



Fases de cultivo: Establecimiento y crecimiento rápido

R. Kasten Dumroese, Douglass F. Jacobs y Kim M. Wilkinson

INTRODUCCIÓN

En este capítulo y en el siguiente, se analizan en detalle las fases de crecimiento por las cuales pasa todo cultivo. Cabe recordar que para llegar a esta instancia se deben haber realizado varios pasos previos en forma adecuada, como el tratamiento de las semillas, la limpieza de contenedores y su llenado con medio de crecimiento de buena calidad. Estos temas se han tratado en capítulos anteriores por lo que no se reiteraran aquí.

FASES DE CRECIMIENTO

Comprender las fases de crecimiento que atraviesan los cultivos es esencial para su planificación. Una pequeña plántula que recién ha germinado tiene necesidades muy diferentes a las de una planta grande que ya está casi lista para ser llevada al campo. El desarrollo de casi todos los cultivos puede ser dividido en tres fases: establecimiento, crecimiento rápido y endurecimiento. En cada una de estas fases, las plantas tienen requerimientos diferentes de luz, agua, espacio en el vivero, tipo de atención y trabajos necesarios para mantenerlas vigorosas. Los objetivos del viverista también son distintos para cada fase, atendiendo a la meta final de producir las "plantas objetivo". La Tabla 1 resume algunos aspectos típicos de cada una de las tres fases. Nótese que son sólo generalizaciones que no se aplican a todas las especies. En los próximos párrafos, se define en términos generales cada fase y en secciones posteriores de este capítulo se tratarán con mayor detalle.

Fase de establecimiento

Para plantas cultivadas a partir de semillas, la fase de establecimiento se define como la que comienza con la siembra de las semillas, pasando por la germinación, emergencia y desarrollo de las primeras hojas verdaderas

o de las acículas primarias. En el caso de plantas cultivadas a partir de estacas, la fase de establecimiento abarca desde el momento en que se colocan los gajos en los contenedores hasta el desarrollo de raíces y brotes.

La fase de establecimiento suele durar unas pocas semanas, dependiendo de la especie. El objetivo de esta fase es maximizar la cantidad de espacio de crecimiento del vivero utilizado con plantas vigorosas, minimizando así las pérdidas.

Crecimiento rápido

Durante esta fase las plantas, y en particular sus brotes, aumentan rápidamente su tamaño. Frecuentemente, el tallo terminal se aproxima al tamaño objetivo. Las plantas necesitan por lo menos algo de protección durante esta fase. Se busca un crecimiento rápido (aunque no excesivo) de los brotes.

Endurecimiento

Durante la fase de endurecimiento la energía es redirigida hacia el crecimiento de la raíz en detrimento de la parte aérea. El diámetro del cuello y las raíces alcanzan las especificaciones deseadas al tiempo que no se busca crecimiento de partes aéreas, de hecho se procura que no haya desarrollo. Las plantas se "endurecen", lo que significa que se acondicionan para resistir el estrés de ser levantadas, transportadas y plantadas en el campo. También, se robustecen de forma que tengan reservas de energía para sobrevivir y crecer después de ser plantadas. El endurecimiento es entonces una fase fundamental. Sin embargo, es un error común apurar la rusticificación, lo cual resulta en plantas poco preparadas para las condiciones del sitio de plantación. Cuando las plantas no se endurecen adecuadamente, pueden tener las características físicas correctas, pero la supervivencia después de la plantación será baja debido a condiciones fisiológicas inadecuadas. Por lo

tanto, el objetivo de la fase de endurecimiento es acondicionar las plantas al estrés, prepararlas para la plantación y para ser enviadas al cliente en tiempo y forma evitando

problemas de stock remanente o sobrante. Ver el capítulo Fase de cultivo: Endurecimiento para una discusión más profunda sobre este tema.

Tabla 1. Las tres fases del desarrollo de los plantines de un cultivo (tomado de Landis et al. 1998). Una vez que se comprenden las tres fases del cultivo de una especie, puede desarrollarse un cronograma de crecimiento para cubrir las necesidades del cultivo en cada una de ellas.

