



NAPPO

North American Plant Protection Organization
Organización Norteamericana de Protección a las Plantas

Documento de Ciencia y Tecnología de la NAPPO

CT 05: Revisión del tratamiento térmico de la madera y del embalaje de madera

**Preparado por los miembros del
Panel Forestal de la NAPPO¹**

Marzo de 2014

¹ Autor principal: Dr. Eric Allen, Investigador/Research Scientist, Natural Resources Canada, Canadian Forestry Service

Índice

| | página |
|---|---------------|
| Resumen | 3 |
| 1. Perspectiva histórica del tratamiento térmico de la madera | 3 |
| 2. Revisión de la literatura - tolerancia de temperatura de organismos que habitan en la madera | 6 |
| 2.1 Termotolerancia | 6 |
| 2.2 Hongos | 6 |
| 2.3 Insectos | 8 |
| 2.5 Bacteria | 10 |
| 3. Protocolos de pruebas de tratamientos | 10 |
| 4. Cómo responden los organismos al tratamiento térmico; mortalidad - fisiología de la supervivencia..... | 11 |
| 5. Variabilidad en termotolerancia entre los estadios de vida | 13 |
| 5.1 Insectos | 13 |
| 5.2 Hongos y omicetos..... | 13 |
| 5.3 Nematodo del pino | 13 |
| 6. Forma en la cual se calienta la madera..... | 14 |
| 6.1 Tipos de cámaras de HT y de estufa de secado | 14 |
| 6.2 Temperatura y humedad | 15 |
| 6.3 Problemas-desafíos con el tratamiento térmico de la madera | 15 |
| 6.4 Modelos de penetración térmica – gradientes de temperatura | 17 |
| 7. El tratamiento térmico como componente de un enfoque de medidas integradas | 18 |
| Apéndice 1: Ejemplos de requisitos de importación para tratamiento térmico de varios países | 20 |
| Apéndice 2: Ejemplos de hongos termofílicos que habitan en la madera | 21 |
| Apéndice 3: Hongo basidiomiceto que produce clamidosporas | 22 |
| Referencias | 23 |

Resumen

El tratamiento térmico es un método eficaz para matar plagas cuarentenarias que afectan a los árboles en los bosques y que podrían estar relacionadas con los productos resultantes de la madera. El presente documento revisa el historial del calor como tratamiento de la madera, las bases científicas para sus efectos en las plagas de la madera (incluyendo a los insectos, hongos, nematodos y bacterias), los procesos industriales mediante los cuales se somete a la madera a tratamiento térmico y cómo dicho tratamiento puede incluirse en un enfoque de sistemas fitosanitario. El documento tiene la finalidad de brindar orientación a las organizaciones nacionales de protección fitosanitaria en cuanto al uso del tratamiento térmico en los reglamentos fitosanitarios.

1. Perspectiva histórica del tratamiento térmico de la madera

Durante mucho tiempo se ha utilizado el calor para disminuir el contenido de humedad de la madera y para matar a las plagas (insectos, hongos, nematodos) que viven en los productos de madera o sobre éstos. Las investigaciones publicadas en los años veinte y treinta documentaron por primera vez al calor como un tratamiento para matar plagas (Craighead 1920, Snyder 1921) y hongos (Chidester 1937, Snell 1922, 1923, Montgomery 1936) en madera. También está bien documentado el uso del calor como método para controlar plagas en granos, frutas y otros productos agrícolas (Hansen y Johnson 2007, Hansen et al. 2011). La mayoría de la primera investigación realizada para tratamientos de madera se centraba en la pérdida de la calidad y la disminución del valor del producto para los mercados nacionales, pero el tratamiento térmico para fines cuarentenarios fue mencionado por Snyder (1921):

“El daño de este tipo [*Lyctus* – polvo posterior a infestación causada por el escarabajo] está distribuido ampliamente en todo el mundo, muchas especies de estos escarabajos se transportan de un país a otro en los productos comerciales que ellos infestan”.

Los requisitos cuarentenarios para los productos de madera que se movilaron en el ámbito internacional durante la primera mitad del siglo veinte variaron ampliamente. Algunos países importadores prácticamente no tenían requisitos, otros una combinación de ausencia de la corteza, ausencia de plagas específicas y de suelo.

En los años 1980, las preocupaciones europeas sobre la posible introducción del nematodo del pino (*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner y Buhrer) Nickle) de su distribución nativa en Norteamérica llevó a una investigación conjunta de la UE-Norteamérica sobre protocolos de tratamientos térmicos letales para el nematodo y su insecto vector (Smith et al. 1991). Los estudios indicaron que una temperatura de 52.1°C y más alta mató a todos los nematodos del pino en la madera; después de un análisis estadístico de la temperatura necesaria para alcanzar el 100% de mortalidad a un 99.994% de confiabilidad y 95% de confianza, el informe final recomendó que la madera debería someterse a tratamiento para que la temperatura del centro de la madera alcanzara los 56°C durante 30 minutos (Smith et al. 1991). Este protocolo de tiempo-temperatura se incluyó en los reglamentos de importación de la UE para los productos de madera que se originaron de áreas infestadas por el nematodo del pino (Comisión Europea 1992).

En el reglamento estadounidense se prescribieron otras normas sobre tratamiento térmico para la madera. El Servicio Forestal de EE. UU. revisó los tratamientos para los troncos y otros productos de madera a principios de los años 1990 (USDA APHIS 1991) puesto que la movilización internacional de productos de madera se consideraba como un riesgo serio para la importación de plagas forestales exóticas (Servicio Forestal del USDA 1991, 1992, 1993). En 1994 se publicó

una propuesta de regla en el Registro Federal en la que se esbozaba un número de tratamientos incluyendo al tratamiento térmico (USDA 1994):

“los procedimientos del tratamiento térmico podrán comprender vapor, agua caliente, estufas, exposición a energía de microondas o cualquier otro método que eleve la temperatura del centro de cada artículo reglamentado sometido a tratamiento por lo menos hasta 56 °C y mantenga al artículo reglamentado a esa temperatura central como mínimo durante 30 minutos.”

