



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Estudio de condicionantes en la ejecución de trasplantes de arbolado adulto en obra

Autor: José Ángel Velasco Ortega

Institución: FERROVIAL AGROMÁN S.A.
E-mail: 0zhd@ferrovial.es

Otros autores: Juan José Rosado López (FERROVIAL AGROMÁN S.A.); Marta Arroyo Gutiérrez (FERROVIAL AGROMÁN S.A.)



RESUMEN:

El objetivo del estudio es evaluar los resultados de trasplantes de arbolado ya ejecutados, en términos de éxito/fracaso, identificando los problemas de ejecución y mantenimiento, así como definir las condiciones adecuadas e inadecuadas para la ejecución de los trasplantes. Para conseguir este objetivo se han recopilado datos de dos obras de Ferrovial-Agromán en las que se realizó el inventario de árboles a trasplantar, con información de cada uno de los ejemplares (familia y especie, situación en el terreno, edad,...) para posteriormente analizar la evolución de los mismos de acuerdo a parámetros descriptivos del grado de éxito o fracaso. Del análisis estadístico de la supervivencia de los ejemplares, relacionándola con parámetros como la época de trasplante, el tipo de hoja, el orden al que pertenece la especie o la altura del ejemplar se extraen resultados y conclusiones de interés tanto en la determinación de las posibilidades de éxito en la ejecución de un trasplante como en las metodologías de ejecución más adecuadas en cada caso. El trabajo concluye con la elaboración de una "Guía de buenas prácticas en ejecución y mantenimiento de trasplantes", de aplicación directa en las obras civiles.



INTRODUCCIÓN

En muchos ámbitos profesionales, de forma ocasional o sistemática, se vienen aplicando técnicas y métodos a la hora de diseñar las actuaciones simplemente porque son los utilizados tradicionalmente o bien porque se han adoptado de otros campos. Es el sector de la jardinería o el forestal uno de ellos, donde se extrapolan los conocimientos agronómicos. Sin embargo, en pocas ocasiones esas actuaciones son contrastadas científicamente o están amparadas por algún estudio que avale su aplicación.

Aprovechando la oportunidad que prestaba la realización del soterramiento de la carretera de circunvalación M-30 en Madrid, por la cantidad de árboles adultos que debían ser retirados para la implementación del proyecto urbanístico, FERROVIAL AGROMÁN planificó un estudio que pretendía identificar los condicionantes principales en la ejecución de trasplantes de arbolado adulto en la obra civil. Para ello utilizaría los datos recogidos en los dos tramos que le habían sido asignados dentro del proyecto global: el Bypass Sur Túnel Norte y el Soterramiento del Río Tramo 2. Lo que se pretendía con este estudio era mejorar el conocimiento que se tiene sobre las técnicas aplicadas en la práctica y contrastarlas con el conocimiento científico actual y los resultados estadísticos obtenidos.

Una vez identificados los problemas existentes en la ejecución y mantenimiento de trasplantes se propondrían líneas de actuación y metodologías apropiadas en un manual de buenas prácticas de aplicación en obra.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los árboles

Los árboles trasplantados proceden de dos obras realizadas por Ferrovial, el Bypass Sur Túnel Norte y el Soterramiento del río Tramo 2. Las diferencias entre estos dos grupos de árboles residen principalmente en su enclave original y en la fecha en que fueron trasplantados. También, aunque en mucha menor medida, existen diferencias en actuaciones y técnicas concretas de la operación de trasplante, al ejecutarse éste por varias contratas de jardinería.

En total, el estudio engloba 625 trasplantes correspondientes a ejemplares de distintas edades, tamaños y especies.

Procedencia	Árboles trasplantados
Bypass	474
Soterramiento	151 + 10*
Total	635

Tabla 1. Número de árboles trasplantados

* Los 10 ejemplares fueron rechazados por encontrarse en mal estado en el momento de su recepción en Fuente Carrantona



La parcela receptora

La parcela a la que se trasladaron los ejemplares se sitúa en el Distrito de Moratalaz, entre el eje O'Donnell, la M-40 y las calles de Fuente Carrantona y de Ciudad Encantada. Este espacio, de aproximadamente 30 hectáreas de superficie, ha recogido los ejemplares de diferentes obras de la Comunidad, desde el soterramiento de la M-30 al Metro Norte o el metro ligero entre otros.

Se trata de una antigua escombrera que pretende ser recuperada para albergar un parque forestal. La parcela concreta que recibió los árboles estudiados tiene una ligera inclinación hacia el Suroeste en el caso de los árboles procedentes del Bypass y al Sureste en el caso de los del soterramiento del tramo del río. Se puede considerar que las condiciones fueron homogéneas para todos los árboles allí trasplantados ya que las condiciones edáficas son idénticas y la orientación es prácticamente la misma. Al ser los cuidados y condiciones los mismos para todos los ejemplares trasplantados, la supervivencia o no de los mismos habrá sido determinada en gran medida por las características propias de la especie trasplantada, el estado sanitario del ejemplar, su situación en el origen y las acciones llevadas a cabo durante el trasplante, incluyéndose en ellas la época de transplante. Se asume en este punto la hipótesis de que la parcela afecta a todos los ejemplares por igual.

