

ANEXO 2: CONCEPTOS BÁSICOS DE ARBORICULTURA URBANA

Se ha decidido incluir este apartado para hacer comprender mejor el estado actual del arbolado y de las valoraciones llevadas a cabo en materia de riesgo del arbolado. Por ello, se hace especial hincapié en la definición del riesgo, en las fases del desarrollo del arbolado, en la estructura y evolución de la mortalidad natural de los sistemas radicales y la importancia o gravedad de defectos en las copas de estos árboles.

1.1 DEFINICIÓN DEL RIESGO DEL ARBOLADO

Se entiende por **Riesgo** la proximidad de un daño, es decir, que si se dan las condiciones oportunas se producirá un accidente. Por otro lado, el peligro es un riesgo o una contingencia inminente de que suceda algún mal. (www.rae.es)

Los factores que condicionan el riesgo mecánico en los árboles por rotura o caída del árbol sobre personas o bienes que se encuentren próximos en ese momento son:

- la **probabilidad** de que ocurra un accidente y
- la **gravedad** en caso de que ocurra.

La probabilidad y la gravedad son factores que de manera simplificada dependen de factores como:

- la diana (o probabilidad de impactar en una diana). que recoge qué hay debajo del árbol y qué puede quedar afectado por la caída del árbol o de alguna de sus partes. Por tanto sería una ponderación entre la probabilidad de que impacte en personas o bienes y del valor de lo que pueda verse afectado por el fallo estructural
- La energía potencial de la parte o partes del árbol que potencialmente pudieran caer, es decir de la altura y peso de lo que pudiera caer
- La probabilidad de que se produzca un fallo mecánico, que incluye componentes como el estado estructural o el empuje del viento
- Otros factores que aumenten el riesgo como la especie que se trate, ya que unas serán más propensas que otras a sufrir fallos, la vitalidad del árbol o la evolución esperada.



Pilares básicos en la gestión del riesgo

Se puede afirmar que todos los árboles tienen un determinado riesgo inherente y pueden provocar un accidente, aunque afortunadamente son pocos los que lo hacen.

Por tanto para que el riesgo del arbolado adulto fuera nulo, sólo sería posible si no hubiera árboles, pero como es bien sabido los árboles proporcionan una serie de beneficios que lo sitúan como uno de los elementos fundamentales de la calidad de vida de las ciudades y que mejoran sus condiciones de habitabilidad. Por estos motivos la presencia de árboles urbanos es necesaria, pero estos deben ser seguros, o al menos encontrarse por debajo de unos niveles de seguridad razonables.

1.2 FASES DE DESARROLLO DEL ARBOLADO

El científico francés *Pierre Raimbault*, expone que toda especie arbórea pasa por 10 fases o etapas de desarrollo natural, desde la germinación de la semilla hasta la muerte senescente de los árboles centenarios. Durante estas etapas el árbol cambia varias veces de organización biológica y su morfología, y se suceden distintas estrategias y estadíos de desarrollo.

Las primeras 4 etapas corresponden a la elaboración de tronco y la copa temporal, son fases de producción y crecimiento neto. Durante los primeros años el árbol da la prioridad de crecimiento en altura y al desarrollo radicular longitudinal para posteriormente dar prioridad al crecimiento en anchura de las partes que componen el árbol.

