

## PATOLOGÍA

### PARTE I: PRINCIPIOS

**R.K. MITTAL Y S.B. MATHUR**

Consejo de Investigación Agrícola de la India

Nueva Delhi, India, y el Instituto de Patología de Semillas del Gobierno Danés,  
Dinamarca

### PARTE II: PRÁCTICA

**K. OLD Y Z.Q. YUAN**

Silvicultura y Productos Forestales CSIRO, Australia, y  
Universidad de Tasmania, Australia

## PARTE I. PRINCIPIOS

Con frecuencia, las semillas y las plántulas son afectadas por desórdenes físicos y fisiológicos y por enfermedades causadas por hongos, bacterias y virus. Las plantas jóvenes y las plántulas son especialmente susceptibles a varias enfermedades debido a sus tejidos delicados y porque con frecuencia tienen dificultad en establecerse. La salud y el vigor de las plántulas y su desarrollo subsiguiente dependen en alto grado de la calidad de las semillas. Puesto que las plántulas que han crecido de semillas son la principal fuente de patrón de siembra y que las semillas mejoradas son caras, es necesario investigar la semilla y los agentes patógenos de las plántulas y, si es necesario, aplicar algunas medidas de control antes de sembrar las semillas o en la etapa de plántula.

En el pasado, hongos que causan la enfermedad de los almácigos (Damping-Off), roya de los conos, varios insectos de semillas y conos en pinos, y daños causados por hongos a bellotas de roble, avellanas, castañas, nueces de nogal, y semillas de abedul y olmo se consideraban los únicos problemas principales en las semillas y producción de plántulas. Actualmente muchos hongos se han aislado y estudiado por sus efectos en las semillas tanto de

especies de árboles de coníferas como de latifoliadas (Mittal *et al.*, 1990) y algunos han causado pérdidas considerables de semillas y de plántulas. La Administración Nacional de Irrigación indicó una pérdida de varios kilogramos de semillas de *Pterocarpus indicus*, *Acacia auriculiformis* y *Leucaena leucocephala* en la divisoria de la presa de Pantabangan en las Filipinas durante 1979 (Quiniones, 1987). Según Chalermpongse *et al.* (1984) en Tailandia, la pérdida de semillas causada por la infección de *Botryodiplodia theobromae* en *Swietenia macrophylla* fue de 92%; *Colletotrichum gloeosporoides* en *Dalbergia cochinchinensis* fue de 4%; *Alternaria longissima* en *Bauhinia* sp. fue de 2%; *Pestalotiopsis* sp. en *Cassia bakeriana* fue de 6%; *Macrophoma* sp. en *Eucalyptus camaldulensis* fue de 1% y *Fusarium* sp. en *Shorea obtusa* fue de 2%.

El deterioro de semillas de árboles causado por hongos implica problemas que difieren en varios aspectos de aquéllos de granos. Por ejemplo, las semillas de árboles están expuestas a muchas condiciones antes del almacenamiento, las cuales permiten el desarrollo de hongos de moho. Con frecuencia se recolectan conos en costales y se guardan en puntos de recolección o plantas de

procesamiento por diversos períodos bajo condiciones que favorecen el desarrollo de los hongos antes de la extracción de la semilla. Después de la extracción las semillas se secan y se almacenan por diversos períodos hasta que son utilizadas en el campo o en los viveros. Por lo tanto, es importante conocer las características de los hongos asociados con especies importantes, qué daño causan, dónde y cuándo y bajo qué circunstancias ocurre el daño, y qué puede hacerse para evitar el daño.

La ciencia de patología de semillas de árboles todavía es muy joven. La ocurrencia y distribución de la mayoría de los agentes patógenos de las semillas de árboles son bien reconocidas, pero hay muy poco conocimiento de su impacto en la producción, calidad y viabilidad de semillas. El interés en estos problemas ha estado creciendo firmemente en las últimas décadas, pero recientemente este interés se ha convertido en una preocupación seria principalmente debido a los problemas que se encuentran en la regeneración y manejo de los bosques, los cuales son un recurso principal mundial. Actualmente, hay alguna información disponible sobre las características de hongos transmitidos por la semilla pero está relacionada principalmente con especies de árboles de clima templado. Por lo tanto, al discutir las semillas de árboles tropicales, esta información también se discutirá brevemente como referencia.

## HONGOS DE SEMILLAS DE ÁRBOLES FORESTALES

Los hongos asociados con semillas de árboles varían en diferentes especies huéspedes, en diferentes regiones y en diferentes años. Muchos de ellos son mohos y se desarrollan solamente en la superficie de las semillas; algunos causan infecciones internas también. Casi todas las semillas llevan esporas de diferentes hongos microscópicos en la superficie o dentro de la semilla. Una microflora superficial casi siempre se encuentra debido a la adhesión de esporas a la superficie desigual de la semilla. A pesar de que el número de esporas que ocurren varía considerablemente, como en el abeto noruego y pino albar, éste puede ser tan alto como 50 a 150,000 esporas, y, en algunos lotes de semillas, varios cientos de miles de esporas por 1 g de semilla (Urosevic, 1961). Bajo condiciones favorables, algunas esporas germinan, y el micelio penetra en los cotiledones de la semilla y se alimenta del embrión.

Varios tipos de hongos pueden asociarse con semillas de árboles. Así, hay especies que causan

descomposición y reducen la germinación de semillas almacenadas, especies que atacan semillas que están germinando y plántulas, y otras especies que son más o menos inocuas, o por lo menos parecen serlo. El conocimiento actual no permite una separación precisa de especies individuales de hongos que ocurren en semillas. Sin embargo, está claro que muchas especies usualmente consideradas no importantes e inocuas pueden causar un daño considerable bajo ciertas condiciones, por ejemplo: condiciones de almacenamiento inadecuadas, semillas de mala calidad (inmaduras, de bajo vigor, o con mucho moho), condiciones de crecimiento inadecuadas (incluyendo humedad, temperatura o aireación), etc. Por lo tanto, mientras se evalúa la importancia de estos hongos, es esencial considerar la biología de la especie individual de los hongos.

Dependiendo de su ubicación, los hongos transmitidos por la semilla pueden en general, clasificarse en dos grupos: llevados externamente en la semilla y llevados internamente por la semilla. El primer grupo incluye especies de *Botryosphaeria*, *Botrytis*, *Fusarium*, *Mucor*, *Phialophora*, *Rhizopus* y *Trichothecium*. No son usualmente específicas al huésped y pueden abarcar más de una especie. Algunos de los hongos bien conocidos llevados internamente en la semilla incluyen especies de *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Botryodiplodia*, *Caloscypha*, *Cephalosporium*, *Fusarium*, *Phoma*, *Schizophyllum* y *Sirococcus*. Estos pueden causar deterioro de la calidad de la semilla y mortandad pre o post-emergencia de plántulas (Singh y Mathur, 1993).

Urosevic (1961) proporcionó instrucciones para pruebas de salud de bellotas de roble, incluyendo una clave para distinguir hongos de bellotas, y dividió la microflora de bellotas en dos grupos: (i) parásitos y semiparásitos como *Ciboria batschiana*, *Ophiostoma* spp., *Gloeosporium quercinum*, *Phomopsis quercella*, *Cytospora intermedia*, *Botrytis cinerea* y *Pestalotia* sp.; y (ii) saprófitos incluyendo *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Trichoderma* y otros.

En base a su patogenicidad, Sutherland (1995) clasificó los hongos transmitidos por las semillas de coníferas como (i) saprófitos o agentes patógenos débiles; (ii) agentes patógenos como el hongo *Caloscypha fulgens* que mata consistentemente semillas; (iii) agentes patógenos de importancia primaria en las plántulas, esto es, *Sirococcus conigenus*; y (iv) hongos, esto es *Fusarium* spp., cuya patogenicidad depende de factores que incluyen especies de hongos y especie patógena, y huésped y estrés del huésped.

## ENFERMEDADES Y DAÑOS CAUSADOS POR HONGOS TRANSMITIDOS POR LA SEMILLA

Síntomas de enfermedades transmitidas por las semillas son usualmente divididas en enfermedad de los almácigos (Damping-Off) pre y post-emergencia. El primer grupo consiste de una emergencia reducida y de descomposición de la radícula recién emergida de la testa; el segundo grupo se subdivide en podredumbre de la raíz, podredumbre del cotiledón y podredumbre del tallo basal después que las plántulas emergen del suelo. La reducción en la germinación de semillas, descomposición y pérdida de viabilidad de semillas durante almacenamiento y las enfermedades de plántulas son unos de los principales problemas causados por hongos patógenos.

