

ASPECTOS FUNCIONALES DEL ARRAIGO. LA CALIDAD FISIOLÓGICA DE LA PLANTA FORESTAL

Luis Gil & José A. Pardos

E.T.S. Ingenieros de Montes, U.P.M. 28040 MADRID.

INTRODUCCIÓN

El diccionario de la R.A.E. define el arraigo como “acción y efecto de arraigar” y entiende por arraigar “echar raíces”. Con esta acepción, el arraigo puede considerarse el factor más determinante de la supervivencia inicial de una plantación; y, en buena medida, de su posterior desarrollo. De ahí la importancia que tienen los factores que lo condicionan: suelo y vegetación accesoria existente en el mismo, adecuación genética y calidad de la planta, su manejo en el vivero y transporte al lugar, época y técnica de plantación, y cuidados culturales subsiguientes a la misma.

Estos factores, cuya incidencia en las mareas va a tratarse en esta reunión sobre Repoblación Forestal, son en mayor o menor medida objeto, en algunos casos de elección y en otros de modificación por parte del repoblador, con el fin de optimizarlos. Así, por ejemplo, son objeto de elección la época y técnica de plantación, o la especie, la procedencia, incluso el genotipo de planta usada; y son objeto de modificación, en aras de una mejora, la preparación del suelo y eliminación de la vegetación accesoria o el cultivo de la planta en invernadero o vivero entre otros (SHEPHERD, 1986).

Si nos preguntáramos por qué los factores mencionados condicionan el arraigo podríamos contestar afirmando que lo hacen porque facilitan o dificultan la instalación /

anclaje de la planta en el terreno, así como la re-iniciación de su crecimiento, detenido en mayor o menor grado, tras y como consecuencia del trasplante. En lo que sigue se va a tratar de los condicionamientos fisiológicos del arraigo en relación con el estado de la planta producida en el vivero/ invernadero y las posibles alteraciones derivadas del trasplante. Asimismo se pasará revista a los parámetros anatómicofisiológicos susceptibles de uso como definidores de la calidad de la planta.

ESTADO DE LA PLANTA Y CONDICIONAMIENTOS FISIOLÓGICOS DEL ARRAIGO.

El trasplante, en mayor medida en plantas a raíz desnuda, genera una situación de estrés en la planta: se modifica la temperatura y la radiación a que se encontraba sometida la planta en su primitivo lugar de crecimiento; se suprime temporalmente el aporte de agua del que disfrutaba; puede ser objeto de daños mecánicos, de pérdidas o alteraciones del sustrato, si se trata de plantas en envase; también, verse infectada por bacterias u otros parásitos que aprovechen como vía de penetración los posibles traumatismos que la planta haya podido sufrir.

Las acciones mencionadas conducen a alteraciones en las funciones vitales de la

planta: si la transpiración supera la absorción radical de agua, se altera el balance hídrico de la planta, a veces de forma irreparable; si ante el exceso de transpiración disminuye la conductancia estomática, la fotosíntesis disminuye o, incluso, se anula temporalmente; si esta situación se prolonga, la respiración de mantenimiento obliga a la planta a consumir reservas de hidratos de carbono que no son repuestas, lo que conduce a un debilitamiento de la planta. En todo caso, y quizá sea lo más trascendente, las raíces detienen su crecimiento, los pelos radiculares mueren, y queda impedida, o disminuida, la capacidad meristemática de generar nuevos ápices radiculares, con lo cual queda mermada o incluso anulada la absorción de agua y nutrientes. Asimismo se detiene la exportación de citoquininas y giberelinas de la raíz al ápice caulinar, lo que provoca la detención de su crecimiento.

La planta, debilitada por estas acciones, pierde defensas y se hace más susceptible al ataque de parásitos de diversa índole, lo que puede precipitar su muerte (KRAMER y KOWLOWSKI, 1979).