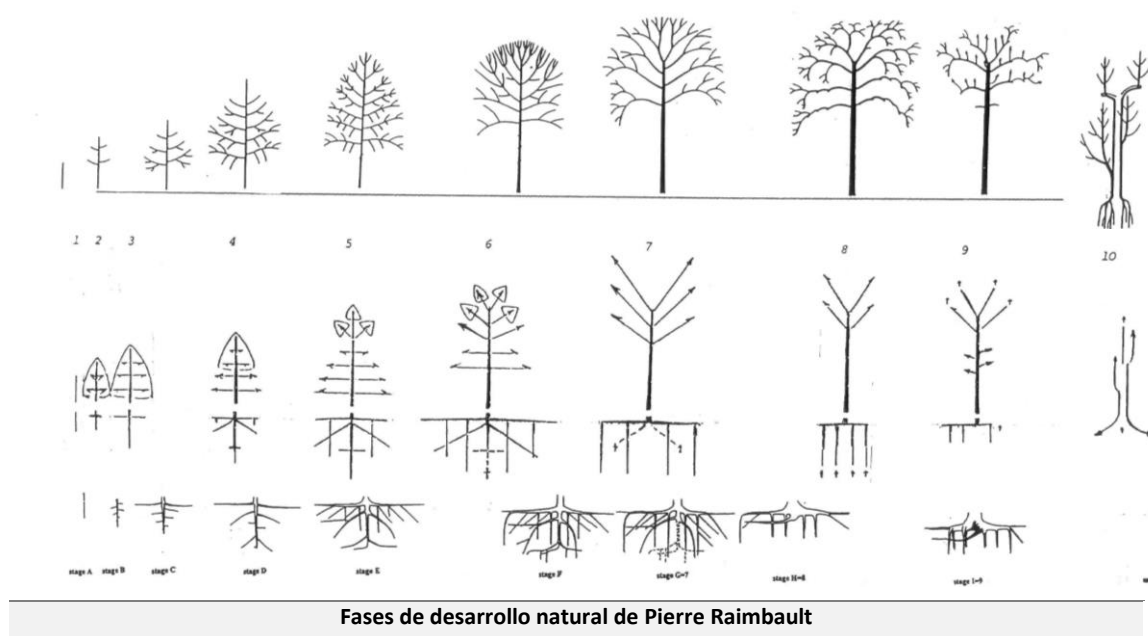
Durante las fases 5 y 6 el árbol elabora su estructura definitiva. Cuando el árbol es adulto, da prioridad a la duración de la estructura mediante la renovación de sus ramas.

En las fases 7 y 8 el crecimiento neto se detiene. En la fase madura comienza una progresiva degradación del sistema radicular que en un primer momento no es visible en la copa, pero que a medida que esta aumenta, la parte aérea se ve progresivamente debilitada.

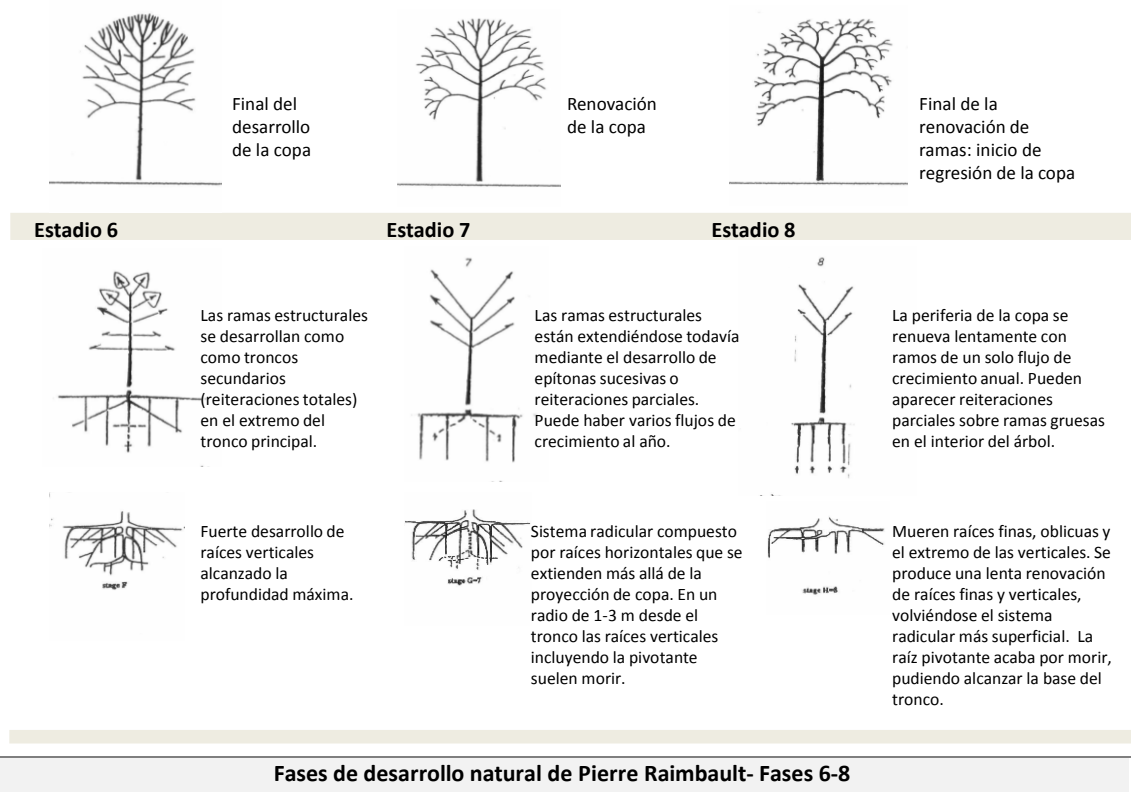
Las últimas etapas 9 y 10 corresponden al descenso de copa y la muerte o caída espontánea de los árboles.

