más cercano, no desarrolla costra biológica.



Figura 4.2. Microambiente VK-V3d: aspecto del microambiente de refuerzo (izquierda), plantón con buen desarrollo y floración trasladado en 2009 (centro), hija de reclutamiento reciente observada durante el trabajo en campo (2013) que comienza su desarrollo en las condiciones del microambiente de refuerzo (derecha).

4.1.2. Los suelos sueltos son favorables al traslado de los plantones

En suelos con tendencia al encostrado, si las condiciones ambientales favorecen su remoción, se aumenta la probabilidad de éxito de los plantones. Estas condiciones facilitadoras por la no formación o rotura de la costra (figura 4.3), se relacionan en climas semiáridos con aumentos en la tasa de retención e infiltración del agua en el suelo (Chamizo y col., 2010).

La perturbación generada por el pastoreo puede jugar un papel importante en los microambientes con costra biológica. El paso de ganado por terrenos con costra parece modular su efecto sobre los plantones, aumentando sus posibilidades de supervivencia y crecimiento. La cabra montesa, con una tendencia al incremento en su densidad y área de ocupación en el Alfambra (González y col., 2013), podría tener el mismo efecto sobre el suelo que el asociado al ganado (éste en retroceso en el Valle) (figura 4.3).

Este efecto positivo del ganado y la cabra no se traslada significativamente al reclutamiento de nuestras plantaciones, pero la bibliografía sí apoya el efecto beneficioso de la remoción sobre esta fase del ciclo de las plantas.

Prasse y Bornkamn (2000) observaron que la rotura mecánica de la costra biológica mostraba efectos positivos sobre la emergencia de nuevas plantas, antes excluidas de estas zonas con tendencia al encostrado. Dicha rotura facilitaría la penetración radicular y, con ello, el acceso a nutrientes y agua tan necesarios para la pervivencia de la plántula. Domínguez y col. (2005) también señalan a estos suelos removidos como más favorables al desarrollo de las plántulas de crujiente por su mayor capacidad de retención del agua.



Figura 4.3. Ejemplo de plantón desarrollándose en suelo removido por paso de ganado. Foto: José M. González Cano (izquierda). Microambiente VK-V4 con evidencias de formación de costra física y biológica. La mayoría de los plantones supervivientes se ubican en las sendas generadas por la cabra montesa (derecha). Las sendas son el tipo de erosión más característico de las cabras en ambientes arcillosos y yesosos y pueden llegar a ser fácilmente identificables en el medio.

Algunas evidencias en campo también apoyan este papel positivo de los suelos sueltos sobre la respuesta del crujiente. Una mayor pendiente en el microambiente de refuerzo favorece los procesos de escorrentía hídrica y gravitacional observándose un suelo más removido ante estas condiciones (a ello se refiere el *mayor potencial erosivo* contemplado por los responsables del Gobierno de Aragón como favorable al traslado). Otras fuentes de perturbación, naturales (entradas a madriguera, escarbaderos, etc.) o antrópicas (excavaciones, apertura de caminos, etc.) se han mostrado favorables para la respuesta de los plantones (figura 4.4). En este efecto participa, de nuevo, la remoción del suelo generada.

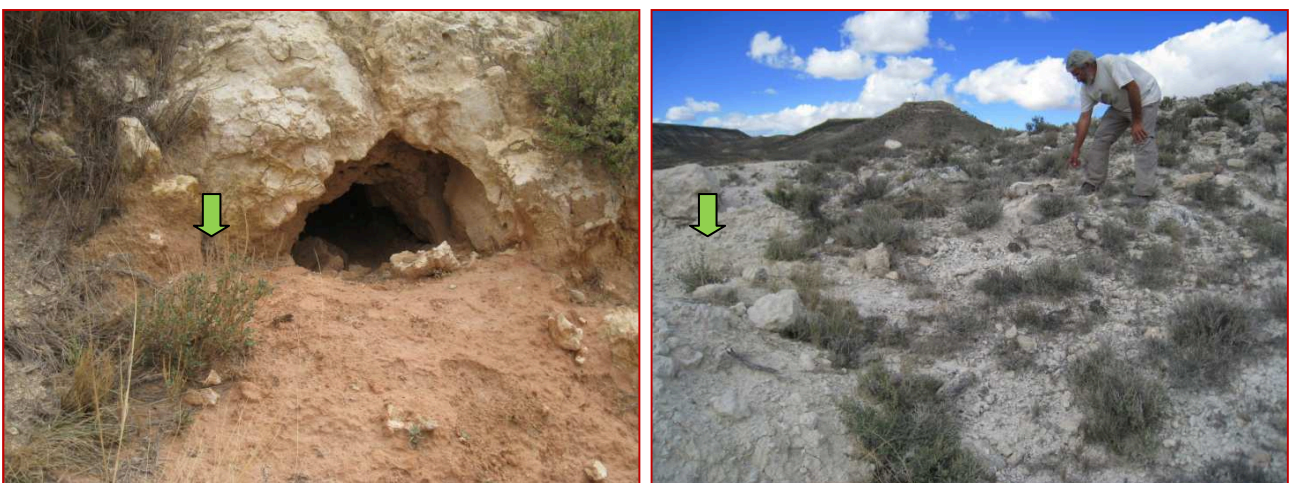


Figura 4.4. Plantón con buen desarrollo aprovechando la remoción del suelo que origina la madriguera (izquierda). Plantón superviviente sobre suelo suelto por excavación paleontológica. D. José Manuel González señala plantón extinto sobre suelo no alterado con evidencias de costra (derecha).

La litología juega un papel importante en la naturaleza de los suelos. Goñi y Campo (2011) la señalan como el principal factor predictivo de la distribución natural del crujiente a una escala de paisaje. En el Alfambra, la planta se asocia fundamentalmente con materiales yesosos aunque es frecuente observarla sobre otros tipos de sustratos (Domínguez y col., 2005; Sainz y Domínguez, 2011). Las litologías testadas por la experiencia de refuerzo, y las detectadas en nuestro estudio de los núcleos poblacionales, indican que la planta es capaz de prosperar favorablemente sobre litologías variadas. Quizás son los usos agrícolas en el Alfambra los que han relegado al crujiente a estas zonas con yeso por su menor potencialidad para el cultivo. Un comentario similar es apuntado por Goñi y Campo (2011).

Entre los diferentes materiales litológicos seleccionados por los responsables del Gobierno de Aragón, los que incluyen a la arcilla han mostrado buenos resultados. Frente a lo detectado en muchas de las plantaciones localizadas sobre terrenos yesosos, no se evidencian dificultades impuestas por la naturaleza del suelo para el establecimiento, desarrollo y reclutamiento del crujiente trasladado (figura 4.5), mostrando suelos con poca tendencia al encostrado. Nuestros resultados también detectan este efecto de la fracción arcilla sobre la no formación de costra, aunque, como en el caso del yeso, este componente textural tampoco explica por separado las respuestas observadas en los plantones.



Figura 4.5. Microambiente VI-VI sobre terreno arcilloso y con suelo sin tendencia al encostrado: aspecto del microambiente (izquierda), ejemplo de plantón con buen desarrollo y floración (centro), reclutamiento del año 2013 (derecha).

Estos resultados y evidencias hacen que la experiencia de refuerzo considere como favorables a estos terrenos arcillosos, siendo ambientes a seguir explorando en futuros traslados (González Cano, *com. per.*). Sainz y Domínguez (2011) también señalan buenas manifestaciones de la subespecie *pau* en las lutitas existentes en su área de ocupación.

Todo lo comentado en relación al suelo, y en especial lo relativo a la aparición de costra biológica (y también física), señalan a este filtro abiótico como clave para la respuesta del crujiente trasladado. Sólo en ausencia de limitaciones impuestas por el suelo cobran protagonismo el resto de los filtros ambientales analizados en este trabajo.

4.1.3. Mayores niveles de cobertura vegetal y ganado reducen el establecimiento y reclutamiento del crujiente trasladado

Los resultados apuntan a la cobertura vegetal y al ganado como los filtros más importantes a superar para el establecimiento y reclutamiento del crujiente en ambientes sin costra. Los plantones responden negativamente ante elevada cobertura vegetal, especialmente si la configuración espacial de la misma no permite un buen acceso a la escorrentía superficial y genera excesivo sombreado (figura 4.6).

También las posibilidades de éxito del plantón se ven claramente condicionadas por la intensidad del pastoreo al que se ve sometido, suponiendo una mayor densidad de heces en el ambiente de refuerzo menores posibilidades de establecimiento y generación de descendencia. De hecho, en ausencia de costra, una presión muy elevada de ganado es la causa principal de extinción detectada en campo.