La formación, tras el trasplante, de nuevos ápices radiculares constituye por tanto factor decisivo para el arraigo de la planta, sin la cual difícilmente puede darse éste con éxito. Dicha formación dependerá de las condiciones ambientales, principalmente temperatura y humedad del suelo, que hagan posible el desarrollo de núcleos meristemáticos capaces de dividirse y, subsiguientemente, alargarse sus células; para lo cual el empleo de plantas en envase será obviamente beneficioso, aunque no siempre plenamente efectivo; y de ahí, también, las posibles diferencias a que conducen los diferentes tipos de envases, sustratos, inoculación con micorrizas, que favorezcan la exploración y explotación de las reservas hídricas del suelo; y, también, la adición de polímeros que liberan el agua previamente retenida.

La capacidad intrínseca de la planta para formar nuevas raíces, dependiente del origen de la semilla y del estado de desarrollo y edad fisiológica, condicionará asimismo la respuesta. En nuestra situación geográfica,

con alternancia estacional marcada, los periodos de crecimiento y reposo vendrán determinados por factores endógenos (letargo innato) y por las condiciones ambientales (letargo impuesto o quiescencia), mediante mecanismos regulados hormonalmente, a través de los cuales el ápice caulinar es exportador de auxinas que controlan la actividad -iniciación y extensión- de las raíces; a la vez que los ápices radiculares, al exportar citoquininas al tallo, controlan la actividad del ápice caulinar. Existe, además, abundante evidencia del papel del etileno en la formación de las raíces y en su configuración -largas y delgadas, cortas y gruesas, abundantes o escasas en pelos radiculares- en relación con la estructura y textura del suelo y con su contenido en agua, lo que sin duda influirá también en el arraigo de la planta (TAIZ y ZIEGER, 1994).

FUCHIGAMI *et al* (1982) desarrollaron un modelo de actividad vegetativa de las plantas que explica el ciclo anual de crecimiento en zonas templadas asemejándolo a una senoide entre 0 y 360°, en la cual definen puntos específicos que marcan estados fenológicos de la planta en relación con su actividad vegetativa y letargo. En condiciones naturales la alternancia estacional se refleja en un crecimiento bimodal de las raíces, con un máximo de actividad a finales del invierno y comienzo de la primavera y otro máximo, más reducido, no siempre evidente, al comienzo del otoño, con un prolongado intervalo entre ambos que se extiende en buena parte del periodo vegetativo, durante el cual tiene lugar el crecimiento del tallo. Las raíces entran en dormición tras el máximo otoñal, por efecto del acortamiento del fotoperiodo y el descenso de temperaturas nocturnas; y las bajas temperaturas invernales acumuladas, expresadas en "horas x frío", provocan la salida de dicho estado, para reiniciar su crecimiento en el siguiente periodo vegetativo (BURR, 1990). Asimismo, la detención estival del crecimiento de las raíces (letargo innato o impuesto?), que no de su actividad absorbente, es propiciada por el descenso de humedad edáfica y las elevadas temperaturas y da paso a la reanudación otoñal del crecimiento y a la acumulación de

reservas con que hacer frente a las necesidades energéticas iniciales del año siguiente

La salida del estado durmiente se manifiesta por un incremento progresivo de la capacidad de generar nuevos ápices radiculares, que se estima por el llamado **potencial de regeneración de raíces** -PRR- (RITCHIE, 1985), cuantificable mediante cultivo de las plantas, previamente repicadas, en un medio hidropónico en ambiente controlado, y contaje del número de ápices neoformados tras cierto periodo de tiempo. También puede evaluarse la longitud total alcanzada por las raíces o el peso o volumen de las mismas. Cabe estimar, en cada caso, el valor del producto "días x temperatura" soportadas por la planta tras el inicio del letargo que da lugar al valor máximo de dicho potencial. Ello cobra especial significación en plantas a raíz desnuda y en lugares fríos, y se ha usado en la práctica para precisar el momento de extracción de las plantas del vivero o de la cámara frigorífica si se conservan en ella. Las especies de zonas templado-cálidas no muestran una exigencia de frío tan marcada respecto a la iniciación del crecimiento radical en primavera, aunque cabe suponer que sean más exigentes respecto a la salida del letargo estival: las raíces de *Pinus halepensis* se hacen durmientes, suberizándose, cuando se alcanzan en el suelo potenciales hídrico de - 7 MPa.

