

Morfología y desarrollo de diez especies mediterráneas resistentes a la sequía y de uso pascícola, ornamental y aromático

J. García-Camarero^{*,}, C. M. Martí^{***}, D. López-García^{***}, E. Sanchis^{***} y F. Ingelmo^{*,**}**

^{*} Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (ivia). Apdo. oficial. 46113-Moncada (Valencia)

^{**} Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE). Apdo. oficial. 46470-Albal (Valencia)

^{***} Escuela de Ingenieros Técnicos Forestales de Gandía (UPV). Carretera de Nazaret a Oliva s/n 46073 Grao de Gandia.

ABSTRACT

In dry thermo-mediterranean ecosystems there are two serious ecological problems: great shortage of water and abundant losses of fertile soil due to hydric erosion. Both of them could be overcome using bushy leguminous, drought resistant, soil protecting, facing hydric erosion and suitable for grazing, ornamental and aromatic crops (depending from the species). We have carried out the study of morphology and development of 10 of these species (*Coronilla juncea*, *C. glauca*, *C. viminalis*, *Colutea arborescens*, *C. istria*, *C. cilicica*, *Medicago arborea*, *M. strasseri*, *Psoralea bituminosa*, *Dorycnium pentaphyllum*) in a planting of 10 individuals of each of them, not performing there any kind of irrigation. The soil was Cambisol-Antrosol Cumulic of sandy-loam texture. Over the first year, after the planting, only 142 mm rainfall were registered, and the annual mean of 1995, 1996 and 1997 was of 327mm.

The per-cent of missing hills after 3 years was zero in all species except for *Colutea arborescens* (40%), *C. cilicica* (40%) and *C. viminalis* (10%). The 3 species that showed greater flight biomass were: *M. strasseri* (1207g) *C. glauca* (974g) and *C. juncea* (966g); and of root biomass (included nodules): *C. juncea* (253g), *M. strasseri* (210g), *C. glauca* (201g), the nodules per-cents were respectively as follows: 11%, 0.1% and 2.5%. The species that showed greater foliar surface and root surface was *M. strasseri* with respective values of 5.42 m² and 1.91 m². In addition, we have obtained phenologic values of plant cover, sclerofilia index, biomass provided to the soil and water stress, that show mostly a good adaptation to drought, an important production of vegetal cover, and therefore, of great value for its use as agro-forestry and ecological cultivation.

RESUMEN

En los ecosistemas Termo-Mediterráneos-Secos existen dos problemas ecológicos graves: gran escasez de agua y copiosas pérdidas de tierra fértil por erosión hídrica. Ambos pueden subsanarse utilizando leguminosas arbustivas resistentes a la sequía, protectoras del suelo frente a la erosión hídrica y adecuadas para cultivos pascícolas, ornamentales y aromáticos (según la especie). Hemos estudiado la morfología y desarrollo de 10 de estas especies (*Coronilla juncea*, *C. glauca*, *C. viminalis*, *Colutea arborescens*, *C. istria*, *C. cilicica*, *Medicago arborea*, *M. strasseri*, *Psoralea bituminosa*, *Dorycnium pentaphyllum*) en una plantación de 10 individuos de cada una de ellas, en la que no se practicaba ningún tipo de riego. El suelo era un Cambisol - Antrosol Cumúllico, de textura franco-arenosa. El primer año después de la plantación se registraron sólo 142 mm de precipitación, y la media anual de 1995, 1996 y 1997 fue de 327 mm.

El porcentaje de marras a los 3 años fue de cero en todas las especies excepto en *Colutea arborescens* (40%), *C. cilicica* (40%) y *C. viminalis* (10%). Las 3 especies que presentaron mayor biomasa de vuelo fueron: *M. strasseri* (1207 g), *C. glauca* (974 g) y *C. juncea* (966 g); y de biomasa de raíz (incluidos nódulos): *C. juncea* (253 g), *M. strasseri* (210 g), *C. glauca* (201 g), siendo los porcentajes de nódulos, respectivamente, los siguientes: 11%, 0,1% y 2,5%. La especie que presentó mayor superficie foliar y superficie radicular fue *M. strasseri* con valores respectivos de: 5,42 m² y 1,91 m². Además hemos obtenido valores fenológicos, de cobertura vegetal, índice de esclerofilia, biomasa aportada al suelo y estrés hídrico que nos indican, en la mayor parte de los casos, que estas especies tienen una buena adaptación a la sequía, una importante producción de cubierta vegetal, y que, por consiguiente, su uso como cultivo agro-forestal y ecológico es de un gran interés.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se está dando un proceso de intensa degradación de los ecosistemas Termo-Mediterráneos-Secos que ocasiona, dos serios problemas ecológicos: gran escasez de agua y copiosas pérdidas de tierra fértil por erosión hídrica. Esta degradación se hace patente en el deterioro de los tres sistemas vitales que forman el ecosistema (suelo, vegetación y agua) y consiste en el paso paulatino desde el equilibrio natural de climax-complejo-estable, con sus sistemas vitales plétóricos de productividad biológica (suelo húmedo, mullido, rico en nutrientes; vegetación con 3 estratos forestales: herbáceo, arbustivo y arbóreo; y agua potable y con gran contenido de oxígeno) hasta una fase de degradación, cada vez más intensa, y de disminución de productividad biológica que finaliza en una pérdida total de suelo, de vegetación y de agua, llegando así al estado de desierto. Este proceso puede ser de dos tipos:

- a) *Desertización* o degradación del ecosistema hasta el estado de desierto debida a

factores naturales (lluvias torrenciales, incendios naturales, aridificación del clima durante largos periodos de sequía, etc.)

- b) *Desertificación* o degradación hasta el estado de desierto debida a factores artificiales o antrópicos (exceso de laboreo, mineralización, contaminación del suelo y agua con abonos y plaguicidas químicos, inadecuadas técnicas forestales, inadecuado ordenamiento del territorio, etc., García- Camarero, 1989).