En la senescencia el árbol adopta una estrategia de reconstrucción de su estructura para adaptarla a las dimensiones y capacidades del sistema radicular del árbol, que ya comenzó a perder en la etapa de madurez.

En el siguiente esquema se muestran las fases propuestas en el desarrollo natural, tanto de la parte aérea como de las raíces, propuestas por este autor.



En el siguiente esquema se muestra una explicación más exhaustiva del grado de desarrollo teórico de los árboles objeto de estudio, identificados con las fases de desarrollo de 6 a 8.



Fases de desarrollo natural de Pierre Raimbault- Fases 6-8

Tal y como se desarrolla en el siguiente apartado, en algunos de estos árboles no es visible la regresión en copa, pero a nivel radicular esta ya ha comenzado.

1.3 SISTEMA RADICULAR

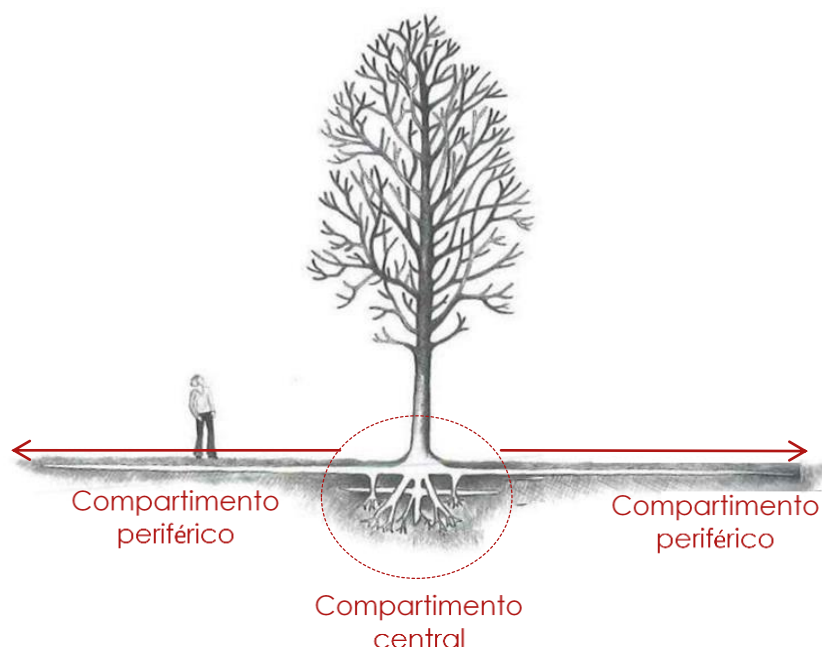
Las raíces de los árboles, según la función que desempeñan, pueden catalogarse de dos tipos:

- ✓ las **raíces de anclaje o estructurales**, cuya función principal es la sujeción del árbol al terreno,
- ✓ las **raíces finas o fisiológicas** que, a través de pelos absorbentes, son las encargadas de extraer agua y nutrientes del suelo.

Todas ellas se encuentran en su mayoría en el primer metro de profundidad.

Asimismo podemos distinguir dos zonas del sistema radicular de un árbol maduro según las funciones preferenciales que desempeñan:

- ✓ El **compartimento central**, situado en el entorno más próximo al cuello (de 2 a 6 m de diámetro alrededor de la base). Se encuentra constituido por gruesas raíces tanto horizontales como verticales, de forma cónica y sección aplanada verticalmente. La raíz principal pivotante suele estar acompañada de otras raíces secundarias también pivotantes que no aparecen hasta que el árbol adquiere ciertas dimensiones. A su vez presenta raíces lignificadas superficiales en forma de cuerdas cubiertas por una pilosidad abundante. La función principal del compartimento central será mantener el anclaje del árbol al terreno pero también el almacenamiento de reservas, principalmente en zonas próximas al cuello. Esta función de anclar el árbol al terreno normalmente será de mayor calidad si el árbol procede de semilla respecto a aquel procedente de estaquilla.
- ✓ El **compartimento periférico** está esencialmente compuesto de raíces superficiales horizontales situadas a continuación del compartimento central, estas raíces son generalmente cilíndricas y de sección circular. En esta zona no se suelen encontrar raíces pivotantes secundarias y sí abundante raicilla que acompañan a las raíces superficiales lignificadas. La función principal de esta zona será la absorción de agua y nutrientes.