### REDUCCIÓN EN LA GERMINACIÓN

Se ha reportado la inhibición de la germinación de semillas de coníferas por contaminantes dispersos (Garbowski, 1936; Rathbun-Gravatt, 1931; Ten Houten, 1939) y a través de hongos inoculados artificialmente (Fisher, 1941; Timonin, 1964). Huss (1956) observó que el enmohecimiento no tenía virtualmente ningún efecto en semillas de pino de alta viabilidad, pero semillas de poca calidad sufrieron una reducción substancial en la germinación. También se ha observado que la destrucción de semillas dependía en gran parte de la tasa de crecimiento, y conforme la germinación progresaba, la resistencia a destrucción aumentaba (Gibson, 1957). Se encontró que las especies extremadamente comunes y numerosas de hongos de moho, es decir, especies de *Mucor*, *Rhizopus*, *Trichothecium*, *Botrytis*, *Penicillium* y otras, que colonizaron la superficie de bellotas de *Quercus* o que entraron a los tejidos de la superficie eran de importancia secundaria en la pérdida de germinabilidad de bellotas (Potlaichuk, 1953). Sin embargo, Gibson (1957), reportó que los hongos saprofitos, es decir, *Aspergillus* spp., *Mucor* spp., *Rhizopus* sp., *Trichoderma* sp. y *Cladosporium* sp., de la microflora de la testa podrían, bajo condiciones favorables, invadir los tejidos de las semillas germinantes y matar las plántulas de *Pinus patula*. La microflora de la testa, podría por lo tanto ser responsable directamente del debilitamiento del vigor de la semilla, predisponiéndola al ataque de hongos patogénicos transmitidos por el suelo. Shea (1957) apoyó la perspectiva y mencionó que la influencia de mohos sobre las semillas podía variar considerablemente y que su sola presencia no significaba que fueran dañinos. Sin embargo,

Prisyazhnyuk (1960) mencionó que cuanto mayor era la infección por hongos de las semillas, menor era la germinabilidad de semillas de *Pinus sylvestris*, *Larix sibirica*, *Picea abies* y *Abies sibirica*. Rowan y De Barr (1974) observaron enmohecimiento extenso en tres lotes de semillas de pinos del incienso (slash pine) durante pruebas de germinación. Siguiendo los procedimientos de pruebas estándares, las semillas se rompieron individualmente y casi 90% de ellas se encontraron llenas, aunque la germinación fluctuó solo de 31 a 79%. Se obtuvo *Fusarium solani* de las semillas no germinadas.

De los 12 *Fusarium* aislados que se examinaron a través de inoculación en semillas de *Pinus patula* (Pawuk, 1978), 3 redujeron la germinación, mientras que 9 aumentaron el porcentaje de enfermedad de los almácigos (Damping-Off) pero no afectaron la germinación de la semilla o el crecimiento de plántulas. Las semillas de *Leucaena* infectadas por *Colletotrichum graminicola* no germinaron, y si se llevaba la infección al vivero, las plántulas bajo estrés de humedad sucumbieron a la enfermedad de los almácigos (Quiniones, 1987). *Botryodiplodia theobromae*, que ocasiona podredumbre negra seca en la caoba (*Swietenia macrophylla*) y provocó un 92% de detriero en las semillas, en Tailandia (Chalermpongse *et al.*, 1984), no afectando la germinación pero, después de sembrarse en el vivero, la podredumbre se desarrolló durante el período de endurecimiento de las plántulas (Quiniones, 1987).

La estratificación, también conocida como pre-enfriamiento frío-húmedo de semillas, es utilizada comúnmente para romper la latencia en semillas, y para obtener una germinación vigorosa, rápida, máxima y uniforme para pruebas de laboratorio y siembra en invernaderos y viveros (Wang, 1986). Esta es una práctica común para la mayoría de las semillas de coníferas y varias latifoliadas. Sutherland (1979) informó sobre la propagación de *Caloscypha fulgens* en semillas de varias especies de coníferas a temperaturas bajas (3 a 5°C) de estratificación. El hongo momifica las semillas, resultando en una pobre germinación. Mittal *et al.* (1987) observaron el desarrollo y la propagación del hongo en semillas de *Pinus strobus* durante estratificación. Generalmente, este hongo no disminuyó la germinación de la semilla pero enfermaron las plántulas germinadas.

### DESCOMPOSICIÓN Y PÉRDIDA DE VIABILIDAD DURANTE EL ALMACENAMIENTO

Grandes cantidades de semillas de alta calidad se necesitan anualmente para la regeneración artificial.

En vista de la falta de uniformidad y predictabilidad de cultivos de conos y semillas, cantidades grandes de semillas se recolectan en años semilleros y se almacenan para usarlas en años intermedios para asegurar un abastecimiento continuo de semillas para la producción anual de planta y siembra directa. La capacidad de almacenamiento de las semillas depende de la temperatura, tiempo, humedad relativa y método de almacenamiento, así como del contenido de humedad de, y el inóculo inicial de hongos en, las semillas que se van a almacenar. El almacenamiento inadecuado de conos, como fue reportado por Shea (1960) provocó el calentamiento de conos como resultado de actividad biológica y éstos sufrieron más daño ocasionado por hongos. El 60% de las semillas de *Pinus sylvestris* almacenadas en sacos; 30% almacenadas en cajas, recipientes y cilindros de lata; y solo el 10% de las semillas almacenadas en recipientes cerrados herméticamente fueron infectados por diversos hongos (Prisyazhnyuk, 1960).

Bellotas de *Quercus* perdieron hasta 70% de su capacidad de germinación durante almacenamiento debido a infecciones por hongos (Potlaichuk, 1953). Aquenios de *Platanus occidentalis* almacenados a 2°C no mostraron pérdida de germinabilidad aún después de 7 meses a 20 y 30°C; sin embargo, la germinabilidad disminuyó y la mayoría de los hongos en los aquenios aumentaron con incrementos en la temperatura, humedad relativa y tiempo de almacenamiento (Fakir *et al.*, 1971).

En coníferas, Lavender (1958) no encontró pérdida en la capacidad de germinación de semillas de *Pseudotsuga menziesii* almacenadas en conos hasta por 4 meses a temperaturas de otoño normales en un almacén sin calefacción. Bloomberg (1969) informó que semillas en conos de *P. menziesii* almacenadas por 225 días bajo condiciones operacionales estaban libres de enfermedades pero, durante pruebas de germinación después de su extracción, hasta el 56% de ellas se enfermaron. Rediske y Shea (1965) observaron una disminución significativa en la viabilidad de la misma semilla cuando se recolectaron conos frescos con alto contenido de humedad (60%), poniéndose en sacos y se almacenaron en recipientes al exterior en el otoño. Sin embargo, la viabilidad total de estas semillas pudo retenerse por 3 años cuando se almacenaron en conos cerrados a 0°F (Barton, 1954). Cuando las mismas semillas se almacenaron en bolsas de fibras naturales, se redujo un tanto la germinación dentro de 6 meses, y fuertemente reducida después de 12 meses de almacenamiento. Gordon (1967) recomendó la refrigeración de semillas extraídas de *Pseudotsuga menziesii* inmediatamente después que se sacan del cono,

para impedir más actividad de hongos dentro de la semilla. Sin embargo, Rediske y Shea (1965) apoyaron la observación de Schubert (1960) sobre semillas de *Pinus monticola*: que los hongos permanecían activos en semillas de pino a temperaturas por debajo del punto de congelación.

Ha habido sugerencias para almacenar semillas de árboles a temperaturas debajo del punto de congelamiento para mantener su germinabilidad (Willan, 1985). La crioconservación del germoplasma de semillas a, o cerca de, la temperatura de nitrógeno líquido tiene el potencial para reducir el deterioro de las semillas a un nivel tan bajo que esencialmente, se puede lograr una conservación perpetua (Stanwood, 1985). Sin embargo, basándose en las inoculaciones artificiales de *Fusarium sporotrichioides* y *Mucor hiemalis* en semillas de *Pinus strobus* remojadas en agua, antes de almacenarlas a -18, -80, -145 y -197°C por 35 días, Mittal y Wang (1989) dedujeron que almacenar las semillas de árboles a temperaturas ultra bajas no eliminará la contaminación de hongos patógenos.

## ENFERMEDADES DE LAS PLÁNTULAS

### ENFERMEDAD DE LOS ALMÁCIGOS (Dampig-Off)

La enfermedad del almácigo antes y después de la emergencia provocado por diversos hongos son las enfermedades más peligrosas que afectan a especies de coníferas y latifoliadas. Quiniones (1987) reportó el establecimiento de *Fusarium solani*, un habitante del suelo, en las semillas de *Leucaena* y *Agathis* que causó enfermedad de los almácigos después de la emergencia en el vivero y en las plántulas sembradas.