Fase	Establecimiento	Rápido crecimiento	Endurecimiento
Definición	Comprende la germinación y emergencia hasta la formación de hojas verdaderas. En el caso de estacas hasta la formación de brotes y raíces.	Desde la emergencia de hojas verdaderas hasta el momento en que el plantín se acerca a la altura objetivo. Rápido aumento en tamaño, particularmente en el brote terminal.	La energía es redirigida del tallo al crecimiento de la raíz; el plantín alcanza la altura y el diámetro del cuello objetivos; se establecen las yemas laterales. El plantín es acondicionado para soportar estrés.
Duración	Típicamente de 14 a 21 días para germinar; 4 a 8 semanas para un crecimiento inicial.	Gran variación, típicamente alrededor de 8 a 20 semanas.	Amplia variación entre especies, de 1 a 4 meses.
Objetivos	Maximizar germinación uniforme. Llenar contenedores eficientemente. Maximizar la sobrevivencia. Minimizar pérdidas por <i>damping-off</i> (marchitamiento fúngico).	Minimizar el estrés. Incentivar el crecimiento aéreo. Mantener factores ambientales cerca de niveles óptimos. Monitoreo a medida que los plantines se acercan a la altura objetivo y las raíces ocupan completamente los contenedores.	Detener el crecimiento de partes aéreas. Incentivar crecimiento de raíces y del diámetro del cuello. Inducir la dormancia de los plantines. Aclimatación al ambiente natural. Acondicionamiento para soportar estrés. Fortificación para sobrevivir después de la plantación.
Necesidades especiales	Protección del clima. Temperaturas cálidas. Riego para mantener la humedad intermedia del suelo (húmedo, pero no saturado). Baja fertilización	Protección del estrés. Optimización de la temperatura. Riego regular. Fertilización adecuada.	Inducción de estrés hídrico moderado. Disminución de temperatura. Exposición a temperatura y humedad ambiente. Reducción de tasa de fertilización y cambio de las proporciones de los nutrientes minerales.
Tareas	Monitorear germinación Raleo. Resembrar y/o trasplantar de ser necesario.	Monitorear enfermedades. Monitorear el ambiente. Modificar la densidad del cultivo para favorecer un buen desarrollo. Ajustar el cultivo para evitar una altura de tallo excesiva.	Monitorear de cerca los plantines y el ambiente. Entregar los plantines producidos a los clientes en tiempo y forma para evitar problemas de <i>stock</i> remanente.

FASE DE ESTABLECIMIENTO

Siembra

Utilizando el cronograma del cultivo, las semillas deben ser tratadas a tiempo para ser sembradas en el momento adecuado. No deben resecarse ni exponerse a temperaturas elevadas o luz solar directa; lo ideal es mantenerlas refrigeradas hasta su utilización. La decisión sobre el método de siembra a emplear (manual o mecánico) dependerá del tamaño del vivero y la cantidad de semillas a sembrar. En ambos casos, las semillas son más fáciles de manejar si el tegumento está oreado, o sea que no deberían estar mojadas al punto de estar brillantes, pero deben estar húmedas aún. Espolvorearlas con un poco de talco hace que sea más fácil sembrarlas y luego verlas en la superficie del medio de crecimiento. El número de semillas a ubicar en cada celda depende de la tasa de germinación esperada para ese lote particular. La Tabla 2 puede utilizarse para determinar el número aproximado de semillas a sembrar en cada cavidad para obtener al menos 90% de envases con un plantín. Se busca minimizar el número de contenedores vacíos, pero, tal como se observa en la Tabla 3, en muchos casos, agregar una semilla más no resulta en un número significativamente mayor de contenedores ocupados. Por este motivo, el administrador del vivero deberá decidir si ahorrar semillas (y guardarlas para el próximo cultivo) es más importante que el costo que significa tener algunas celdas vacías. Por otra parte, utilizar más semillas de las necesarias requerirá un mayor esfuerzo de raleo después de la germinación. Aunque la Tabla 2 provee un buen punto de inicio, los cálculos directos para determinar el número de semillas por contenedor a sembrar son relativamente

simples y se presentan en el Apéndice 1, de este capítulo. Luego de ser colocadas en los contenedores, las semillas deben ser cubiertas con una capa muy delgada de perlita o arena gruesa. La profundidad de este *mulching* no debería ser más de dos veces el espesor de las semillas. Es importante asegurarse que el material de cobertura no sea demasiado fino. Una buena cubierta evita que las semillas sean arrastradas por el salpicado del agua de riego, ayuda a retardar el crecimiento de algas y hongos, mantiene la superficie del medio de crecimiento fresca y húmeda -aunque no mojada- y conserva la zona alrededor del tallo joven más seca, reduciendo problemas de enfermedades.

Posteriormente a la siembra hay que monitorear la presencia de predadores. Los roedores y los pájaros pueden comer muchas semillas. Por este motivo es recomendable comenzar a excluir los roedores alrededor de una semana antes de sembrar, en lugar de luchar contra ellos mientras están comiéndose el cultivo.

Tabla 2. Sobre la base del análisis de germinación de la partida de semillas, sembrando el número recomendado en esta Tabla, el 90% de las celdas o más tendrán al menos una plántula.