Las operaciones de acondicionamiento de la parcela se limitaron a la limpieza y el desescombro manual, el desbroce y la eliminación de herbáceas y por último a la colocación de una valla perimetral y la instalación de una red de tuberías para el riego. Como se puede observar, no se llevaron a cabo otro tipo de enmiendas orgánicas, aporte de tierra, etc. que pudiesen mejorar las condiciones de lo que era un antiguo vertedero de escombros.

Las variables

Con la colaboración de personal docente de la Universidad Politécnica de Madrid se concretaron las variables que un estudio de estas características debería contemplar. Estas variables se dividen en tres apartados: identificación del ejemplar, ejecución del transplante y éxito de la operación (Tabla 2).

Los datos acerca de la localización de los ejemplares y la información sobre las actuaciones de trasplante fueron recopilados a partir de informes tanto de la propia empresa como de las empresas subcontratadas y de la administración pública. El éxito de la operación se estimó a partir de los informes de retirada de ejemplares de la parcela receptora (árboles muertos) y mediante un inventario que tuvo lugar el verano de 2007 en la parcela receptora de los trasplantes.

Categoría	Variable	Justificación
Identificación del ejemplar	Localización del ejemplar	Se agrupó a los diferentes ejemplares bajo unas mismas características ambientales y de trabajo. La situación en el terreno podría indicar una mayor o menor facilidad a la hora de realizar el trasplante y por lo tanto determinar un mayor o menor éxito del mismo.
	Especie (subespecie)	Los datos básicos sobre las características morfológicas del ejemplar y su disposición previa en el terreno ayudan a entender la fisiología del mismo. A la hora de analizar estas variables se ha de tener en cuenta la diversidad de especies tratadas y por lo tanto se han de dimensionar los valores dentro de cada especie.
	Altura	
	Edad	
	Perímetro	
	Origen	
	Estado sanitario del ejemplar	
	Exposición a la luz solar	
Exposición al viento		
Ejecución del trasplante	Poda	Se efectúa para recuperar el equilibrio entre la parte aérea y subterránea de la planta. Es preciso conocer la respuesta de los ejemplares a esta práctica y a sus diferentes niveles de aplicación.
	Tipo de cepellón y dimensiones	Las medidas del cepellón determinan el capado de las raíces y por lo tanto la capacidad de bombear agua. La profundidad influye especialmente sobre las raíces pivotantes que bombean el agua durante las épocas de mayor estrés hídrico de las capas más profundas. El diámetro del cepellón, por otro lado, afecta en mayor medida a las raíces secundarias más superficiales.
	Época de trasplante	Teóricamente el trasplante debe planificarse para cuando las plantas se encuentran en parada vegetativa ya que así no están empleando sus recursos en otras actividades como la foliación, floración, etc.
	Periodo de acopio	Cuanto más tiempo transcurra desde la extracción hasta su plantación más sufrirá la planta y más difícil será que el trasplante tenga éxito.
Éxito de la operación	Grado de éxito	Se han distinguido varios niveles de éxito y fracaso para poder estudiar con más exactitud en qué fase pudo estar la clave para llegar al éxito o al fracaso de la operación y de esta manera conocer qué variable fue la determinante.

Tabla 2. Algunas de las variables escogidas para la elaboración del estudio

Análisis estadístico

Una vez recopilada toda la información se procedió a su análisis estadístico. Para aquellas variables que contaban con un número suficiente de valores y unas características adecuadas se realizó un análisis de la varianza con el fin de analizar los diferentes tratamientos. Para aquellas en las que no ha sido posible la realización de este análisis, bien por la escasez de información o por no cumplir la muestra las condiciones necesarias para realizar un ANOVA, se analizaron de todas formas los resultados obtenidos con el fin de obtener una primera impresión o tendencia.

RESULTADOS

La supervivencia global de los árboles tras el trasplante resulta ser del 64,2%.

- En la obra del Bypass, transcurridos casi 3 años desde el traslado (en su mayoría en enero de 2005), de los 474 ejemplares arbóreos, el 71,3%, ha sobrevivido al fuerte impacto que un trasplante supone para la planta.
- En el Tramo 2 del soterramiento de la M-30 por el río, de los 151 ejemplares transplantados, 63 ejemplares (41,7%) seguían vivos cuando se inventarió la parcela receptora en Septiembre de 2007.

El resultado del análisis estadístico de los datos muestra diferencias en la respuesta de los ejemplares según las variables estudiadas Para este artículo se han seleccionado y

resumido los resultados que se han considerados más relevantes. A continuación se detallan los mismos:

Filogenia

Las especies han respondido de diferente manera a la gran perturbación que supone un trasplante (Tabla 3). Aunque tanto el éxito como el fracaso están determinados por infinidad de parámetros, la especie es una de las variables más importantes, especialmente por la arquitectura de la planta. Las especies que mejor resistieron la perturbación de ser trasplantadas y cuyo número muestral es superior a 10 ejemplares fueron ambas especies del género *Celtis spp.*, *Acer campestre*, *Acer negundo*, *Ulmus pumila*, *Sophora japonica* y *Prunus cerasifera pissardii* (100, 94, 85,81, 79 y 72% respectivamente). Por otro lado las especies que no cuentan con ningún ejemplar vivo tras el trasplante fueron: *Pinus pinea* (12 ejemplares), *Eucaliptos globulus* (9), *Betula alba* (6), *Acer pseudoplatanus* (3), *Cedrus deodara* (3), *Ulmus minor* (2), *Cupressus arizonica* (2), *Cedrus atlantica glauca* (2) y *Platanus hybrida* (1).