### TIZÓN DE LAS PLÁNTULAS

El tizón de *Sirococcus* provocado por el hongo *Sirococcus strobilinus* transmitido por la semilla, es una enfermedad importante de las plántulas de varias especies de abetos y pinos, y de *Pseudotsuga menziesii* por toda la Zona Templada del Norte (Sutherland, 1985). En este caso, el agente patógeno atacó plántulas muy jóvenes, matando las agujas primarias desde la base hacia arriba. Las plántulas muertas permanecieron derechas y usualmente se formaron picnidios pequeños y negros en la base de las agujas infectadas. Las plántulas enfermas ocurrieron usualmente al azar, una característica de enfermedades transmitidas por la semilla.

## MARCHITEZ DE LAS PLÁNTULAS

Otra enfermedad importante transmitida por semillas es la marchitez por traqueomicosis de las plantas (Urosevic, 1964). Este síntoma puede ser aclarado como una reacción del huésped a la irritación por el parásito donde se producen el bloqueo típico de la tráquea por talos y una sustancia parda amarillenta, parecida a caucho que llena las células parenquimatosas adyacentes.

## OTRAS

En algunas ocasiones se ha observado una altura reducida de las plántulas y síntomas de las hojas (lesiones cloróticas y necróticas y malformaciones en las hojas) en plántulas cultivadas de semillas inoculadas con hongos de *Acer saccharum* (Janerette, 1979), *Picea glauca* y *Pinus strobus* (Mittal y Wang, 1986, 1993).

## PRUEBAS DE HONGOS TRANSMITIDOS POR LA SEMILLA

Las pruebas de los hongos transmitidos por la semilla incluyen aislamiento y estudio de hongos durante la recolección y el procesamiento de conos, extracción de la semilla, procesamiento, almacenamiento, germinación y crecimiento de las plántulas. A diferencia de los cultivos agrícolas, los métodos de prueba de salud de la mayoría de semillas de árboles forestales no han sido estandarizados, y las pruebas se hacen usualmente utilizando procedimientos normales con papel secante húmedo, y platos de agar. Singh y Mathur (1993) han elaborado métodos de pruebas de salud de semillas incluyendo observación directa, prueba de lavado y métodos de incubación (papel secante y platos de agar) para semillas, y prueba de síntomas de plántulas y prueba de crecimiento de hongos en plántulas. Algunos métodos especiales como el plato de dilución, técnica de ultrasonido, patrones de isozima, excisión de tejido de semilla, seccionar la semilla, radiografía y técnica de ELISA también se han discutido. Usualmente se siguen las recomendaciones de ISTA para pruebas de germinación, que están más claramente disponibles para semillas de cultivos agrícolas, como práctica normal. El tamaño de la semilla y, a veces, la inaccesibilidad de semillas de árboles en grandes cantidades, dificultan el uso de grandes números de semillas para pruebas. Por lo tanto, es importante averiguar cuántas semillas de una especie de árbol deben ponerse a prueba y cuántas repeticiones.

Por muchos años ha sido difícil conseguir germinación precisa y máxima de todas las semillas

viables o lograr el valor de siembra verdadero de semillas de árboles forestales. Por ejemplo, la naturaleza latente de las semillas de *Abies balsamea*, *A. fraseri* y otras especies de *Abies*, que requieren un tratamiento de pre-enfriamiento húmedo de 21 a 28 días o más a una temperatura de 3 a 5°C, junto con la contaminación y crecimiento de hongos durante el periodo de prueba de 2 meses, han sido responsables de resultados de germinación a veces erróneos, irregulares o negativos. Otro problema que se encuentra por lo general en pruebas con semillas implica el pretratamiento de éstas. Con este propósito, Wall (1974) y algunos otros utilizaron una solución de cloruro mercúrico de 0.1% por 2 minutos, siguiendo las recomendaciones de ISTA para pruebas de salud de semillas de cultivos agrícolas. Wall (1974) también utilizó una solución de hipoclorito de sodio de 0.5% por 2 a 3 minutos para la esterilización de la superficie de plántulas de pino rojo enfermas. Mittal (1995) recomendó un tratamiento con una solución de hipoclorito de sodio de 2% por 10 minutos para semillas de *Picea glauca* y *Pinus strobus* para sembrar en invernaderos y para pruebas de laboratorio. Así, existían diferentes opiniones sobre el tipo y la duración del tratamiento que las semillas deberían recibir antes de las pruebas.

Para hacer pruebas de patogenicidad por medio de inoculación artificial de semillas con algunos hongos transmitidos por éstas, se han empleado varios métodos de inoculación de semillas. Varios trabajadores han intentado revolver las semillas en cultivos frescos de hongos, mientras que otros utilizaron suspensiones de esporas. En varias plataformas, existió una controversia sobre el método de inoculación y el ambiente de las pruebas, que necesitan ser uniformados para distintos tipos de semillas.

La reducción en la germinación bajo condiciones de infección artificial no corresponde exactamente con la reducción en la germinación que ocurre bajo condiciones de infección natural. Bajo condiciones naturales, los diversos microorganismos interactúan en las semillas y con los microorganismos presentes en el suelo o en los medios de cultivo. Tal interacción es con frecuencia hasta antagónica, lo cual afecta la capacidad de microorganismos individuales de desarrollar rápidamente y de infectar las semillas. Con frecuencia, en estudios de inoculación artificial, se proporcionan las condiciones para facilitar el crecimiento microbiano. Esto indica una necesidad de hacer pruebas de patogenicidad de diversos hongos en suelos naturales o medios de cultivo bajo condiciones de invernadero o de campo (Mittal y Wang, 1990).

## FACTORES QUE AFECTAN EL DESARROLLO Y LA PROPAGACIÓN DE HONGOS TRANSMITIDOS POR LA SEMILLA

### FACTORES ABIÓTICOS

#### RECOLECCIÓN, EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO

El tiempo, lugar y método de recolectar conos o semillas y su subsecuente manejo durante el transporte, extracción y procesamiento, afectan el desarrollo y la propagación de la microflora en las semillas de árboles. Generalmente, se supone que conos y semillas adquieren diversos hongos, incluyendo mohos, mientras que permanecen en los árboles. Los conos de *Pinus pinea* contenían semillas descoloridas, quebradizas en algunas de las cuales el grano estaba todavía sano pero en otras estaba ennegrecido y totalmente destruido por el crecimiento micelial grisáceo de *Alternaria alternata* (Sibilia, 1927). De manera similar, el agente patógeno *Coniothyrium* sp., se estableció dentro y sobre la semilla de *Betula aleghanensis* antes de que ésta cayera al suelo (Shigo y Yelenosky, 1963). Sin embargo, Salisbury (1955) y Prisyazhnyuk (1960) reportaron que la mayoría de las semillas individuales de los conos de coníferas, fuertemente cerrados, estaban completamente libres de mohos. Las semillas deben extraerse de los conos inmediatamente después de la cosecha para minimizar la infección de las semillas por la población microbiana ya presente en los conos.

Cuanto más tarde fueron recolectadas de los campos las bellotas de roble, más infectadas estaban con hongos (Potlaichuk, 1953). Se encontró que *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria* y *Trichothecium roseum* eran los hongos más comunes durante el desarrollo de las bellotas. El desarrollo de *Cladosporium herbarum*, que se encontró con frecuencia en las bellotas en la primera y en la última muestra durante su desarrollo, dependía de la cantidad de precipitación; la ocurrencia más alta fue durante el período de mucha precipitación. El desalado de las semillas puede conducir a una reducción considerable en germinación, presuntamente por el daño a la testa y la subsecuente invasión fungosa (Gordon, 1967; Harding, 1952; Huss, 1956; James y Genz, 1981). Mientras estudiaban los hongos asociados con las semillas de *Picea glauca* y *Pinus strobus* durante el procesamiento de conos y extracción de semillas, Mittal y Wang (1987) observaron que la contaminación ocurrió y se propagó durante los

procesos de secado al aire y extracción de semillas, y que ocurrieron considerablemente más hongos en ambos tipos de semillas después que se dejaron en el suelo del bosque por 15 días. Mojtahedi *et al.* (1978) encontraron que el agua para el lavado fue una fuente de contaminación fungosa cuando fueron analizadas nueces frescas y completas de pistache para *Aspergillus flavus* y aflatoxina antes y después de un tratamiento de lavado comercial.

#### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

El contenido de humedad de las semillas, el inóculo fungoso inicial en las semillas y el método de almacenamiento afectan la propagación de hongos en las semillas durante el almacenamiento. La viabilidad completa de semillas extraídas de Abeto Douglas (Douglas fir) se mantuvo por 3 años cuando se almacenaron en latas selladas a 0°F. Sin embargo, cuando se almacenaron en bolsas de fibras naturales, la germinación se redujo un poco dentro de 6 meses y se redujo seriamente después de 12 meses (Barton, 1954). Rediske y Shea (1965) observaron una reducción significativa en la viabilidad de las semillas de Abeto Douglas cuando los conos recién recolectados con un alto contenido de humedad (60%) fueron empacados o almacenados en recipientes al exterior en el otoño. Un secado suave o refrigeración inmediatos mantuvo su viabilidad.

Mientras que las semillas ortodoxas, que pueden tolerar un contenido de humedad bajo y temperaturas de almacenamiento bajas y, por lo tanto, pueden ser almacenadas con éxito con frecuencia por períodos más largos, las semillas de árboles recalcitrantes son rápidamente perecederas. Su alto contenido de humedad y el almacenamiento con frecuencia a temperatura ambiente o relativamente más altas ayudan a establecer varios hongos de almacenamiento. Se piensa que el deterioro rápido de semillas recalcitrantes por estos hongos de almacenamiento se debe al debilitamiento de semillas causado por el estrés de humedad interno generado dentro de las células o tejidos, principalmente como resultado del proceso de vacuolización, el cual requiere agua (Berjak, 1996). Este debilitamiento perjudica la síntesis de fitoalexina por las semillas, facilitando la proliferación de hongos o bacterias asociados. La prevención de actividad de hongos durante el almacenamiento puede lograrse más fácilmente controlando el contenido de humedad de las semillas que controlando la temperatura de almacenamiento porque la actividad de hongos es posible entre -8°C y +80°C cuando el contenido de humedad de la semilla y la humedad relativa de almacenamiento son suficientemente altos (Roberts, 1972b). Por lo tanto, es importante encontrar el

contenido de humedad óptimo y la temperatura de almacenamiento necesaria para las especies individuales de árboles forestales.

## ESTRATIFICACIÓN

La muerte de semillas viables de algunas especies de coníferas ha sido particularmente seria durante el tratamiento de pre-enfriamiento largo y frío a temperaturas de 3 a 5°C (Sutherland, 1979). Mittal *et al.* (1987) estudiaron el desarrollo y la propagación de hongos en semillas de *Pinus strobus* durante la estratificación, aunque aquéllos no disminuían usualmente la germinación de semillas en subsiguientes pruebas. Las semillas pre-enfriadas germinaron vigorosa y rápidamente y, por lo tanto, probablemente evitaron los daños, corroborando la opinión de Gibson (1957). Sin embargo, algunas semillas no emergieron completamente de la testa y otras fueron dañadas por podredumbre de la punta provocada por *Alternaria alternata*, *Fusarium oxysporum* y *Penicillium variable* en el laboratorio, posiblemente debido al alto contenido de humedad de las semillas pre-enfriadas y la alta temperatura ambiental: los dos factores importantes que contribuyen al desarrollo, propagación e infección fungosa (Mittal y Wang, 1986). Esto indica la necesidad de un tratamiento con algún agente limpiador de superficie o esterilizador antes de estratificar las semillas, especialmente aquellas altamente latentes.

## PRÁCTICAS CULTURALES

Las semillas con las superficies esterilizadas con la testa perforada sembradas en suelo normal húmedo no germinaron en absoluto, presuntamente, debido a la invasión de saprófitos del suelo (Gibson, 1957). Parece posible que la destrucción de las semillas fue facilitada por la proximidad de una fuente relativamente grande de alimentación, las reservas de la semilla adyacente al pequeño volumen de tejido vivo.

Las semillas de abeto Sitka incubadas a 10°C fueron muy susceptibles a ataque por hongos dado que permanecieron latentes mientras que el agente patógeno crecía a casi su tasa máxima (Salt, 1967). Las pérdidas en los viveros no están necesariamente relacionadas al tiempo que demoran las plántulas en emerger, pero probablemente son mayores en lugares donde las fluctuaciones de temperatura mayores de 10°C son usualmente menos frecuentes. Se espera que las pérdidas aumenten con fechas de siembra más tempranas. Siembra en el otoño es más incierta porque en suelo tibio, las semillas germinan pronto y evitan el daño, mientras que en suelo frío

éstas no germinan sino hasta la siguiente primavera, y sufren una pérdida máxima.

La mayoría de los sustratos mezclados para coníferas en contenedores incluyen vermiculita o perlita incorporadas con turba del género *Sphagnum*. Este tipo de mezcla usualmente está bien drenada y es acídica, los dos factores que ayudan a disminuir las enfermedades (James, 1985). Los principales grupos de patógenos asociados con enfermedades de vivero son especies de *Fusarium* y mohos acuáticos, como *Pythium* y *Phytophthora*. Aunque los mohos acuáticos pueden ser transmitidos por la semilla, con más frecuencia son introducidos en los contenedores de los viveros a través del agua de río contaminada. Estos hongos causan enfermedades en plántulas muy jóvenes, y son favorecidos por mezclas de suelo no bien drenadas y por condiciones de humedad prolongada en el invernadero.

## FACTORES BIÓTICOS

La colonización de hongos de semillas de coníferas es facilitada por insectos como chinches de la semilla y por daños ocasionados por ardillas a las semillas (James, 1985; Rowan y De Barr, 1974; Sutherland, 1979). Durante la determinación de la interacción insecto-hongo durante la infección de bellotas de roble, Urosevic (1959) reportó que en el momento de la oviposición, diversos hongos fueron introducidos por insectos dentro de las bellotas. Estos hongos penetraron luego en los tejidos de las bellotas maduras. Así pues, la muerte de las bellotas fue ocasionada no solamente por el daño causado por la larva del gorgojo, sino también por los hongos que acompañaban al gorgojo. La penetración de la bellota por micelio de hongos acarrea efectos negativos más rápidamente y más perjudiciales que aquéllos ocasionados por la alimentación de la larva durante su maduración. Las bellotas afectadas así pueden representar un foco peligroso de infección durante el almacenamiento inicial y el almacenamiento a largo plazo de las bellotas.

## MANEJO DE AGENTES PATÓGENOS DE LA SEMILLA

### RECOLECCIÓN, PROCESAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE SEMILLAS

La recolección de semillas de áreas o huertos sanos y libres de enfermedades; de árboles, conos o bellotas sanos en el momento adecuado; recolección del árbol y no del suelo o de escondites de ardillas, etc.; el transporte de conos o semillas en recipientes

o bolsas bien aireados, limpios y secos; el evitar el daño a las semillas durante la extracción y su procesamiento; y el uso de condiciones óptimas de extracción y almacenamiento de semillas, todo esto necesita ser estudiado para diferentes especies de árboles forestales, para prevenir infecciones por hongos en las semillas.

## TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE

Aunque a veces se ha informado sobre efectos adversos en la germinación de semillas, el tratamiento de semillas con esterilizantes para reducir o eliminar la contaminación fungosa se ha considerado necesario para la producción de plántulas sanas en varios viveros. Para esterilizar semillas de coníferas con una estimulación o retraso mínimo para ellas, se ha recomendado la inmersión de las semillas en detergente comercial seguida de un tratamiento con agua oxigenada de 30% (Gordon, 1967). El tratamiento con agua oxigenada (30% por 45 minutos) mejoró la germinación total de 47 a 80% y de 25 a 61% en las 2 semillas de baja calidad y no estratificadas de *Pinus taeda* (Mason y Van Arsdel, 1978). Se encontró que el tratamiento con agua a 57°C por 10 minutos fue bastante eficaz en eliminar grandes cantidades de hongos transmitidos por la semilla de *Pinus roxburghii* y *P. wallichiana* (Munjal y Sharma, 1976). Delatour *et al.* (1980) también sugirieron un tratamiento remojando en agua caliente (44°C por 8 horas) para matar a *Ciboria batschiana* en bellotas de *Quercus*.