En cualquier caso, es admitido que el potencial de regeneración de raíces influye en la supervivencia de las plantas y en su crecimiento inicial, si bien la variabilidad de respuestas es grande y viene condicionada por la especie, procedencia y condiciones del ensayo. Aún contando con dicha variabilidad, valores altos coinciden con un estado de la planta de mayor tolerancia a la desecación y a posibles daños físicos en las operaciones de trasplante (LAVENDER, 1985).

Formados los ápices radiculares, su crecimiento exige un aporte de carbohidratos, que para periodos de tiempo cortos se realiza a expensas de los fotosintetizados que están produciéndose y que, solo bajo condiciones desfavorables prolongadas, lo hacen a expensas de los almacenados. En todo caso,

tallos y raíces constituyen sumideros de carbohidratos que entran en competencia, de ahí la conveniencia, especialmente bajo las situaciones limitantes que se dan tras el trasplante, de una rápida activación radical que permita un buen desarrollo posterior de la parte aérea. Su almacenamiento y metabolismo se encuentran bajo control hormonal, habiéndose asignado a las giberelinas un papel específico en la concentración en raíces de almidón *versus* la de azúcares como sacarosa y rafinosa. En *Pseudotsuga* valores altos de estas en pleno invierno se han asociado con valores también altos del potencial de regeneración de raíces, y el descenso de éste discurre en paralelo con la síntesis de almidón (JENKINSON *et al*, 1993).

Algunas prácticas culturales en el vivero, como el anillado de los tallos y el repicado de las raíces modifican la relación fuente-sumidero y, en consecuencia, la disponibilidad de carbohidratos, e inducen dormición del ápice caulinar, aumentando el valor del PRR (Ritchie y Tanaka, 1990). El repicado además de promover un sistema radical más ramificado y fibroso, conlleva una disminución de la conductancia estomática que reduce la transpiración y ejerce un cierto endurecimiento de la planta, si bien lleva emparejada una reducción temporal en la eficiencia fotosintética. La poda del tallo, practicada al objeto de igualar la altura de las plantas, reduce el crecimiento en altura y el PRR, y favorece el desarrollo. La fertilización, *per se*, no conduce a valores más altos de aquel.

CALIDAD DE LA PLANTA: PARÁMETROS USADOS PARA SU EVALUACIÓN

El grado con que una planta de vivero cumple sus objetivos de utilización constituye la referencia para evaluar su calidad, lo cual significa supervivencia tras la plantación, en suma arraigo, y el máximo crecimiento que posibilite la estación y su potencial genético sea capaz de desarrollar (IUFRO, 1980). Ambas exigencias se expresan a través de caracteres estructurales y fisiológi-

cos que van mas allá de los tradicionales altura de la planta y diámetro basal del tallo y han conducido al desarrollo de ensayos de laboratorio bajo con diciones controladas que pernltan estimar predictivamente el comportamiento de la planta en monte tras el estrés del trasplante. Sin embargo la interpretación de las variaciones funcionales de la planta es dificil dada su complejidad y variabilidad a que siempre conduce la heterogeneidad del propio material vegetal, de ahí que los caracteres fisiológicos no deben aplicarse de forma aislada y con caracter definitorio y exclusivista, sino en relación y complementariamente a los morfológicos y dendrométricos.