Posterior a los comentarios públicos, se modificó la regla final, específicamente el requisito sobre tratamiento térmico:

“Cambiar la norma para tratamiento térmico y tratamiento térmico con reducción de humedad de 56 °C durante 30 minutos a 71.1 °C durante 75 minutos. Este cambio es para dar respuesta a varios comentarios los cuales recomendaban que el APHIS utilizara 71.1 °C durante 75 minutos tal como se informó en la Revisión del Panel Científico del Servicio Forestal del 10 de enero de 1992 — Propuesta de protocolo de envío de prueba para la importación de troncos siberianos de alerce. Tras la revisión de esta investigación y de nuestros datos de la propuesta que apoyaba una combinación menor de temperatura-tiempo, consideramos que estábamos en un error al creer que el tratamiento térmico que se propuso eliminaría de manera eficaz a todas las plagas de plantas de interés. Específicamente, un tratamiento térmico de 56 °C durante 30 minutos podría permitir que sobrevivieran varios hongos dañinos. Los informes de las investigaciones demuestran que varios hongos en la madera pueden sobrevivir entre 1 a varias horas de tratamiento térmico a temperaturas que varían entre los 56 °C a 70 °C, pero se destruyen con un tratamiento de 71.1 °C durante 75 minutos. El tratamiento térmico exigido por los reglamentos debe poder destruir de manera eficaz todos los posibles hongos peligrosos.”

Otros países han creado diferentes normas de tratamientos térmicos para los productos de madera. Por ejemplo, los reglamentos de Nueva Zelanda especifican:

“El tratamiento térmico (o secado en estufa) a una temperatura mínima continua del centro de la madera de 70°C durante más de 4 horas” para la madera aserrada de hasta 300 mm de espesor (DAFF 2013).

Los requisitos de importación de Australia varían de acuerdo con la especie de madera y el país de origen, especificando diferentes protocolos de tratamiento (DAFF 2013). Por ejemplo, los tratamientos aprobados para *Fraxinus* L. o *Quercus* L. provenientes de todos los países incluyen tratamiento térmico seco (tratamiento australiano autorizado - T10025) - 74 °C como mínimo durante 60 minutos una vez que se haya alcanzado la temperatura del centro de la madera o una opción de secado en estufa (T9912) que especifica una temperatura en la cámara de 74°C y diferentes tiempos de tratamiento (4 – 18 horas) dependiendo del grosor de la madera. El tiempo del tratamiento no comienza hasta que la temperatura y la humedad en la cámara se hayan estabilizado y la temperatura del centro de la madera haya alcanzado como mínimo 74°C. Por el contrario, la madera importada a Australia desde Canadá (que no sea *Fraxinus* o *Quercus*) puede, bajo la supervisión del gobierno, someterse a tratamiento térmico (T9968): 56°C durante 30 minutos, medida en el centro de la madera, o la opción de secado en estufa (T9912) descrita arriba.

A través de los años 1990, el embalaje de madera (tarimas, jaulas, madera de estiba, etc.) se reconoció cada vez más como una vía importante para las plagas forestales exóticas (USDA 2000,

Allen y Humble 2001). Por ejemplo, las introducciones del escarabajo de los brotes del pino, *Tomicus piniperda* L. y el escarabajo asiático de cuernos largos, *Anoplophora glabripennis* Motschulsky, a Norteamérica se creía que habían ocurrido a través de las jaulas infestadas o la madera de estiba en los barcos (Liebhold et al. 1995). El descubrimiento de una población establecida de *A. glabripennis* en EE. UU. en 1996 y en otros lugares del mundo en los años subsiguientes (Haack et al. 2010) motivó a algunos países a aprobar reglamentos de importación con el fin de abordar los riesgos de plagas específicamente relacionados con el embalaje de madera. Diferentes países, que requerían medidas o combinaciones de medidas, adoptaron varios enfoques fitosanitarios, por ejemplo, tratamiento térmico (en alguna ocasiones especificando parámetros de tratamiento tales como 56°C durante 30 minutos en la temperatura del centro de la madera, algunas veces refiriéndose a los protocolos de secado en estufa), la ausencia de corteza y de agujeros de larvas, secado en estufa hasta alcanzar un contenido de humedad específico, generalmente 20%, certificados fitosanitarios obligatorios. Con el fin de armonizar los requisitos fitosanitarios para el embalaje de madera en el ámbito internacional, se propuso la elaboración de una norma que incluiría tratamientos reconocidos en el ámbito internacional. Una norma regional que fue redactada y adoptada por la Organización Norteamericana de Protección a las Plantas (NRMF 11) en el 2001 sirvió de punto de partida para la elaboración de la NIMF 15, *Directrices para reglamentar el embalaje de madera utilizado en el comercio internacional*, que fue adoptada por la Comisión de Medidas Fitosanitarias de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) en el 2002. No se describió un protocolo de tratamiento térmico específico en la NRMF 11, sino que la norma recomendó que:

“La madera debe secarse al calor en una estufa de acuerdo con un registro específico de tiempo/temperatura como se recomienda en un manual reconocido de operación de secado en estufa.”

En la versión original de la NIMF 15: 2002 se incluyó orientación más prescriptiva sobre el tratamiento térmico. El grupo que redactó la norma evaluó la información científica que estaba disponible y especificó que:

“El embalaje de madera deberá calentarse conforme a una curva específica de tiempo/temperatura, mediante la cual el centro de la madera alcance una temperatura mínima de 56° C durante un período mínimo de 30 minutos. El secado en estufa (KD), la impregnación química a presión (CPI) u otros tratamientos pueden considerarse tratamientos térmicos en la medida en que cumplan con las especificaciones del HT. Por ejemplo, la CPI puede cumplir con las especificaciones del HT a través del uso de vapor, agua caliente o calor seco” (NIMF 15: 2002).

La Comisión de Medidas Fitosanitarias adoptó el texto revisado en el 2009 en el cual reconoció los diferentes métodos de tratamiento térmico y brindó orientación práctica específica sobre su aplicación.

“Podrán existir diversas fuentes de energía o procesos idóneos para alcanzar los parámetros de tratamiento requeridos. Por ejemplo, tanto el calentamiento convencional por vapor como el secado en estufa, la impregnación química a presión inducida mediante calor o el calentamiento dieléctrico (microondas, radiofrecuencia) podrán considerarse tratamientos térmicos, siempre que se ajusten a los parámetros para tratamientos térmicos que se especifican en la presente norma” (NIMF 15: 2009).