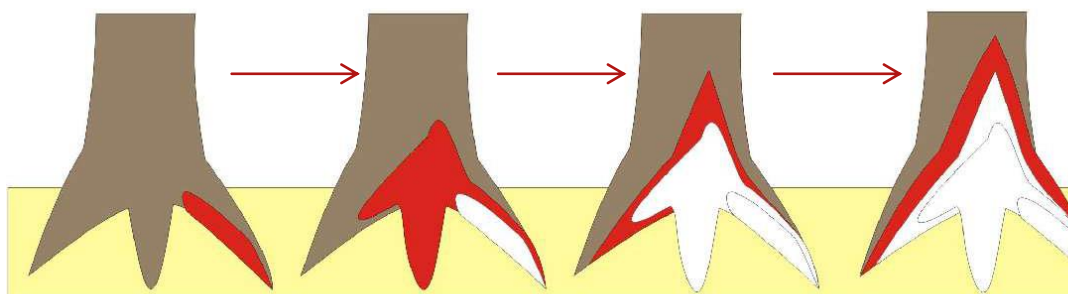


Esquema de las raíces de *Populus alba* 'bolleana' maduro, si este tuviera un crecimiento natural y sin obstáculos (adaptado de c. Drenau; les racines, 2005)

Uno de los momentos críticos para la estabilidad de los árboles se produce cuando existe degradación en las raíces de anclaje de los árboles más próximas al cuello, sin que apenas exista un reflejo en la copa. El proceso más habitual es que el compartimento central comienza a desaparecer ya que queda desconectado de las partes vivas del tronco del árbol. En primer lugar se degrada la raíz pivotante principal (si existe) situada bajo el cuello, y posteriormente también los pivotes secundarios. En fases avanzadas de degradación, la capacidad de mantener la estática del árbol se encuentra muy mermada.

Tal y como se muestra en el siguiente esquema, estos procesos no siempre son detectables visualmente, por lo que, para evaluar si existe pudrición interna o huecos a nivel del cuello o de las raíces principales, es necesario acudir a la testificación instrumental de la base.

Sección longitudinal



Hongo de pudrición infecta la raíz a través de una herida

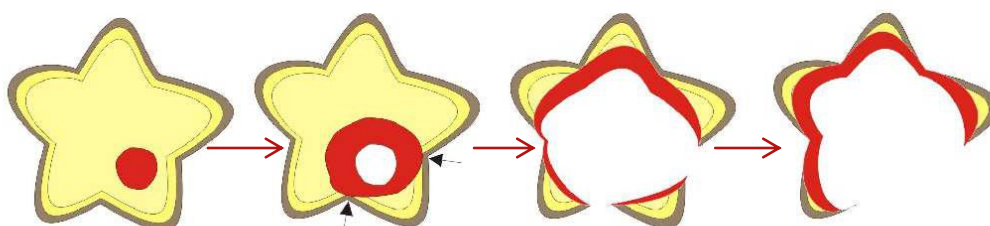
La pudrición se extiende desde las raíces al cuello

En cuello y tronco se extiende la pudrición con forma cónica

Sección transversal a 0,5 m



Sección transversal a ras de suelo



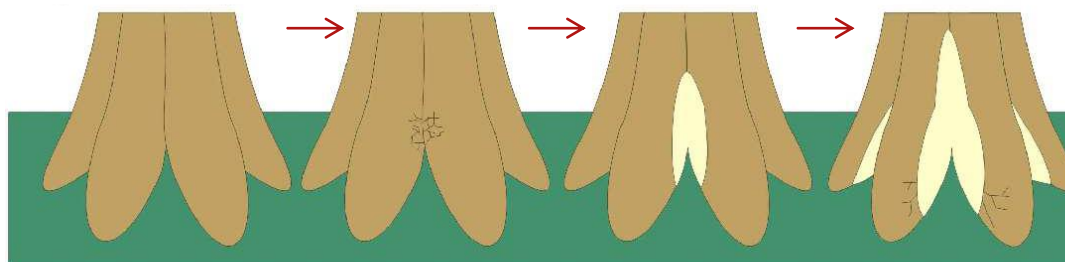
Pudrición interna sin síntomas en corteza