La calidad de la planta (Ritchie, 1984) viene determinada por atributos de estado - dormición de yemas, estado hídrico, nutrientes minerales, reservas en principios inmediatos, reguladores de crecimiento y enzimas, caracteres morfológicos- y atributos de reacción-vigor, crecimiento de las raices, resistencia a bajas y altas temperaturas. Y siguiendo a Rose et al (1990) cabe destacar los siguientes atributos indicadores de calidad:

- Altura, correlacionada con superficie foliar, fotosíntesis y transpiración.
- Diámetro correlacionado con sección transversal del xilema conductor y con el volumen de raices e indicativo de vigor.
- Tamaño del sistema radical, al influir en la captación de agua del suelo y en el PRR.
- Resistencia al frío, correlacionada con el estado de dormición y, por tanto, con la resistencia al manejo de la planta.
- Índice mitótico, correlacionado con la dormición.
- Días para la apertura de la yema, ligado a los requerimientos de días x frío para la activación del crecimiento en primavera.
- Estrés hídrico de la planta, relacionado con su estado sanitario y su capacidad fotosintética.

Ningún atributo es decisivo por sí solo y hay que recurrir al conjunto de todos o

varios de ellos con fines de aceptación o rechazo de un lote de plantas.

PARÁMETROS MORFOLÓGICOS

El diámetro en el cuello de la raíz constituye un aceptable predictor de la supervivencia y el crecimiento; no así la altura, muy dependiente de las condiciones del lugar de plantación, si bien la relación altural diámetro es útil para evaluar la esbeltez de la planta, relacionable con la resistencia al viento, sequía o frío. Asimismo la relación tallo/raíz, en peso seco, puede ser un buen predictor del potencial de supervivencia, especialmente en sitios áridos, para los que las plantas con valores mas bajos de dicha relación sobreviven mejor que las que los tienen altos al reducirse la superficie transpirante respecto a la absorbente. En pinos valores entre 1 y 2 son aceptables, de 2 a 3 resultan críticos y mayores de 3 son inaceptables.

El índice de calidad de Dickson combina parámetros morfológicos de longitud y peso (THOMPSON, 1985):

$$ICD = \frac{\text{peso seco total (g)}}{\frac{\text{altura}}{\text{diámetro (mm)}} + \frac{\text{peso seco tallo (g)}}{\text{peso seco raiz (g)}}}$$

Cabe aludir también a la presencia de micorrizas, cuya existencia propicia la calidad de la planta, si bien no se conoce una clasificación aplicable con dicho fin.

PARÁMETROS FISIOLÓGICOS

La evaluación de la dormición de la yemas (LAVENDER, 1985) es un indicador del vigor de las plantas y puede evaluarse mediante un indicador de la salida de la dormición, cuantificable por la relación entre el tiempo requerido en abrise la yemas de las plantas testadas y el tiempo medio exigido por una planta con el requerimientos de frío completo. La construcción de la curva que relaciona el PRR y dicho índice permite, para varios lotes de plantas, estimar el grado de letargo que maximiza el valor de PRR .

El test de estrés de la OSU (MC CREARY y DURYE, 1985) permite comparar mortalidad y rapidez de apertura de yemas en muestras de un mismo lote en que una se somete a un estrés de temperatura y baja humedad relativa, y puede usarse para estimar la velocidad de apertura de las yemas.

La evaluación de los niveles de algunos reguladores de crecimiento que varían con la salida del letargo, tal como sucede con el descenso de ácido abscísico y el aumento de giberelinas en yemas, resulta demasiado compleja e impracticable con fines de testado estandarizado. Y otro tanto puede decirse de medidas de actividad enzimática o con el osciloscopio.

El estado hídrico es un buen referente de la respuesta de las plantas al ambiente, y los parámetros que lo definen -contenido hídrico relativo, déficit de saturación de agua, potencial hídrico y potencial osmótico- se utilizan como indicadores del mismo, e incluso se aplican para el control de riegos en viveros, especialmente el potencial hídrico de base medido al amanecer. Su medida requiere de dispositivos relativamente sencillos, pero la interpretación de los valores obtenidos es problemática dada la complejidad de factores que los determinan.