2. Revisión de la literatura - tolerancia de temperatura de organismos que habitan en la madera

2.1 Termotolerancia

Los organismos que habitan en la madera mueren a diferentes temperaturas; algunos demuestran varios niveles de termotolerancia. Esto se reconoció en la redacción de la finalidad de la NIMF 15: 2009 tal como se describió en el ámbito de ambos textos del 2002 como del texto revisado del 2009, que indicó que:

“disminuyen el riesgo de introducción y/o dispersión de plagas cuarentenarias asociadas con el embalaje de madera”

mediante la aplicación de tratamientos aceptados en el ámbito mundial que abordarían la mayoría de las plagas. La versión de la norma del 2002 reconoció la posibilidad de que algunas plagas sobrevivieran los tratamientos aprobados.

“Las medidas aprobadas deberán ser aceptadas por todas las ONPF como fundamento para autorizar la entrada del embalaje de madera sin exigir requisitos adicionales, salvo cuando, tras intercepciones y/o un ARP se determine que las plagas cuarentenarias específicas, relacionadas con ciertos tipos de embalaje de madera proveniente de fuentes específicas, requieren medidas más rigurosas.”

Esta redacción se revisó parcialmente en el 2009:

“Todas las organizaciones nacionales de protección fitosanitaria (ONPF) deberían aceptar estas medidas fitosanitarias como fundamento para autorizar la entrada del embalaje de madera sin exigir el cumplimiento de requisitos específicos. El requerimiento de medidas fitosanitarias que vayan más allá de una medida aprobada descrita en esta norma exige una justificación técnica.”

La nota a pie de página en el Anexo 1 de la versión del 2002 de la norma también mencionó la posible termotolerancia; este texto se eliminó en el 2009.

“Se ha elegido una temperatura mínima de 56°C para el centro durante un período mínimo de 30 minutos, para así tomar en cuenta la diversa variedad de plagas para las cuales se ha documentado la mortalidad que resulta de esta combinación y la viabilidad comercial del tratamiento. Aunque se reconoce que ciertas plagas tienen una tolerancia térmica mayor, las plagas cuarentenarias en esta categoría son manejadas caso por caso por las ONPF.”

Parte de la variación en los resultados experimentales indicados en los siguientes apartados refleja los diferentes enfoques experimentales. Tal como se indicó en el apartado 3, es de suma importancia que se utilicen los métodos estandarizados en las pruebas de tratamientos.

2.2 Hongos

Aunque la mayoría de los hongos crecen de manera óptima a temperaturas entre 0°C y 40°C (Seifert, 1993) hay una variación considerable en las temperaturas registradas que se necesitan para matar a diferentes especies de hongos. Por ejemplo, Lindgren (1942) sometió a prueba 11 aislados del hongo de la mancha azul los cuales dejaron de crecer a temperaturas entre 29 y 39°C. La mayoría de los hongos causantes de manchas pueden tolerar temperaturas un tanto

más elevadas y dejarán de crecer a 40-50°C bajo condiciones de alta humedad (Seifert, 1993). En una encuesta que incluyó 64 especies de hongos que pudren la madera, Humphreys y Siggers (1934) demostraron que 62 de los cultivos dejaron de crecer a 46°C. Algunas especies, conocidas como hongos termófilos, pueden tolerar y crecer a temperaturas mayores de los 50°C (Apéndice 2). Jones (1973) demostró que el hongo de la marchitez del roble (*Ceratocystis fagacearum* (Bretz) Hunt) murió cuando los troncos fueron sometidos a tratamiento durante 6 hr a >54°C o tiempos de tratamiento prolongados a temperaturas más bajas. Kappenburg (1998) informó sobre una temperatura letal para *C. fagacearum* de 68°C a un nivel de humedad alto (1998). Jaynes y DePalma (1984) informaron que el crecimiento micelial y la germinación conidial de *Endothia parasitica* se vieron afectadas por exposiciones a 50°C o mayores durante 30 min. El micelio por lo general murió a 53°C o temperatura mayor pero algunas esporas sobrevivieron 60°C. Chidester (1937) informó que los tiempos de tratamiento de 75 min. a 66°C o 30 min. a 77°C fueron necesarios para matar a tres hongos causantes de pudrición (*Lenzites sepiaria* Fr., *Poria incrassata* (Berk. y M.A. Curtis) Burt y *Lentinus lepideus* (Fr.) Fr.). En un estudio más reciente, Newbill y Morrell (1991) encontraron que todos los hongos a los que se les realizaron pruebas (*Peniophora* spp., *Stereum sanguinolentum* (Alb. & Schwein.) Fr., *Postia placenta* (Fr.) M.J. Larsen & Lombard y *Antrodia carbonica* (Overh.) Ryvarden & Gilb.) murieron después de exponerse a 66°C durante 75 min. Uzunovic y Khadempour (2007) realizaron pruebas a los hongos de la mancha azul y de la mancha de la savia en madera infestada en forma natural e inoculada artificialmente (*Ophiostoma clavigerum* (Robinson-Jeffrey y Davidson) Harrington, *O. montium* (Rumbold) Arx, *Leptographium longiclavatum* S.W. Lee, J.J. Kim y C. Breuil, y *L. terebrantis* S.J. Barras y T.J. Perry, *Ambrosiella* spp. Arx y Hennebert, *Trichaptum abietinum* (Dicks.) Ryvarden y *Phellinus chrysoloma* (Fr.) Donk). Ellos informaron que todos los hongos en la madera infestada en forma natural murieron a una temperatura de 56°C o menor que ésta durante 30 minutos, pero que algunos aislados de los hongos en la madera inoculada de manera artificial necesitaban 61°C o una exposición de 60 minutos para morir. Utilizando métodos experimentales similares, Allen (inédito) realizó pruebas a una serie de hongos: *Phellinus noxius* (Corner) G.H. Cunn., *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., *Armillaria ostoyae* (Romagn.) Herink, *Gloeophyllum sepiarium* (Wulfen) P. Karst., *Gloeophyllum striatum* (Sw.) Murrill, *Ceratocystis fagacearum* (Bretz) Hunt, *Ophiostoma wagneri* (Goheen & F.W. Cobb) T.C. Harr., *Ceratocystis polonica* (Siemaszko) C. Moreau, *Leptographium wingfieldii* M. Morelet. Todas las especies de los hongos de la prueba murieron a temperaturas de 56°C/30 o inferiores a éstas excepto por *G. sepiarium* (Wulfen) P. Karst., una especie conocida como termotolerante (Chidester 1939, Kurpik y Wasney 1978) que sobrevivió a 71°C. Ramsfield et al. (2010) realizaron pruebas a *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link, *Cladosporium tenuissimum* Cooke, *Fusarium circinatum* Nirenberg y O'Donnell, *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon y Maubl., *Neonectria fuckeliana* (C. Booth) Castl. y Rossmann, *Ophiostoma novo-ulmi* Brasier, *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko y B. Sutton., *Armillaria novae-zelandiae* (G. Stev.) Boesew., *Phlebiopsis gigantea* (Fr.) Jülich y *Schizophyllum commune* Fr., *Phytophthora cinnamomi* Rands a temperaturas que variaban entre 41 y 71°C y encontraron que los aislados de algunos hongos sobrevivieron 56 °C durante 30 minutos. Cuando se ajustaron con los modelos estadísticos, ellos pronosticaron que la exposición durante 30 min hasta una temperatura mínima de 61.7 °C o 69.6 °C sería necesaria para causar 99% o 99.99% de mortalidad de todos los aislados de los hongos sometidos a prueba. Se ha observado que los hongos que habitan en la savia de la madera son más sensibles a la temperatura que los hongos que habitan en el centro de la madera y que producen estructuras especiales tales como clamidosporas (Newbill y Morrell 1991) o artrosporas (Schmidt 2006) facilitando su supervivencia bajo condiciones adversas (Apéndice 3).