Porcentaje de germinación según el análisis de laboratorio	Semillas a sembrar por celda	Porcentaje de celdas con al menos una plántula
90 +	1-2	90 - 100
80 - 89	2	96 - 99
70 - 79	2	91 - 96
60 - 69	3	94 - 97
50 - 59	4	94 - 97
40 - 49	5	92 - 97

Tabla 3. Ejemplo de aplicación del criterio para determinar número de semillas a sembrar por celda presentado en la Tabla 2. Nótese que no es conveniente sembrar semillas de más ya que no se logra aumentar el número de plantas significativamente. Ver Apéndice.

Semillas sembradas por contenedor	Celdas de contenedores vacías	Celdas de contenedores con al menos una plántula	Semillas sembradas	Plántulas producidas	Plántulas adicionales producidas por cada 1.000 semillas sembradas
1	35%	65%	1.000	650	
2	12%	88%	2.000	880	230
3	4%	96%	3.000	960	80
4	1%	99%	4.000	990	30
5	0%	100%	5.000	1.000	0

Tan pronto como sean sembradas las semillas, debe regarse el medio de crecimiento de las bandejas hasta su saturación. Esto ocurre cuando comienza a salir agua del fondo de las celdas. Si se planea utilizar el peso de las bandejas para programar los eventos de riego, debe esperarse de 30 a 60 minutos y luego pesar una muestra representativa de las mismas para obtener el "peso húmedo o peso a capacidad del contenedor" para ese cultivo. Ver capítulo sobre Riego y Fertirriego para mayor detalle.

Raleo, trasplante y primer inventario

Unas 2 ó 3 semanas después de sembrar, casi todas las plántulas deberían haber germinado y comenzar a mostrar nuevas acículas. Las semillas germinan más rápidamente con temperaturas más elevadas (Figura 1), y es recomendable hacer germinar las semillas tan rápido como sea posible para prevenir problemas de damping-off. En general el raleo no es conveniente por ser un pro-

ceso oneroso, que insume mucho tiempo y además en muchos casos los plantines no se trasplantan bien. Si fuera necesario realizar un raleo, este debe hacerse lo antes posible, ya que las plántulas que aún tienen adherido el tegumento de las semillas soportan mejor el trasplante. En ese estadio, las raíces son aún cortas y pueden ser insertadas fácilmente en un nuevo contenedor. Si el tegumento de las semillas ya se cayó es recomendable solamente extraer los plantines de más de los contenedores, dejando que la plántula mejor formada esté más cerca del centro de la celda.

Éste es también un buen momento para hacer un primer inventario a efectos de estimar el número de plantas a producir. En esta etapa de crecimiento, el inventario implica establecer cuántos contenedores están ocupados por un plantín. Basado en este dato preliminar el administrador del vivero puede decidir si necesita hacer más trasplantes o una siembra adicional para cumplir con el pedido del cliente.