En los ecosistemas mediterráneos existe una causa natural que acentúa el efecto de los factores antrópicos en la desertificación: el clima mediterráneo. Este clima se caracteriza fundamentalmente por:

1. Una estación seca estival, más o menos larga, con altas temperaturas y muy bajas precipitaciones.
2. Un régimen de lluvias muy irregular con largos periodos de gran sequedad (varios años) que esquilman a la vegetación, reduciéndola en muchos casos a solo vegetación herbácea y arbustiva.
3. Un fuerte déficit hídrico debido a una intensa evaporación estival (siempre mayor que la escasa precipitación) que ocasiona una insuficiente disponibilidad de agua para el desarrollo de la planta y mantenimiento de las hojas. A este efecto negativo se suma el de los incendios forestales que casi siempre se producen en verano y provocados por el hombre.
4. Un régimen de lluvias torrenciales, particularmente intensas en la etapa de comienzo del otoño.

En consecuencia, en los climas mediterráneos sucede que al no haber, sobretudo después del verano, una suficiente cobertura vegetal que proteja al suelo, al interponerse en el impacto sobre el mismo de esta lluvia torrencial, se produce una intensa erosión hídrica y una degradante pérdida de suelo fértil. En la mayor parte de los casos lo que se da es la desertificación, es decir frecuentemente es el ser humano el que conduce a los ecosistemas al estado de desierto. La solución consistirá esencialmente en emprender la protección del ecosistema en peligro de desertificación, mediante la rehabilitación con especies no necesariamente autóctonas ni sucesionales; en el caso de un grado moderado de degradación habría que emprender una restauración con especies autóctonas y sucesionales. Pero no solo se trata de proteger y restaurar al suelo, sino a la totalidad del ecosistema, empezando por su vegetación; para ello debemos realizar una restauración que conlleve una “Aceleración Artificial de la Sucesión Natural” (“ACARSUNA”) es decir, empezar por salvar su estructura y su diversidad, reponiendo, lo más posible, su composición florística inicial, según lo haría la sucesión natural en condiciones favorables de clima. Para llevar a cabo esta solución señalada será necesaria la implantación de una cubierta vegetal que en una primera etapa estará formada por especies mediterráneas, resistentes a la sequía, arbustivas y leguminosas. Deberán ser mediterráneas porque si son especies que habitan de forma natural en esta región será más factible su implantación en estos ambientes. Será importante que se usen especies resistentes a la sequía dadas las peculiaridades citadas de estas zonas. Será conveniente, al menos en una primera etapa, que se trate de especies arbustivas, ya que éstas presentan menores necesidades hídricas y de nutrientes, cuestionándose la implantación de cubiertas arbóreas solo para una segunda etapa, de varios decenios, después de que las cubiertas arbustivas hayan mejorado las condiciones edáficas por la creación de una suficiente capa de suelo (aporte de hojarasca y raíces, actividad biológica, formación de humus, etc). Por último, será beneficioso usar especies de la familia de las leguminosas ya que éstas son plantas enriquecedoras del suelo, gracias a su simbiosis con bacterias nitrificantes del suelo, principalmente las pertenecientes al género *Rhizobium* (Heywood, 1985). La finalidad del presente trabajo consiste, precisamente, en estudiar a fondo diez especies arbustivas mediterráneas, leguminosas, resistentes a la sequía y que serán útiles tanto para la creación de una cubierta vegetal protectora y formadora del suelo y restauradora del ecosistema,

como para la creación de cultivos agroforestales ecológicos con fines pascícolas, ornamentales, aromáticos y apícolas, según la especie de que se trate. Cultivos que además de tener un sentido de producción económica, tendrá un triple sentido ecológico:

- Implantación de un cultivo ecológico, puesto que no necesita fertilizantes ni pesticidas químicos.
- Suponen una restauración del ecosistema y protección del suelo con especies de adaptación ecológica.
- No necesitan riego, y por tanto suponen el ahorro de un bien cada vez más escaso como lo es el agua.

MATERIAL

Prof.(cm)	G	AG	AF	L	A	AT	CT
0 - 15	26,2	31,5	34,1	19,4	15	65,6	FA
15 - 30	24,1	32,1	32,8	18,1	17	64,9	FA

Tabla 1. Características físicas.

Fuente: García Camarero et al., 1989 b.

G = Elementos gruesos > 2 mm AT = Arenas totales (2-0,05 mm) CT = Clase textural
 AG = Arenas gruesas (2-0,5 mm) L = Limos (0,05-0,002 mm) FA = Franco arenosa.
 AF = Arenas finas (0,5-0,05 mm) A = Arcillas (<0,002 mm)

Prof (cm)	CaCO ₃		pH		M.O.	C.E.	C.C.C.			P
	Total	Activo	H ₂ O	KCl	%	dS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Olsen
0-15	18,2	5,5	8	7,8	2,1	25	13,5	1,7	0,7	68
15-30	16,4	6,6	8,3	7,9	1,8	25	13,5	1,6	0,5	50

Tabla 2. Características químicas.

Fuente: García Camarero et al., 1989 b.

CaCO₃ = Carbonatos; pH = pH del agua; M.O. = Materia orgánica; C.E. = Conductividad eléctrica a 25°C del extracto (1:5), expresada en decisiemens (dS) (1dS=10mhos/cm); C.C.C. = Capacidad de intercambio catiónico: Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Potasio (K⁺) en meq / 100g; P = Fósforo asimilable (p.p.m.), (Olsen).

Hemos contado con una colección de diez especies mediterráneas, resistentes a la sequía, arbustivas y leguminosas (con diez pies repetidos de cada especie), enclavada en la finca del IVIA, a unos 10 km; del mar, en una zona de transición hacia la Sierra Calderona, a 60 m de altitud, con una pendiente de un 1%. El clima medio, según la clasificación de Gaussen (modificada) y teniendo en cuenta una serie de 10 años (1979-89) es Mesomediterráneo seco-atenuado, (con una estación seca de 3,9 meses), el adjetivo atenuado es una modificación realizada para aquellos valores intermedios a los dados por Gaussen para su clasificación climática que permite aumentar el grado de matización. (García-Camarero, 1995). El suelo (según la clasificación de la FAO de 1985) se trata de un Cambisol-Antrosol-Cumúlico de textura franco-arenosa; posee una profundidad de solum de entre 40-50 cm. y a dicho nivel aparece una capa rocosa constituida por bloques compactos fracturados en losas angulares aplanadas, de unos 30-60 cm. de diámetro. Las características del suelo se muestran en las Tablas 1 y 2.