2.3 Insectos

El calentamiento de la madera a 56°C durante 30 min. matará a la mayoría de los estadios de vida de los insectos. En un estudio anterior realizado por Graham (1924), las larvas y los adultos de *Ips pini* Say murieron a 49 y 50°C, respectivamente, y *Chrysobothris dentipes* Germar necesitó tratamiento durante un tiempo no especificado a una temperatura de 52°C. El tratamiento térmico por 1 hr a 50°C fue fatal para las larvas, pupas y adultos jóvenes de *Ips typographus* (Annala 1969). Se observaron efectos similares en un ambiente forestal en donde murió la cría que se encontraba en los lados del tronco expuestos al sol mientras que sobrevivió la cría en las partes con sombra. Mayfield et al. (2014) realizaron pruebas de tratamiento térmico contra *Pityophthorus juglandis* Blackman y un hongo patógeno relacionado *Geosmithia morbida* M. Kolarůk, E. Freeland, C. Utley, y N. Tisserat y recomendaron que 56 °C durante 40 min (medido 1 cm hacia el interior de la albura) mataría a ambos organismos. Los tratamientos térmicos utilizando temperaturas de estufa de 60-71°C durante 1 hora demostraron que mataban a las larvas de *Monochamus* en la madera (Ostaff y Cech, 1978). Este protocolo de tratamiento fue refinado a 56°C durante 30 min. para el tratamiento de la madera infestada con el nematodo del pino y se ha aceptado la combinación como una norma fitosanitaria para insectos como para nematodos (Smith, 1991). Mushrow et al. (2004) encontraron que las larvas, pupas y los adultos de *Tetropium fuscum* (Fabr.) que habitaban la madera murieron cuando fueron sometidos a tratamiento a temperaturas inferiores a los 50°C durante 30 minutos. Hansen y Jensen (1996) sometieron a prueba a los estadios de huevecillo, larvas y adultos de *Anobium punctatum* De Geer. Las larvas mostraron 100% de mortalidad a una exposición de 5 min. durante 52°C; los estadios de huevecillo y adulto fueron más sensibles al tratamiento térmico. Meyers y Bailey (2011) sometieron a tratamiento térmico la madera en rollo infestada en forma natural por larvas de *Anoplophora glabripennis*. Ninguna larva sobrevivió después de habersele aplicado el tratamiento a 50 °C durante 30 minutos. Se ha informado que algunos insectos, tales como los escarabajos polvorientos (*Lyctus* spp.), tienen una tolerancia mayor a temperaturas elevadas que requieren tratamiento durante 30 min. a 82°C (Snyder, 1923).

Algunas investigaciones han demostrado la supervivencia de algunos estadios de vida de *Agilus planipennis* Fairmaire cuando fueron sometidos a tratamiento utilizando el protocolo de tiempo/temperatura de 56°/30. McCullough et al. (2007) informaron sobre la supervivencia del estadio de prepupa de *A. planipennis* en astillas de madera (6.5 x 3.1 x 1.5 cm) sometidas a tratamiento a 60°C durante 20 min., pero no a 120 min. A 55°C, 17% del estadio de prepupa sobrevivió; ningún estadio de prepupa sobrevivió la exposición a 60°C durante 120 min., aunque no hubo pupación de la prepupa sobreviviente en astillas expuestas a 55 o 60°C. Este estudio monitoreó la temperatura de la cámara. Myers et al. (2009) evaluaron la supervivencia de larvas y prepupas de *A. planipennis* en leña. Se insertaron sondas para monitoreo de temperatura a 3.5 cm (profundidad máxima de penetración del escarabajo). Las larvas fueron capaces de sobrevivir a una combinación de temperatura-tiempo de hasta 60°C durante 30 min. en la madera, prepupas hasta 55°C durante 30 min., 50°C durante 60 min. y 60°C durante 15 min. Se observó la emergencia del adulto en leña en tratamientos de 45, 50, y 55°C para los intervalos de tiempo de 30 como de 60 min.; no hubo emergencia en ninguno de los tratamientos de 60 o 65°C. Nzokou et al. (2008) observaron adultos de *A. planipennis* emergiendo de los troncos que habían sido sometidos a calor a 60°C durante 30 min. pero no a 65°C. Goebel et al (2010) informaron sobre la emergencia de adultos de la leña que había sido sometida a tratamiento en temperaturas de cámara cerca de los 56°C en una estufa pequeña de secado. Haack y Petrice (2010) realizaron pruebas sobre la supervivencia de *A. planipennis* (así como el escarabajo de la corteza del fresno, escarabajo de la corteza del pino y picudo del pino) en una cámara de 56°C durante varios períodos de tiempo, midiendo la temperatura del centro y a un 1 cm por debajo de la superficie. No se observó emergencia de ninguna especie sometida a prueba en troncos que se sometieron a tratamiento hasta alcanzar una temperatura del centro de 56°C. Sobek et al. (2011) realizaron

pruebas a la supervivencia de *A. planipennis* en trozos de madera en una cámara operativa de tratamiento térmico. Ellos informaron sobre la mortalidad completa de todos los estadios larvarios a una temperatura de 56°C durante 30 min. Así mismo, todas las pupas murieron con exposiciones tan cortas como 10 min. a 54°C. También consideraron los mecanismos de termotolerancia en el BEF. Se produjeron proteínas de choque térmico cuando las larvas se calentaron lentamente al cambiar de la temperatura ambiental a la de tratamiento; estas larvas demostraron una mayor tolerancia térmica. Ellos propusieron que este mecanismo podría resultar en la supervivencia por encima de la prueba de laboratorio de 56°C durante 30 min. Sin embargo, argumentaron que los protocolos de tratamiento térmico utilizados bajo condiciones operativas en las instalaciones canadienses de HT excedían mucho más lo indicado en la NIMF 15:2009 y que incluso es poco probable que la plasticidad térmica extrema permita que los insectos plaga sobrevivan el proceso de tratamiento térmico. También consideraron que el impacto subletal del tratamiento que pudiera causar fecundidad o esterilidad reducida podría aumentar el margen de seguridad de los tratamientos térmicos existentes (Sobek et al. 2011 citando a Scott et al. 1997, Huang et al 2007, y Mironidis y Savopoulou-Soultani 2010).