## CONTROL QUÍMICO

Cubrir las semillas con un repelente contra aves y pequeños roedores, y un fungicida contra la enfermedad de los almácigos (Damping-Off) ha sido una práctica común en viveros de árboles forestales en muchos lugares. Aunque se ha acumulado mucha literatura sobre el control de hongos en las semillas con tratamiento químico, la mayoría de los estudios se hicieron con coníferas. Se ha encontrado que el tratamiento con ácido sulfúrico de semillas de *Araucaria excelsa*, que se ha indicado contra *Cryptospora longispora* por la reglamentación de cuarentena fue eficaz en erradicar los hongos transmitidos por la semilla pero el ácido fue perjudicial para la germinación de ésta (Khan *et al.*, 1965). Polvo de PCNB de 70 a 75% aplicado a la semilla de balsamina, abetos Fraser y abetos grandes dio un control excelente (100%) de *Rhizoctonia solani* sin ningún daño a las plántulas germinadas. Mittal y Sharma (1981), basándose en sus observaciones de diversas especies de árboles (*Cedrus deodara*, *Eucalyptus citriodora*, *E. hybrid*, *Pinus roxburghii*, *P. wallichiana* y *Shorea robusta*), indicaron que Brassicol, Bavistin SD y Dithane M-45,

como preparativos de semillas, se podrían utilizar para controlar eficazmente la mayoría de los hongos transmitidos por semillas de estas especies de árboles. Para controlar un hongo común, *Aspergillus niger*, en las semillas de *Shorea robusta*, el tratamiento de la semilla con Bavistin SD o Brassicol fue más eficaz (Mittal y Sharma, 1982).

Se ha logrado con éxito el control eficaz de varios hongos, como *Botryodiplodia theobromae*, *Colletotrichum gloeosporoides*, *Fusarium* spp., *Macrophomina phaseolina*, *Pestalotia* sp., *Phoma* sp. y *Phomopsis* sp., en las semillas de *Acacia auriculiformis*, *Albizia* spp., *Gmelina arborea*, *Leucaena leucocephala*, diversas especies *Pinus*, *Pithecelobium dulce*, *Pterocarpus indicus*, *Cedrella odorata* y *Grevillea robusta*, se ha obtenido de manera exitosa mediante el uso combinado de Benlate (0.15%) y Dithane M-45 (0.15%) (Cortiguerra, 1985; Pacho, 1985).

También se ha encontrado que los tratamientos de semillas con aceite, talco y tinte son benéficos pero mucho menos que el tratamiento con Thiram (un fungicida) para el abeto Sitka (*Picea sitchensis*) (Salt, 1967).

Puesto que también se han indicado los efectos perjudiciales de tratamientos químicos de semillas en la germinación de semillas y en la calidad de plántulas (James, 1983), es conveniente que se prueben concentraciones más bajas, que no deberían ser fitotóxicas. Kozlowski (1986) reportó que Captán a concentraciones de hasta 2500 ppm no afectaba la germinación de semillas de *Pinus resinosa*; sin embargo, concentraciones de 500 ppm o mayores dañaban las raíces, tallos y cotiledones dentro de 13 días. El daño a la raíz consistía en el colapso de las células de los pelos radicales, células epidérmicas y células corticales, y el daño al cotiledón incluía el colapso de células epidérmicas y del mesófilo. Cram y Vaartaja (1956) y Vaartaja (1964) hicieron observaciones similares anteriormente.

## LEGISLACIÓN

Es necesario un cumplimiento enérgico de las normas sobre semillas, como las Leyes de Semillas y los Programas de Certificación de Semillas para la evaluación de la calidad y manejo, así como los estándares para recolección, extracción, almacenamiento y movimiento de semillas para evitar problemas con éstas.

## CONCLUSIÓN

Existe un incremento en la conciencia mundial de que a menos que intensifiquemos nuestros esfuerzos de conservación de genes, reforestación y manejo de bosques intensivo, habrá una seria reducción de los bosques del mundo. Aunque se reconoce la reforestación como una actividad esencial, el abastecimiento adecuado de semillas de alta calidad y de alto potencial genético es con frecuencia un factor restrictivo en varios países. Esto enfatiza la necesidad de contar con una producción organizada e investigación, de semillas para solucionar muchos problemas relacionados con la reforestación.

Se han estudiado muchos hongos en semillas de árboles; éstos varían en distintas especies huéspedes, en distintas regiones y en distintos años. Hasta los efectos perjudiciales a las semillas durante la germinación y su almacenamiento, y a las plántulas en viveros varían en distintas especies huéspedes y ambientes. Con el ambiente favorable en los trópicos, es decir, altas temperaturas atmosféricas junto con una alta humedad, el daño a las semillas y a las plántulas es mayor allí. Factores bióticos como daños causados por ardillas y chinches de la semilla, y factores abióticos como el tiempo y el método de recolección, envío, extracción, procesamiento, pruebas y almacenamiento de semillas, todos afectan la ocurrencia de hongos en semillas. La mejora en estas prácticas, el uso de esterilizantes de superficies y/o fungicidas, y seguir normatividades como la cuarentena ayudarán en el manejo a nivel mundial de semillas.

## PARTE II. PRÁCTICA

**A**ustralia es el origen de un recurso único y amplio de especies de árboles y arbustos, que han comprobado ser de gran valor para el establecimiento de plantaciones en muchas partes del mundo. Ejemplos incluyen aproximadamente 5 millones de hectáreas de plantaciones de eucalipto de rápido crecimiento en Brasil; el recurso de *Acacia mangium*, al menos 1 millón de hectáreas, establecido recientemente en Indonesia; *Acacia saligna*, plantado de manera extensiva en el norte de África y el Medio Oriente como un árbol de forraje; *Acacia coleii*, plantados alrededor de aldeas en Nigeria en condiciones semiáridas para proporcionar semillas comestibles para complementar dietas deficientes (Harwood, 1994), y las plantaciones extensivas de *Casuarina equisetifolia* en bordes de playas arenosas del sur de China y Vietnam para protección contra tifones y una gama amplia de beneficios maderables y no maderables (Nguyen, 1996).

Aunque los árboles nativos de Australia, especialmente eucaliptos, se han cultivado como especies exóticas por más de un siglo, el área de plantaciones se ha expandido rápidamente durante los últimos 30 años. Esta expansión ha sido impulsada por el desarrollo de pulpa de madera dura como un producto internacional principal para satisfacer la creciente demanda de papel, y la adopción difundida de árboles australianos para silvicultura comunitaria en Asia y en partes de África. Habiéndose desarrollado en un continente caracterizado por climas extremos y suelos poco fértiles, los árboles nativos de Australia han demostrado estar bien adaptados para cultivo como árboles de usos múltiples en suelos degradados y proporcionan una amplia gama de productos incluyendo madera, postes, combustible y aceites.

El Centro Australiano de Semillas de Árboles (CASA), el cual es parte de Silvicultura y Productos Forestales (CSIRO), ha operado por 35 años como un banco nacional de semillas, proporcionando semillas a investigadores en Australia y en más de 100 países. La semilla se origina en bosques naturales pero durante la última década el CASA ha estado complementando estas colecciones con semillas de huertos semilleros. Se han establecido huertos semilleros en climas tropicales y templados de Australia, así como en otros países en el sur y en el sureste de Asia y Oceanía, en colaboración con una amplia gama de agencias.

En 1987 el CASA inició investigaciones para estudiar la presencia de hongos patógenos en semillas

almacenadas. Aunque las semillas enviadas al extranjero por el CASA son tratadas habitualmente para satisfacer los requisitos fitosanitarios del país receptor, había poca información sobre la patología de semillas de los tres géneros nativos australianos más importantes cultivados en plantaciones, de manera doméstica y en el extranjero, específicamente *Eucalyptus*, *Acacia* y *Casuarina*.

Esta contribución al capítulo sobre patología de semillas analiza la literatura mundial sobre éste tema de aquellos eucaliptos, acacias y casuarinas que se cultivan en escala significativa como especies para plantaciones en los trópicos, y realiza algunos temas relacionados con cuarentena y el movimiento internacional de agentes patógenos.

### HONGOS DE ALMACENAMIENTO Y AGENTES PATÓGENOS TRANSMITIDOS POR LAS SEMILLAS

La mayoría de las semillas llevan esporas de diversos hongos, en la superficie o dentro de los tejidos, y se han reportado la existencia de cantidades como 150,000 esporas por semilla de árbol (Anderson, 1986). Algunos hongos transmitidos por semillas pueden ocasionar la muerte de éstas así como de plántulas mientras que otros hongos, por ejemplo especies de *Aspergillus*, *Penicillium*, *Chaetomium*, *Rhizopus* y *Trichoderma*, que son los géneros aislados con más frecuencia de muestras de semillas de una gama amplia de especies (Mohan and Sharma, 1991; Yuan *et al.*, 1990), que son saprófitos. Si se almacenan inadecuadamente, el crecimiento de hongos saprofitos en semillas puede reducir drásticamente la viabilidad, pero con pocas excepciones, como por ejemplo *Aspergillus niger* (Yuan *et al.*, 1997), raramente están implicados en provocar la muerte de plántulas.