Especie	Número		Porcentaje		Total
	Éxito	Fracaso	Éxito	Fracaso	
<i>Acer campestre</i>	17	1	94%	6%	18
<i>Acer negundo</i>	45	8	85%	15%	53
<i>Acer platanoides</i>	4	3	57%	43%	7
<i>Acer pseudoplatanus</i>	0	3	0%	100%	3
<i>Betula alba</i>	0	6	0%	100%	6
<i>Carpinus betulus</i>	3	15	17%	83%	18
<i>Catalpa bignonioides</i>	2	7	22%	78%	9
<i>Cedrus atlantica</i>	1	0	100%	0%	1
<i>Cedrus atlantica glauca</i>	0	2	0%	100%	2
<i>Cedrus deodara</i>	0	3	0%	100%	3
<i>Cedrus libani</i>	1	1	50%	50%	2
<i>Celtis australis</i>	12	0	100%	0%	12
<i>Celtis occidentalis</i>	27	0	100%	0%	27
<i>Cupressocyparis leylandii</i>	64	45	59%	41%	109
<i>Cupressus arizonica</i>	0	2	0%	100%	2
<i>Eucaliptos globulus</i>	0	9	0%	100%	9
<i>Gleditsia triacanthos</i>	2	0	100%	0%	2
<i>Ligustrum japonica</i>	7	1	88%	13%	8
<i>Melia azedarach</i>	1	1	50%	50%	2
<i>Pinus halepensis</i>	2	10	17%	83%	12
<i>Pinus pinea</i>	0	12	0%	100%	12
<i>Platanus hybrida</i>	0	1	0%	100%	1
<i>Prunus cerasifera pissardii</i>	72	28	72%	28%	100
<i>Pyrus calleryana</i>	4	0	100%	0%	4
<i>Robinia pseudoacacia</i>	14	11	56%	44%	25
<i>Sophora japonica</i>	66	18	79%	21%	84
<i>Thuja orientalis</i>	13	25	34%	66%	38
<i>Ulmus minor</i>	0	2	0%	100%	2
<i>Ulmus pumila</i>	44	10	81%	19%	54
Total	401	224	64,2%	35,8%	625

Tabla 3. Respuesta de las diferentes especies estudiadas al trasplante.

Familia	Número		Porcentaje		Total
	Éxito	Fracaso	Éxito	Fracaso	
<i>Aceraceae</i>	66	15	82%	19%	81
<i>Betulaceae</i>	0	6	0%	100%	6
<i>Bignoniaceae</i>	2	7	22%	78%	9
<i>Caesalpinaceae</i>	2	0	100%	0%	2
<i>Corylaceae</i>	3	15	17%	83%	18
<i>Cupressaceae</i>	77	72	52%	48%	149
<i>Fabaceae</i>	14	11	56%	44%	25
<i>Meliaceae</i>	1	1	50%	50%	2
<i>Mimosaceae</i>	66	18	79%	21%	84
<i>Myrtaceae</i>	0	9	0%	100%	9
<i>Oleaceae</i>	7	1	88%	13%	8
<i>Pinaceae</i>	4	28	13%	88%	32
<i>Platanaceae</i>	0	1	0%	100%	1
<i>Rosaceae</i>	76	28	73%	27%	104
<i>Ulmaceae</i>	83	12	87%	13%	95
Total	401	224	64%	36%	625

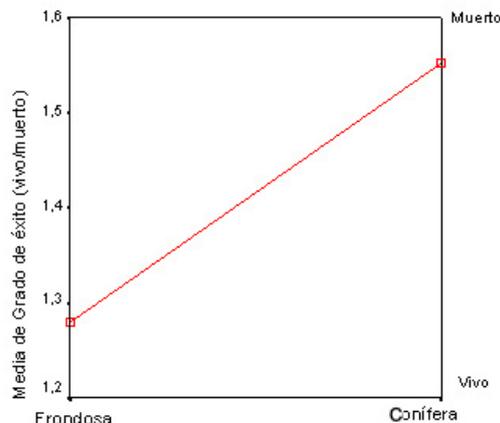
Tabla 4. Respuesta de las diferentes familias estudiadas al trasplante.

Las familias con un porcentaje de éxito mayor fueron por orden *Caesalpinaceae* (100%), *Oleaceae* (88%), *Ulmaceae* (87%), *Aceraceae* (82%), *Mimosaceae* (79%) y *Rosaceae* (73%) (Tabla 4). Sin embargo se ha de destacar que la familia *Caesalpinaceae* sólo está representada por 2 ejemplares de *Gleditsia triacanthos* en el estudio y la familia *Oleaceae* por 8 *Ligustrum japonica*. Las familias cuyos representantes no consiguieron sobrevivir fueron *Myrtaceae* (9 ejemplares), *Betulaceae* (6) y *Platanaceae* (1).