2.3.1 Evaluación del GIICF acerca del tratamiento térmico para manejar los riesgos de plagas de *A. planipennis*

El Grupo Internacional de Investigaciones sobre Cuarentena Forestal revisó la literatura publicada en cuanto a la tolerancia de *A. planipennis* a los parámetros de tratamiento térmico prescritos en la NIMF 15: 2009 en IFQRG-8 (2010). Los estudios se realizaron en leña y astillas de madera lo cual presenta desafíos relacionados con la variación en el tamaño y la humedad de la madera, y los aspectos prácticos en cuanto a la carga de la cámara de calor. Estos estudios no realizaron pruebas a la NIMF 15: 2009 y por ende, no fueron válidos para la consideración en el embalaje de madera. El GIICF no tenía conocimiento sobre ninguna intercepción de *A. planipennis* en el embalaje de madera en la movilización internacional de madera reglamentada. La UE no ha informado sobre ninguna intercepción de *A. planipennis* en ningún producto de madera; tampoco se ha informado sobre intercepciones estadounidenses de *A. planipennis* en el embalaje de madera. Los participantes del GIICF acordaron que las medidas fitosanitarias aplicadas según las condiciones operativas normales para cumplir con los requisitos establecidos en la NIMF 15: 2009 continúan siendo apropiadas para disminuir de manera suficiente el riesgo que presenta *A. planipennis*.

2.4 Nematodo del pino

El nematodo del pino (*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner y Buhner) Nickle) está reconocido ampliamente como una plaga seria que afecta a las especies de pino alrededor del mundo (Webster 1999). El nematodo es transmitido exclusivamente por escarabajos del género *Monochamus* (Mamiya y Enda 1972, Wingfield y Blanchette 1983, Finney-Crawley 1989). Las preocupaciones en cuanto a la movilización del nematodo e insectos vectores en los troncos y la madera infestados impulsaron los esfuerzos en los años 1980 y 1990 a identificar los tratamientos que matarían al nematodo o a sus vectores en productos de madera. Se han evaluado una serie de tratamientos incluyendo la fumigación y el tratamiento térmico (Ostaff y Cech 1978, Kinn 1986, Smith 1991, Wang et al. 1989, 1994, Tomminen y Nuorteva 1992, Soma 2001, Zheng et al. 2001).

Los tratamientos térmicos que utilizan temperaturas de estufa de 60-71°C durante 1 hora demostraron que mataban a las larvas de *Monochamus* en la madera (Ostaff y Cech 1978). Este protocolo de tratamiento se refinó posteriormente en un esfuerzo conjunto de la Unión Europea /Norteamérica con el fin de elaborar un protocolo de tratamiento térmico para la erradicación del nematodo del pino y sus vectores (Smith 1991). Este estudio demostró que el tratamiento de la madera hasta que la temperatura del centro alcanzara los 56°C durante 30 min. fue bastante eficaz para el tratamiento de madera infestada con el nematodo del pino. Esta combinación temperatura-

tiempo se ha aceptado como norma fitosanitaria tanto para insectos como nematodos y forma la base para la medida de tratamiento térmico en la norma internacional sobre embalaje de madera, NIMF 15: 2009. Un estudio posterior (Qi Longjun et al. 2005) informó sobre una mortalidad menor de nematodos en el embalaje de madera sometido a tratamiento a 56/30, pero los métodos experimentales utilizados en el estudio fueron difíciles de interpretar y pueden no haber reflejado las condiciones operativas. Los estudios que utilizaron microondas y frecuencia de radio como fuente de calentamiento también han indicado un 100% de mortalidad (probit-9) a 56°C (Hoover et al. 2010, Lazarescu et al. 2011, Uzunovic et al. 2012).

2.5 Bacteria

Se ha publicado muy poco sobre tratamiento térmico de bacterias que habitan en la madera. Un estudio realizado por Srivastava y Patel (1970) cita 49°C como la temperatura de inactividad térmica para *Pseudomonas azadirachtae*, una enfermedad bacteriana del árbol de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss.). Keck et al. (1995) informó que un tratamiento térmico menor de 30 min. a 50°C fue letal para *Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow et al. en material propagativo vivo. *Xanthomonas translucens* pv. *pistaciae* Giblot-Ducray et al. sobrevivió en madera infectada que fue expuesta a 40–55°C por lo menos durante 60 min. pero murió por exposición a 60°C durante 15 min. o más (Vu Thahn et al. 2012). Los estudios recientes realizados para *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* (causando cancro sangriento del castaño de Indias (*Aesculus* spp.)) informaron sobre una temperatura letal de 35-40 °C para cultivos *in vivo* (Mullett y Webber 2013) y 39 °C para bacteria en árboles jóvenes vivos (de Keijzer et al. 2012).

3. Protocolos de pruebas de tratamientos

En la actualidad, la NIMF 15: 2009 reconoce tres tratamientos: calor, calor dieléctrico y fumigación con bromuro de metilo. En cuanto se crean tratamientos nuevos para el embalaje de madera u otros productos de madera, es importantísimo que demuestren que son eficaces contra una amplia gama de plagas que puedan encontrarse relacionadas con la madera. La NIMF 28: 2007 de la CIPF, *Tratamientos fitosanitarios para plagas reglamentadas*, describe los requisitos de los datos para presentar un tratamiento fitosanitario para que sea reconocido como medida fitosanitaria en el ámbito internacional (NIMF 28: 2007). Uno de los componentes más importante de estos datos es la "prueba" de que el tratamiento es:

"eficaces para matar, inactivar, eliminar, esterilizar o desvitalizar las plagas que estén asociadas con un artículo reglamentado."