Figura 4.6. Ejemplos de microsítios de refuerzo extintos por: excesiva cobertura vegetal que limita el acceso al agua de escorrentía del plantón trasladado (izquierda), excesivo sombreado por competidora muy cercana y de altura muy superior al plantón de refuerzo (derecha).

En los núcleos poblacionales, las plantas clasificadas como de reclutamiento reciente confirman estos resultados para el efecto de la cobertura vegetal y el ganado. Además, frente al refuerzo, su ciclo incluye la germinación y desarrollo de la plántula. Estas plantas se encuentran mayoritariamente en condiciones de baja cobertura, aprovechando los claros del microambiente que colonizan, y siempre con baja intensidad de pastoreo.

4.1.4. El ganado afecta al desarrollo del crujiente en sus hábitats naturales

Nuestros análisis del refuerzo señalan un papel menos importante de los filtros bióticos sobre la fase de desarrollo del plantón. La explicación a este resultado puede encontrarse en la metodología empleada en este trabajo para las variables de desarrollo (biovolumen y floración). En su cálculo,

sólo se considera a los plantones supervivientes y, por tanto, desarrollándose, con mayor frecuencia, en condiciones de baja cobertura vegetal y baja intensidad de pastoreo.

Sin embargo, los datos recopilados en los núcleos poblacionales muestran que el ganado sí afecta al desarrollo del crujiente, con tamaños medios de planta más pequeños y menores porcentajes de floración en microambientes con mayor presión de pastoreo. Resultados similares, asociados a la geofoma ocupada por la planta, han sido expuestos por Domínguez y col. (2011b).



Figura 4.7. Plantas de crujiente creciendo junto a zona con claras evidencias de avance del matorral y vegetación arbustiva en el Puntal del Prado.

Este efecto del ganado sobre el desarrollo del crujiente es extrapolable al de sus competidoras. Una mayor densidad de heces de ganado produce cierto aclarado de la vegetación circundante (menor cobertura, menor altura de competidoras y mayor distancia entre plantas). Dichos resultados sugieren que el ganado puede tener un efecto positivo sobre el crujiente, restándole cobertura. De hecho, el abandono del pastoreo está en el cerramiento del matorral y el avance de la vegetación arbustiva que se evidencia en alguno de los microambientes naturales muestreados (figura 4.7). Estas condiciones dificultan el reclutamiento y establecimiento de nuevos individuos.

La relación entre crujiente y ganado presenta aspectos positivos y negativos para la planta dependientes de la intensidad del pastoreo. De hecho, en nuestro estudio es la aproximación cuantitativa al ganado la que proporciona resultados más concluyentes, señalando que la variable cualitativa nominal elegida como criterio de selección podría resultar demasiado simple.

Esta necesidad de cuantificación puede relacionarse con la hipótesis de la perturbación intermedia propuesta por Connell en 1978. Una perturbación muy elevada por el pastoreo es negativa para el crujiente, reduciendo su establecimiento y afectando a su desarrollo y reclutamiento. Sin embargo, perturbaciones intermedias por paso de ganado o cabra montesa pueden resultar favorables a los objetivos del refuerzo en terrenos con tendencia al encostrado o con cerramiento de la vegetación.

4.1.5. La dinámica solana-umbría condiciona la cobertura vegetal del microambiente de refuerzo

El grado de cobertura vegetal en los ambientes de refuerzo muestra una estrecha relación con la dinámica solana-umbría. Las solanas presentan valores más bajos de cobertura y una mayor distancia entre plantas lo que favorece el establecimiento de los plantones en esta orientación. La

solana también supone un mayor coeficiente de insolación, condición que resulta favorable a la respuesta del plantón por su relación con la cobertura vegetal (mayor insolación, menor cobertura). Este último comentario se ve apoyado por el comportamiento de las plantas naturales de reclutamiento reciente, para las que la insolación en sus micrositos de presencia no es un factor significativo, sí siéndolo la cobertura vegetal a que se enfrentan.

Sin embargo, en los núcleos poblacionales del crujiente en el Valle la orientación no se muestra como un factor limitante para la planta. De hecho, no se observan diferencias en el grado de cobertura atribuibles a la orientación preferente de sus microambientes de presencia. Este resultado, similar al expuesto por Goñi y Campo (2011), no hace más que apoyar que el crujiente selecciona con mayor frecuencia ambientes con baja cobertura.

Por último, en relación con la cobertura vegetal, el suelo puede volver a jugar un papel importante a través de su contenido en materia orgánica. Mayores contenidos en esta variable se relacionan con mayores valores de cobertura y, por tanto, peores condiciones para el plantón. La menor cobertura podría participar en la explicación de porqué el crujiente selecciona con mayor frecuencia suelos coluviales de escaso desarrollo y bajo contenido en materia orgánica (Domínguez y col., 2005).

4.1.6. La geoforma condiciona los filtros ambientales que interactúan con el crujiente en sus hábitats naturales

En los núcleos poblacionales del Alfambra, la geoforma, a través de la pendiente que condiciona, se muestra como el filtro más importante a la hora de explicar las diferencias ecológicas a las que se enfrenta el crujiente, resultado que coincide con el expuesto por Goñi y Campo (2011). Además del ya comentado efecto de la pendiente sobre el potencial erosivo, en estas diferencias entre geoformas participan de nuevo el grado de cobertura vegetal y la presión de ganado que interactúan con la planta.

Nuestros resultados asocian mayores pendientes con menor presión de pastoreo, lo que participaría en los mayores biovolúmenes y floraciones que se detectan en terrenos con mayor ángulo (escarpes y taludes). Este comportamiento coincide con el observado por Domínguez y col. (2011c) que también lo asocian a la misma causa (menor incidencia de las ovejas).

Mayores pendientes se relacionan con menores coberturas vegetales, con los escarpes y, en menor grado, los taludes con condiciones más favorables para la planta. Sainz y Domínguez, (2011) apuntan una ventaja competitiva del crujiente en estos ambientes de pendiente más elevada. Su capacidad de anclaje le permite profundizar en el terreno y acceder a nutrientes y agua no disponibles para sus competidoras.

Este comportamiento del crujiente en escarpes y taludes tiene mucho que ver con el grado de perturbación natural que se observa en estas geoformas (figura 4.8). Frente al efecto beneficioso

de una perturbación intermedia asociada al ganado o la cabra montesa, son las altas perturbaciones relacionadas con la geoforma las que parecen favorecer al crujiente.

Es la combinación de los factores pendiente y litología la que parece estar en la explicación del elevado grado de perturbación en escarpes y taludes. En la población del Alfambra, estas dos formas del relieve predominan en el Barranco de los Chopos, Barranco de la Hoz y Ermita San Cristóbal. En ellos, el material sobre los que asienta el crujiente es fácilmente deleznable, lo que hace frecuente la caída de material del escarpe al talud, renovando y aumentando el suelo disponible para la planta.

También son frecuentes los descalzamientos, desplomes y corrimientos de mayor magnitud, a los que el crujiente se adapta por su capacidad de anclaje, y que le restan competencia vegetal. Además, estas condiciones dificultan la accesibilidad del ganado, especialmente la de los grandes rebaños. Todas estas condiciones resultan favorables para cualquiera de las fases en las que se ha dividido la respuesta del crujiente, de ahí que en estos ambientes con elevada perturbación sea en muchas ocasiones el matorral dominante y actúe como primo-colonizadora. Un resultado similar es apuntado por Sainz y Domínguez (2011).



Fig. 4.8. Escarpe rocoso y talud en el Barranco de la Hoz (izquierda). Ladera en el Puntal del Prado (derecha). Obsérvese el diferente grado de perturbación natural entre ambos hábitats. Los individuos con mayor biovolumen se ubican en el hábitat más perturbado.

Frente a escarpe y talud, la ladera, forma del relieve predominante en el resto de núcleos poblacionales, presenta condiciones de mayor cobertura vegetal y pastoreo y, por inspección visual, un suelo más consolidado (figura 4.8). Ante estas condiciones de menor perturbación, que han resultado poco favorables a la respuesta y dispersión de la planta, parece poder afirmarse que el crujiente compite de forma menos eficiente.

Pero una elevada perturbación puede suponer condiciones negativas para el traslado. La frecuente caída de bloques y desplomes en algunos escarpes y taludes, puede comprometer la

viabilidad de los plantones, aunque el crujiente parece tener cierta capacidad de adaptación y recuperación en estas condiciones (figura 4.9).

Además, Domínguez y col. (2011b) con base en sus resultados demográficos, señalan que con pocos ejemplares de buen desarrollo y floración se puede asegurar la viabilidad demográfica de la población. Todo ello apoya la tendencia de la experiencia de refuerzo por explorar estos ambientes perturbados, muy representados en el Valle, y que no siempre tienen un origen natural. Volveremos sobre ello en el siguiente apartado.