Daño en corteza entre costillas del árbol

Pudrición en base, aparición de cuerpos fructíferos

Pudrición muy avanzada en base

Inspección visual en la base del tronco



La pudrición asociada no presenta síntomas visibles

Primeros síntomas visibles en corteza

Pudrición visible entre costillas del árbol

Pudrición afectando costillas del árbol

Secciones transversales y longitudinales del desarrollo de pudriciones en cuello y raíces (adaptado de Jahn; Plize An Bäumen, 2005)

1.4 PUDRICIONES Y CAVIDADES

Si bien la descomposición de madera es fundamental en el ciclo de los nutrientes para el mantenimiento de los ecosistemas biológicos naturales, principalmente forestales, al posibilitar la reutilización de nutrientes por otros seres vivos contribuyendo así al equilibrio de los procesos biológicos de los bosques, sus efectos pueden ser indeseados en ambientes antropizados ya que pueden producirse problemas de estabilidad de árboles enteros o de alguna de sus partes y por tanto ocasionar daños personales o económicos.

Existen varios organismos capaces de degradar la madera y alterar sus características mecánicas, tales como hongos, bacterias o insectos (termitas), pero el grupo con mayores repercusiones en la estática de los árboles es el de los hongos.

Los hongos causantes de la podredumbre de la madera, en ocasiones llamados también hongos xilófagos o simplemente hongos de pudrición, son aquellos capaces de degradar o deteriorar las paredes celulares del xilema (madera) modificando sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Estos hongos se diferencian de otros llamados colonizadores o pioneros (algunos mohos, hongos que producen azulados de la madera, otros hongos cromógenos que producen cambios de color de la madera, etc.), porque son capaces de degradar los polímeros complejos (lignina, celulosa y hemicelulosa) que conforman la pared celular y que estos hongos utilizan como fuente de carbono en su nutrición.

Las pudriciones y cavidades (estado muy avanzado de degradación) producen la disminución en la resistencia de la madera y puede provocar la caída de árboles o de alguna de sus partes. Las cavidades se originan en estados de degradación muy elevados.

Según la función que tienen los hongos en la naturaleza, los hongos de pudrición pueden pertenecer a alguno de los siguientes grupos:

- Saprófitos o saprótrofos: Desarrollan todo su ciclo vital sobre materia orgánica inerte, independientemente de cual sea su origen, ya que pueden colonizar cualquier tipo de sustrato orgánico. La alimentación de estos hongos se lleva a cabo mediante la solubilización del material que colonizan, previa liberación de enzimas, y la posterior absorción de la materia orgánica resultante.
- Parásitos: Los hongos parásitos son aquellos que viven a expensas del material nutritivo de otro ser vivo llamado hospedador, perteneciendo éste a la especie perjudicada. Algunos hongos parásitos se denominan patógenos en cuanto ocasionan una alteración sobre una o varias funciones esenciales de la planta, donde con frecuencia el parasitismo tiene una importante función. Es decir, un hongo se considera patógeno cuando ocasiona un daño mayor que el que cabría esperar si éste únicamente produjera la absorción de nutrientes como parásito. Parásitos obligados son aquellos que no son capaces de desarrollarse en materia orgánica muerta, por lo que reciben el nombre de parásitos biotróficos, biotrofos u obligados, mientras que aquellos que no necesitan un sustrato vivo para sobrevivir se denominan parásitos no obligados. Apenas existen casos de hongos de pudrición que sean parásitos obligados, por lo que la mayoría de los hongos capaces de colonizar células vivas primero destruyen una célula parasitada y luego absorben sus nutrientes (parásitos necrotróficos).

La consideración de un hongo de pudrición en un grupo u otro a veces no es tan clara, ya que ciertos hongos se comportan en alguna fase de su vida o bajo ciertas condiciones como parásitos o como saprófitos. De manera que aquellos hongos llamados saprófitos facultativos son aquellos parásitos no obligados que bajo ciertas condiciones pueden desarrollarse sobre materia orgánica muerta, mientras que se denominan parásitos facultativos aquellos que viven la mayor parte de su vida saprofiticamente

sobre madera muerta, pero pueden llegar a parasitar a las plantas vivas cuando se dan ciertas condiciones, lo que les confiere un carácter oportunista.

Por la zona en que preferentemente se encuentran en un árbol, los hongos pueden clasificarse como:

- hongos de raíz
- hongos de raíz y cuello
- hongos de tronco y ramas.