Frondosa/Conífera

Categorizando los ejemplares según sean frondosas o coníferas se vio que la supervivencia en las primeras era significativamente mayor que en las segundas. En este caso se ha verificado la igualdad de medias entre las dos categorías mediante el test de Cochran, la muestra es homocedástica con lo que los resultados pueden considerarse concluyentes.

Como se aprecia en la figura 1, las frondosas sobreviven más (vivo = 1) mientras que la media de supervivencia de las coníferas se encuentra entre 1,5 y 1, 6, más cerca de la mortalidad (muerto = 2).



ANOVA

Grado de éxito (vivo/muerto)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	9,598	1	9,598	44,582	,000
Intra-grupos	134,121	623	,215		
Total	143,718	624			

Figura 1. Respuesta al trasplante de frondosas y coníferas y análisis de la varianza que muestra diferencias significativas en las medias.

Perenne/Caducifolia

De igual forma se clasificaron los ejemplares según fueran perennes o caducifolias. En este caso los resultados obtenidos fueron prácticamente idénticos a los anteriores ya que sólo hay dos especies de frondosas que sean caducas y una de ellas es perenne facultativa: *Eucaliptus globulus* y *Ligustrum japonica*.

Situación en el terreno

Los trasplantes afectaron a árboles ubicados en parques, a situados en alcorques y a arbolado de alineación. Para este apartado se ha recurrido únicamente a los árboles de los que se conocía con seguridad su ubicación del tramo del río (los del bypass procedían todos de parque), es decir que se habían relacionado con un número en plano del informe inicial del arbolado afectado. En este caso se observó que el porcentaje de éxito en los trasplantes procedentes de alcorque (84,62%) es superior al de los procedentes del parque (58,2%). Hay que destacar que las especies procedentes de parque en este tramo son mayoritariamente especies que han sufrido una tasa de mortalidad muy elevada, tal es el caso de *Carpinus betulus* o *Betula alba*. Por el contrario los éxitos cuentan con una alta proporción de *Sophora japonica*, especie que ha superado bastante bien los trasplantes.

Edad

Los resultados muestran cómo el porcentaje de muertos aumenta con la edad (Figura 2). Sin embargo hay que destacar que los trasplantes de árboles de más de 20 años fueron sólo trece, un número muy bajo como para sacar conclusiones.

Los ejemplares trasplantados se pueden considerar como individuos jóvenes ya que prácticamente ninguno llega a 1/3 de la edad máxima estimada para su especie, que es el límite establecido en el estudio para considerarlo como una categoría de edad superior. Sólo una *Sophora japonica* perteneciente al tramo del río con una edad estimada en 48,3

años y un *Acer negundo* procedente del bypass con una edad estimada en 25 años serían clasificados como de edad media.

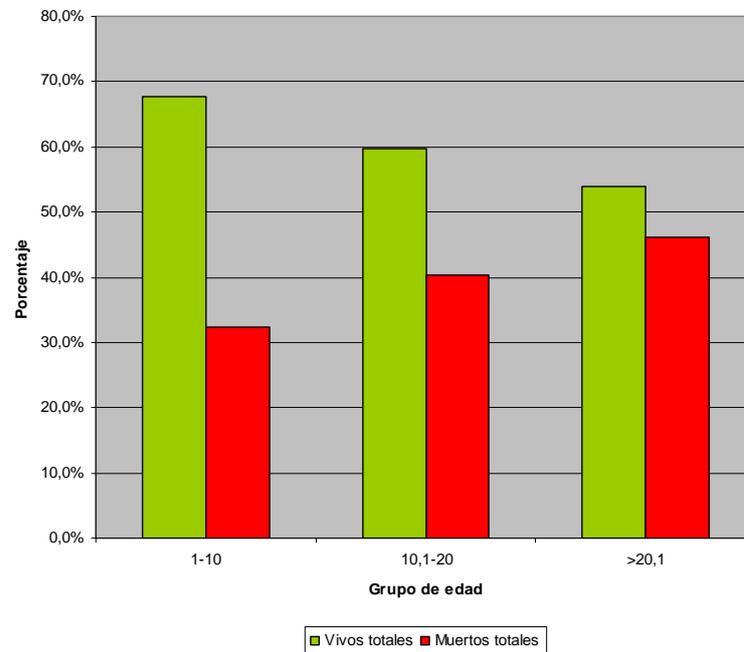
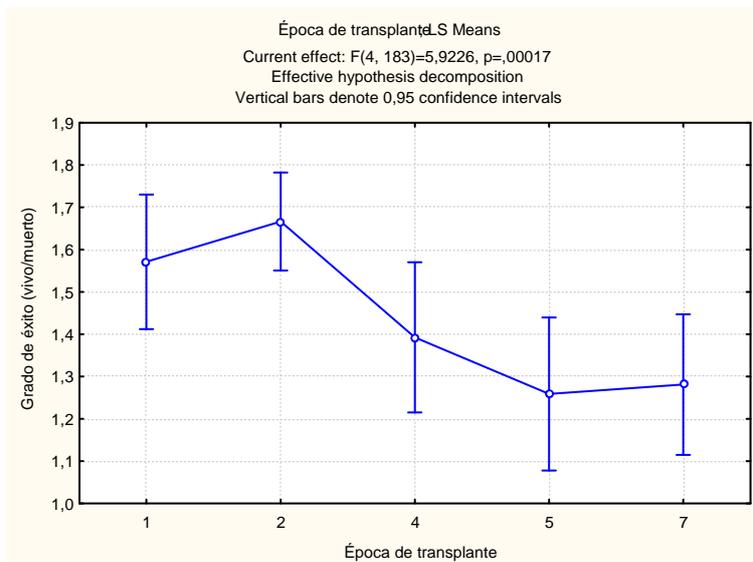