Figura 4.9. Ejemplar de crujiente, con buen desarrollo y floración, rodeado por bloques procedentes del descalzamiento del escarpe superior en el Barranco de La Hoz. Parte de la planta se encuentra bajo el bloque de mayor tamaño (izquierda). Derrumbe junto a plantón de refuerzo en el microambiente VB-V2a. Esta perturbación ha provocado la extinción de parte de la plantación (derecha).

El estudio del refuerzo no contradice los resultados y evidencias expuestas en los hábitats naturales para el efecto de la geoforma. Los plantones también muestran mayor desarrollo en micrositos con pendiente más elevada, efecto que hemos asociado a la remoción del suelo en estas condiciones. De igual forma, la geoforma ocupada por la plantación también supone diferencias en el grado de cobertura vegetal y pastoreo, con las laderas con las peores condiciones en ambos filtros ambientales y, por tanto, peor respuesta.

Sin embargo, la dependencia detectada entre geoforma y orientación en el muestreo del refuerzo limita la atribución de los comportamientos observados a los efectos simples de ambos criterios. Los resultados de refuerzo o núcleos poblacionales, y las evidencias en campo, sí parecen indicar que las condiciones ambientales que nuestros datos asocian a cada una de las modalidades de geoforma y orientación son las más representadas.

Pero también se desprende de estos datos, que en cualquiera de dichas modalidades es posible la existencia de condiciones adecuadas al traslado de los plantones. De hecho, hemos detectado en el Alfambra individuos de crujiente creciendo favorablemente en cualquier valor de orientación o pendiente, resultado que coincide con el expuesto por Goñi y Campo (2011).

4.1.7. La perturbación antrópica una oportunidad para el refuerzo

La acción antrópica por la apertura de nuevos caminos, pistas para la instalación de tendidos eléctricos, mejora de vías de comunicación, actividad minera, etc., ha provisto de microambientes potenciales (terraplenes, bermas, escombreras, etc.) para el traslado de los plantones. Ejemplos de perturbaciones antrópicas (abandono del cultivo, instalación de tendido eléctrico y ribazos) también son detectadas en el área de ocupación natural del crujiente.

La experiencia de refuerzo ha ensayado algunos de estos ambientes con buenos resultados. La alta perturbación generada, que se traduce en un suelo removido, baja competencia vegetal, y ausencia o leve paso de ganado, es aprovechada por los plantones para un rápido establecimiento, desarrollo y reclutamiento en estas condiciones tan favorables. Respuestas similares son observadas en los núcleos poblacionales (figura 4.10).



Figura 4.10. Microambiente de refuerzo VF-V2. La planta fue introducida en un terraplén generado durante la apertura de una pista para la instalación de un tendido eléctrico. Se trata de uno de los microambientes ensayados más exitosos, con buen establecimiento y desarrollo de las plantas y elevada tasa de reclutamiento (izquierda). La misma causa de perturbación antrópica aparece en el núcleo poblacional del Barranco Lloro, siendo aprovechada por el crujiente para su colonización con una alta densidad (derecha).

Esta adaptación del crujiente a los ambientes perturbados está ampliamente documentada en la bibliografía (Domínguez y col., 2011b). Sin embargo, estos autores atribuyen a hábitats antropizados, como los ribazos, un carácter transitorio que no asegura la viabilidad de la planta a largo plazo por, entre otras causas, la elevada presión antrópica que soportan. Por ello, la experiencia de refuerzo no contempla los ribazos como ambientes de traslado, utilizando otros ambientes perturbados por la acción del hombre sólo si su evolución posterior es natural.

4.1.8. La pendiente favorece la dispersión de las semillas

Ya se ha comentado que el crujiente puede colonizar cualquier valor de pendiente, resultando más favorables los valores más altos de esta variable al suponer mejores condiciones de suelo,

cobertura y pastoreo. Sin embargo, en los núcleos poblacionales, las plantas de reclutamiento reciente seleccionan en sus micrositios de presencia pendientes algo más bajas que las del resto de plantas. Ello podría tener que ver con diferencias en la tasa de reclutamiento en función de geoforma, aspecto no evaluado en este trabajo. Pero, dado el papel que atribuimos a la pendiente sobre el potencial erosivo, también podría estar indicando cierta dispersión de la semilla mediada por escorrentía hídrica o gravitacional a estas zonas de menor pendiente.

Este comportamiento, que es observado en campo (figura 4.11), también ha sido expuesto por Domínguez y col. (2005). Estos autores señalan a estas zonas de menor ángulo como más favorables al desarrollo de las plántulas por su suelo removido, y la mayor capacidad de retención del agua en estas condiciones.



Figura 4.10. Ejemplar de crujiente (flecha azul) creciendo junto a arnacho (*Ononis tridentata*) en zona final de escorrentía del Barranco de la Hoz. Obsérvese la acumulación de suelo existente y la remoción del mismo. En la actualidad, ambas plantas se han extinguido por el paso del ganado.

4.1.9. Respuestas a las hipótesis ecológicas planteadas

La tabla 4.1 recoge el resultado de los contrastes planteados para dar respuesta a las hipótesis ecológicas de este TFG. A este respecto, queremos señalar que la detección de efecto negativo sobre cualquiera de las fases en las que hemos dividido la respuesta del plantón (establecimiento, desarrollo y reclutamiento) nos llevará a rechazar la hipótesis de partida.

En lo que respecta a las hipótesis planteadas para el estudio de los núcleos poblacionales, nuestros resultados confirman la existencia de diferencias ecológicas entre los hábitats colonizados por la planta (geoformas), que se traducen en diferentes respuestas del crujiente y que se asocian con un suelo favorable, niveles bajos de cobertura vegetal y de presión de ganado y con el grado de perturbación natural existente.

También se confirma la existencia de diferencias ecológicas entre las plantas de reclutamiento reciente y el resto, respondiendo aquéllas con similar naturaleza que los plantones de refuerzo para la mayoría de condiciones ambientales. Ello indica que las necesidades de las plantas de refuerzo para su éxito no difieren en mucho de las necesarias para el crujiente en sus hábitats naturales.

Además, la información aportada por estas plantas naturales de reclutamiento reciente incluye las condiciones más favorables para la nacencia y pervivencia de la plántula y nos muestran una fotografía relativamente reciente de esas condiciones en los núcleos poblacionales del crujiente en el Alfambra.

4.2. Comentarios finales

Los resultados obtenidos en el estudio de refuerzo serán aplicables a procedimientos de traslado cuya metodología es la plantación y con una tipología de plantón muy concreta. Podría ser interesante ampliar un estudio de esta tipología para traslados por siembra. A este respecto, la experiencia de reintroducción del crujiente en Ateca y Calatayud (Zaragoza) puede proporcionar información que complemente la de esta experiencia de refuerzo (Guzmán y Sanz, 2011).

Nuestros resultados muestran que tres años desde el traslado parecen suficientes como para que la planta manifieste el sentido de su establecimiento en las condiciones del microambiente de refuerzo. Sin embargo, dada la longevidad de la subespecie *pavi* (Génova y Sánchez, 2011) y su lenta biología (Domínguez y col., 2011e) podría ser necesario un plazo más largo de seguimiento para validar los resultados de los traslados más recientes y en condiciones poco favorables.

Tabla 4.1. Resultados de los contrastes de hipótesis planteados para evaluar la respuesta del crujiente ante los cambios en las condiciones ambientales