La norma además requiere que los tratamientos estén:

"bien documentados para demostrar que los datos de eficacia se han generado mediante procedimientos científicos apropiados, incluyendo si procede un diseño experimental adecuado. Los datos que apoyen el tratamiento deberían poderse verificar y reproducir, y deberían estar basados en métodos estadísticos y/o en prácticas internacionales establecidas y aceptadas."

A pesar de que la NIMF 28: 2007 no requiere objetivos de eficacia específicos, deben indicarse los métodos experimentales que se utilizan para determinar la dosis experimental de los tratamientos, así como el nivel estadístico de confianza que apoya la afirmación de la eficacia. Cuando los datos experimentales no estén disponibles o sean insuficientes, se necesitará otro tipo de prueba que apoye la eficacia (por ejemplo, información histórica y/o práctica o experiencia).

La mayoría de los datos sobre tratamiento térmico de la madera provienen de estudios antiguos que siguen muchos enfoques experimentales distintos. En algunos estudios la temperatura

ambiental de la estufa fue monitoreada en vez de la temperatura del centro de la madera. Se han estudiado pocos organismos en detalle. Los protocolos de prueba estandarizados se utilizaron muy pocas veces y los datos se obtuvieron de los estudios que pudieron haber sometido las plagas a pruebas en una variedad de sustratos incluyendo experimentos *in vitro*, pruebas en agar (en el caso de hongos), madera, astillas de madera y troncos enteros. La mayoría del trabajo experimental se realizó con tamaños muy pequeños de muestra de especímenes y se proporcionó poca o casi ninguna información sobre la confianza estadística. El trabajo sobre el nematodo del pino que se realizó en los años 1990 fue el primero en aplicar un enfoque estadístico riguroso (Smith et al. 1991). Este trabajo concluyó que las temperaturas de 52 °C y mayores mataban a todos los nematodos del pino en experimentos *in vivo*. Después de un ajuste estadístico de los datos (un análisis tipo probit con una transformación gompit) para establecer la temperatura necesaria para alcanzar 99.994% de confiabilidad de mortalidad al 95% de confianza, se determinó que la temperatura del tratamiento que se recomendaba era 56.1°C. Más recientemente, los análisis estadísticos de los datos de dosis-respuesta en hongos (Ramsfield et al. 2010) y *Agilus planipennis* (EFSA 2011) demostraron que las temperaturas de tratamiento que se recomiendan se ven influidas por los parámetros establecidos por los gerentes de riesgo incluyendo los niveles de control deseados (a saber, la tasa de mortalidad, con frecuencia 99%, 99.9% o 99.99683), modelos utilizados para analizar los datos y la opción del nivel de confianza estadístico (por ejemplo, 90%, 95%, o 99%). Dichos métodos estadísticos son útiles para proporcionar cálculos de la confiabilidad basándose en los datos experimentales en donde el tamaño limitado de la muestra impide el uso de experimentos confirmatorios para determinar la dosis efectiva. Sin embargo, la dosis del tratamiento resultante podrá ser innecesariamente alta, posiblemente pasando por alto las consideraciones biológicas que limitan la supervivencia tales como umbrales de temperatura relacionados con la desnaturalización de proteínas o efectos subletales irreversibles en la capacidad reproductora. Se están desarrollando enfoques nuevos para diseñar los protocolos de pruebas de tratamientos que consideren los desafíos relacionados con las plagas de la madera (Haack et al. 2011, Schortemeyer et al. 2011) y se están planeando utilizar como anexo de la NIMF 15:2009.

4. Cómo responden los organismos al tratamiento térmico; mortalidad - fisiología de la supervivencia

Hay un caudal de conocimientos, principalmente en plagas de frutas y productos almacenados, sobre las respuestas fisiológicas de los insectos y hongos al calor (Crisan 1973, Denlinger y Yocum 1998, Neven 2000, Maheshwari et al. 2000, Fields y White 2002, Rangel et al. 2005).

Tabla 1: Respuesta de los insectos plagas a la temperatura en productos almacenados (de Fields y White 2002)

| Efecto | Rango de temperatura (°C) | Efectos |
|-----------|---------------------------|--|
| Letal | Más de 62 | Muerte en <1 min |
| | 50–62 | Muerte en <1 h |
| | 45–50 | Muerte en <1 día |
| | 35–42 | Poblaciones mueren, insectos móviles buscan un ambiente más frío |
| Subóptimo | 35 | Temperatura máxima para reproducción |
| | 32–35 | Aumento lento de la población |
| Óptimo | 25–32 | Tasa máxima de aumento de la población |
| Subóptimo | 13–25 | Aumento lento de la población |
| Letal | 5–13 | Lentamente letal |
| | 3–5 | Cesa la movilización |
| | -10 a -5 | Muerte en semanas, o palomilla se aclimata |
| | -25 a -15 | Muerte en <1 h |

La exposición a temperaturas altas ha demostrado que afecta la síntesis y estructura de las macromoléculas celulares (por ejemplo, proteínas, ADN, ARN, lípidos, carbohidratos) y estructuras celulares (por ejemplo, membranas, ribosomas, mitocondria). La exposición al calor podrá causar la muerte inmediata o daño subletal en el desarrollo normal y éxito reproductor, expresado como fecundidad reducida o esterilidad de los insectos (Denlinger y Yocum, 1998, Neven 2000) o propágulos de hongos (Lifshitz et al. 1983, Freeman y Katan 1988, Arora et al. 1996, Assaraf et al. 2002). En los casos en los cuales un tratamiento a la madera no cause la mortalidad total del hongo patógeno, la colonización de los organismos saprofito después del tratamiento ha demostrado que compite más que los patógenos. Uzunovic et al. (2008) observaron en las pruebas de laboratorio de la madera sometida al calor, que los hongos saprotróficos causantes de moho (por ejemplo, *Trichoderma*, *Zygomycetes*, *Penicillium* y *Aspergillus*) colonizaron la madera muy rápidamente descartando el aislamiento exitoso del hongo de mancha azul o de la pudrición y es muy probable que los safofitos maten o compitan aún más con cualquier hongo patógeno que sobreviva, impidiendo su dispersión en la madera sometida a tratamiento bajo situaciones de la vida real. Así mismo, Munnecke et al. (1976) indicaron que *Armillaria mellea* (Vahl) Quel. “estresado” por las dosis subletales de químicos, calor o secado fue eliminado posteriormente por microorganismos antagonistas del suelo, principalmente *Trichoderma* spp.