Algunos hongos pueden encontrarse en varias zonas. Por poner ejemplos, *Laetiporus sulphureus* generalmente se encuentra en tronco o grandes ramas, pero en ocasiones también puede hallarse en raíces.



Cuerpo fructífero *Laetiporus sulphureus*

Detalle *Agrocybe aegerita* común en base

Por su preferencia por una parte concreta de la madera en sus primeras fases de desarrollo se puede hablar de

- hongos de duramen (o de corazón). Estos, al comienzo de desarrollo se encuentran restringidos al duramen o falso duramen del árbol. En el caso de que tengan capacidad patogénica, una vez establecidos se expanden concéntricamente desde la zona central del cuerpo leñoso hacia el exterior (hacia el cambium vascular). Un ejemplo típico de este tipo de hongos puede *Fomes fomentarius*
- hongos de albura. Son aquellos que afectan preferentemente a la albura se caracterizan por su capacidad de colonizar tejidos muertos o debilitados de esta y por tener un crecimiento típico que se desarrolla desde el exterior del leño hacia el interior. Algunos de estos hongos pueden producir canchros, ya que aparte de interrumpir el flujo de savia debido a la muerte celular de la albura por el avance de la pudrición (o por evitar el árbol su avance), provocan la muerte de tejidos de la corteza y del cambium vascular. Algunos ejemplos de hongos que invaden la albura en árboles debilitados son *Schizophyllum commune*.
- hongos productores de canchros pero que su desarrollo inicial se produce en el duramen. Una vez el hongo se ha instalado se expande por una franja de la albura, hacia el exterior del cuerpo leñoso (en crecimiento excéntrico), llegando a provocar la muerte del cambium vascular en la franja de expansión y por tanto generan canchros. Por tanto su crecimiento y expansión se produce de manera excéntrica desde el interior del leño hacia el exterior. Un ejemplo típico de este tipo de hongos es *Inonotus hispidus*.

Por el tipo de pudrición que producen en la madera, los hongos se pueden clasificar en hongos de pudrición blanca, parda o blanda.

- **Pudrición parda, marrón o cúbica:** Degradan fundamentalmente la celulosa y hemicelulosa de la pared celular, permaneciendo la lignina que le da el color marrón típico de este tipo de pudrición. Las formas en que se produce la degradación de madera en este tipo de pudrición es muy homogénea entre los distintos hongos que lo producen salvo algunas excepciones (por ejemplo *Laetiporus sulphureus*).
- **Pudrición blanca (también llamado pudrición fibrosa en algunos textos):** Las formas en que se produce la degradación de madera en este tipo de pudrición es muy diversa entre las distintas especies de hongos que lo producen, no obstante se reconocen habitualmente dos formas de degradación:
 - o Delignificación selectiva (También llamada Delignificación preferente o Pudrición blanca selectiva): En un estado inicial de la pudrición se degrada mayor cantidad de lignina, mientras que la celulosa y hemicelulosa se degrada más lentamente, aunque también termina por degradarse en estados avanzados de pudrición.
 - o Pudrición simultánea (o corrosiva): Lignina, celulosa y hemicelulosa se degrada más o menos al mismo tiempo
- **Pudrición blanda:** Se caracteriza por el crecimiento preferente de las hifas del hongo en el interior de la pared secundaria de la pared celular que la degradan parcialmente mediante cavidades longitudinales (pudrición blanda de tipo 1) o degradación completa de la pared secundaria (pudrición blanda de tipo 2), mientras que la laminilla media permanece casi inalterada en ambos tipos.

1.5 PRINCIPALES AFECCIONES EN PARTE AÉREA DEL ÁRBOL

Síntomas de regresión de copa

Los síntomas de regresión o decaimiento de copa, indican desvitalizaciones o desarreglos en el sistema biológico del árbol (Shigo, 1994; Roloff 2001). Son por tanto una consecuencia que puede proceder de distintas “causas”. Estos descensos de vitalidad pueden ser temporales (reversibles) o permanentes (irreversibles).

El decaimiento de copa es la progresiva pérdida de vitalidad y es una fase natural del ciclo de vida de todo microorganismo, por lo que es normal en la edad madura del árbol (Synclair & Lyon, 2005). El decaimiento prematuro es más preocupante ya que refleja la influencia de factores de estrés. En árboles adultos, que no han llegado a la fase de plena madurez, cuando se observan síntomas en copa, estos factores de estrés tienen que haber actuado durante varios años.