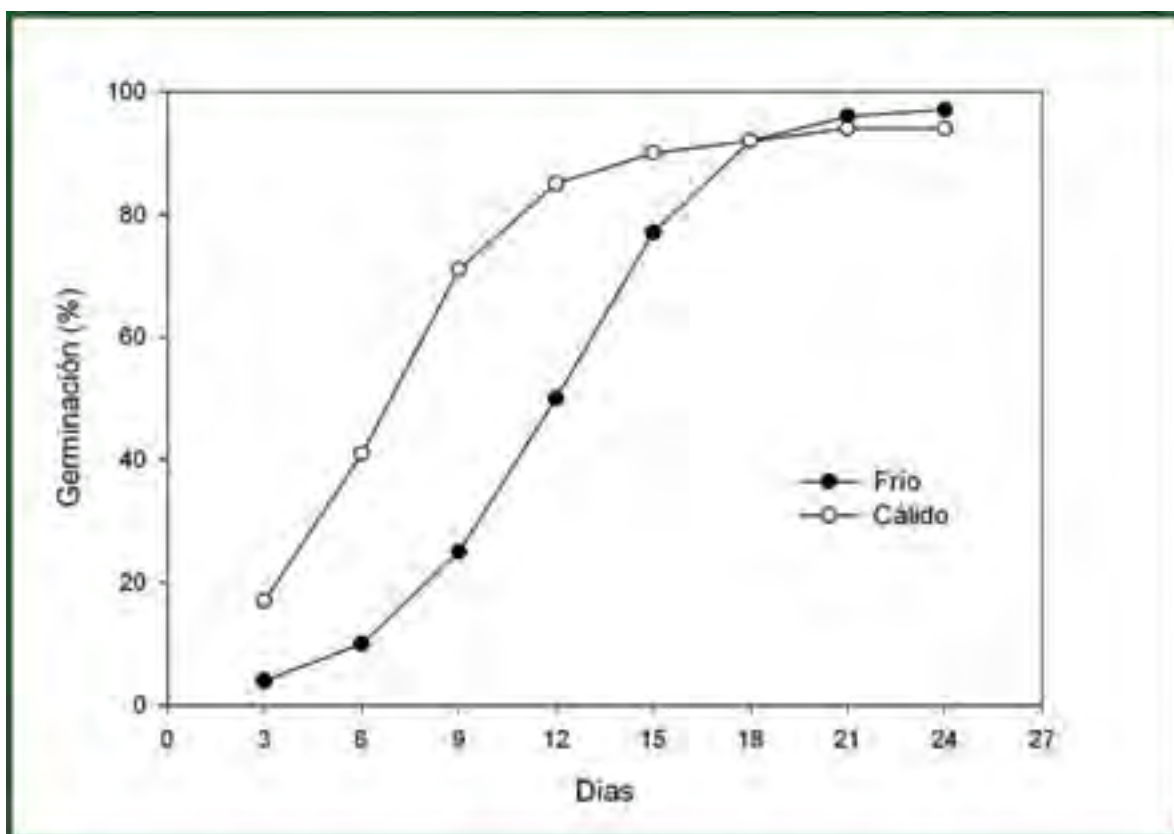


Figura 1. Esquema demostrando que las semillas germinan con mayor rapidez a temperaturas elevadas.

Riego

En general puede ser necesario regar 1, 2, 3 ó más veces por semana, dependiendo del tamaño del contenedor y de los plantines, de las condiciones en el invernadero o cantero y de las condiciones climáticas. Siempre se debe regar en las primeras horas de la mañana, para que el follaje pueda secarse completamente durante el día y reducir la aparición de enfermedades. En general, durante la fase de crecimiento inicial debe regarse cuando el peso de los contenedores baja a un 80-85% del "peso húmedo". Esto se discute con mayor detalle en el capítulo sobre Riego y Fertirriego.

Fertilización

La forma más fácil de aplicar nutrientes es usar un fertilizante soluble en agua cada vez que se riega. Si los plantines son cultivados utilizando un fertilizante líquido soluble, la fertilización debería comenzar inmediatamente después de ralea los contenedores. Algunos autores consideran que no debería aplicarse fertilización a plantines demasiado jóvenes porque el nitrógeno podría promover la ocurrencia de enfermedades fúngicas tipo *damping-off*. En general el *damping-off* aparece cuando el nitrógeno se aplica en exceso; por el contrario si se provee a las plántulas recientemente germinadas de pequeñas dosis de fertilizante se puede favorecer su crecimiento inicial sin el riesgo de la aparición de problemas sanitarios.

Al cultivar plantines en contenedores, es fácil excederse en la fertilización lo que lleva a producir plantas altas y delgadas. Muchos factores influyen en la cantidad de fertilizante a aplicar: la especie cultivada, el tamaño de los contenedores, la edad de los plantines, el tipo de medio de crecimiento, etc. Por lo tanto es difícil dar una receta única para fertilizar los plantines en contenedores.

Es imperativo definir el "plantín ideal" antes de iniciar el cultivo, y así evaluar la necesidad de fertilizante en forma continua. Los responsables de los viveros deberán tener una idea básica respecto a qué características morfológicas deberían tener sus plantines "objetivo". En general, el parámetro más fácil de medir y por ende el más comúnmente utilizado es la altura. Después de la germinación, el cultivo debería ser medido cada dos

semanas. Los valores de altura observados deben compararse con la curva de crecimiento "ideal". Esto puede ser intimidante al principio, si no se conoce la curva ideal porque nunca se ha cultivado la especie. Afortunadamente, el crecimiento de los plantines cultivados en vivero sigue un patrón sigmoideal, y si se conoce la altura final, se puede construir una curva de crecimiento tentativa. A medida que el cultivo se desarrolla bajo un régimen de fertilización definido, esas alturas pueden graficarse y compararse con las del régimen ideal. Si el cultivo esta creciendo lentamente para alcanzar la altura deseada, debe aplicarse más fertilizante. En caso contrario, si el cultivo está creciendo demasiado rápido, deberá reducirse la fertilización (Figura 2).