Hasta el año 1994, la parcela en donde se encuentra la colección de arbustos estuvo dedicada a diversos cultivos y a partir de este año plantamos la colección de arbustos. En un invernadero anejo se desarrollaron los plantones de la colección, obtenidos a partir de semillas proporcionadas desde el Banco Nacional de Germoplasma. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid, excepto dos especies:

Psoralea bituminosa, que procede del CRIA de la Consejería de Agricultura de Murcia y *Dorycnium pentaphyllum*, que procede del Banco de semillas del IVIA y que fue recolectado en la Sierra Calderona en la provincia de Valencia. Estas semillas se sembraron utilizando un sustrato compuesto por turba, arena y tierra con proporción 1:1:1 y envase de conos "super-leach". En noviembre de 1994, en la parcela del vivero forestal se plantaron diez arbustos de cada una de las especies sembradas, de entre ellas hemos seleccionado: *Dorycnium pentaphyllum*, *Coronilla juncea*, *Medicago strasseri*, *Colutea istria*, *C. cilicica* y *C. arborescens*, *Coronilla glauca* y *C. viminalis* y *Psoralea bituminosa*. Un caso especial fue *Medicago arborea* que se sembró en el 6 de noviembre de 1986 y se plantó en otoño de 1987. Hemos usado los laboratorios de los Departamentos de Recursos Naturales, y Horticultura. El instrumental utilizado, fue: Balanza (Marca Tecator, modelo 6110), balanza (Marca Metter, modelo PM 3000), estufa (marca P. Selecta®, modelo 2978), estufa (Marca P. Selecta®), cámara de fotos, lupa con cámara de fotos, cámara frigorífica, cámara de presión, escáner, etc. El resto de los materiales usados fueron bastante sencillos; en campo: malla de fibra de vidrio resistente a la degradación de los rayos solares, cuerda fina, aguja y tijeras (para la recolección de hojarasca), reglas y cintas métricas, serruchos, tijeras de podar, bolsas de plástico, 18 tubos metálicos (para la determinación de la productividad de vuelo y raíz), pico, rastrillos, azadas pequeñas, paletas y demás utensilios de jardinería (para las tareas de excavación y de extracción de raíces) pinzas, barrena helicoidal (para la realizar la toma de muestras de suelo); en laboratorio: probetas, cuentagotas, coladores, bandejas de plástico, calibre (marca Helu, modelo Noxyd), para la determinación de las clases diamétricas de ramas y de raíz.

MÉTODOS

Los métodos utilizados los distribuimos en dos grupos:

Métodos utilizados para el estudio del vuelo

1. Para la caracterización climatológica y la fenología del vivero donde se ubicaba la colección de arbustos Hemos utilizado las clasificaciones de Rivas-Martínez y de Gausson modificada (Rivas Martínez, 1987; García Camarero, op. cit.), puesto que suponían: las dos clasificaciones más importantes del Clima Mediterráneo, con aspectos complementarios, (la primera descriptiva en cuanto a pisos bioclimáticos, la segunda en cuanto a la distribución del clima a lo largo del año) y mixtas, es decir ombrotermoclimáticas. La fenología se estudió mediante la realización de registros semanales de diferentes estados fenológicos (botones florales, flores, frutos verdes, frutos maduros y hojas) mediante una estima del porcentaje de desarrollo de cada estado en cada uno de los diez pies de cada especie.
2. Para valorar el crecimiento y la cobertura del vuelo de las plantas hemos realizado cinco mediciones aproximadamente trimestrales a lo largo un año (10 julio '97; 13 octubre '97; 9 diciembre '97; 10 marzo '98 y 10 junio '98) y aplicado la siguiente metodología: Medición de altura de la planta y del diámetro medio de la copa (media su diámetro máximo y el diámetro perpendicular a éste). Medición del volumen de la copa. según la ecuación de Phillips y Mac Mahon (1981), que considera el arbusto como un esferoide achatado, que resulta de la rotación de la elipse alrededor de su eje menor, mediante la expresión $V = (\pi \cdot a^2 \cdot b) / 6$, donde V= volumen en cm³; a= eje menor en cm (que puede ser el diámetro medio de la copa o la altura), b= eje mayor en cm (que puede ser el diámetro medio de la copa o la altura). El número de tallos lo hemos anotado únicamente en el primer muestreo. La proyección de la copa se ha calculado mediante el área del círculo suponiendo que dicha proyección es circular. Consideramos como cobertura vegetal el porcentaje de superficie de proyección de la copa en relación a la superficie del tablar en que se encontraban las diez plantas, formado por un rectángulo de 16 m de longitud x

2 m de anchura; es decir, la superficie de referencia era de 32 m² siendo igual en todas las especies. En el caso excepcional del *M. arborea* no se pudo determinar la cobertura, pues se trataba de una plantación aparte, cuyos pies se encontraban entremezclados con pies de *Atriplex* aunque se supone bastante elevada por la avanzada edad de sus individuos (11 años en vez de los 3 años del resto de especies) y su extensa copa.