Figura 2. Respuesta al trasplante de los diferentes grupos de edad estudiados.

La respuesta a por qué los árboles más viejos responden peor a los trasplantes se relaciona en gran medida con el tamaño del ejemplar.

Época de trasplante

La ejecución de los trasplantes se llevó a cabo desde el otoño de 2004 hasta el verano de 2005. Se seleccionaron los meses en los que se trasplantó un número de ejemplares similares para realizar un análisis de la varianza. En este caso, los meses escogidos fueron mayo, junio, agosto, octubre y diciembre (35, 66, 28, 27 y 32 ejemplares respectivamente).



Época de trasplante	Valor
Mayo	1
Junio	2
Julio	3
Agosto	4
Octubre	5
Noviembre	6
Diciembre	7

Éxito	Valor
Vivo	1
Muerto	2

Figura 3. Representación de las medias de supervivencia (en el eje de las Y: 1=vivo; 2=muerto) para los diferentes meses analizados.

Los resultados del análisis de la varianza muestran diferencias significativas en las medias de los diferentes meses. Tras el pertinente análisis *post hoc* se diferencian 3 grupos que podrían denominarse como épocas favorables, desfavorables o practicables para realizar un trasplante. La época desfavorable sería junio, la época practicable agosto y mayo y finalmente la época favorable la formarían los meses de octubre y diciembre.

Época de trasplante	Grado de Éxito (vivo/muerto)	1	2
4 5 - Octubre	1,259259	****	
5 7 - Diciembre	1,281250	****	
3 4 - Agosto	1,392857	****	****
1 1 - Mayo	1,571429	****	****
2 2 - Junio	1,666667		****

Tabla 5. Análisis *post hoc* Unequal N HSD utilizado para determinar las diferencias significativas entre las medias de los grupos en el análisis de la varianza.

Escayolado

El escayolado del cepellón es una técnica muy practicada cuando se procede a trasplantar un árbol. Llama la atención que mientras en muchos manuales es aconsejado su empleo concretamente para consolidar el cepellón en las coníferas, en otros contextos es considerado totalmente inoportuno especialmente si no se retira totalmente una vez replantado el árbol. En el caso de los trasplantes que nos ocupan se escayolaron sistemáticamente todas las coníferas mientras que el cepellón de las frondosas se sujetó con tela de arpillera y malla metálica. Las excepciones fueron los *Cupressocyparis leylandii* del Bypass que no se escayolaron y las *Catalpa bignonioides* también del Bypass que se escayolaron. Los resultados de supervivencia en relación a esta cuestión plantean un estudio más profundo. De hecho, sólo dos de las nueve catalpas trasplantadas sobrevivieron, el 22% frente al 72% de frondosas que sobreviven, mientras

que en los cipreses de leyland sobrevivieron el 64,6% de 99 ejemplares en el bypass, mientras que en el río, donde se escayolaron todos ellos, no sobrevivió ninguno de los 12 ejemplares de esta especie.



Foto 1. Detalle de un ejemplar escayolado listo para su extracción (izq.) y un ejemplar, con su cepellón sujeto por malla metálica y tela de arpillera, siendo podado (dch.).

Conclusiones y propuestas

De acuerdo con la hipótesis inicial, se han encontrado diferencias en la respuesta de los ejemplares estudiados a la operación de trasplante. Las diferencias provienen tanto de las características de la especie, de la situación del ejemplar previa al trasplante y de la propia ejecución del trasplante. En cuanto a las actuaciones post-trasplante no se han podido sacar conclusiones ya que, teóricamente y para los fines de este estudio, todos los ejemplares fueron tratados de igual manera.

Época de trasplante:

Según el análisis de los resultados parece bastante concluyente que la época de trasplante es un parámetro muy determinante en el éxito de la operación. Ejemplares de la misma especie, con la misma ubicación original y tratados de igual manera responden de manera distinta según la época en la que fueron trasplantados. Por ejemplo la supervivencia de la *Sophora japonica* baja del 100% al 79,6 % variando sólo la época de trasplante (los ejemplares muertos corresponden a los meses de junio y agosto).