Generalmente, la fase de establecimiento dura de 4 a 6 semanas. Es recomendable comenzar aplicando bajas tasas de fertilización, unas 25 ppm de N, desde que cae el tegumento de la semilla e ir aumentando la tasa en forma semanal durante el resto de la fase de crecimiento inicial, por ejemplo, 40 ppm de N la siguiente semana y 65 ppm la semana posterior. Se ha debatido mucho sobre la proporción de nitrógeno, fósforo y potasio a ser aplicada durante la fase de crecimiento inicial. Aunque algunos viveristas consideran que tasas altas de fósforo y potasio son beneficiosas, los plantines parecen ser poco exigentes y la aplicación de un fertilizante equilibrado como 20 N-20 P-20 K suele dar buenos resultados. Estas dosis de fertilización deben considerarse como una guía general, ya que las tasas de crecimiento pueden variar drásticamente entre especies y entre fuentes de semillas de una misma especie. Hay que estar preparados para modificar los esquemas de fertilización a medida que los plantines se desarrollan.

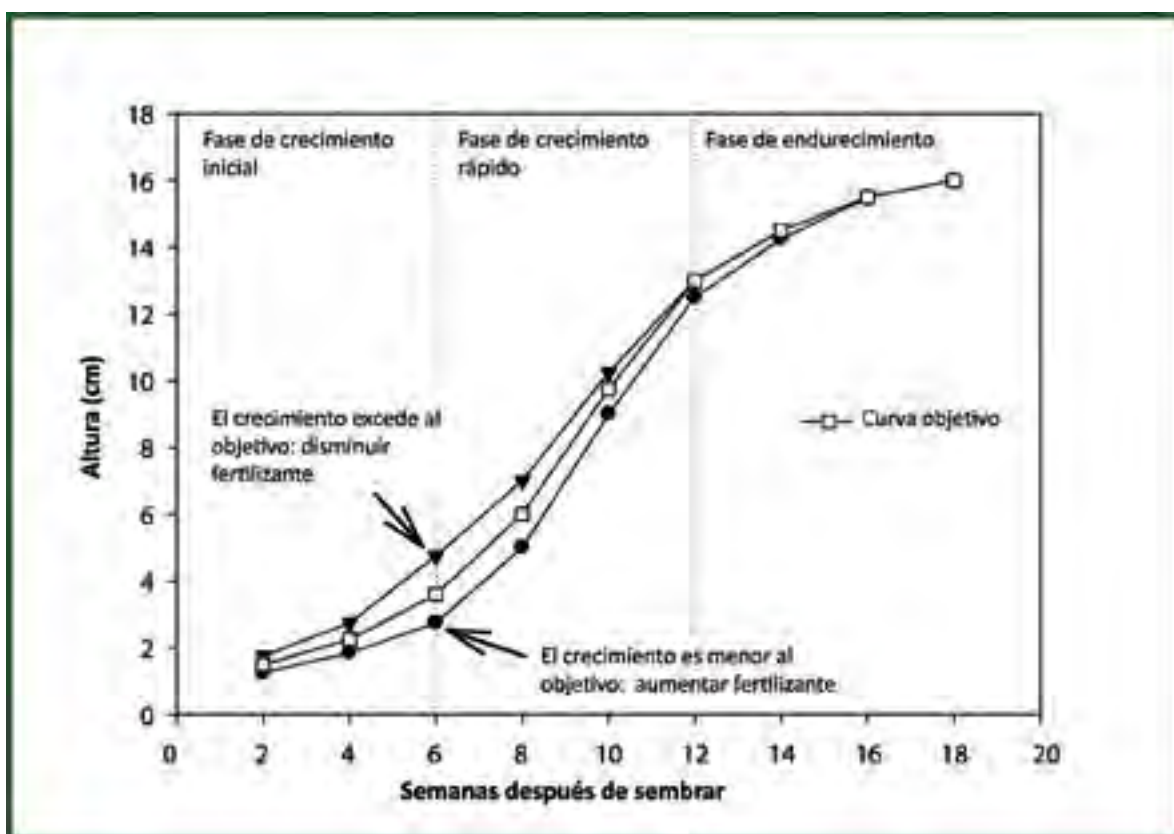


Figura 2. Ejemplo de una curva de crecimiento en altura ideal, o sea que coincide con el desarrollo en altura deseado, y dos curvas de crecimiento que se tienden a alejar de la ideal por defecto y por exceso a partir de la fase de crecimiento inicial; estas tendencias se pueden corregir aumentando o disminuyendo la tasa de fertilizante respectivamente.

FASE DE CRECIMIENTO RÁPIDO

Esta fase de crecimiento se caracteriza por tasas de aplicación de nitrógeno más altas hasta lograr la altura deseada de las plantas. Para especies como pino ponderosa, esto podría significar aumentar la tasa de fertilización de 65 ppm de N al final de la fase de crecimiento inicial hasta 130 ppm de N. Al igual que la fase anterior, es imperativo monitorear el crecimiento en altura y ajustar el fertilizante según sea necesario para mantener el crecimiento cerca del objetivo (Figura 3). La corrección de problemas de crecimiento durante la fase de crecimiento rápido puede hacer necesario retardar el inicio de la fase de endurecimiento.