3. Para la obtención de la productividad, hemos el egido los plantones cuyo volumen del vuelo más se aproximaban a los valores medios de cada especie (de entre los diez pies existentes en cada una de ellas); el que en segundo lugar más se aproximaba a la media, se reservó para recogida de hojarasca. seguidamente se extrajeron de forma escalonada, según entraban en floración. La primera planta extraída fue *Coronilla juncea* (16 diciembre 1997) y seguidamente, *Colutea istria* (5 febrero 1998), *Medicago strasseri* (20 febrero 1998), *Coronilla viminalis* (23 marzo 1998), *Coronilla glauca* (31 marzo 1998), *Colutea arborescens* (8 mayo 1998), *Psoralea bituminosa* (25 mayo 1998), *Dorycnium pentaphyllum* (25 junio 1998) y *Colutea cilicica* (7 julio 1998). Una vez seleccionadas las plantas se señalaron y se cortó el vuelo a ras de suelo; se colocó el vuelo recién separado sobre una cuadrícula con cuadros de 5 cm de lado y se fotografió; después se troceó la copa en tres estratos: E1, E2 y E3, de forma que la altura de cada estrato fuera igual a un tercio de la altura total de la parte aérea del arbusto; y por último, se midió con el calibre el diámetro máximo y mínimo del tronco en su base y se anotó el número de ramificaciones primarias. Seguidamente procedimos a la separación de las distintas partes de cada estrato del vuelo, distinguiendo dos partes: parte verde (flores, frutos y pedúnculos, hojas y ramoneo) y parte leñosa la cual fue troceada en segmentos de unos 8 cm de longitud que luego fuimos agrupando en 3 clases diamétricas (0-2 cm, 2-4 cm, 4-6 cm). En la parte leñosa de cada estrato y de cada clase diamétrica obtuvimos el peso fresco, la longitud, el peso seco, la humedad relativa, el volumen y la densidad, y en la parte verde los parámetros citados anteriormente y en el mismo orden, excepto la longitud. Los pesos secos los obtuvimos tras secado en estufa a 65 °C y la longitud por el mismo método indirecto de Tennant (1975), utilizado en raíces, basado en el troceo de las ramas (separadas por clases diamétricas) en segmentos de unos 8 cm que se van echando al azar sobre una cuadrícula de 2 x 2cm. procediendo después al conteo de las intersecciones de las ramas con las líneas de la cuadrícula, y posteriormente aplicando la ecuación de Tennant: $R = N \cdot 1.57$, en donde: R = Longitud total de ramitas (cm), N = Número de intersecciones entre las ramitas y las líneas de la cuadrícula. El volumen real de ramas lo obtuvimos por diferencia de volúmenes de antes y después de sumergir la porción de ramas correspondiente a una determinada clase diamétrica y estrato en una probeta graduada en cm³. Para el estudio de la productividad de hojarasca aportada al suelo por cada especie, se eligió la segunda planta con volumen del vuelo más próximo al diámetro medio de los diez individuos existentes de esa especie y a continuación procedimos a la colocación de mallas recogedoras de hojarasca alrededor de estas plantas seleccionadas. Hicimos recolecciones de hojarasca con una cadencia trimestral, en las fechas: 12 diciembre de 1997 y 11 marzo, 15 junio y 25 de agosto de 1998, obteniéndose a continuación su peso fresco, peso seco y humedad relativa en el momento de su recolección.

4. Para el estudio de la resistencia a la sequía se estudiaron 3 parámetros, potencial hídrico, transpiración cuticular y esclerofilia:

- *El Potencial hídrico*. Hemos realizado dos mediciones, una en condiciones de poca sequedad ambiental (con capacidad de campo en el suelo), y otra en condiciones de gran sequedad ambiental. Se tomó como valor de referencia ambiental la humedad relativa (%) en el suelo de la parcela. Para ello hemos tomado 3 muestras de suelo a una

profundidad de entre 15-30 cm cada 20 días; procediendo a un primer ensayo de potencial hídrico cuando la humedad del suelo alcanzó el 11-12%, en febrero con suelo a capacidad de campo, y otra cuando alcanzó entre el 3-4%, en abril con suelo próximo al punto de marchitez permanente. El potencial hídrico únicamente se determinó en dos de las diez especies estudiadas, dichas especies son: *Coronilla juncea* y *Medicago strasseri*, seleccionadas por su densa cobertura vegetal, su buen porte, su potente sistema radicular, su posible uso como plantas xero-ornamentales y su gran resistencia en condiciones de déficit hídrico. El método utilizado fue la cámara de presión que según García Torres (1994) es el mejor método para la medida de potenciales hídricos en estudios de campo porque es rápida, repetible y no es preciso proceder a un control de temperatura. Hemos recogido 18 muestras vegetales y otras 18 muestras más para someterlas a hidratación (inmersión de las muestras durante 3 horas en agua) y poder comparar los resultados obtenidos.

- *La Transpiración cuticular* la obtuvimos en las diez especies para ver cual de ellas presentaban una mayor adaptación a la sequía. Hemos realizado dos mediciones, una en condiciones de capacidad de campo en el suelo, y otra en condiciones de gran sequedad. Se usó la metodología de Larson y Svenningsson (1986), basada en la toma, a primera hora de la mañana, de dos brotes de hojas de cada especie (una de orientación Norte y otra Sur); sellándose los tallos con vaselina (para evitar la transpiración por esa zona) y posterior pesado (con una precisión de diezmilésimas de gramo) de los brotes durante los siguientes intervalos 0, 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240 Y 300 minutos. Finalmente se anotó y contrastó el agua perdida por especie.
- *La esclerofilia* la obtuvimos a partir de la superficie foliar y peso seco de 25 hojas por estrato (E1, E2 y E3), excepto en algún caso especial que se redujo este número por los cuantiosos folíolos de cada hoja, estos casos fueron: *C. cilicica* y *C. arborescens*, en las que se hizo sobre diez hojas por cada estrato y *D. pentaphyllum* en el que solo se recogieron 25 folíolos. La metodología seguida, para la obtención de la *superficie foliar* de estas muestras de hojas fue la seguida por Ibáñez (1995), consistió en adherir las hojas recogidas de cada estrato y especie en un folio y fotocopiarlas. Posteriormente se recortaron las fotocopias de las hojas y en una balanza obtuvimos el peso de estas hojas de papel (P_p) y en la misma el peso del folio (P_f) con una precisión de diezmilésimas de gramo, también se obtuvo la superficie del folio pesado (S_p); se despegaron las hojas del folio y en la misma balanza determinamos el peso seco (P_s), para utilizarlo después en el cálculo de la esclerofilia (Con estos valores de pesos y superficie estuvimos en condiciones de obtener la superficie de las hojas adheridas fotocopias y recortadas (S_p) (que sería igual a la superficie de las hojas extraídas), utilizando la expresión:

$$S_p = (S_f \times P_p) / P_f$$

Una vez conocida la superficie de las hojas extraídas en cada estrato de las distintas especies, procedimos a la realización del cálculo del índice de esclerofilia:

$$I_e = (P_s / S_p) \cdot 100$$

Metodos utilizados para el estudio de la raíz

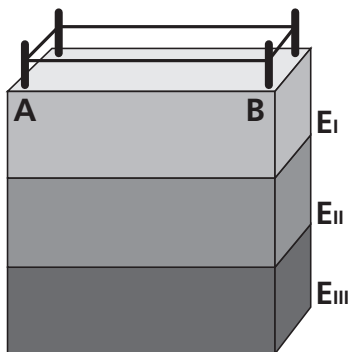


Figura 1. División en estratos E1, E2 y E3 del monolito de extracción de raíces

Una vez separado el vuelo de la raíz, teniendo en cuenta el método de estudio de raíces descrito por Böhm (1979), delimitamos un monolito paralelepípedo de suelo, de 1 a 1,5 m. de lado (según los casos), y se marcaron tres estratos: E1, E2 y E3 según tres profundidades respectivas de 0-15, 15-30 y de 30-45 cm. para conocer la distribución morfológica de las raíces según la profundidad (Figura 1). Se procedió a la excavación y extracción de las raíces; las raíces más finas y sueltas fueron separadas de la tierra en una bandeja; y la estructura principal de raíz (no separada) se colocó sobre una cuadrícula con cuadrados de 5 cm. de lados para su fotografiado y ver su distribución morfológica en los tres estratos. Se trocearon las raíces en secciones de unos 8 cm de longitud, y se agruparon en 9 clases diamétricas (0-1; 1-2; 2-4; 4-6; 6-8; 8-10; 10-20; >20 mm. y el cuello de raíz). Obtuvimos el peso fresco, la longitud, el peso seco, la humedad relativa, el volumen y la densidad de cada clase en cada estrato. Los métodos utilizados fueron en cuanto a caracterización climatológica la misma que en el caso del estudio del vuelo. En cuanto a productividad, de una forma similar a la del vuelo, se determinaron los pesos secos, la longitud, la superficie y el volumen de las raíces; de todos estos parámetros obtuvimos valores absolutos y relativos al volumen del monolito de suelo excavado. Finalmente se hallaron los pesos secos de los nódulos en los diferentes estratos.

RESULTADOS

Para la referencia climática empleamos los datos de la estación meteorológica del IVIA, situada a 80 m de la parcela de ensayo y el período de los 3 años de vida de los arbustos. Se obtuvieron:

- Índices de Mediterraneidad (Im): $Im_1 = 32,1$; $Im_2 = 14,8$; $Im_3 = 7,2$. Al ser $Im_1 > 1,5$; $Im_2 > 3,5$ e $Im_3 > 2,5$
- El clima en el que se desarrollaron los arbustos del estudio fue claramente Mediterráneo.
- La caracterización climatológica de Rivas-Martínez: (Rivas Martínez, op.cit.) en esta serie de 3 años fue: En cuanto a termoclima, de piso bioclimático: Termomediterráneo Superior, con Índice de termicidad $It = 380$ y respecto a ombroclima: Semiárido, ya que la precipitación anual fue de solo 327 mm.
- La caracterización ombroclimática de Gaussen fue Subdesértico Atenuado (9,5 meses de período seco).

El clima del primer año de la plantación (desde el 23 nov. 1994 hasta el 23 nov. 1995) resultó aún más severo según Gaussen Subdesértico, con 11 meses secos y según Rivas-Martínez: Árido con 147,9mm. La precipitación de 1995 fue de 142 mm. y en los 10 primeros meses de la plantación de 93,7 mm.

Los datos climáticos presentados muestran la extraordinaria aridez a la que debieron aclimatarse las plantas durante sus primeros meses de vida en las parcelas.

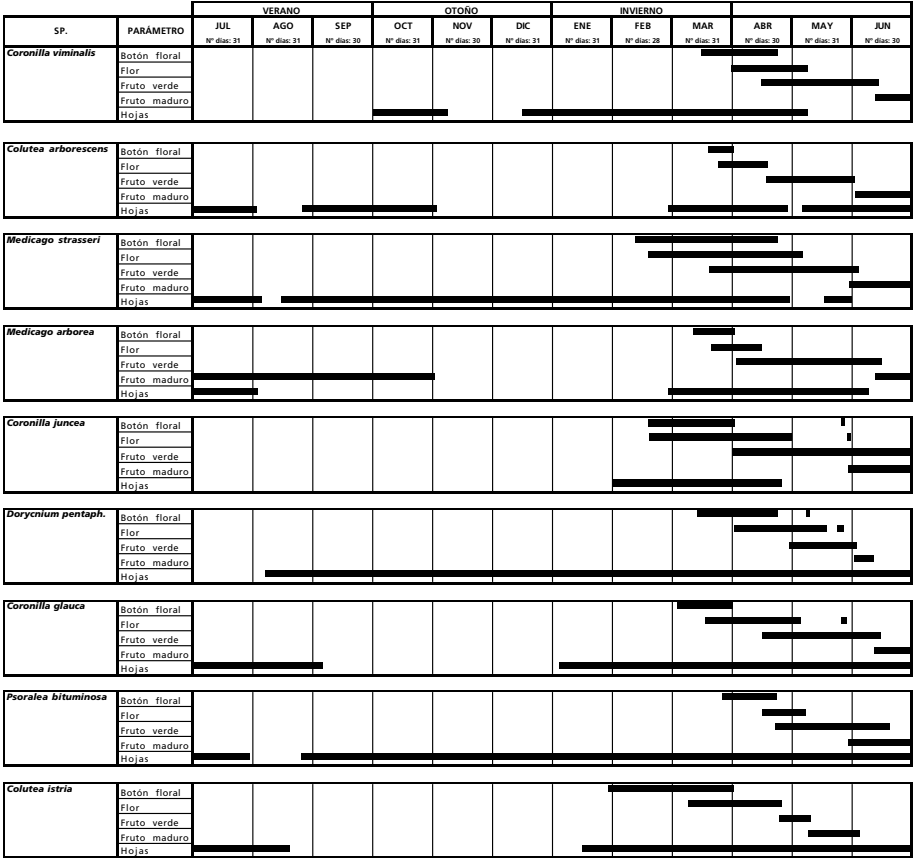


Figura 2. Periodos fenológicos de cada especie.

Los resultados de fenología obtenidos a partir de registros semanales, se muestran en la Figura 2. Hay que considerar que las importantes lluvias otoñales, propias de la localidad, llegaron este año con 2 meses de retraso (en diciembre) lo que retrasó al menos un mes la fenología y tal vez acortara las fases fenológicas.