Gran parte de la literatura sobre hongos transmitidos por la semilla de estos tres géneros de árboles, consiste en listas de especies de hongos con poca información sobre su estado patogénico. Hay relativamente pocos informes en la literatura donde el aislamiento de agentes patógenos putativos de la semilla de eucaliptos, acacias y casuarinas, han sido complementados con pruebas de inoculación para establecer su patogenicidad. Algunos ejemplos donde esto se ha llevado a cabo incluyen Bhawani y Jamaluddin (1995) quienes hicieron pruebas de la patogenicidad de *Curvularia lunata* a *Acacia nilotica*; Harsh *et al.* (1992) quienes encontraron que un *Verticillium* sp. presente en muestras de semillas

causaba la enfermedad de los almácigos (Damping-Off); post-emergencia en plántulas; Saxena (1985) que investigó la mortandad de plántulas de *Eucalyptus* sp.; y Yuan *et al.* (1990) que aislaron 25 géneros de hongos representando por lo menos 38 especies de lotes de semillas de *Acacia* spp., *Casuarina* spp. y *Eucalyptus* spp., y examinaron la patogenicidad de 14 especies de hongos inoculando *Acacia auriculiformis*, *Casuarina cunninghamiana* y *Eucalyptus camaldulensis*. Un estudio similar se llevó a cabo de manera subsecuente en 10 lotes de semillas de *E. pellita*, una especie de árbol de creciente importancia para plantaciones en los trópicos húmedos (Yuan *et al.*, 1997).

### MICROFLORA DE LA SEMILLA DE EUCALIPTO Y AGENTES PATÓGENOS TRANSMITIDOS POR LA SEMILLA

Listas de hongos aislados de muestras de semillas de eucalipto con frecuencia se incluyen con registros de una gama de otras especies de árboles tropicales (Cuadro 1). Los ejemplos incluyen Mohanan y Sharma (1991), quienes también resaltaron temas de recolección, procesamiento, almacenamiento de semillas, pruebas de calidad, su tratamiento y certificación, e indicaron dónde se necesitaban mejoras; Agmata (1979), quien proporcionó la primera lista de hongos transmitidos por semillas de árboles en las Filipinas; Mittal *et al.* (1990), quienes recopilaban una lista mundial de verificación de microorganismos asociados con semillas de árboles; y Richardson (1983) quien proporcionó una lista de enfermedades transmitidas por la semilla. Sharma y Mohanan (1980), Tiwari y Sharma (1981) y Reddy *et al.* (1982) proporcionaron listas de micoflora de semillas sólo para *Eucalyptus* spp.

Varios autores han demostrado la patogénesis de hongos transmitidos por la semilla, ya sea por aislamiento de agentes patógenos putativos provenientes tanto de semillas como de plántulas marchitas, o por estudios de inoculación. Mittal (1986) y Mittal y Sharma (1982) estudiaron la micoflora de un híbrido de *Eucalyptus* (predominantemente *E. tereticornis*) y *E. citriodora* (sinonimia de *Corymbia citriodora*) y también las maneras de controlar especies patogénicas de hongos. Saxena (1985) detectó 30 especies de hongos en la semilla de *E. grandis* y relacionó la mortandad de las plántulas a la micoflora de la semilla, y Michail *et al.* (1986) informaron sobre la enfermedad de los almácigos (Damping-Off) de post-emergencia de *Eucalyptus* spp. causada por fusarium y su control. Cuatro especies patogénicas

potenciales, *Aspergillus niger*, *Fusarium* sp., *Penicillium canadense* y *Rhizopus oryzae*, se encontraron en las semillas de *Eucalyptus citriodora* (Mittal y Sharma, 1982). Drake (1974) encontró que una especie de *Ramularia* infectó las cápsulas cerradas de *E. crebra* y *E. melanophloia* mientras que todavía estaban en el árbol, y causó hasta 50% de esterilidad.

Yuan *et al.* (1990) inocularon la semilla de *E. camaldulensis* con 14 agentes patógenos putativos aislados de la semilla, registrando la emergencia de plántulas comparada con los controles. Todos los hongos excepto *Botrytis cinerea* y *Cytospora* sp., redujeron la emergencia, con *Fusarium*, *Curvularia* y *Pestalotiopsis* spp. siendo estos los más patogénicos. En un estudio más reciente con *Eucalyptus pellita* (Yuan *et al.*, 1997), *Aspergillus niger*, *Dreschlera australiensis*, *Harknessia fumaginea* y *Pestalotiopsis disseminata*, todos redujeron la germinación y/o provocaron mortandad de las plántulas post-emergencia comparada con los controles. *Coniella australiensis*, un agente patógeno difundido de hojas de eucaliptos, también fue aislado de la semilla por primera vez. Se indicó que estos hongos pueden haberse originado del desperdicio de hojas dentro de las muestras y que tal tejido ofrece un posible medio para la propagación de agentes patógenos foliares y del tallo con semilla.

### RIESGOS DE LA PROPAGACIÓN DE AGENTES PATÓGENOS CON GERMOPLASMA DE EUCALIPTO

En una publicación que traza las pautas técnicas para el movimiento seguro de germoplasma de *Eucalyptus* (Ciesla *et al.*, 1996), fueron enumerados 32 hongos patogénicos como hongos asociados con la semilla de eucalipto. Una lista revisada se da en el Cuadro 1. Todos estos hongos son generalmente considerados como distribuidos ampliamente desde el punto de vista geográfico, y la presencia de tales agentes patógenos en lotes de semillas representa poco en cuanto a riesgo de cuarentena. Agentes patógenos foliares, como *Mycosphaerella* spp., *Kirramyces* spp. y *Aulographina* sp. (que son agentes patógenos especializados encontrados en muchas partes del mundo donde se cultiva el eucalipto) estaban ya sea ausentes de los lotes de semillas o no fueron detectados. Se puede suponer razonablemente que estos agentes patógenos se han originado en Australia y que se han propagado internacionalmente con semillas o material vegetativo, quizás hace muchas décadas.

Cuadro 1. Hongos patógenos asociados con Semillas Tropicales de Eucalipto

Hongo	Huésped	País	Referencia(s)
<i>Botrydiplodia</i> sp.	<i>Eucalyptus grandis</i>	Uruguay	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>Botrytis cinerea</i>	<i>E. grandis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
<i>Colletotrichum</i> sp.	<i>E. citriodora</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
<i>Coniella australiensis</i>	<i>E. pellita</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>Curvularia eragrostidis</i>	<i>E. alba</i>	Tailandia	Pongpanich, 1990
	<i>E. pellita</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>C. fallax</i>	<i>E. pellita</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>C. geniculata</i>	<i>E. tereticornis</i>	India	Reddy <i>et al.</i> , 1982
<i>C. inequalis</i>	<i>E. citriodora</i>	India	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>C. lunata</i>	<i>E. camaldulensis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1990
	<i>E. grandis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1990
	<i>E. tereticornis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1990
	<i>E. globulus</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. grandis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. tereticornis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. camaldulensis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
	<i>E. grandis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
	<i>E. pellita</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>C. pallescens</i>	<i>E. alba</i>	Tailandia	Pongpanich, 1990
	<i>E. camaldulensis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1990
	<i>E. robusta</i>	Tailandia	Pongpanich, 1990
	<i>E. globulus</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. grandis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
<i>C. pubescens</i>	<i>E. citriodora</i>	India	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>C. senegalensis</i>	<i>E. camaldulensis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
	<i>E. nitens</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
	<i>E. pellita</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>C. verruculosa</i>	<i>E. grandis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
<i>Cylindrocladium clavatum</i>	<i>E. tereticornis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
<i>Drechslera australiensis</i>	<i>E. grandis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. tereticornis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. pellita</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>D. halodes</i>	<i>E. saligna</i>	India	Reddy <i>et al.</i> , 1982
	<i>E. tereticornis</i>	India	Reddy <i>et al.</i> , 1982
<i>D. rostrata</i>	<i>E. grandis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. tereticornis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
<i>Fusarium equiseti</i>	<i>E. grandis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. tereticornis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. deglupta</i>	Filipinas	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>F. moniliforme</i>	<i>E. camaldulensis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1990
	<i>E. grandis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. tereticornis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. grandis</i>	Uruguay	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>F. oxysporum</i>	<i>E. deglupta</i>	Tailandia	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>F. poae</i>	<i>E. alba</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
<i>F. semitectum</i>	<i>E. camaldulensis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. camaldulensis</i>	Egipto	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>F. solani</i>	<i>E. citriodora</i>	India	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>Fusarium</i> sp.	<i>E. camaldulensis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
	<i>E. pellita</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>Harknessia fumaginea</i>	<i>E. pellita</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>H. hawaiiensis</i>	<i>E. pellita</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>Macrophomina phaseolina</i>	<i>E. grandis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
	<i>E. tereticornis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1991
<i>Macrophomina</i> sp.	<i>E. camaldulensis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1990
<i>Pestalotiopsis disseminata</i>	<i>E. pellita</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>P. funerea</i>	<i>E. alba</i>	India	Mittal <i>et al.</i> , 1990
	<i>E. grandis</i>	Uruguay	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>P. mangiferae</i>	<i>E. tereticornis</i>	India	Reddy <i>et al.</i> , 1982
<i>P. neglecta</i>	<i>E. pellita</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>Phomopsis</i> sp.	<i>E. citriodora</i>	India	Mohanani <i>et al.</i> , 1991
<i>Ramularia</i> sp.	<i>E. crebra</i>	Australia	Drake, 1974
	<i>E. melanophloia</i>	Australia	Drake, 1974
<i>Verticillium albo-atrum</i>	<i>E. grandis</i>	India	Mohanani <i>et al.</i> , 1991
<i>Verticillium</i> sp.	<i>E. grandis</i>	Uruguay	Mittal <i>et al.</i> , 1990
	<i>E. hybrid</i>	India	Harsh <i>et al.</i> , 1992