La presencia de ramas secas se puede interpretar como la fase final del proceso de desvitalización que finalmente produce la muerte final de todos los tejidos de la rama.

Los síntomas de desvitalización o de decaimiento varían con la causa y con la especie de árbol. A nivel de la copa pueden observarse los siguientes:

- Escaso crecimiento. Formación de ramillas acodadas de pequeño tamaño.
- Escasa densidad de brotación. Brotes dispersos, deformados o pequeños.
- Clorosis de hojas completas o de algunas zonas, así como reducción del tamaño normal de la hoja.
- Caída prematura de hoja.

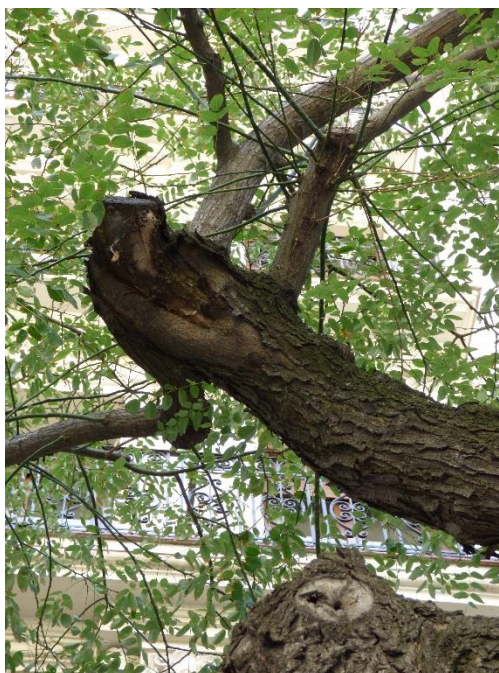
- Muerte o regresión de brotes y ramillas.
- Presencia de patógenos oportunistas o de debilidad.
- Escasa presencia de almidón en tejidos de reserva, localizados principalmente en el parénquima de los radios, en el parénquima axial de conexión, en la base de las yemas, etc. Visible a través de la tinción con lugol de ramas o ramillas cortadas.
- En algunos casos fructificación más abundante de lo normal.
- Cierre de heridas pobre o ausencia de madera de compensación
- Escasa emisión de rebrotes tras poda invernal o primaveral.
- La alta transparencia de copa. No obstante para frondosas este criterio tiene menor fiabilidad ya que una escasez de densidad foliar también puede deberse a otros factores. En coníferas hojas la baja densidad foliar sí es un buen indicativo de debilidad.
- La muerte de ramas bajas en árboles aislados y con iluminación, originándose árboles con forma de “cola de león”, especialmente en coníferas de fuerte dominancia apical y sin capacidad de rebrote.

Terciados no consolidados:

Se denomina terciado no consolidado a aquellos cortes transversales de ramas, en el que se produce una herida de poda de grandes dimensiones que previsiblemente puede evolucionar en pudrición. Los rebrotes emitidos en la proximidad a este corte son inducidos por la eliminación de la dominancia apical que hasta entonces emitía auxinas (inhibidoras del desarrollo de yemas laterales). Aquellos que se originan en la proximidad a los puntos de corte se vuelven inestables cuando la madera expuesta comienza a descomponerse, lo que unido al anclaje superficial y débil de estos brotes, origina una inestabilidad estructural grave.

Cuando la rama es acortada se produce una proliferación de brotes epicórmicos bajo la lesión, ya que no llegan las auxinas que antiguamente se producían en el ápice las hojas dominantes. El terciado consolidado será especialmente peligroso si la rama terciada ya presentaba pudrición en la zona de corte. En aquellos casos en los que la rama eliminada se encuentre en buen estado, el desarrollo de la pudrición tardará varios años, por lo que si el árbol es joven y vigoroso, el rebrote puede llegar a consolidar parcialmente la herida originada por el terciado realizado.

Los plátanos son especies que generalmente consolidan bien la ejecución de terciados, no así otras especies que generan zonas de barrera débiles (barrera 4 de CODIT) como *Populus spp.* o *Sophora japonica*.



Rebrote chupón sobre zona de pudrición

Corteza Incluida

Determinadas ramas tienen un ángulo de inserción muy agudo y vertical, quedando “corteza incluida” en la inserción entre tronco y rama o rama y rama. Este tipo de uniones es frecuente en horquillas, que impide un anclaje correcto.