El porcentaje de marras a los 3 años fue de cero en todas las especies excepto *C. arborescens* (40%), *C. cilicica* (40%), *C. viminalis* (10%) y *P. bituminosa* (10%). Las de mayor altura fueron: *M. arborea* (190cm), *C. istria* (180cm), *C. arborescens* (110cm), seguidas en orden decreciente de: *C. glauca* (99cm), *C. juncea* (94cm), *M.strasseri* (86cm), *P. bituminosa* (63cm), *C. cilicica* (61cm), *C. viminalis* (42 cm) y *D. pentaphyllum* (42 cm). Las de mayor cobertura fueron: *M. strasseri* (46%), *C. juncea* (33%), *C. istria* (28%), seguidas de *C. glauca* (22%), *P. bituminosa* (19%), *C. arborescens* (15%), *C. viminalis* (13%), *D. pentaphyllum* (11%) y *C. cilicica* (4%). La variabilidad, de los parametros medidos, entre pies de una misma especie no fue muy grande excepto en *C. cilicica* y *C. viminalis*.

Las 3 especies que presentaron mayor peso seco de biomasa en el vuelo fueron: *M. strasseri* (1.207 g), *C. glauca* (974 g) y *C. juncea* (966 g); la productividad del vuelo, se presenta en la Tabla 3.

ESPECIE	Parte leñosa						Parte verde				
	Longitud	Peso seco	Humedad relativa	Volumen	Densidad	Ramoneo	Hojas	Flores			
(m)	(g)	(%)	(cm ³)	(g/cm ³)	P.seco (g)	Dens. (g/cm ³)	P.seco (g)	Dens. (g/cm ³)	Superf. (cm ²)	P.seco (g)	
<i>Colutea arborescens</i>	37,2	158,5	48,6*	308,5	0,46*	0,8	0,17*	14,6	0,23*	10,9	0,7
<i>Colutea cilicica</i>	4,8	16,0	43,5*	32,5	0,50*	0,1	0,04*	4,1	0,22*	2,7	---
<i>Colutea istria</i>	48,2	195,2	47,3*	376,5	0,47*	1,7	0,1*	28,3	0,13*	14,1	6,1
<i>Coronilla glauca</i>	169,8	749,3	45,2*	1343	0,56*	6,9	0,21*	164,7	0,16*	190,4	52,8
<i>Coronilla juncea</i>	531,5	905,4	40,5*	1940	0,43*	17,0	N.D.	42,0	0,3*	48,3	1,6
<i>Coronilla viminalis</i>	49,9	87,5	55,5*	239,5	0,39*	1,2	0,18*	44,0	0,19*	28,1	14,3
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	359,9	219,5	37,2*	341,0	0,62*	2,9	0,51*	11,4	0,44*	8,4	5,8
<i>Medicago strasseri</i>	177,0	777,9	54,7*	1693	0,46*	25,6	0,21*	358,7	0,17*	255,8	45,5
<i>Psoralea bituminosa</i>	147,8	412,1	50,7*	898,5	0,45*	8,6	0,21*	51,5	0,23*	46,6	38,8

Tabla 3. Productividad del vuelo.

Los mayores pesos secos absolutos de raíz (incluidos nódulos) correspondieron a: *C. juncea* (253g), *M. strasseri* (210g), *C. glauca* (201g), siendo los porcentajes de nódulos, respectivamente, los siguientes: 11%, 0,1% y 2,5%. Las especies con mayor longitud radicular absoluta total fueron: *M. strasseri* (1034 m), *C. glauca* (822 m), *P. bituminosa* (711 m); mayor longitud radicular relativa al volumen del monolito de suelo explorado fueron *D. pentaphyllum* (5621 m/m³), *P. bituminosa* (5082 m/m³), *M. strasseri* (3831 m/m³) y con mayor biomasa radicular relativa, las especies: *C. glauca* (1156g/m³), *P. bituminosa* (1116 g/m³), *C. arborescens* (1070 g/m³) y *C. juncea* (1024 g/m³). La especie con mayor superficie foliar y superficie radicular fue *M. strasseri* con valores respectivos de: 5,42 m² y 1,91m². La productividad de raíz y de nódulos se muestra en las Tablas 4. y 5.

Especie	Estrato						Totales	
	E _I (0 - 15 cm.)		E _{II} (15 - 30 cm.)		E _{III} (30 - 45 cm.)		E _I + E _{II} + E _{III} (0-45 cm)	
	L _{rr} (m/m ³)	B _{rr} (g/m ³)	L _{rr} (m/m ³)	B _{rr} (g/m ³)	L _{rr} (m/m ³)	B _{rr} (g/m ³)	L _{rr} (m/m ³)	B _{rr} (g/m ³)
<i>Colutea arborescens</i>	204	428	1445	502	225	140	1874	1070
<i>Colutea cilicica</i>	61	279	215	205	138	77	414	560
<i>Colutea istria</i>	207	174	171	120	121	61	499	355
<i>Coronilla glauca</i>	1857	593	2484	526	432	37	4773	1157
<i>Coronilla juncea</i>	747	766	881	215	504	43	2132	1024
<i>Coronilla viminalis</i>	173	175	319	51	216	55	708	281
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	1235	360	3504	284	881	232	5621	876
<i>Medicago strasseri</i>	1482	434	1518	228	831	115	3831	777
<i>Psoralea bituminosa</i>	2041	671	2109	310	933	136	5082	1116

Tabla 4. Productividad de raíz en biomasa y longitud radicular relativa.

L_{rr} = Longitud radicular relativa (metros de raíces / metro cúbico de suelo).

B_{rr} = Biomasa radicular relativa (gramos de raíz / metro cúbico de suelo).

Especie	Estrato						Totales	
	E _I (0 - 15 cm.)		E _{II} (15 - 30 cm.)		E _{III} (30 - 45 cm.)		E _I + E _{II} + E _{III} (0-45cm.)	
	P _s (g)	B _{nr} (g/m ³)	P _s (g)	B _{nr} (g/m ³)	P _s (g)	B _{nr} (g/m ³)	P _s (g)	B _{nr} (g/m ³)
<i>Colutea arborescens</i>	0,02	0,22	0,73	7,3	---	---	0,75	7,5
<i>Colutea cilicica</i>	---	---	0,01	0,09	---	---	0,01	0,1
<i>Colutea istria</i>	---	---	0,16	0,8	---	---	0,16	0,8
<i>Coronilla glauca</i>	0,30	1,9	4,67	25,9	0,13	0,74	5,1	29,0
<i>Coronilla juncea</i>	9,7	44,0	15,8	72,0	2,1	9,6	28,0	125,5
<i>Coronilla viminalis</i>	0,63	4,9	0,14	1,1	0,05	0,35	0,82	6,3
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	---	---	0,002	0,02	---	---	0,002	0,02
<i>Medicago strasseri</i>	0,01	0,04	0,15	0,55	0,02	0,08	0,18	0,7
<i>Psoralea bituminosa</i>	0,42	3,0	0,68	4,8	0,45	3,2	1,5	11

P_s = Peso seco de los nódulos, expresado en gramos.