Algunas veces los organismos pueden tener una “condición previa” al tratamiento térmico mediante la producción de proteínas de choque térmico que conceden un nivel de termotolerancia cuando los organismos están sujetos a temperaturas subletales (Lindquist y Craig 1988, Sienkiewicz et al. 1997). Por ejemplo, Yocum y Denlinger (1992), al estudiar la mosca de la carne *Sarcophaga crassipalpis* Macquart, demostraron que una exposición de 2 h a 40° C dio como resultado la supervivencia posterior a un tratamiento térmico letal distinto de 90 min a 45 C. En *Agrilus planipennis* Sobek et al. (2011) informó sobre niveles mayores de la proteína de choque térmico de pct70 y sugirieron un enlace con la termotolerancia a temperaturas que excedían la temperatura de 56° C establecida en la NIMF.

Las respuestas de la proteína de choque térmico se han descrito en el hongo de la pudrición de la madera, *Serpula lacrymans* (Wulfen) P.Karst. (Sienkiewicz et al.1997) y el nematodo del pino, *Bursaphelenchus xylophilus* (Xie et al. 2009).

5. Variabilidad en termotolerancia entre los estadios de vida

El efecto del calor en los procesos fisiológicos podrá variar entre los estadios de vida de los organismos plaga. La identificación del estadio de vida "más resistente" es importante en las pruebas de tratamiento; la NIMF 28: 2007 recomienda que "cuando el artículo reglamentado pueda encontrarse en diversas etapas del desarrollo, el tratamiento debería probarse en la fase del desarrollo de la plaga en la que ésta es más resistente". Esta orientación presenta un desafío práctico considerable en el desarrollo del tratamiento dada las limitaciones en los datos publicados que están disponibles en cuanto a la termotolerancia relativa y las dificultades en la adquisición del número adecuado de estadios de vida específicos necesarios para las pruebas de tratamientos.

5.1 Insectos

En la literatura sobre productos almacenados se indican las diferencias en respuestas al calor entre los huevecillos, larvas jóvenes, larvas viejas, pupas y adultos del escarabajo *Tribolium confusum* (Jacquelin du Val) (Boina y Subramanyam 2004, Maroof et al. 2004). También se ha informado acerca de las diferencias entre los estadios de vida de organismos que habitan la madera, por ejemplo *Neolyctus erythrocephalus* Fab. (Snyder 1923), *Anobium punctatum* (DeGeer) (Hansen y Jensen 1996), *Tetropium fuscum* (Fabr.) (Mushrow et al. 2004), *Agrilus planipennis* (Sobek et al. 2011). Los estudios que examinan los efectos de la temperatura en el desarrollo y la dinámica poblacional del escarabajo de la corteza abarcan este tema (Wermelinger y Seifert 2008).

5.2 Hongos y omicetos

Los hongos y omicetos podrán estar presentes en la madera y sobre ésta en una serie de formas morfológicas distintas, por ejemplo, micelio, diferentes estadios de la espora: basidiosporas, ascosporas, oosporas, conidia, esporangio, zoosporas. Se ha informado que las estructuras de los hongos tales como esclerotia, clamidosporas y ascosporas que algunas veces se forman como respuesta a las condiciones físicas, químicas, nutricionales o biológicas muestran tolerancia al calor en comparación con otros tipos de células de hongos (Seifert et al. 2004, Dijksterhuis 2007, Suryanarayanan et al. 2011). Pocos estudios son específicos a las estructuras de termotolerancia relacionadas con hongos plaga de la madera; Widmer (2011) mostró que las esporas de *Phytophthora kernoviae* Brasier, Beales y Kirk. sobrevivieron un tratamiento de 30°C durante más tiempo que el esporangio y micelio.

5.3 Nematodo del pino

Las diferencias en respuestas de la población entre los estadios larvarios del nematodo del pino, *Bursaphelenchus xylophilus*, han guardado correlación con la desecación, disponibilidad y el almacenamiento de nutrientes (Ishibashi y Kondo 1977, Maehara y Futai 1996). El tercer estadio larvario (J_{III}) en ocasiones se conoce como "estadio de descanso" (Mamiya 1984) y tiene la cutícula más gruesa que todos los estadios de vida (Kondo y Ishibashi 1978) pero no está claro si esta característica está relacionada con la termotolerancia. Tomminen y Nuorteva (1992) no pudieron demostrar que el J_{III} era más resistente al calor en comparación con otras etapas de desarrollo. No obstante, Magnusson y Schröder (2009) consideraron el estadio J_{III} importante para incluirlo en las pruebas de mortalidad para el desarrollo del tratamiento. Se abordaría esta preocupación si se asegura que todos los estadios larvarios están presentes en la madera al momento de realizar la prueba.

6. Forma en la cual se calienta la madera

6.1 Tipos de cámaras de HT y de estufa de secado

Se utilizan varios tipos de equipos para el tratamiento térmico de la madera. Algunos están diseñados específicamente para fines fitosanitarios (por ej. cámaras de calor), otros incluyen condiciones de tratamiento letal como parte de otro proceso industrial (por ejemplo, estufa de secado, impregnación química a presión, inmersión en agua caliente). Algunos equipos están diseñados especialmente para acomodar algunos productos de madera, por ejemplo, astillas de madera (Dwinell et al. 1994).

Una cámara de tratamiento térmico (HT) solo proporciona y controla el calor y, en algunos casos, la circulación del aire para el tratamiento apropiado de la madera. Las cámaras de HT por lo general no se diseñan para secar la madera sino simplemente para calentar todo el perfil de la madera a cierta temperatura durante un período de tiempo (por ejemplo, 56°C/133°F por lo menos durante 30 minutos).

Una estufa de secado para madera consta de una cámara que proporciona y controla el calor, la humedad y circulación del aire necesaria para el secado o la curación apropiada de la madera. Las estufas de secado están diseñadas para secar la madera hasta alcanzar un contenido de humedad específico con muy poco defecto en el secado, posterior a un protocolo de secado en estufa, una serie de condiciones de temperatura y humedad aplicadas durante diferentes etapas del proceso de secado o curado. La madera secada en estufa puede considerarse que se ha sometido a tratamiento térmico cuando el protocolo aplicado incluye combinaciones de tiempo temperatura que cumplan con los requisitos fitosanitarios especificados.