Las horquillas en general tienen uniones menos fuertes entre cimales codominantes que las que se producen entre un eje dominante y una rama lateral en cierta manera dominada, debido a que en el primer caso el grado de solapamiento entre fibras es menor, pero aún será menos fuerte en el caso de que haya corteza incluida en la horquilla.

Las ramas con corteza incluida tienen una peligrosa tendencia al desgarro, lo que puede ocasionar accidentes, tanto más graves cuanto mayor sea el calibre y el peso de la rama desgarrada.

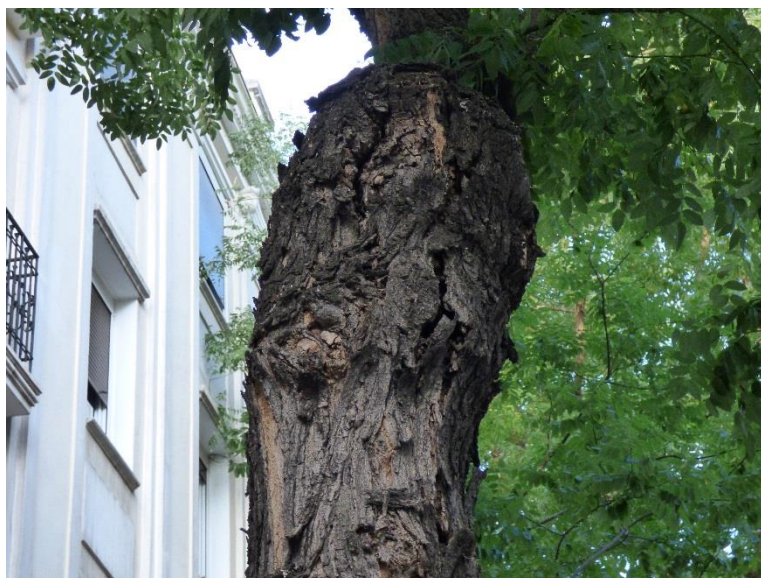
Chancros o grandes zonas muertas

En este grupo de anomalías se encuentran aquellos defectos en los que de una u otra manera se produce la **muerte del cambium vascular** a la vista del inspector del árbol, que únicamente es capaz de apreciar el estado periférico del tronco, ramas o del cuello.

El concepto de cancro (o chancro) es confuso. No existe una definición perfecta de lo que significa debido a que su origen y características son muy diferentes de unos a otros. Una definición utilizada en el campo de la sanidad forestal es la siguiente: “lesión necrótica y con frecuencia profunda que se produce en el tallo, ramas o ramitas de una planta con tendencia a extenderse y escasa o nula cicatrización. Se caracteriza por una lesión cortical que afecta a la coloración normal de la corteza, hipertrofias y depresiones en el área afectada y resquebrajaduras del tejido cortical. En última instancia afecta al cambium vascular. Supone la muerte de los órganos por encima de la lesión. (...)” (Muñoz et al. 2003). En cambio otra definición extraída de una publicación sobre arbolado peligroso se refiere a cancro simplemente como aquellos que “pueden aparecer en ramas, tronco o raíces, y se

identifican ya que la corteza y cambium están muertos y la madera bajo esa corteza está desfigurada (la corteza puede adherirse o no a la cara del cancro.” (Calaza, 2012). En esta última definición no se incluye la necesidad de que esté la zona necrosada, que sea profunda o que tenga tendencia a extenderse.

De cara al estudio, nos referirnos indistintamente a canchros y zonas afectadas por la muerte espontánea del cambium vascular (en adelante zonas muertas), a los que definiremos como áreas localizadas en el tallo, rama, base o raíces del árbol, en las que se produce la muerte del cambium vascular y de la corteza, donde esta se agrieta, se desprende o se queda adherida. En los casos en que la corteza se queda adherida a la madera, generalmente se aprecia el desarrollo de un callo alrededor de la zona lesionada o una depresión en el leño por la ausencia de crecimiento en grosor en las zonas muertas. Si la lesión es joven, en ocasiones sólo se aprecia un cambio de coloración de la corteza ya que no ha dado tiempo a que se genere callo. Los canchros o zonas muertas pueden estar causados por enfermedades, hongos de pudrición que alcanzan el cambium vascular, por daños meteorológicos (quemaduras de sol, heladas,...) etc.



Chancro en tronco