La variación del potencial hídrico de base que sufre una planta al ser sometida a un ciclo de estrés hídrico sirve para estimar el grado de tolerancia a la sequía y permite deducir su capacidad de poner en juego un proceso de ajuste osmótico que le confiere mayor resistencia a dicho estrés.

La aplicación de biosensores que miden de forma automatizada el flujo de savia, por pulsos de calor, en suma, que miden la transpiración de plantas sometidas a ciclos de sequía y riego; y la medida mediante dendrómetros de las contracciones que sufre el tallo mediante sensores LVDT son expectativas de sumo interés con vistas a la definición de calidad de planta. (PARDOS *et al.*, 1996)

El estado nutritivo de la planta puede parecer, en principio, buen indicador de su calidad y "el buen color" generalizado a

todas las hojas de una planta refleja un buen estado nutritivo. No obstante la relación cuantitativa entre contenido en nutrientes y supervivencia no es tan claro y los límites críticos de concentración de los nutrientes esenciales no guardan una buena correlación con la calidad de la planta; y sólo deficiencias acusadas de nutrientes, muy por debajo de la denominada concentración crítica, son claramente indicativos de una mala calidad de la planta. Aun con estas reservas, es aconsejable el análisis foliar de N, P, K, con especial incidencia en el nitrógeno, y la comparación de los valores obtenidos con los ampliamente constatados en la bibliografía para la especie o especies afines con las que se trabaja. Un buen contenido tisular en nutrientes resulta, en todo caso, muy beneficioso para el crecimiento de las plantas una vez arraigadas en el monte (LANDIS, 1985).

El contenido en asimilados, mayormente **hidratos de carbono**, resulta esencial para afrontar las demandas respiratorias y de reanudación inicial del crecimiento, por lo que el análisis especialmente de almidón y azúcares solubles puede aportar datos útiles sobre todo para estaciones muy limitantes. Su determinación, aunque estandarizada, requiere equipos analíticos específicos (MARSHALL, 1985).

Los test de vigor permiten evaluar la capacidad de las plantas de superar ciertas condiciones dañinas cuando sus raíces se someten a una atmósfera seca que permiten simular las condiciones estresantes que pueden darse en el trasplante. El test OSU, desarrollado en la Universidad del Estado de Oregón y ya mencionado, resulta de cierta utilidad práctica para deshechar lotes de planta de mala calidad.

La actividad y regeneración de raíces puede estimarse evaluando el potencial de regeneración de raíces, predictor bien relacionado con otros atributos de calidad como son la resistencia al frío y el estrés hídrico, de particular importancia para especies de zonas templadas que requieren ciertas dosis de temperaturas bajas para superar la dormición. Valores del PRR dentro de su rango estacional normal, estarán correlacionados

con el estado de dormición y resistencia al frío, lo que indicará potencial de supervivencia de la planta. Por el contrario valores de PRR fuera del rango normal son indicadores de daños o de alguna anomalía funcional. Este ensayo se prolonga durante cuatro semanas y sus resultados no deben considerarse en términos absolutos sino comparativos (RITCHIE y TANAKA, 1990).

La actividad radical supone crecimiento activo y presencia de raicillas blancas en el momento del levantamiento de la planta en el vivero; guarda una relación negativa con el grado de dormición y, en consecuencia, cuanto menor sea dicha actividad, mejor soportará la planta el trasplante. Actividad radicular y PRR guardan una relación inversa, y ambos no sólo vienen influenciados por las condiciones de cultivo, sino por el origen de la semilla dentro de una misma especie. El endurecimiento progresivo frente a la disponibilidad de agua en el vivero es práctica de interés para plantaciones de otoño al reducir la actividad radicular y favorecer la dormición.

La resistencia al frío se expresa como la temperatura mínima a la cual puede exponerse una planta sin ser dañada, o también como la que conduce al 50% de mortandad (LT50). Dicha resistencia se induce anualmente en las plantas al ser expuestas al decreciente fotoperiodo otoñal unido al descenso térmico nocturno y son las propias temperaturas invernales las que inducen la salida del letargo a través de un mecanismo hormonal (GLERUM, 1985).