Es recomendable realizar otro inventario del número de plantas hacia el final de la fase de crecimiento rápido o al comienzo de la fase de endurecimiento. Esta información permite programar la necesidad de recursos para

levantar los plantines y para que el cliente pueda planear eficientemente la plantación en sus campos. Este inventario debe contabilizar el número de plantines que han alcanzado el tamaño objetivo. Supongamos, por ejemplo, que el plantín objetivo debe tener un diámetro del cuello mínimo de 2,5 mm y una altura mínima de 15 cm. Para esto es recomendable realizar un muestreo. El personal del vivero podría medir el diámetro del cuello y la altura de submuestras de 50 plantines. Estos datos, presentados en un diagrama de dispersión pueden mostrar al viverista el porcentaje del cultivo que alcanza el tamaño objetivo (Figura 4). Además puede determinarse el porcentaje del cultivo que sobrepasa los límites de tamaño, por ejemplo los 20 cm de altura. Generar diagramas de puntos es una forma fácil y efectiva de interpretar el monitoreo del crecimiento de un cultivo.

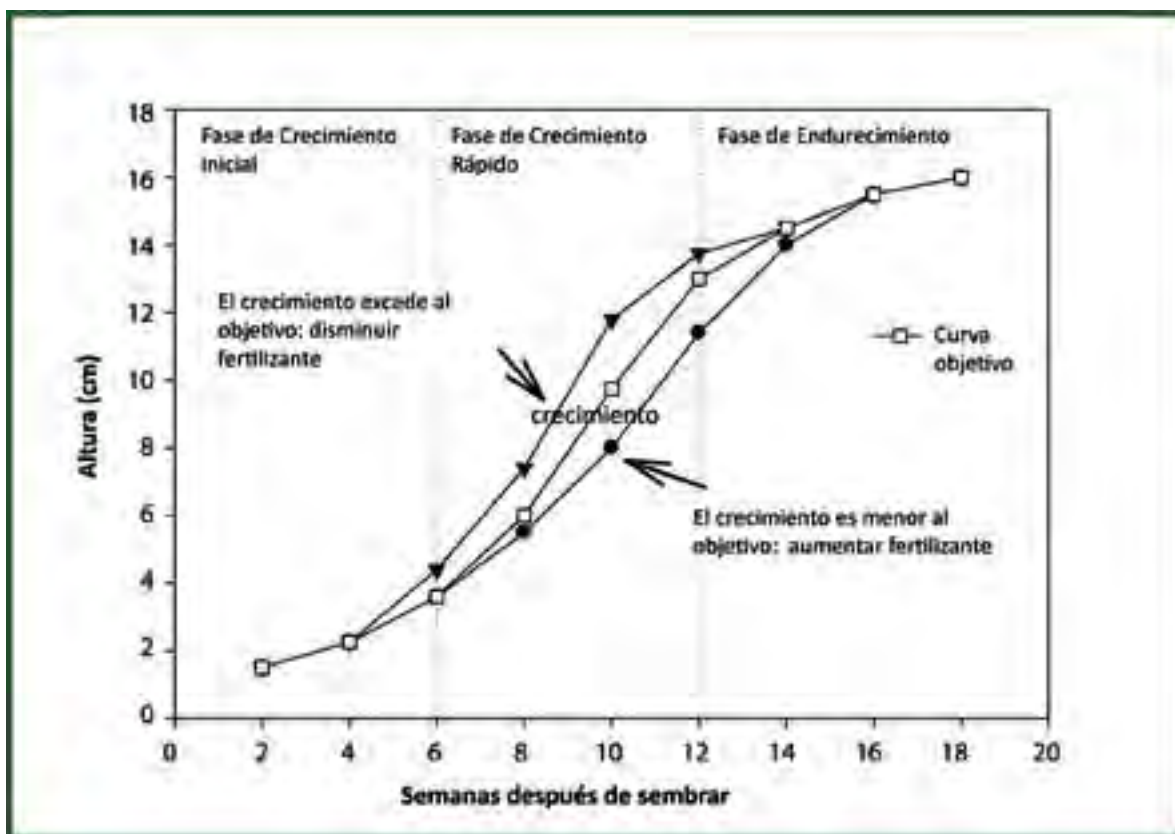


Figura 3. Ejemplo de una curva de crecimiento en altura ideal, o sea que coincide con el desarrollo en altura deseado, y dos curvas de crecimiento que se tienden a alejar de la ideal por defecto y por exceso durante la fase de crecimiento rápido; estas tendencias se pueden corregir aumentando o disminuyendo la tasa de fertilizante respectivamente.