Aproximación	Filtro ambiental	Naturaleza de las hipótesis ecológicas a contrastar	Resultado del contraste
Cualitativa	Costra biológica	Efecto negativo	Se acepta. La presencia de costra reduce el establecimiento, limita el desarrollo y anula el reclutamiento. El suelo removido favorece cualquiera de las fases del ciclo del plantón trasladado
	Ganado	Efecto negativo	Su valoración necesita de cuantificación de la perturbación generada
	Geoforma	Talud efecto positivo	Serán las condiciones de pendiente, competencia vegetal y ganado presentes en la geoforma las que la hagan más o menos favorables. Las geoformas con mayor pendiente o perturbación natural pueden ser más favorables al traslado
	Orientación	Solana efecto positivo	Se acepta. La solana supone menor competencia vegetal y menos ganado lo que favorece cualquiera de las fases del ciclo. Su efecto está muy relacionado con la geoforma ocupada
Cuantitativa	Insolación	Mayor coeficiente de insolación efecto positivo	Se acepta. Su efecto se relaciona con la menor competencia vegetal existente en condiciones de mayor insolación.
	Pendiente	Mayor pendiente efecto positivo	Se acepta. Mayores pendientes favorecen mejores desarrollos de los plantones trasladados. Sin embargo, el reclutamiento puede verse favorecido en zonas de menor ángulo con suelo suelto.
	Contenido yeso	Mayor contenido en yeso efecto negativo	Se rechaza. Los resultados no muestran efecto del contenido en yeso sobre ninguna de las fases del ciclo del plantón trasladado. Sin embargo, más yeso se asocia con mayor presencia de costra. Frente al yeso, una mayor presencia en el suelo de arcilla puede favorecer la respuesta al reducir la tendencia al encostrado.
	Materia orgánica	Mayor contenido en materia orgánica efecto negativo	Se acepta. Mayores contenidos se asocian con mayor competencia vegetal
	Altura competidoras	Mayor altura de competidoras efecto negativo	Se acepta. El crujiente trasladado ve dificultado su establecimiento ante competidoras que le generen excesivo sombreado.
	Cobertura total	Mayor cobertura total efecto negativo	Se acepta. Menores coberturas favorecen el establecimiento y reclutamiento
	Distancia competidoras	Mayor distancia a sus competidoras efecto positivo	Se acepta. Mayores distancias favorecen todas las fases del ciclo del plantón
	Esorrentía	Mayor acceso a la esorrentía efecto positivo	Se acepta. Mayor accesibilidad al agua de esorrentía favorece cualquiera de las fases del ciclo del plantón
	Densidad cabra	Mayor densidad de cabra varía la respuesta	Se rechaza. Sin embargo, la cabra puede mostrar los mismos efectos favorables o desfavorables que el ganado
	Densidad ganado	Mayor densidad de ganado efecto negativo	Se acepta. Más ganado dificulta el establecimiento y reclutamiento y puede reducir el desarrollo. Sin embargo, un pastoreo moderado puede favorecer la remoción del suelo y el aclarado de la vegetación.



**Universidad
Zaragoza**



**Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado en Ciencias Ambientales



Bases ecológicas para el refuerzo del crujiente (*Vella pseudocytisus* subsp. *pavi* Gómez-Campo) en el Valle del Alfambra (Teruel)

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

1) El primer criterio para la selección de los microambientes de refuerzo y zonas próximas colonizables es la presencia de costra biológica en el suelo. Su aparición:

- a. reduce el establecimiento de los plantones,
- b. limita el crecimiento en biovolumen y la floración de los mismos,
- c. anula el reclutamiento en el microambiente de refuerzo o zonas potenciales de dispersión.
- d. supone una discontinuidad en la distribución natural del crujiente.

Estos resultados descartan a los microambientes con costra biológica para el refuerzo por las nulas posibilidades de éxito del plantón.

2) Las evidencias en campo señalan a los suelos sueltos como más favorables para el refuerzo al influir positivamente sobre el establecimiento, desarrollo y reclutamiento del crujiente trasladado. El refuerzo deberá potenciar todas aquellas condiciones y procesos que favorezcan la remoción continua del suelo. La presencia de un suelo suelto debería incluirse como un criterio favorable para la selección de los ambientes de traslado.

3) Para una valoración adecuada del efecto del ganado sobre el crujiente es necesario la cuantificación del grado de perturbación generada por su paso.

4) Una alta perturbación por el ganado (medida por su densidad de heces):

- a. reduce la supervivencia de los plantones,
- b. reduce las posibilidades de reclutamiento en los ambientes de refuerzo y naturales,
- c. disminuye el biovolumen medio del crujiente y su floración en los ambientes naturales.

Estos resultados descartan a los ambientes con elevada intensidad de pastoreo para el traslado.

5) En su interacción con otros factores ambientales como la naturaleza del suelo o la cobertura vegetal, una perturbación intermedia, por ganado o cabra montesa, podría resultar favorable a los objetivos del refuerzo, al observarse:

- a. mejores condiciones en su presencia para el establecimiento y desarrollo de los plantones cuando en el suelo existen evidencias de costra biológica. Este efecto se asocia en campo con la rotura de la costra que provoca su paso.
- b. una menor cobertura vegetal y altura de las competidoras en microsítios naturales con presencia de ganado.
- c. evidencias del avance y cerramiento de la vegetación en los núcleos poblacionales en zonas de abandono del ganado.

6) Condiciones de elevada cobertura vegetal son siempre poco favorables al refuerzo, al reducir el establecimiento y reclutamiento de los plantones y plantas naturales de reclutamiento reciente.

7) La disposición espacial de la cobertura vegetal debe permitir al plantón un buen acceso a la escorrentía, con competidoras alejadas y de baja altura que no le generen sombreado. Estas condiciones se muestran como las más favorables para el establecimiento y reclutamiento en los micrositios de refuerzo y naturales.

8) La utilización de geofoma y orientación como criterios de selección es limitada. Serán las condiciones de pendiente, competencia vegetal, intensidad de pastoreo y perturbación natural las que harán más o menos favorables el traslado de los plantones a alguna de sus modalidades.

9) Una mayor pendiente en el microambiente de refuerzo puede ser más favorable al traslado al observarse:

- a. un mayor biovolumen de planta y un mayor porcentaje de floración en los micrositios de refuerzo y naturales,
- b. menor competencia vegetal y presión de ganado en los micrositios naturales,
- c. por las observaciones en campo, mecanismos para la remoción del suelo y la dispersión de las semillas.

10) La experiencia de refuerzo deberá favorecer condiciones de perturbación natural, a la que el crujiente presenta capacidad de adaptación y que le confieren ventaja competitiva. A este respecto, se deberá estar atento a fuentes de perturbación antrópica que generen condiciones favorables para la introducción siempre que su posterior evolución sea natural. Se descartan los ribazos como microambientes potenciales de introducción.

11) Son las condiciones más favorables al establecimiento, desarrollo y reclutamiento de los plantones:

- a. la ausencia de costra biológica en el suelo,
- b. suelos sueltos frente a suelos con tendencia a la formación de costra física
- c. la ausencia de pastoreo, siempre que el suelo no tenga tendencia al encostrado ni se evidencia avance y cerramiento de la vegetación.
- d. condiciones de baja cobertura vegetal, con competidoras alejadas que favorezcan un buen acceso a la escorrentía y escaso sombreado.
- e. mayores pendientes.



**Universidad
Zaragoza**



**Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza**

Trabajo Fin de Grado en Ciencias Ambientales



Bases ecológicas para el refuerzo del crujiente (*Vella pseudocytisus* subsp. *pau* Gómez-Campo) en el Valle del Alfambra (Teruel)

6. RECOMENDACIONES

6. RECOMENDACIONES

Un objetivo que ha perseguido nuestro TFG es que sus resultados fueron aplicables a la experiencia de refuerzo del Gobierno de Aragón en el Alfambra. Para ello hemos adaptado nuestra planificación, metodología e hipótesis de trabajo a los protocolos empleados por los responsables de la misma. Es el momento de intentar trasladar la información obtenida con nuestros muestreos a los procedimientos de la experiencia en curso para su consideración en futuros traslados.

6.1. Selección de los microambientes de refuerzo

6.1.1. La aproximación cualitativa. Los criterios de selección

La experiencia de refuerzo comienza con la selección de los microambientes con mayor potencial para el traslado en base a la inspección visual de sus filtros ecológicos. Esta metodología resulta muy útil al permitir focalizar, de forma muy simple, sobre determinados factores ecológicos a seleccionar.

Para que esta metodología sea efectiva, los criterios de selección deben ser fácilmente identificables en el medio y deben proporcionar una información lo suficientemente discriminante. Cualquiera de los filtros elegidos en este trabajo es fácil de identificar en campo. Sin embargo, existen diferencias en la información que nos aportan y que conviene matizar.

Los resultados y evidencias señalan que los criterios geoforma y orientación nos informan de los filtros más probables a las que se enfrenta el crujiente cuando éste se traslada a una de sus modalidades, pero, en principio, ninguna geoforma u orientación parecen descartables, debiendo acudir a la valoración de las condiciones ecológicas particulares que condicionan. Este aspecto limita la capacidad de decisión en base a estos criterios.

Frente a geoforma y orientación, los criterios costra biológica y ganado imponen unas condiciones muy claras para el crujiente, en nuestra opinión porque, en este caso, su interacción es directa con el establecimiento, desarrollo y reclutamiento de la planta. Para ambos criterios, su efecto es independiente del resto, y sólo en el caso del ganado, el acercamiento cualitativo se muestra demasiado simple, manifestando la necesidad de introducir cierta cuantificación para una valoración eficiente de la perturbación que ocasiona.

La intensidad del efecto detectado es el principio elegido a la hora de nuestra priorización de los criterios en el proceso de selección. Esta intensidad nos informará del grado de intervención necesario, aspecto básico a la hora de la elección de un ambiente potencial ante los recursos limitados con los que cuenta la experiencia de refuerzo. En base a los resultados analizados en la discusión, el orden que proponemos es el que sigue: costra biológica y naturaleza del suelo; ganado; competencia vegetal y geoforma-orientación. Analicemos el papel de estos criterios en la selección de los microambientes de refuerzo.