Esto se explica porque en invierno, la mayoría de las especies de árboles y arbustos permanecen con las yemas desarrolladas y cerradas hasta la primavera. Por otra parte, el crecimiento de las raíces parece que en invierno es mayor que el de los tallos aéreos, ya que el suelo mitiga la oscilación térmica que se produce en el aire. En los suelos secos del verano es prácticamente imposible su crecimiento, a no ser que se produzca a niveles profundos que mantengan la humedad, cosa imposible debido a las dimensiones de un cepellón habitual. La estacionalidad del crecimiento de la raíz de las plantas leñosas en las zonas de clima mediterráneo parece estar muy condicionada por la humedad del suelo (Kummerow 1983). Por lo tanto, el crecimiento primario de las plantas leñosas en el clima mediterráneo se debe centrar en las dos épocas favorables del año, esto es la primavera especialmente para la parte aérea y el otoño para las raíces.



Por lo tanto, para que las raíces crezcan y se llegue al verano con más garantías, el trasplante debería ser en invierno. Si se hace en primavera o en épocas más cálidas el árbol utilizará recursos también para el crecimiento de las hojas.

De cualquier manera, como la época de trasplante no siempre es posible planificarla debidamente por las exigencias de una obra, se deberían evitar al menos las épocas más ventosas o cálidas y, si es posible hacer los trasplantes en invierno, se deberían evitar los días de heladas.

Situación del terreno, cepellón y poda

Como se comentó en el apartado de resultados, la supervivencia de los ejemplares procedentes de alcorque fue mayor. Esta cuestión tiene que ver con las dimensiones del cepellón y con las operaciones de poda.

De hecho, los árboles de alineación ubicados en alcorques sufren un estrés mucho mayor que los de sus vecinos de parques y jardines. Aquí las raíces están confinadas a un pequeño espacio de donde sacar los recursos necesarios para subsistir, y la compactación del terreno que les circunda no hace más que limitar la presencia de los recursos. Por lo tanto, estos ejemplares suelen tener un desarrollo menor en su parte aérea que los procedentes de jardines.

Sin embargo, la ventaja al realizar el trasplante de estos ejemplares es que la mayoría de las raíces se encuentran concentradas en un pequeño volumen de tierra en comparación con aquellos árboles que pueden extender su sistema radical sin restricciones en el entorno. Por ello mismo, a la hora de realizar el cepellón, un menor porcentaje del sistema radicular es afectado por la poda de raíces.

En cuanto a la poda de la parte aérea, también los árboles de alineación en calles, sobre todo en calles estrechas con viviendas cerca, son podados habitualmente para que no alcancen las viviendas de las casas. Es por ello que guardan un equilibrio entre la parte aérea y subterránea. Cuando se realiza un trasplante hay que guardar un equilibrio entre la parte aérea que solicita el agua y la parte subterránea que lo proporciona. Si el equilibrio se rompe muy probablemente se producirán cavitaciones en los vasos conductores. En principio, ya que se va a reducir la parte subterránea de la raíz, lo indicado es podar un volumen proporcional de la parte aérea, aunque hay que tener especial cuidado con las especies no rebrotantes como son la mayoría de las coníferas. Por otra parte, los ejemplares que son podados habitualmente no necesitan desarrollar un sistema radical extenso ya que la demanda hídrica es inferior a la habitual, por lo que a priori deben estar mejor preparados para ser trasplantados.

Finalmente, en cuanto a la tipología del cepellón, se observó como los ejemplares no escayolados sufrían menos el trasplante. En muchos manuales se receta esta técnica especialmente en coníferas para mantener el cepellón consolidado a lo largo de la operación, sin embargo la escayola cambia el pH del suelo y además, si no se rompe totalmente a la hora de la plantación, las raíces no serán capaces de atravesar la barrera impuesta. Los materiales con los que se arma el cepellón deberían ser biodegradables y no deberían modificar las condiciones del medio. De esta forma no frenarían el desarrollo de las raíces ni lo inhibirían. De todas formas, como la degradación de un material depende en gran medida del medio en el que se encuentre y de las condiciones de



temperatura y humedad, la mejor recomendación sería retirar cualquier tipo de recipiente o material de sujeción. El proceso sería el inverso al de extracción y se diferenciaría de la simple plantación en que se necesitaría un hoyo más grande donde pudiese introducirse, además del cepellón, un operario para retirar los materiales.

Una de las variables que hubiese sido interesante estudiar pero que no se pudo por falta de una planificación anterior fue la orientación del ejemplar en la plantación. Marcando el norte en el tronco cuando el ejemplar va a ser extraído y luego plantándolo con la misma orientación puede ser de gran ayuda para la supervivencia del mismo. Ésto está relacionado con la plasticidad fisiológica de la planta, que es capaz de desarrollar hojas ligeramente diferentes según sus necesidades. Así por ejemplo, las hojas orientadas al sur deben estar más preparadas para aguantar la insolación directa y lo opuesto ocurre con las del lado norte. Cambiar la orientación significa que la planta debe readaptarse a la nueva situación invirtiendo recursos que podrían serles necesarios para afrontar el trasplante con mayores garantías.