B_{nr} = Biomasa relativa de nódulos, expresada en gramos de nódulos por metro cúbico de suelo.

E_I, E_{II}, E_{III}, respectivamente = estratos I, II y III.

Tabla 5. Biomasa de nódulos absoluta y relativa.

P_s = Peso seco de los nódulos, expresado en gramos.

B_{nr} = Biomasa relativa de nódulos, expresada en gramos de nódulos por metro cúbico de suelo.

E_I, E_{II}, E_{III}, respectivamente = estratos I, II y III.

Los resultados de hojarasca, los mostramos agrupados en tres categorías de especies en la Figura 3.

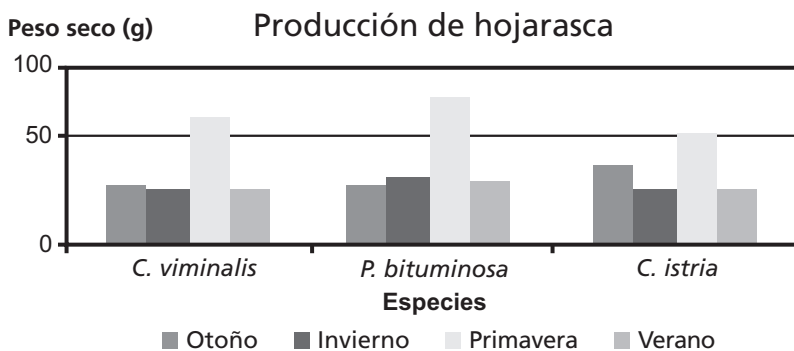
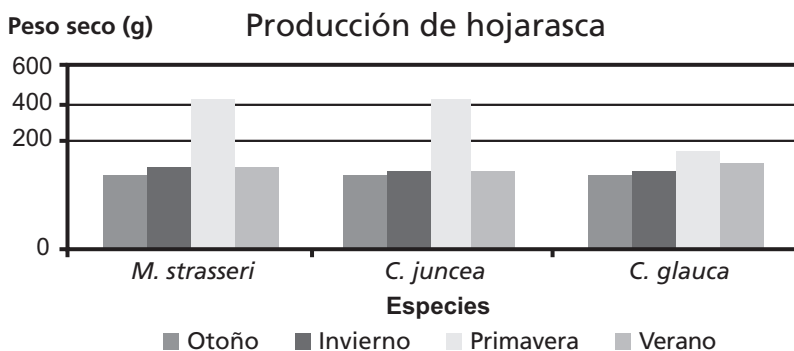
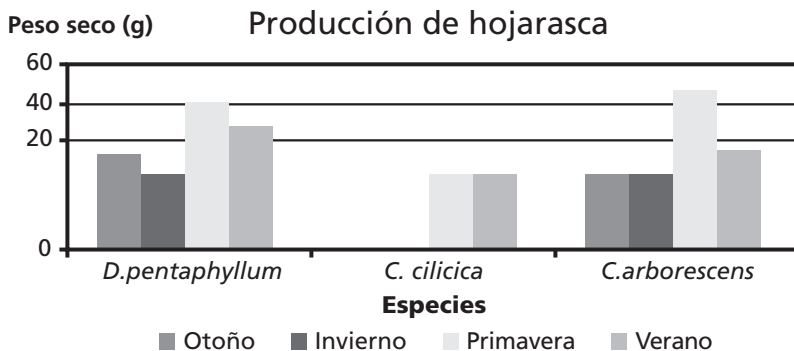


Figura 3. Producción de hojarasca, por estaciones. Es de destacar que en primavera se produjo el mayor aporte de hojarasca (Sobre todo en *M. strasseri* y *C. Juncea*), y en otoño el menor.

En cuanto resistencia a la sequía obtuvimos los siguientes resultados:

Los índices de esclerofilia, oscilaban entre 5,41mg/cm² de *M. strasseri* y 13,93 mg/cm² de *C. juncea*. Las especies con mayor esclerofilia en sus hojas son *C. juncea*, *C. glauca* y *P. bituminosa*. El estrato superior (E3), más expuestos a los rayos solares, tuvo una mayor esclerofilia que los inferiores. Los valores de potencial hídrico fueron propios de condiciones de gran estrés y muy parecidos a los obtenidos por De Andrés, E.F. *et al.* (1997). Según las pérdidas totales de peso debidas a la transpiración cuticular a lo largo de 6 horas, pueden hacerse tres grupos de especies: a. con pérdidas <100 mg (*C. juncea* y *D. pentaphyllum*); b. con pérdidas entre 100 y 200 mg (*C. glauca*, *M. strasseri*, *M. arborea*, *P. bituminosa* y *C. istria*) y c. con pérdidas >200mg (*C. cilicica*, *C. arborescens* y *C. viminalis*). Los resultados de la resistencia a la sequía y hojarasca los mostramos en la Tabla 6.

	Esclerofilia de cada especie según estratos (mg/cm ²)			Potencial hídrico (media, MPa)	Transpiración cuticular (mg)	Hojarasca (peso seco, g)
	E ₁	E ₂	E ₃			
<i>Coronilla juncea</i>	0,84	0,99	1,39	-2,2*	37	3,4
<i>Coronilla glauca</i>	1,14	1,00	1,28	---	150	274,1
<i>Coronilla viminalis</i>	0,61	0,61	0,85	---	240	91,5
<i>Psoralea bituminosa</i>	0,82	0,81	1,03	---	132	121,0
<i>Medicago strasseri</i>	0,54	0,67	0,78	-2,1*	100	544,1
<i>Colutea istria</i>	0,41	0,47	0,61	---	115	93,7
<i>Colutea arborescens</i>	0,79	0,70	0,89	---	290	65,1
<i>Colutea cilicica</i>	0,55	0,67	0,67	---	320	4,5
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	0,76	0,54	0,86	---	38	81,4
<i>Medicago arborea</i>	0,64	0,86	0,92	---	110	---

Tabla 6. Resistencia a la sequía y producción de hojarasca.