Otra posibilidad es que los agentes de hongos patógenos de Myrtaceae, que se cultivan ampliamente como plantas de cultivo, Ej. Guayabo y Clavero; o forman parte de la flora autóctona, Ej. en el sudeste de Asia, Sudamérica y África; pudieran adaptarse como agentes patógenos de eucaliptos y puedan presentar una amenaza al amplio espectro de vegetación nativa si se introduce en Australia. La ocurrencia de roña del guayabo, *Puccinia psidii*, en eucaliptos en el Sur y Centro de América (Ferreira, 1983) ha creado un riesgo particular puesto que el hongo es dañino a las plantaciones de eucalipto. Hay controles estrictos establecidos que rigen la importación de semilla de eucalipto a Australia desde Sudamérica.

### MICROFLORA DE LA SEMILLA DE ACACIA Y AGENTES PATÓGENOS TRANSMITIDOS POR LA SEMILLA

Como se ha indicado anteriormente para eucalipto, registros de la micoflora de semillas de *Acacia* spp. se combinan comúnmente con listas para otras especies de árboles (Dayan, 1986). En un informe reciente sobre encuestas en enfermedades para acacias tropicales, realizado por Old *et al.* (1997b) se hace alguna referencia a enfermedades de plántulas, resaltando aquéllas registradas en Tailandia (Pongpanich, 1997), pero el énfasis del informe está en enfermedades de plantaciones y rodales nativos. Hay muy pocos informes en la literatura de hongos transmitidos por la semilla que causan enfermedades de plántulas de acacia. Bhawani y Jamaluddin (1995) han indicado que *Curvularia lunata* causa necrosis del tallo en plántulas de *A. nilotica*. Este hongo ha sido registrado anteriormente en la semilla de *A. auriculiformis* y recientemente de *A. crassicarpa* y *A. aulacocarpa*. Varios de los agentes patógenos registrados por Mohanan y Sharma (1988) provocan enfermedades en acacias exóticas en la India, y son organismos putativos transmitidos por la semilla. El Cuadro 2 enumera especies de plantas patogénicas indicadas en lotes de semillas de acacias tropicales.

Yuan *et al.* (1990) inocularon *A. auriculiformis* con los mismos 14 hongos transmitidos por la semilla utilizados para inocular semillas de eucalipto, con resultados similares. *Fusarium* spp., *Dreschlera* sp., *Curvularia* spp. y *Pestalotiopsis* spp., causaron el tizón de pre-emergencia más severo de las plántulas inoculadas. Un estudio no publicado sobre la micoflora de semillas de *A. aulacocarpa*, *A. auriculiformis*, *A. crassicarpa* y *A. mangium* por Yuan *et al.* (1997) ha indicado la presencia de *Botryodiplodia* (sinonimia *Lasiodiplodia*) spp., *Curvularia* spp., *Dreschlera* spp., *Fusarium* spp. y *Pestalotiopsis* spp.

Las listas de hongos patógenos en árboles de acacia en rodales nativos y plantaciones en el norte de Australia y en la India presentadas por Old *et al.* (1997a) y Sharma y Maria Florence (1997) incluyen especies de *Pestalotiopsis*, *Phoma*, *Phomopsis*, *Lasiodiplodia* y *Curvularia*, que pueden ser transmitidas por la semilla. Sin embargo, la etiología detallada de las enfermedades de acacias anotadas en ambos informes es en su mayor parte desconocida. Old *et al.* (1997a) dieron una breve relación de un brote grave de enfermedad en *Acacia mangium* en 1992 en el norte de Australia causado por *Cercospora* spp. El patrón de incidencia de la enfermedad indicó que el origen del brote fue en el vivero donde las plántulas se cultivaron, y las plantas que crecieron de semillas importadas de Papua, Nueva Guinea inicialmente mostraron el nivel más alto de la enfermedad. Aunque se presentaron daños severos en varias plantaciones, la enfermedad estaba presente a niveles muy bajos durante el año siguiente y subsecuentemente fue imperceptible. Un análisis detallado de todos los lotes de semilla utilizados en siembras no lograron aislar *Cercospora* sp. (Old *et al.*, 1993). En vista de varios ejemplos bien conocidos de *Cercospora* spp. transmitido por semillas, éste podría haber sido el origen de la enfermedad. Alternativamente, el agente patógeno es nativo y ocurre sin ser descubierto en especies de *Acacia* nativas en la región.

### RIESGOS DE LA PROPAGACIÓN DE AGENTES PATÓGENOS DE ACACIA CON GERMOPLASMA

Al igual que con eucaliptos, las especies indicadas hasta ahora en la semilla de acacias tropicales se consideran ya extensamente distribuidas a lo largo de las regiones donde se cultivan acacias tropicales. También, por lo general son agentes patógenos con un amplio espectro de huéspedes. A diferencia de eucaliptos, las semillas de muchas especies de acacia son relativamente grandes (10 mg a 1g) y la presencia de partes florales conservadas, como el arilo ofrece rincones para llevar el crecimiento saprofito de agentes patógenos facultativos. (Cuadro 2).

El informe reciente de un taller internacional sobre enfermedades de acacias tropicales (Old *et al.*, 1997b) dió una relación del estado de una gama de agentes patógenos y las enfermedades que causan en Australia, India y el Sudeste de Asia. El incentivo para el taller fue la rápida expansión de plantaciones de acacias tropicales, especialmente en Indonesia, Malasia y Tailandia. Cada año, varias toneladas de semillas de *A. mangium*, la especie cultivada más extensamente, se recolectan de rodales nativos o

huertos semilleros y se envían entre países de la región. Parece haber poca duda que esta práctica lleva un riesgo significativo de transportar los agentes patógenos en la semilla o desperdicios asociados con la planta. La práctica de sumergir semillas en agua hirviendo antes de la siembra para romper la latencia puede reducir la probabilidad de que se propaguen contaminantes fortuitos, pero hay una necesidad urgente de más información sobre las enfermedades de estas especies y las posibilidades de que se propaguen al ser transmitidas por las semillas.

### MICROFLORA DE LA SEMILLA DE CASUARINA Y AGENTES PATÓGENOS

Hay muy poca información en la literatura sobre enfermedades transmitidas por la semilla de *Casuarina* spp. tropical. Mittal *et al.* (1990) enumeraron 18 hongos asociados con *C. equisetifolia*, 10 de los cuales son agentes patógenos putativos (Cuadro 3). Sahai y Mehrotra (1982) examinaron la micoflora de semillas de árboles forestales incluyendo *Casuarina* (especie no expresada), pero solamente una de aquellas anotadas (*Fusarium semitectum*) puede considerarse como agente patógeno putativo. Yuan *et al.* (1990) sacaron muestras de la micoflora de semillas de *C. equisetifolia* pero anotaron solamente cuatro agentes patógenos reconocidos, incluyendo *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea*, *Curvularia senegalensis* y *Pestalotiopsis* spp., *Alternaria alternata* y *Phoma* spp., siendo aisladas de *Casuarina cunninghamiana*. Los resúmenes más útiles de enfermedades de *Casuarina* son aquéllos de Mohanan y Sharma (1989, 1993). En su publicación más reciente indicaron que la información sobre enfermedades de plántulas en la India es escasa, a pesar de que se han cultivado plántulas de casuarina en ese país por casi un siglo. Ellos indicaron que los agentes patógenos transmitidos por el suelo *Rhizoctonia solani* y *Macrophomina phaseolina* son los principales agentes patógenos de plántulas. De éstos, se ha indicado que *M. phaseolina* es transmitido por la semilla pero es un hongo muy común transmitido por el suelo con una distribución geográfica muy amplia, causando la conocida podredumbre carbonosa de la raíz en muchas especies de árboles (Srivastava y Kalyani, 1990).