Filogenia:

Los ejemplares no han respondido igual según su filogenia. Así en general parece que las frondosas responden mejor al trasplante que las coníferas. Sin embargo el fracaso quizá no se haya debido exclusivamente a las características intrínsecas de la planta, si no también a las técnicas de trasplante, en este caso el cepellón escayolado. Aún así gran parte de las coníferas no llegaron siquiera a brotar por lo que se puede intuir que aún no habían sufrido las adversidades que supone el escayolado. De hecho la mayoría de las frondosas tiene la capacidad de rebrotar, cualidad que muy pocas coníferas poseen. Si recurrimos a un nivel de organización más general se ha constatado que las especies caducifolias han superado de forma más exitosa el trasplante que las especies perennes (sean frondosas o coníferas). La explicación puede estar en la existencia de un parón vegetativo muy marcado y en la mayor reserva de nutrientes de las caducifolias.

Por otra parte hay familias que parece que responden mejor que otras, tal es el caso de la familia Mimosaceae (*Sophora japonica*), Aceraceae, Rosaceae y Ulmaceae (concretamente el *Ulmus pumila*). En el lado opuesto están las familias Corylaceae (*Carpinus*) y Pinaceae (*Pinus* y *Cedrus*) con peores índices de supervivencia.

En cuanto a los órdenes ocurre lo mismo. Los órdenes que más éxito han tenido son las Urticales (*Celtis* y *Ulmus*), Sapindales (*Acer* y *Melia*), Fabales (las acacias) y Rosales (*Prunus* y *Pyrus*). Por el otro lado se encuentran las Juglandales (carpe y abedul), Myrtales (eucaliptos) y Coniferales. Los Juglandales son propios de climas húmedos y fríos.

Características del ejemplar

Por último, cabe destacar, aunque resulte obvio, que una de las razones más importantes para que un trasplante fructifique, es el estado inicial del ejemplar. Pasando por alto el estado sanitario, en los resultados se comprobó que los ejemplares jóvenes superan de mejor manera el trance. El éxito puede deberse a varias razones, entre ellas, el menor porte, que facilita el manejo del ejemplar en todos los sentidos.



Otra consideración de importancia es que, a medida que los árboles cobran tamaño, destinan una mayor proporción de sus recursos a la función de soporte, es decir, al tronco, y no tanto a la generación de raíces. Aspectos como este no están considerados en leyes como la 8/2005 de protección y fomento del arbolado urbano de la Comunidad de Madrid. En ella se dicta expresamente que los árboles con más de 10 años o 20 cm de diámetro en su tronco a nivel del suelo serán trasplantados si se ven afectados por una obra, dejando a un lado los de características inferiores cuando está demostrado que soportan mejor el trasplante.

Manual de buenas prácticas

Como punto final al estudio se desarrolló a partir de las conclusiones obtenidas y de la experiencia en obra una guía de uso interno de FERROVIAL AGROMÁN para la ejecución de trasplante.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente a Félix Olivares y Rafael Serrada por sus indicaciones y directrices a la hora de afrontar y desarrollar este estudio, a Luís Balaguer por su inestimable ayuda en el análisis estadístico y a Juanjo Rosado y Marta Arroyo por sus comentarios y revisiones. Finalmente quiero agradecer al Ayuntamiento de Madrid por su colaboración en la obtención de datos de campo y a FERROVIAL AGROMÁN por darme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Anónimo, *40 Consejos para podar correctamente. Cómo podar las plantas*. [en línea] [ref. 5 de Diciembre de 2007] Disponible en Web: <http://articulos.infojardin.com/boletin-archivo/9-consejos-poda-correcta-como-podar-plantas.htm>

Anónimo, *Trasplante de árboles*. [en línea] [ref. 15 de Octubre de 2007] Disponible en Web: <http://articulos.infojardin.com/arboles/trasplante-arboles.htm>

BORCHERT, R. Feedback control and age-related changes of shoot growth in seasonal and nonseasonal climates. En: P. B. Tomlinson y M. H. Zimmermann (editores). *Tropical trees as living systems*. Ed: Cambridge Univ. Press, Cambridge 1978. Páginas 497-515

BORCHERT, R. Growth periodicity and dormancy. En: A. S. Raghavendra (editor). *Physiology of trees*. Ed: Wiley, Nueva Cork 1991. Páginas 221-245.

CANADELL, J., JACKSON, R. B., EHLERINGER, J.R., MOONEY, H. A., SALA, O. E. Y SCHULZE, E.D. "Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale" *Revista Oecología* (1996) 108:583-595.

CASTRO, P., VILLAR, P. Y MONTSERRAT, G. *Adaptaciones de las plantas leñosas al clima mediterráneo*. *Reista Quercus* 186 Agosto 2001 Páginas: 28 a 33.