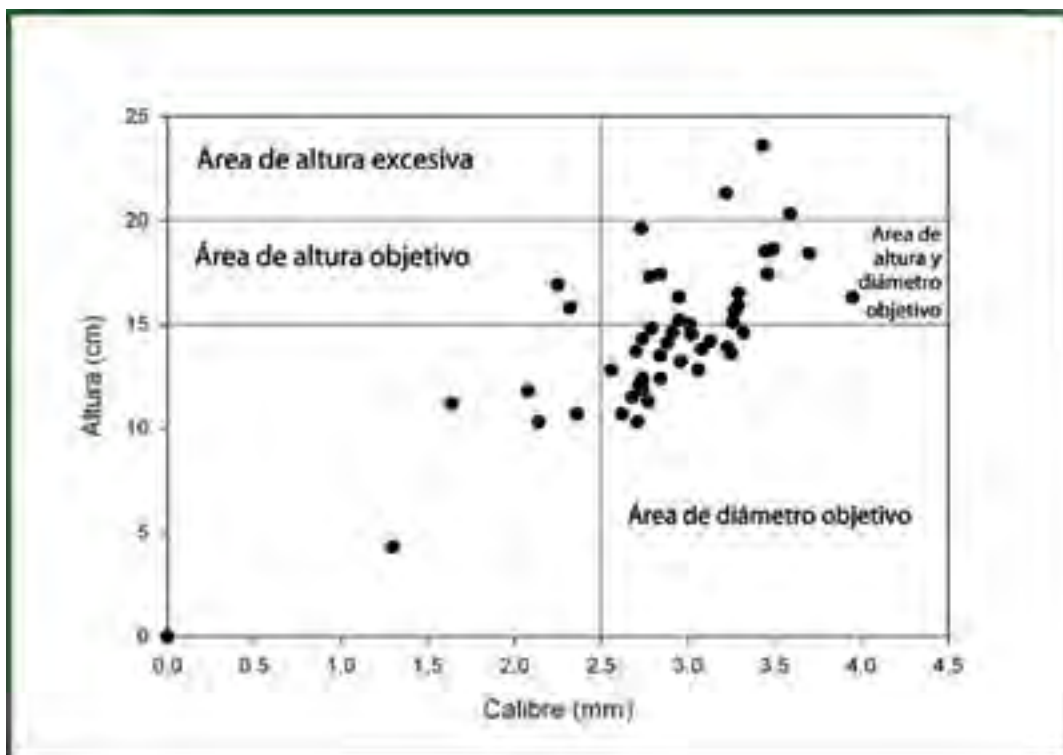


Figura 4. Ejemplo de diagrama de puntos para determinar la proporción de plantas que alcanzaron el tamaño objetivo o deseado al final de la fase de crecimiento rápido. Asumiendo que el diámetro del cuello y la altura objetivo sean 2,5 mm y 15 cm respectivamente, solo el 30% de las plantas los habrían alcanzado. Además el 6% de las plantas sobrepasan la altura máxima aceptable (20 cm).

CUIDADOS

Las enfermedades pueden manifestarse rápidamente en un cultivo en contenedores, porque el ambiente de vivero es propicio para la propagación de patógenos. Siempre se debe apartar inmediatamente todo material enfermo, el que debe ser quemado, enterrado o eliminado con los desechos del vivero.

La primera enfermedad que puede observarse es el *damping-off*. Afecta las semillas que están germinando y plántulas muy jóvenes. Los plantines afectados por hongos se marchitan y caen sobre la superficie del sustrato. Se puede disminuir la incidencia de esta enfermedad usando semillas con alto poder germinativo, regando con moderación cuando las plántulas son aún pequeñas, evitando altas temperaturas y extrayendo rápidamente plantines muertos o que comienzan a marchitarse.

La segunda enfermedad en importancia y que suele aparecer cuando las plántulas son más grandes, es la *podrición de raíces*. Las plántulas se vuelven marrones, frecuentemente desde el ápice hacia el tallo. En general, cuando se observan los síntomas, ya es demasiado tarde para hacer algo al respecto. La podrición de raíces puede prevenirse utilizando contenedores limpios, regando adecuadamente y evitando que los plantines y sus raíces se calienten demasiado.

La tercera enfermedad problemática es *botrytis*. El hongo *Botrytis* crece en las acículas, infectando eventualmente los tallos de los plantines y causando la muerte. Esta enfermedad suele volverse un problema cuando el follaje de los plantines está en contacto entre sí, como ocurre hacia el final de la fase de crecimiento rápido. El hongo inicia su crecimiento en acículas muertas y la enfermedad es favorecida por temperaturas frescas y alta humedad. La enfermedad puede controlarse regando correctamente, extrayendo plantines muertos o debilitados a medida que se los detecta, y regando con boquillas aspersoras para facilitar el secado del follaje.