*Datos del 28 de abril de 1998 en muestras sin hidratar.

CONCLUSIONES

Pese a que las plantas se desarrollaron en un clima extremadamente adverso como es el subdesértico atenuado, sobrevivieron y tuvieron un buen desarrollo salvo caso excepcionales (fundamentalmente *C. cilicica* y *C. arborescens* ambas con un 40% de marras). Fenología: La actividad reproductiva comenzó en *C. juncea* y *M. strasseri* en el mes de febrero y en el resto de especies en el mes de marzo. La floración terminó, por lo general, en abril - mayo, teniendo en *C. juncea*, *C. glauca* y *D. pentaphyllum* una segunda floración de menor intensidad. La fructificación apareció en el mes de abril, salvo en *M. strasseri* y en general el período con frutos maduros se centró en los meses de junio y julio. En cobertura vegetal destacaron *M. strasseri*, *C. juncea* y *C. glauca* con porcentajes respectivos de 46%, 33% y 22%. Las tres especies más destacadas por su peso seco total en productividad del vuelo fueron *M. strasseri* (1207 g), *C. glauca* (974 g) y *C. juncea* (966 g). Parte verde: En ramoneo destacaron por orden decreciente: *M. strasseri* (25,6 g), *C. juncea* (17,0 g) y *P. bituminosa* (8,6 g). En peso seco de hojas y superficie foliar destacaron los valores respectivos siguientes: *M. strasseri* (358,7; 255,8 cm²), *C. glauca* (164,7 g; 190,4 cm²), *P. bituminosa* (51,5 g). En flores y frutos destaca *C. glauca* (52,8 g), *M. strasseri* (45,5 g) y *P. bituminosa* (38,8 g). Productividad de raíces: en términos relativos es muy interesante el elevado desarrollo de raíces observado en biomasa de *C. glauca* y *P. bituminosa*, y en longitud de y *P. bituminosa*. Esto repercute en una mejora de las condiciones físicas y nutricionales, lo que hace estas especies de gran utilidad de protectoras y restauradoras del suelo. En cuanto a producción de nódulos en peso seco, destacó el género *Coronilla*, y muy por encima del resto de especies *C. juncea* (125 g/m³). En los géneros *Coronilla* y *Medicago*, el índice de esclerofilia es elevado, lo que indica su gran adaptación a ambientes de sequía. También se observó que en el estrato superior se alcanzaban mayores índices de esclerofilia. Los valores de potencial hídrico de las dos especies en que se realizaron las pruebas fueron propios de condiciones de elevado estrés. Transpiración cuticular: Las especies *C. juncea* y *D. pentaphyllum* presentaron una elevada adaptación a la sequía porque tuvieron bajas pérdidas de agua por transpiración (aproximadamente 40mg). Considerando los resultados exhaustivos descritos, se llega a la conclusión final de que todas las especies estudiadas, menos *C. cilicica* y *C. arborescens*, son capaces de producir importantes cubiertas vegetales protectoras del suelo en clima subdesértico; que las especies *P. bituminosa*, subsp. *albomarginata*, *M. arborea* y *M. strasseri*, *C. juncea*, *C. viminalis*, *D. pentaphyllum*, *C. istria* y *C. arborescens*, son adecuadas como pascícolas; las especies *C. juncea*, *C. glauca*, *C. viminalis*, *M. arborea*, *M. strasseri*, *P. bituminosa*, subsp. *albomarginata*, resultan interesantes como xero-ornamentales; y las especies *C. juncea*, *C. glauca*, para aromáticas.

REFERENCIAS

- Böhm, W. 1979. *Methods of studying root systems*. Springer- Verlag Heidelberg New York.
- De Andrés, E. F., Tenorio, J. L., Manzanares, M., Sanchez, F. J. y Ayerbe, L. 1997. Mecanismos de resistencia a la sequía en leguminosas arbustivas. INIA. 3er. Simposium Hispano-Portugues sobre Relaciones Hídricas en las Plantas. Sitges (Barcelona).
- Fao-unesco. 1985. *Soil Map of the World, 1/5.000.000 Revised legend*. fao. roma. Pp. 155.
- García-Camarero, J. 1989a. *Restauración de zonas y ecosistemas en degradación*. 13/89 HD. Dirección General de Investigación y Capacitación Agraria. MAPA.
- García-Camarero, J., Ingelmo, F., Sotomayor, M., Rubio, J. L., Gómez de Barreda, D. y Cerní, R. 1989 b. *Restauración de zonas agroforestales degradadas mediante el empleo de especies arbustivas y forrajeras*. Informe del proyecto de investigación del IVIA. Generalitat Valenciana.
- García-Camarero, J. 1995. *El barranco de La Salada (Pedralba, Valencia)*. Estudio biogeográfico. Tesis de licenciatura. Facultad de Geografía de la universidad de Valencia.
- García Torres, A. 1994. *Cultivos en zonas semiaridas*. Universidad de Murcia y Consejería de Agricultura Ganadería y Pesca. 312pp. Murcia.
- Heywood, V. H. 1985. *Las plantas con flores*. E.d. Reverté. Barcelona. 332 pp.
- Ibáñez, A. 1995. *Regeneración de suelos erosionados mediante la adición de lodos anaerobios de depuradora*. Tesis doctoral. Facultad de Farmacia. Universidad de Valencia
- Larson, S. y Svenningsson, M. 1986. Cuticular and epicuticular lipids of primary leaves of barley. *Physiology Plant*, **68**: 13-19.
- Phillips, D. L. y Mac Mahon, J. A. 1981. Competition and spacing patterns in desert shrubs. *Journal of Ecology*, **69**: 97-115.
- Rivas Martínez, S. 1987. *La vegetación de España*. Peinado Lorca y Rivas Martínez (eds.). Colección Aula Abierta. Universidad Alcalá de Henares. Servicio de publicaciones Madrid. 544 pp.
- Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology*, **63**: 995-1001.