6.1.2. Selección de los microambientes en base a la costra biológica y la naturaleza del suelo

A la vista de la información obtenida, la conclusión lógica es descartar los ambientes con costra biológica (y también física) para el refuerzo. Si el suelo tiende al encostrado, y no existen mecanismos que favorecen la no formación o rotura de esta costra, el nivel de intervención requerido será muy alto, lo que los hace muy poco favorables al traslado. La experiencia de refuerzo debe favorecer procesos que generen un suelo removido de forma continua para asegurar el éxito.

Para la costra, la aproximación cualitativa parece más que suficiente. De hecho, ninguna de las variables de suelo analizadas aporta una información tan discriminante como dicho criterio. Ante estos resultados cabe preguntarse sobre la necesidad de invertir recursos en el análisis de los suelos de los microambientes potenciales. Creemos que son prescindibles, al menos en las variables analizadas. Además, se puede acudir a otras evidencias en campo para una valoración cualitativa, por ejemplo, del contenido en yeso (acumulaciones polvorosas, cristales,...) (tabla A.1) o aplicar métodos sencillos en campo para la textura (ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s06.htm).

Como complemento a este trabajo, sí podría ser interesante cuantificar la dureza del suelo, mecanismo que creemos está en el fondo de esas dificultades de establecimiento, desarrollo y reclutamiento detectadas en zonas con presencia de costra biológica o física.

6.1.3. Selección de los microambientes en base al ganado

Una elevada presión de pastoreo compromete el éxito del refuerzo, debiendo evitarse en los microambientes potenciales. Sin embargo, un pastoreo moderado podría tener cierto efecto positivo a través de la remoción del suelo o el aclarado de la vegetación. Ambos efectos reducen el nivel de intervención a aplicar.

Es el personal responsable de la experiencia el que debe valorar el punto de equilibrio entre los efectos negativos y positivos que el ganado muestra en los plantones, estando siempre atentos a los cambios de intensidad de pastoreo que pudieran surgir, lo que puede conllevar una menor periodicidad en los seguimientos.

La cabra montesa puede jugar el mismo papel comentado para el ganado. A su favor, el hecho de que su intensidad es siempre menor que la de las ovejas. Además, ante las nuevas previsiones de la Política Agraria Comunitaria (PAC), y los cambios de explotación en el Valle, con incrementos de la estabulización, podría compensar el efecto beneficioso del ganado.

Sin embargo, durante nuestros muestreos sí hemos detectado algunos microambientes, que coinciden con descansaderos de la cabra (pies de cantil, vaguadas y crestas con buena visibilidad) y donde la densidad de heces es elevada. La resultante es un efecto tan negativo

para los plantones como el atribuible a las ovejas, debiendo evitarse estas zonas en cualquier caso.

6.1.4. Selección de los microambientes en base a la cobertura vegetal

Aunque nuestro estudio no ha incluido este filtro con una aproximación cualitativa (al ser cuantificada a nivel de micrositio), la experiencia de refuerzo sí realiza una primera aproximación visual a la misma. Tras el análisis de los resultados, creemos que esta aproximación es una metodología adecuada, que proporciona suficiente información de las posibilidades de la planta en el microambiente de traslado, y que debería mantenerse en el proceso de selección visual de los mismos.

El traslado debe valorar la existencia de claros de vegetación en el microambiente de refuerzo y en las zonas colonizables. Las zonas de traslado serán aun más favorables si el origen de estos claros es natural lo que reduce la necesidad de intervención (por ejemplo, con entrecavados para general artificialmente estos huecos).

¿Por qué hemos priorizado el ganado sobre la cobertura vegetal? De los resultados es difícil asignar mayor o menor importancia a alguna de estas variables. Sin embargo, algunos comportamientos nos llevan a este orden de prelación. Entre ellos:

- a. el efecto del ganado sobre la remoción del suelo, aspecto que se configura como fundamental para el crujiente,
- b. que los datos de seguimiento indican que el efecto negativo del ganado se manifiesta más rápidamente que el de la cobertura vegetal,
- c. porque el ganado tiene más difícil control por parte de la experiencia de refuerzo.

6.1.5. Selección de los microambientes en base a la orientación o geoforma ocupada

El análisis de la naturaleza de los criterios geoforma y orientación nos lleva a no descartar, en principio, ninguna de sus modalidades. Serán las condiciones existentes en el resto de filtros ambientales evaluados las que determinen las posibilidades del plantón y el nivel de intervención ante una determinada geoforma, orientación o interacción entre ambas.

Sin embargo, nuestros resultados y la observación en campo muestran algunas asociaciones más probables entre modalidad y condiciones ecológicas, que podría hacernos decantar por algunas de ellas.

Así, en el caso de la orientación, aunque son detectados muy buenos desarrollos de las plantas en orientaciones a umbría, el análisis de la dinámica solana-umbría sugiere que la umbría es un medio más hostil, porque supone mayores condiciones de cobertura vegetal y ganado y aumenta el nivel de intervención necesario.

En el caso de la geoforma, consideramos que el talud es una geoforma más favorable que el resto de las representadas en el refuerzo. En ellos se observa:

1. pendientes elevadas que favorecen el desarrollo del crujiente,
2. limitación a la accesibilidad de los grandes rebaños,
3. reducción de cobertura vegetal por las dificultades que la pendiente impone y donde el crujiente presenta ventaja competitiva por su capacidad de anclaje,
4. mayor remoción del suelo por procesos de erosión física e hídrica y
5. mayor posibilidad de dispersión de la semilla por los mismos mecanismos.

Muchas de las condiciones anteriormente descritas lo están también en los escarpes rocosos. De hecho, el análisis de las respuestas del crujiente en los núcleos poblacionales, lo señala como una de una de las geoformas más favorables para un buen desarrollo de la planta.

La experiencia de refuerzo no ha contemplado esta geoforma por las dificultades para el traslado que supone. De abordarla, sería interesante considerar la combinación de escarpe y talud como la más favorable. El escarpe supone condiciones muy buenas para el desarrollo de plantas adultas con elevada productividad de flores y semillas. Mientras que con el talud, se favorece la dispersión de las semillas, en general, en unas condiciones favorables para su establecimiento y desarrollo. Esta combinación está muy representada en algunos de los núcleos poblacionales del crujiente, mostrando los anteriores comportamientos (figura 6.1).



Figura 6.1. Núcleo poblacional Puente del Alfambra: combinación escarpe rocoso y talud (izquierda), talud con plantas de buen desarrollo. Se observa intervención del Gobierno de Aragón para la eliminación de competencia que favorezca el reclutamiento. La flecha señala zona potencial de dispersión de las semillas mediada por escorrentía y condicionada por la elevada pendiente (centro), planta de reclutamiento reciente en la zona potencial de dispersión (derecha).

Las condiciones favorables que geoformas como el escarpe o talud representan para el crujiente, tienen mucho que ver con el alto grado de perturbación natural que se observa en las mismas, aspecto que parece suponer ventaja competitiva para la planta. Además, las condiciones que genera dicha perturbación implican niveles de intervención bajos. Sin embargo, un mayor nivel de perturbación puede reducir la periodicidad de los seguimientos a realizar. Un interesante artículo

sobre las características de seguimiento en función del grado de perturbación del medio para la subespecie *pavi* ha sido publicado por Domínguez y col. (2011f).

Por último, hay que señalar que la selección de los microambientes de refuerzo potenciales debería considerar desde sus inicios la existencia de zonas limítrofes susceptibles de colonización por las semillas. Estas zonas deberían presentar todas las condiciones que han resultado más favorables para el reclutamiento y posterior establecimiento y desarrollo de nuevos individuos.

Un diagrama de decisión que intenta recopilar toda la información al respecto de la selección de los microambientes de refuerzo y sus zonas potenciales de dispersión se incluye en la figura 6.2.

6.2. Selección de los micrositios de refuerzo

Gran parte de las características del micrositio que son favorables al traslado han sido ya comentadas durante el análisis cualitativo. Esto no resta importancia a la cuantificación realizada durante este trabajo, ya que es la información que han proporcionado las variables cuantitativas las que han permitido interpretar muchos de los efectos de los criterios de selección. Creemos que con este conocimiento, la experiencia puede ser abordada con una aproximación cualitativa, prestando mayor atención a los aspectos cuantitativos a la hora de la plantación en el microambiente. Entre ellos recomendamos:

- 1.- Favorecer siempre en la selección las zonas del microambiente con suelos más sueltos.
- 2.- Zonas con pendiente más elevada dentro del microambiente de refuerzo pueden favorecer mecanismos de remoción del suelo y de dispersión de las semillas.
- 3.- De existir diferentes orientaciones en el microambiente de refuerzo, la orientación a solana podría ser más favorable al relacionarse con una menor competencia vegetal.
- 4.- Aprovechar los huecos de vegetación en el microambiente para el traslado del plantón. Favorecer escasa cobertura pre-planta que aumente la accesibilidad al agua de escorrentía y evitar competidoras cercanas y de altura muy superior al plantón que generen sombreado en el micrositio de refuerzo.
- 5.- Evitar las zonas del microambiente con mayor intensidad de pastoreo, los microambientes suelen incluir zonas con menor accesibilidad. Por contra, en suelos con tendencia a formar costra física, seleccionar zonas limítrofes al paso del ganado o cabra montesa. Evitar descansaderos.
- 6.- Estar atentos a otras perturbaciones naturales en el microambiente de refuerzo (entradas a madrigueras, escarbaderos,...) que pueden favorecer el traslado del plantón a sus zonas más próximas.