CHUECA I ABANCÓ, J. *Problemática asociada al arbolado existente en los parques urbanos y periurbanos de nueva creación*. Conferencia presentada en el Congreso Internacional de IFPRA en Madrid - Octubre de 1997 [ref. 15 de Octubre de 2007] Disponible en Web: <http://www.drac.com/pers/chueca/problem.htm>

COLLS, J. *Air pollution*. 2ª Edición Londres: Spon Press, 2002. ISBN 0-415-25564-3

CONTE, Z. (traductura) "Transplante de árboles" [en línea] En: *Jardín y Árboles*. San Pablo (Brasil): Editorial Editora Tres Ltda. [ref. 15 de Octubre de 2007] Disponible en Web: http://www.elestanque.com/articulos/transplante_arboles.html

LABAJOS, L. (coord.) *Manual de jardinería ecológica*. Editorial Ecologistas en acción 2003

GRIME, J. P. *Plant strategies, vegetation processes and ecosystem properties*. 2ª Edición, Wiley, Chichester 2001.

JOFFRE, R., RAMBAL, S. y WINKEL, T. "Capítulo 2. Respuestas de las plantas mediterráneas a la limitación de agua: desde la hoja hasta el dosel." En: ZAMORA RODRIGUEZ, R. y PUGNAIRE DE IRAOLA, F. I. *Ecosistemas mediterráneos. Análisis funcional*. Madrid: CSIC, 2001. ISBN 84-00-07907-8 p. 37-65

KOCHMER, J. P. Y S. N. HANDEL, *Constraints and competition in the evolution of flowering phenology*. Ecological Monographs 56: 303-325, 1986.

KUMMEROW, J. Comparative phenology of Mediterranean-type plant communities. En: F. J. Kruger, D. T. Mitchell y J. U. M. Jarvis (editores) *Mediterranean-type ecosystems. The role of nutrients*. Springer-Verlag. Berlin 1983. Páginas: 300-317.

LEÓN HERNÁNDEZ, W.J., *Crecimiento del Árbol. Tejidos del Tallo Adulto*. [en línea] Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Departamento de Botánica. Cátedra de Anatomía de Maderas. 2001 [ref. 15 de octubre de 2007] Disponible en Web: <http://www.forest.ula.ve/~wleon/textos.htm>

LIETH, H. *Phenology and seasonality modeling*. Springer-Verlag. Berlín 1974.

Madrid, Ley 8/2005, de 26 de diciembre, de Protección y Fomento del Arbolado Urbano de la Comunidad de Madrid. *Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid*, número 312, de 31 de Diciembre de 2005.

MITCHELL A. y WILKINSON, J. *Los árboles de Europa. Una guía fundamental de nuestros árboles*. Barcelona: Ediciones Omega, 1983. ISBN 84-282-0712-7

MOLINA HOLGADO, P., BERROCAL MEÁRGUEZ, A.B. Y MATA OLMO, R. *Guía de vegetación para ambientes urbanos*. Madrid: Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo, Área de Gobierno de Urbanismo, Vivienda e Infraestructuras del Ayuntamiento de Madrid, 2005. ISBN 84-934362-5-9



MONSERRAT MARTÍ, G., PALACIOS BLASCO, S. Y MILLA GUTIÉRREZ, R. "Capítulo 5. Fenología y características funcionales de las plantas leñosas" En: VALLADARES, F. (Editor). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, SA., 2004. ISBN 84-8014-552-8 p. 129-162

MOONEY, H. A., KUMMEROW, W. JONHSON, D. J. PARSONS, S. KEELEY, A. HOFFMANN, R. I. HAYS, J. GILIBERTO Y C. CHU. The producers-their resources and adaptative responses. En H. A. MOONEY (editor) *Convergent evolution in Chile and California. Mediterranean climate ecosystems*. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg. 1977

NAVÉS VIÑAS, F. *El árbol en jardinería y paisajismo*. Barcelona: Ediciones Omega, 1995. ISBN 84-282-1042-X

NOCERA, C. *Transplante de ejemplares botánicos de gran tamaño* [en línea] [ref. 15 de Octubre de 2007] Disponible en Web: <http://www.construir.com/ECONSULT/Construr/Nro54/document/arboricu.htm>

RATHCAKE, B. J. Y E. P. LACEY. *Phenological and ecophysiology of terrestrial plants*. Annual Review of Ecology and Systematics 16: 179-214. 1985.

RIVAS TORRES, D. *Transplante de árboles urbanos* [en línea] [ref. 15 de Octubre de 2007] Disponible en Web: <http://www.rivasdaniel.com/Articulos/Transplante.pdf>

VALLADARES, F., VILAGROSA, A., PEÑUELAS, J., OGAYA, R., CAMARERO, J.J., CORCUERA, L., SISÓ, S. Y GIL-PELEGRÍN, E. "Capítulo 6. ecofisiología y escalas de la sequía" En: VALLADARES, F. (Editor). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, SA., 2004. ISBN 84-8014-552-8 p.163-190

VILLAR SALVADOR, P. *Estrategias ecológicas y funcionales del xilema en plantas leñosas mediterráneas*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia, 2000.

WESTOBY, M. *A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme*. Fuente: Plant and Soil, Volume 199, Number 2, February 1998 , pp. 213-227(15)

ZEIGER, E. "Essay 26.1 The Effect of Air Pollution on Plants" [en línea] En: Taiz, L. y Zeiger, E. *Plant Physiology, Fourth Edition*. Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc. 2006. [ref. de 13 de septiembre de 2007]. Disponible en Web: <http://4e.plantphys.net/article.php?ch=e&id=262>