Existen varios test de evaluación de daños por frío que implican someter a la planta a un descenso térmico gradual bajo condiciones controladas, expresando los daños observables visualmente o mejor haciendo un extracto acuoso de los órganos testados (hojas, raíces, ápices meristemáticos), midiendo su conductividad eléctrica y comparándola con un control. En general no se admiten plantas con índices de daños superiores al 35%.

Otros parámetros posibles en teoría, pero de problemática aplicación práctica con fines

de testado son: la medida del calor latente de fusión del agua de un tejido por análisis térmico diferencial; varios indicadores bioquímicos, como la actividad hidrogenasa; parámetros de intercambio gaseoso implicados en la respiración; o en la fotosíntesis, como puede ser la medida de la fluorescencia de la clorofila, que expresa el daño causado por diferentes tipos de estrés al aparato fotosintético; la emisión de etileno, considerada la hormona del estrés, o la producción de etanol ante condiciones de anoxia radicular; pero que, en todo caso, no muestran una clara relación con la supervivencia (HAWKINS y BINDER, 1990)

BIBLIOGRAFÍA CITADA

BURR, K.E.; 1990. The target seedling concept: Bud dormancy and cold hardiness. En *Proceedings, Combined Meeting of the Western For. Nurs. Assoc.* USDA For. Serv. Rose et al, Ed.

GLERUM, Ch.; 1985. Frost hardiness of coniferous seedlings: principles and applications. En *Procec. Workshop For. Res. Lab. OSU*, Corvallis, Duryea, ML, Ed..

HAWKINGS, C.D.B. & BINDER, W.D.; 1990. State of the art seedling: stock quality tests based on seedling physiology. *Proc. Comb. Meeting West. For. Nurs. Assoc.*, USDA For. Serv., Rose et al, Ed.

IUFRO; 1980. Planting stock quality: *N.Z.J.For. Sci.* 10(1): 1- 303.

JENKINSON, J.L. et al.; 1993. *Improving planting stock quality. The Humboldt experience.*, USDA For. Ser.

LANDIS, T.D.; 1985. *Mineral nutrition as an index of seedling quality.* En *Proc.*, Duryea, Ed.

KRAMER, P.J. & KOZLOWSKI, TT.; 1979. *Physiology of woody plants.* Academic Press

LAVENDER, D.P.; 1985. *Bud dormancy.* En *Proc.*, Duryea M.L., Ed.

MCCREARY, D.D. & DURYEY, M.L.; 1985. *OSU vigor test: principles, procedures and predictive ability*. Proc., Duryea ML, Ed.

MEXAL, J.G. & LANDIS, T.D.; 1990. Target seedlings concepts: height and diameter. En *Proc. Comb. Meet. West. For. Nurs. Assoc.*, USDA For. Serv., Rose et al, Ed.

PARDOS, J.A. et al.; 1996. *Optimización de la calidad anatómico- fisiológica de Pinus halepensis y Pinus pinea*. Memoria proyecto, CAICYT.

RITCHIE, G.A.; 1985. *Root growth potential: principles, procedures and predictive ability*. En Proc., Duryea, ML, Ed.

RITCHIE, G.A.; & TANAKA, Y.; 1990. *Root growth potential and target seedling*. En Proc. Comb. Meet. West. For. Nurs. Assoc., USAD For. Serv., Rose et al, Ed.

ROSE, R., CARLSON, W.C., & MORGAN, P.; 1990. The arget seedling concept. Proc. *Comb. Meet. West. For. Nurs. Assoc.*, USDA For. Serv., Rose et al, Ed.

SHEPHERD, K.R.; 1986. *Plantation silviculture*. Martinus Nijhoff Pub.

TAIZ, L. & ZEIGER, E.; 1991. *Plant Physiology*. The Benjamin/ Cummings Publ. Co.