Como referencia cuantitativa para el traslado, proponemos los valores obtenidos para las plantas de reclutamiento reciente en los núcleos poblacionales del Alfambra (ver tabla B.2).

6.3. Condiciones de plantación

La experiencia de refuerzo en curso, no sigue un criterio fijo en el traslado de los plantones en cuanto a su densidad o distancia entre los mismos. Nuestro estudio en los núcleos poblacionales nos proporciona información para estos aspectos metodológicos que puede servir con fines orientativos para la plantación.

Nuestros datos indican que el crujiente crece con densidades bastante homogéneas en el Valle, con valores entorno a los 40 individuos por cada 100 m², siendo este valor poco afectado por geoforma, orientación o paso o no de ganado por el microambiente muestreado. Este valor va a ser adoptado por la experiencia de refuerzo como plantones supervivientes a conseguir en los microambientes más exitosos o en futuros traslados (González Cano, *com. per.*).

En lo que respecta a la disposición de los individuos en la parcela, medida en nuestro estudio con la variable distancia entre plantas, si se detecta influencia de los criterios ganado y orientación. El paso de ganado por el microambiente natural supone una mayor distancia entre plantas, aclarando la vegetación, mientras que la umbría permite mayor proximidad entre plantones.

Con fines orientativos, en la tabla 6.1 se incluyen, a partir de los datos recolectados en los núcleos poblacionales del Alfambra, los intervalos de confianza para densidad de plantas y distancia entre las mismas en función de los criterios geoforma, orientación y ganado.

Tabla 6.1. Valores orientativos para la densidad y la distancia entre plantas en función de geoforma, orientación o paso de ganado (no incluye las interacciones dobles)

Variable respuesta	Geoforma				Orientación		Ganado	
	cresta	eskarpe	ladera	talud	solana	umbría	con ganado	sin ganado
Densidad (plantones en 100 m ²)	34 - 45	31 - 37	40 - 46	40 - 48	35 - 42	41 - 49	35 - 43	42 - 48
Distancia entre plantones (m)	1,8 - 2,2	1,5 - 1,8	1,3 - 1,5	1,5 - 1,8	1,6 - 1,9	1,2 - 1,3	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4

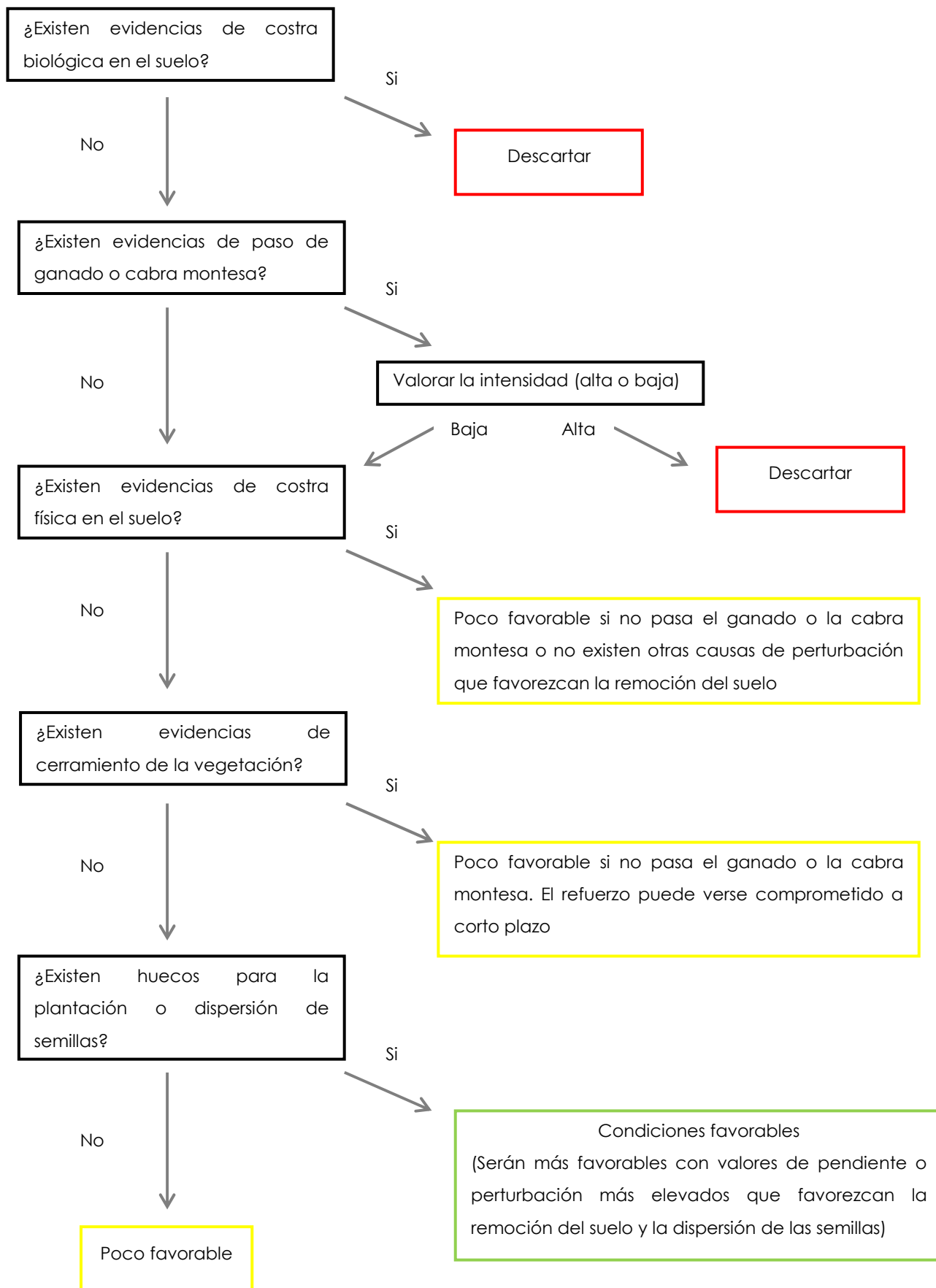


Figura 6.2. Diagrama de decisión para la selección de los microambientes de refuerzo y sus zonas potenciales de dispersión de semillas



Trabajo Fin de Grado en Ciencias Ambientales

Bases ecológicas para el refuerzo del crujiente (*Vella pseudocytisus* subsp. *pau* Gómez-Campo) en el Valle del Alfambra (Teruel)

7. BIBLIOGRAFÍA

Armstrong, D.P. and Seddon, P.J. (2007). Directions in reintroduction biology. *Trends in Ecology and Evolution*, 23 (1): 20 - 25. [en línea] <http://www.esf.edu/efb/lomolino/courses/MammalDiversity/Disc2/A.pdf> (consulta 21/08/2012).

Bañares, Á., G. Blanca, J. Güemes, J.C. Moreno & S. Ortiz (eds.) (2004). *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vasculare Amenazada de España*. Dirección General para la Biodiversidad, Publicaciones del O.A.P.N. Madrid. 1.069 pp.

Belmonte, F. y López-Bermúdez, F. (2003). Estimación de la biomasa de una especie vegetal mediterránea (Tomillo, *Thymus vulgaris*) a partir de algunos parámetros de medición sencilla. *Ecología*, 17. pp. 145 a 151. [en línea] http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_REPN%2FECO_2003_17_145_151.pdf (consulta 26/11/2013).

Benito, J.L. (Coord.) (2011). Cartografía de los hábitats CORINE de Aragón a escala 1: 25.000. II. Lista de hábitats de Aragón (versión 4.09). *Monografías de Botánica Ibérica*, 7. Jolube Consultor y Editor Ambiental y Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón. 90 pp. [en línea] <http://jolube.wordpress.com/mha/> (consulta 17/04/2012).