De mayor interés para la patología de semillas es la anotación por Mittal *et al.* (1990) de *Phomopsis casuarinae* como transmitido por la semilla. Agente patógeno bien conocido, identificado anotado en Portugal (Dos Santos, 1966) y en India (Mohanan y Sharma, 1993). El hongo causa cancro en el tallo y

lesiones foliares, y es probablemente más grave en árboles estresados, compartiendo esta característica con *Botryosphaeria* spp. (Pongpanich *et al.*, 1996) y *Trichosporum vesiculosum* (Mohanan y Sharma, 1993, Narayanan *et al.*, 1996). El Cuadro 3 presenta una lista de enfermedades de Casuarina para las cuales se ha establecido o se puede deducir una asociación con semillas.

### RIESGOS DE LA PROPAGACIÓN DE AGENTES PATÓGENOS CON GERMOPLASMA DE CASUARINA

Una de las enfermedades más significativas de *Casuarina equisetifolia* es el agente patógeno *Trichosporum vesiculosum* (*nom. illegit*) que causa ampolla en la corteza. El estado de este organismo como agente patógeno ha sido cuestionado (Boa y Ritchie, 1995). Sin embargo, Narayanan y Sharma (1996) y Narayanan *et al.*, (1996) resumieron la información disponible que fuertemente indica que el hongo es un agente patógeno dañino de árboles estresados. El hongo se propaga por medio de la producción de cantidades muy grandes de esporas de hollín dentro de ampollas debajo de la corteza externa, las cuales se abren para liberar las esporas. La etiología de la enfermedad no se comprende perfectamente, pero es probable que la infección de la herida sea la principal forma de propagación con más movimiento dentro de un rodal afectado por contacto de raíz con raíz (Narayanan *et al.*, 1996).

Cuadro 2. Hongos Patogénicos asociados con Semillas de Acacias Tropicales.

Hongo	Huésped	País	Referencia(s)
<i>Botryodiplodia theobromae</i>	<i>Acacia confusa</i>	Filipinas	Agmata, 1979
(syn. <i>Lasiodiplodia theobromae</i> )	<i>A. auriculiformis</i>	Tailandia	Chalermpongse <i>et al.</i> , 1984
<i>Botryodiplodia</i> sp.	<i>A. auriculiformis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	<i>A. auriculiformis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1988
<i>Colletotrichum</i> sp.	<i>A. auriculiformis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1997
<i>Curvularia brachyspora</i>	<i>A. auriculiformis</i>	Tailandia	Chalermpongse <i>et al.</i> , 1984
<i>C. eragrostidis</i>	<i>A. auriculiformis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>C. lunata</i>	<i>A. auriculiformis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
	<i>A. catechu</i>	India	Vijayan, 1988
	<i>A. confusa</i>	Filipinas	Agmata, 1979
	<i>A. crasscarpa</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>C. pallescens</i>	<i>A. auriculiformis</i>	Filipinas	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>C. senegalensis</i>	<i>A. auriculiformis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
<i>Curvularia</i> sp.	<i>A. auriculiformis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1997
<i>Cylindrocladium</i> sp.	<i>A. auriculiformis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1997
<i>Diplodia</i> sp.	<i>A. crasscarpa</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>Drechslera</i> spp.	<i>A. auriculiformis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1997
	<i>A. crasscarpa</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>Fusarium equiseti</i>	<i>A. catechu</i>	India	Vijayan, 1988
<i>F. moniliforme</i>	<i>A. raddiana</i>	Israel	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>F. oxysporum</i>	<i>A. catechu</i>	India	Vijayan, 1988
<i>F. semitectum</i>	<i>A. auriculiformis</i>	Filipinas	Mittal <i>et al.</i> , 1990
	<i>A. auriculiformis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1988
	<i>A. modesta</i>	India	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>F. solani</i>	<i>A. catechu</i>	India	Vijayan, 1988
	<i>A. holosericea</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
<i>Fusarium</i> sp.	<i>A. auriculiformis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1997
	<i>A. auriculiformis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
	<i>A. auriculiformis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>Hansfordia</i> sp.	<i>A. auriculiformis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1997
<i>Helminthosporium</i> sp.	<i>A. mearnsii</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
<i>Lasiodiplodia</i> sp.	<i>A. auriculiformis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1997
<i>Pestalotia</i> sp.	<i>A. mearnsii</i>	China	Liu, 1988
<i>Pestalotiopsis disseminata</i>	<i>A. auriculiformis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>P. neglecta</i>	<i>A. auriculiformis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>P. phoenicis</i>	<i>A. auriculiformis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1997
<i>Pestalotiopsis</i> sp.	<i>A. auriculiformis</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
<i>Phoma</i> sp.	<i>A. auriculiformis</i>	India	Mathur, 1974
	<i>A. auriculiformis</i>	India	Mohanani y Sharma, 1988
	<i>A. confusa</i>	Filipinas	Agmata, 1979
	<i>A. modesta</i>	India	Mittal <i>et al.</i> , 1990
	<i>A. raddiana</i>	Israel	Mittal <i>et al.</i> , 1990
	<i>Acacia</i> sp.	Egipto	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>Phomopsis</i> sp.	<i>A. auriculiformis</i>	Tailandia	Pongpanich, 1997

Hasta 1994 el hongo se conoció como un agente patógeno de la casuarina solamente en la India (Bakshi, 1951) y en Mauricio (Orian, 1961). Sin embargo, la enfermedad de ampolla en la corteza se encontró en el centro de Vietnam (Sharma, 1994) y se identificó en dos lugares en Tailandia en 1995, en siembras duplicadas de una prueba internacional de procedencia de *Casuarina* (Pongpanich *et al.*, 1996). La semilla para esta prueba se había originado en muchos países, incluyendo India, y aunque no hay información en cuanto al origen del brote, es posible que el hongo sea transmitido por la semilla. *Trichosporum vesiculosum* no se detectaría con métodos de pruebas de semillas normales; sin embargo, su fecundidad indica que una contaminación casual de la semilla podría haber sido el origen de la aparición simultánea de esta enfermedad en dos lugares en Tailandia separados

aproximadamente por 200 km. Se necesita más investigación sobre este agente patógeno para determinar sus afinidades taxonómicas, su estado patogénico y la etiología de la enfermedad ampolla en la corteza. Hasta que haya más información disponible sería imprudente pasar por alto la posibilidad de que la enfermedad pueda ser transmitida por la semilla (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Hongos patógenicos asociados con Semillas de Casuarina Tropical**

Hongo	Huésped	País	Referencia(s)
<i>Botryodiplodia theobromae</i>	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Filipinas	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>Botryodiplodia</i> sp.	<i>C. equisetifolia</i>	Filipinas	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>Curvularia brachyspora</i>	<i>C. equisetifolia</i>	Filipinas	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>C. lunata</i>	<i>C. equisetifolia</i>	Filipinas	Mittal <i>et al.</i> , 1990
	<i>C. equisetifolia</i>	Tailandia	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>C. pallescens</i>	<i>C. equisetifolia</i>	Filipinas	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>C. senegalensis</i>	<i>C. equisetifolia</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
<i>Fusarium moniliforme</i>	<i>C. equisetifolia</i>	Filipinas	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>F. semitectum</i>	<i>Casuarina</i> sp.	India	Sahai, 1982
<i>Macrophomina phaseolina</i>	<i>C. equisetifolia</i>	Filipinas	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>Pestalotia</i> sp.	<i>C. equisetifolia</i>	Filipinas	Mittal <i>et al.</i> , 1990
<i>Pestalotiopsis</i> sp.	<i>C. equisetifolia</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
	<i>C. cunninghamiana</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
<i>Phoma</i> sp.	<i>C. equisetifolia</i>	Filipinas	Mittal <i>et al.</i> , 1990
	<i>C. cunninghamiana</i>	Australia	Yuan <i>et al.</i> , 1990
<i>Phomopsis casuarinae</i>	<i>C. equisetifolia</i>	India/Australia	Bose, 1947