Debe monitorearse el sistema de riego en forma continua. Una boquilla en mal estado puede causar un problema que se extienda a todo el cultivo. También debe

verificarse regularmente el pH y la conductividad eléctrica de las soluciones de riego y fertirriego. Esto puede ayudar a eliminar problemas de mezcla inadecuada de los productos químicos.

Por último se debe estar atento a las malezas: deben extraerse inmediatamente y ser controladas incluso en el piso, entre y alrededor de las áreas de crecimiento. Las malezas pueden albergar insectos y otras plagas de origen animal.

LECTURAS ADICIONALES

Dumroese, R.K., Luna, T. y T.D. Landis (Editores). 2009. Nursery manual for native plants: a guide for tribal nurseries. Volumen 1: Nursery management. Washington (DC): USDA Forest Service. Agriculture Handbook 730. 302 p. (<http://www.treearch.fs.fed.us/pubs/33057>)

Landis, T.D. y K.M. Wilkinson. 2009. Water quality and irrigation. En: Dumroese RK, Luna T. y T.D.

Landis (Editores). 2009. Nursery manual for native plants: a guide for tribal nurseries. Volumen 1: Nursery management. Washington (DC): USDA Forest Service. Agriculture Handbook 730. p 177-199.

BIBLIOGRAFÍA

Landis, T.D., Tinus, R.W., MacDonald, S.E. y J.P. Barnett. 1989. The container tree nursery manual: volume 4, seedling nutrition and irrigation. Agriculture Handbook 674. Washington (DC): U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 119 p. (<http://www.rngr.net/Publications/ctnm>). Disponible en español.

Schwartz, M. 1993. Germination math: calculating the number of seeds necessary per cavity for a given number of live seedlings. Tree Planters' Notes 44(1):19-20. <http://www.treearch.fs.fed.us/pubs/33077>

APÉNDICE

CÁLCULO DEL NÚMERO DE SEMILLAS A SEMBRAR POR ENVASE USANDO UNA CALCULADORA DE MANO

La técnica se basa en el concepto de que una semilla germina o no germina (probabilidad binomial) (Schwartz 1993). Si "X" es igual a la probabilidad de una semilla que germina e "Y" es igual a la probabilidad de una que no germina, se puede construir una expresión binomial, que incluya todas las apariciones posibles. El siguiente ejemplo muestra las posibilidades que existen cuando se siembran 2 semillas por envase:

$$(X + Y)^2 = X^2 + 2XY + Y^2$$

donde:

X^2 = la probabilidad de que ambas semillas germinen

$2XY$ = la probabilidad de que solo una germine

Y^2 = la probabilidad de que ninguna semilla germine

Por lo tanto, siempre y cuando se conozcan los datos del ensayo de germinación, el número adecuado de semillas para sembrar por contenedor se puede determinar fácilmente mediante la introducción de las fallas de germinación en una calculadora de mano con una función exponencial (Y^X , X^Y , x^y , o algo similar). El procedimiento consiste en introducir el dato del porcentaje de fallas de germinación en decimal, pulsando la tecla exponencial,

luego introducir el número de semillas que puede sembrar y pulsar la tecla igual. Si su calculadora no tiene tecla exponencial, entonces utilice la multiplicación repetida. Ejemplo para un lote con 78% de germinación y 22% de fallas:

Semillas por celda	Porcentaje de contenedores vacíos	
	Usando la tecla Y^X	Usando multiplicación repetida
1	$(0,22)^1 = 0,22 = 22\%$	$0,22 = 22\%$
2	$(0,22)^2 = 0,0484 = 4,8\%$	$0,22 \times 0,22 = 0,0484 = 4,8\%$
3	$(0,22)^3 = 0,0106 = 1,1\%$	$0,22 \times 0,22 \times 0,22 = 0,0106 = 1,1\%$
4	$(0,22)^4 = 0,0023 = 0,2\%$	$0,22 \times 0,22 \times 0,22 \times 0,22 = 0,0023 = 0,2\%$

Se puede ver que el cálculo se convierte en una "ley de rendimientos decrecientes", y el número más adecuado de semillas a sembrar dependerá de la disponibilidad de semillas, de su costo, del costo de raleo y de la confiabilidad del ensayo de germinación. Según los datos de este ejemplo, es suficiente sembrar 2 a 3 semillas por contenedor.

BIBLIOGRAFIA CITADA

Schwartz, M. 1993. Germination math: calculating the number of seeds necessary per cavity for a given number of live seedlings. Tree Planters' Notes 44(1):19-20.