Catalán P., Pérez, E, Segarra, J.G. e Inda L.A. (2007). Bases genéticas para la conservación de la flora amenazada de Aragón I (*Borderea chouardii*, *Vella pseudocytisus* subsp. *pau*, *Krascheninnikovia ceratoides*). *Conservación Vegetal* 11: 15-17.

Castillo-Monroy, A.P. y Maestre, F.T. (2011). La costra biológica del suelo: avances recientes en el conocimiento de su estructura y función ecológica. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84: 1-21. [en línea] http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716-078X2011000100001&script=sci_arttext (consulta 21/04/2014).

Castroviejo, S. y col. (eds.) (1986-2010). *Flora Ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Vols. I-VIII, X, XII-XV, XVII-XVIII y XXI. Real Jardín Botánico, C.S.I.C. Madrid.

Chamizo, S., Rodríguez, E., Miralles, I., Afana, A., Lázaro, R., Domingo, F., Calvo, A., Sole, A. y Cantón, Y. (2010). Características de las costras físicas y biológicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos. *Pirineos. Revista de Ecología de Montaña*, 165: 69 - 96. [en línea] <http://pirineos.revistas.csic.es/index.php/pirineos/article/viewArticle/96> (consulta 21/04/2014).

Coscolluela, J. y Gracia, J. (2011). Cultivo en vivero y propagación. En Domínguez, F., Guzmán, D. y Moreno, J.C. (eds.) *Biología de la conservación de Vella pseudocytisus subespecie pavi, una planta amenazada de Aragón*. pp. 223 – 239. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.

Crespo, M.B. (2011). Filogenia y taxonomía de *Vella* L. En Domínguez, F., Guzmán, D. y Moreno, J.C. (eds.) *Biología de la conservación de Vella pseudocytisus subespecie pavi, una planta amenazada de Aragón*. pp. 65 – 90. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.

Connell, J.H. (1978). Diversity in tropical rain forest. *Science*, 199: 1302 - 1310. [en línea] http://www.eebweb.arizona.edu/Courses/Ecol406R_506R/Connell1978_IntermedDisturb.pdf (consulta 21/04/2014).

Decreto 49/1995, de 28 de marzo, de la Diputación General de Aragón, por el que se regula el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón. Boletín Oficial de Aragón núm. 42, de 7 de abril de 1995, pp. 1270 a 1275. <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=455471614340> (consulta 19/11/2013)

Decreto 92/2003, de 29 de abril, del Gobierno de Aragón, por el que se establece un régimen de protección para el Crujiente, *Vella pseudocytisus* subsp. *pavi* Gómez Campo, y se aprueba el Plan de Recuperación. Boletín Oficial de Aragón núm. 61, 21 de Mayo de 2003, pp. 6248 a 6253. <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=385834415353> (consulta 19/11/2013)

Domínguez, F., Benito, M., Sainz, H. y Sánchez, R. (2004). *Vella pseudocytisus subespecie pavi*. En Bañares Á., Blanca G., Güemes J., Moreno J.C. y Ortiz S., (eds.). *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vasculare Amenazada de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid, pp. 872 a 873.

Domínguez, F., Moreno, J.C. y Sainz, H. (2005). Biological properties of the endemic and threatened shrub in Iberia *Vella pseudocytisus* subsp. *pavi* (Gómez Campo) (Cruciferae) and implications for its conservation. *J. Nature Conserv.* 13(1): 17-30. [en línea] http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jcarlos/documentos/Demograf%EDa%20Vella%20pavi%20AFA.pdf [consulta 26/03/2012].

Dominguez, F., Benito, H. Sainz, J.C. Moreno, J.M. Iriondo & M.J. Albert (2009). *Vella pseudocytisus* subsp. *pavi* Gómez Campo. En J.M. Iriondo, M.J. Albert, L. Giménez, F. Domínguez & A. Escudero (eds.): *Poblaciones en peligro: Viabilidad demográfica de la flora vasculare amenazada de España*: 179-182. Dir. Gral. Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. [en línea] http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/jcarlos/documentos/Demograf%EDa%20Vella%20pavi%20AFA.pdf [consulta 26/03/2012]

Domínguez, F., Guzmán, D. y Moreno, J.C. (2011a). Preámbulo. En Domínguez, F., Guzmán, D. y Moreno, J.C. (eds.). *Biología de la conservación de Vella pseudocytisus subespecie pavi, una planta amenazada de Aragón*. pp. 9 – 14. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.

Domínguez, F., Guzmán, D. y Moreno, J.C. (2011b). Síntesis y conclusiones. En Domínguez, F., Guzmán, D. y Moreno, J.C. (eds.). *Biología de la conservación de Vella pseudocytisus subespecie pavi, una planta amenazada de Aragón*. pp. 265 – 284. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.

- Domínguez, F., Moreno, J.C., y Pérez, N. (2011c). Dinámica demográfica. En Domínguez, F., Guzmán, D. & J.C. Moreno, eds. (2011). *Biología de la conservación de Vella pseudocytisus subespecie pauti, una planta amenazada de Aragón*. pp. 187 – 210. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.
- Domínguez, F., Moreno, J.C., y Sainz H. (2011d). Aproximación a la biología reproductiva. En Domínguez, F., Guzmán, D. y Moreno, J.C. (eds.). *Biología de la conservación de Vella pseudocytisus subespecie pauti, una planta amenazada de Aragón*. pp. 141 – 162. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.
- Domínguez, F., Moreno, J.C., y Sainz H. (2011e). *Vella pseudocytisus* subsp. *pauti* Gómez Campo. En: Mota, J.F., Sánchez, P. y Guirado, J.S. (eds.) *Diversidad vegetal de las yeseras ibéricas. El reto de los archipiélagos edáficos para la biología de la conservación*. 331 – 333. ADIF-Mediterráneo Asesores Consultores. Almería
- Domínguez, F., Moreno, J.C., y Schwartz, M.W. (2011f). Demographic modeling and monitoring cycle in a long-lived endangered shrub. *Journal for Nature Conservation*, 19: pp. 330 – 338. [en línea] www.elsevier.de/jnc [consulta 21/08/2012].
- Escudero, A. e Iriondo, J.M. (2003). Restauración de poblaciones de plantas amenazadas. En *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos*, Rey, J.M., Espigares, T., y Nicolau, J.M. (eds.). *Colección Aula Abierta*, pp. 113 – 139. Universidad de Alcalá. Servicio de Publicaciones.
- F.A.O. (2009). Guía para la Descripción de Suelos (cuarta edición). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 2009. 111 pp. [en línea] <http://www.fao.org/nr/land/suelos/guia-para-la-descripcion-del-suelo/es/> (consulta 26/09/2013)
- Génova, M. y Sánchez, J. (2011). Longevidad: estudios dendrocronológicos. En Domínguez, F., Guzmán, D. & J.C. Moreno, eds. (2011). *Biología de la conservación de Vella pseudocytisus subespecie pauti, una planta amenazada de Aragón*. pp. 211 – 222. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.
- Gil, C. y Ramos, J.J. (2011). Los suelos yesíferos (Gipsisoles). En: Mota, J.F., Sánchez, P. y Guirado, J.S. (eds.) *Diversidad vegetal de las yeseras ibéricas. El reto de los archipiélagos edáficos para la biología de la conservación*. 33 – 50. ADIF-Mediterráneo Asesores Consultores. Almería
- Gisbert, J. M. (2002). Taxonomía de suelos. *Soil Taxonomy- 99*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. 2002.392 pp.
- Gobierno de Aragón (2013a). Atlas Climático de Aragón (versión digital). Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. <http://anciles.aragon.es/AtlasClimatico/>
- Gobierno de Aragón (2013b). La división climática de Aragón. En Atlas Climático de Aragón, Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, 12 pp. [en línea] http://www.aragon.es/estaticos/Celia/4_13.pdf (consulta 15/11/2013)
- Godefroid, S., Piazza, C., Rossi, G., Buord, S., Stevens, A.D., Aguraiuja, R., Cowell, C., Weekley, C.W., Vogg, G., Iriondo, J.M., Johnson, I., Dixon, B., Gordon, D., Magnanon, S., Valentin, B., Bjureke, K., Koopman, R., Vicens, M., Virevaire, M. and Vanderborcht, T. (2011). How successful are plant species reintroductions? *Biological Conservation*, 144: 672 - 682. [en línea] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320710004362> (consulta 21/08/2012).

Gómez Campo, C. (1993). Vella L. En Castroviejo, S., Aedo, C., Gómez Campo, C., Laínz, M., Monserrat, P., Morales, R., Muñoz, F., Nieto, G., Rico, E., Talavera, S. y Villar, L. (eds). *Flora Ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares, IV*: pp. 414-417. Real Jardín Botánico, C.S.I.C. Madrid.

González, J., Herrero, J., Prada, C. y Marco, J. (2013). Changes in wild ungulate populations in Aragon, Spain between 2001 and 2010. *Galemys*, 25: 51 - 57.

Goñi, D. y Campo, A. (2011). Distribución, censo y hábitat potencial. En Domínguez, F., Guzmán, D. y Moreno, J.C. (eds.). *Biología de la conservación de Vella pseudocytisus subespecie pavi, una planta amenazada de Aragón*. pp. 119 – 140. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.

Gutiérrez Elorza, M. y Meléndez, A. (1991). Introducción a la Geología de la Provincia de Teruel. Instituto de Estudios Turolenses – Universidad de Verano de Teruel. Teruel, 1991. 151 pp.

Guzmán, D. y Sanz, G. (2011). Reintroducción. En *Biología de la conservación de Vella pseudocytisus subespecie pavi, una planta amenazada de Aragón*. Domínguez, F., Guzmán, D. y Moreno, J.C. (eds.). Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza. pp. 241 a 263.

Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. y Black, W. (1999). Análisis Multivariante. 5ª Edición. Prentice Hall

Heywood, V. H. and Iriondo, J.M. (2003). Plant conservation: old problems, new perspectives. *Biological Conservation*, 113: 321 - 335. [en línea] <http://www.sciencedirect.com/> (consulta 21/08/2012).

Instituto Aragonés de Estadística. Clima / Datos climatológicos. [en línea] http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Organismos/InstitutoAragonesEstadistica/AreasTematicas/14_Medio_Ambiente_Y_Energia/ci.05_Clima_Datos_climatologicos.detalleDepartamento?channelSelected=ea9fa856c66de310VgnVCM2000002f551bacRCRD (consulta 16/11/2013).

Instituto Aragonés de Estadística. Usos del suelo-Corine Land Cover (2006). [en línea] http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Organismos/InstitutoAragonesEstadistica/AreasTematicas/14_Medio_Ambiente_Y_Energia/ci.13_Suelos_Usos.detalleDepartamento (consulta 16/11/2013).

Instituto Aragonés de Estadística. Indicadores de estructura demográfica en Aragón. [en línea] http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Organismos/InstitutoAragonesEstadistica/AreasTematicas/02_Demografia_Y_Poblacion/02_Indicadores_demograficos/ci.01_Indicadores_estructura.detalleDepartamento?channelSelected=cb5ca856c66de310VgnVCM2000002f551bacRCRD (consulta 23/11/2013).

Instituto Geológico y Minero de España (1983). Memoria de la Hoja 567 (Teruel) del Mapa Geológico Nacional E 1:50.000. Madrid, 1983. 72 pp. [en línea] <http://www.igme.es/internet/cartografia/cartografia/datos/magna50/memorias/MMagna0567.pdf> (consulta 16/11/2013).

Instituto Nacional de Estadística (2011). Censo Agrario 2009. [en línea] http://www.ine.es/inebmenu/mnu_agricultura.htm (consulta 23/11/2013).

Instituto Nacional de estadística (2013). Nomenclator: Padrón Municipal por Unidad Poblacional. [en línea] <http://www.ine.es/nomen2/index.do> (consulta 23/11/2013).

- Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC y Gobierno de Aragón (2005). Atlas de la Flora de Aragón (versión digital). [en línea] <http://proyectos.ipe.csic.es/floragon/mapaaragon.php?ver=utm> (consulta 20/11/2013).
- Langhans, T.M., Storm, C. and Schwabe, A. (2009). Biological soil crusts and their microenvironment: Impact on emergence, survival and establishment of seedlings. *Flora*, 204 (2): 157 - 168. [en línea] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0367253008001138> (consulta 21/04/2014).
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. (B.O.E., nº 299 de 14 de diciembre de 2007. pp. 51275-51327)
- Maestre, F.T., Bowker, M.A., Cantón, Y., Castillo-Monroy, A.P., Cortina, J., Escolar, C., Escudero, A., Lázaro, R. and Martínez, I. (2011). Ecology and functional roles of biological soil crusts in semi-arid ecosystems of Spain. *Journal of Arid Environments*, 75: 1282 - 1291. [en línea] http://www.escet.urjc.es/biodiversos/publica/Maestre_et_al_2011_J_Arid_Environ.pdf (consulta 21/04/2014).
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Gobierno de España (2012). Catastro minero. [en línea] <http://geoportal.mityc.es/CatastroMinero/BusquedaBasica.do> (consulta 24/11/2013)
- Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (2011). Red Natura 2000 en España. http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/red-natura-2000/red-natura-2000-en-espana/lic_aragon.aspx [consulta 18/04/2012]
- Monforte, N. (2010). Fosas y sierras: geología de la Comarca de Teruel. En Comunidad de Teruel. Colección Territorio. Gobierno de Aragón. Zaragoza, 2010. 19 - 30. [en línea] http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/PoliticaTerritorialJusticialInterior/Documentos/docs/Areas/Información%20territorial/Publicaciones/Coleccion_Territorio/Comarca_com_Teruel/FosasySierras.pdf (consulta 16/11/2013)
- Mota, J.F., Sánchez P., Merlo, M.E., Catalán, P., Laguna, E., de la Cruz, M., Navarro, F.B., Marchal, F., Bartolomé, C., Martínez, J.M., Sainz, H., Valle, F., Serra, L., Martínez, F., Garrido, J.A. y Pérez, F.J. (2009). Aproximación a la check-list de los gipsófitos ibéricos. *Anales de Biología*, 31: 71-80.
- Prasse, R. and Bornkamm, R. (2000). Effect of microbiotic soil surface crusts on emergence of vascular plants. *Plant Ecology*, 150: 65-75. [en línea] <http://www.southwestnrm.org.au/sites/default/files/uploads/ihub/prasse-r-and-bornkamm-r-2000effect-microbiotic-soil-surf.pdf> (consulta 21/04/2014).
- Peña, J.L., Cuadrat, J.M., y Sanchez, M. (2002). El clima de la provincia de Teruel. *Cartillas Turolenses*, 20: 92 pp. Instituto de Estudios Turolenses, Teruel, 2002.
- Pérez, I., Anadón, J.D., Diaz, M., Nicola, G.G., Tella, J.L. and Giménez, A. (2012). What is wrong with current translocations? A review and a decision-making proposal. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 19 pp. [en línea] <http://www.frontiersinecology.org/front/> (consulta 21/04/2014).
- Pérez-Collazos, E., y Catalá, P. (2006). Palaeopolyploidy, spatial structure and conservation genetics of the narrow steppe plant *Vella pseudocytisus* subsp. *pau* (Vellinae, Cruciferae). *Annals of Botany* 97: 635-647
- Pérez-Collazos, E., y Catalá, P. (2011). Genética de poblaciones. En Domínguez, F., Guzmán, D. y Moreno, J.C. (eds.). *Biología de la conservación de Vella pseudocytisus subespecie pau, una planta amenazada de Aragón*. pp. 163 - 186. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.

- Primack, R.B. (2011). Editorial: an important review of plant reintroduction. *Biological Conservation*, 144 (2): 666. [en línea] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000632071000501X> (consulta 21/08/2012).
- Rivas-Martínez, S. (2008). Global Bioclimatics (Clasificación Bioclimática de la Tierra). [en línea] http://www.globalbioclimatics.org/book/bioc/global_bioclimatics-2008_00.htm (consulta 16/11/2013)
- Sainz, H. y Domínguez, F. (2011). El contexto geobotánico. En Domínguez, F., Guzmán, D. y J.C. Moreno (eds.) *Biología de la conservación de Vella pseudocytisus subespecie pavi, una planta amenazada de Aragón*. pp. 19 – 42. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.
- Sainz, H., Franco, F., y Arias, J. (1996). Estrategias para la conservación de la flora amenazada de Aragón. *Serie Conservación*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza.
- Sánchez Fabre, M. (1989). Formas kársticas en la zona de Villalba Baja – Cuevas Labradas (Depresión Alfambra – Teruel – Landete). *Cuaternario y Geomorfología*, 3 (1-4): 45 – 52. [en línea] [http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol3/cuaternario3\(1-4\)_006-.pdf](http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol3/cuaternario3(1-4)_006-.pdf) (consulta 19/11/2013).
- UICN/SSC (2013). Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations. Version 1.0. Gland, Switzerland: IUCN Species Survival Commission, viii + 57 pp.
- Underwood, A.J. (1997). Experiments in Ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge University Press, Cambridge. 504 pp.
- V.V.A.A. (2006). Guía para la elaboración de estudios del método físico. Ministerio de Medio Ambiente, Secretaria General Técnica. Madrid, 2006. 917 pp.
- V.V.A.A. (2011). *Biología de la conservación de Vella pseudocytisus subespecie pavi, una planta amenazada de Aragón*. Domínguez, F., Guzmán, D. y Moreno, J.C. (eds.). Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza. 308 pp.