6.1.1 Temperatura de operación

Las cámaras de HT y estufas de secado están diseñadas para operar a rangos específicos de temperatura. Las siguientes son clasificaciones comunes de las cámaras y estufas según las temperaturas máximas de operación:

- Temperatura convencional – opera en un promedio de 43 a 82°C (110 a 180°F).
- Temperatura elevada- opera en un promedio de 43 a 99°C (110 a 211 °F).
- Temperatura alta – la mayoría de los protocolos de secado están por arriba de 100°C (212°F), generalmente en un promedio de 110 a 138°C (230 a 280 °F).

Los termopares o sondas de temperatura podrán utilizarse para determinar la temperatura en el centro de la madera. Cuando se utilicen éstos, deberían introducirse múltiples sondas o termopares en la parte de la madera que sea más difícil de someter a tratamiento térmico y colocarse en la parte más fría de la cámara. Los termopares o sondas de temperatura deberían sellarse con material aislante para prevenir la infiltración del aire.

La mayoría de las cámaras térmicas o "estufas de secado " en Norteamérica por lo general utilizan las medidas de temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo como una alternativa para medir la temperatura interna del centro de la madera. La temperatura de bulbo seco refleja la temperatura ambiental u operativa de la estufa. La temperatura de bulbo húmedo mide el efecto enfriador de la evaporación y calcula la temperatura de la madera en cuanto se ve afectada por la reducción de la humedad. La "depresión de bulbo húmedo" es la diferencia entre las medidas de bulbo húmedo y seco y se utiliza para determinar la humedad relativa de una tabla higrométrica estándar. La prueba inicial de la madera utilizando sondas o termopares introducidos en la madera se estandariza frente a las medidas de bulbo húmedo y bulbo seco para desarrollar un protocolo estandarizado que pueda utilizarse para las aplicaciones continuas de tratamiento.

6.1.2 Fuente de calor

La mayoría de las cámaras térmicas y estufas de secado convencional utilizan humedad o aire seco para calentar al producto de madera mediante una combinación de conducción, convección y transferencia de calor radiante (Tschernitz 1991). La temperatura del aire se eleva mediante calentadores eléctricos o quemando madera de desecho, aceite, gas propano o natural. Recientemente se han creado sistemas que utilizan energía dieléctrica (microondas o frecuencia de radio) para calentar a la madera para las plagas que se encuentren en la madera (Fleming et al. 2003, 2005, Hoover et al. 2010, Lazarescu et al. 2011, Uzunovic et al. 2012).

6.1.3 Medio de calentamiento

La madera que se ha sometido a tratamiento se expone a un líquido, humedad alta (vapor) o ambiente con aire seco el cual tiene un efecto considerable en los tiempos de calentamiento; el calor se transfiere más rápido en aire saturado con vapor. Las cámaras de HT y estufas de secado utilizan aire seco o vapor; se puede utilizar un medio líquido como parte de un proceso de impregnación química (Taylor y Lloyd 2009).

6.2 Temperatura y humedad

Al considerar el tratamiento de la madera para matar insectos y otros microorganismos, es muy importante no confundir al secado en estufa (reducción de humedad) con el tratamiento térmico. Aunque la mayoría de protocolos de secado en estufa incluyen calor, los objetivos de reducción de humedad pueden lograrse sin la aplicación de temperaturas letales. La reducción de la humedad por sí misma no es suficiente para cumplir con las metas fitosanitarias. Algunas especies de hongos pueden soportar el aire seco (Uzunovic y Khadempour 2007) y pueden sobrevivir hasta 10 años en madera almacena a 30-40% RH (Wilcox 1973). Así mismo, algunos insectos pueden sobrevivir períodos extensos de tiempo en madera con bajo contenido de humedad. Los niveles de humedad durante el tratamiento también son importantes. La mayoría de los hongos de la mancha azul morirán a temperaturas de 40-50°C cuando la RH es 100% (Seifert 1993). El hongo que causa la pudrición de la madera, *Lenzites trabea* (Pers.) Fr., murió con un tratamiento de 3 horas a 70°C en condiciones húmedas pero requería 96 a 120 horas a la misma temperatura en condiciones secas (Cartwright y Findlay 1958).

6.3 Problemas-desafíos con el tratamiento térmico de la madera

6.3.1 Propiedades físicas de la madera

La madera es una estructura celular compuesta de celulosa, hemicelulosa y lignina. Las variaciones en la proporción de estos componentes y diferencia en estructura hacen que la madera sea pesada o ligera, dura o flexible. Las propiedades de la madera (a saber, gravedad específica, densidad, contenido de humedad, etc.) de una sola especie de madera son relativamente constantes pero aún varían dentro de los árboles y pedazos de madera y entre éstos.

Las propiedades térmicas de la madera que son importantes y que afectan la dinámica del calentamiento incluyen la conductividad térmica, la capacidad del calor y la difusividad térmica. La conductividad térmica es la medida de la tasa del flujo del calor a través de una unidad de espesor de un material cuando está sujeto a un gradiente de temperatura. Se ve afectada por las propiedades de la madera tales como la densidad, gravedad específica, contenido de humedad, contenido de extractivos, dirección del grano, ángulo fibrilar y temperatura. La conductividad térmica aumenta en cuanto aumenta la gravedad, densidad, el contenido de humedad y la temperatura específicos de la madera. La capacidad del calor es la cantidad de energía necesaria

para aumentar una unidad de masa por unidad en temperatura. Depende del contenido de temperatura y humedad de la madera pero es independiente de la gravedad, densidad o especie específicas. La capacidad de calor de la madera verde (húmeda) es mayor que la de la madera seca. La difusividad térmica mide qué tan rápido un material puede absorber el calor de sus alrededores; es la tasa de conductividad térmica de la densidad y capacidad térmica al producto. Debido a la conductividad térmica baja, la densidad y capacidad térmica moderada de la madera, la difusividad térmica de la madera es menor que la de otros materiales (por ej., metal, ladrillo).

El contenido de humedad de la madera es la cantidad de agua en la madera expresada como porcentaje de su peso seco al horno. Muchas propiedades de la madera (por ejemplo, peso, contracción, resistencia, etc.) dependen de su contenido de humedad. En las maderas suaves, el contenido de humedad en el centro de la madera es generalmente más bajo que en la albura. En las maderas duras, la diferencia en contenido de humedad entre el centro de la madera y la albura dependen de la especie de la madera. Simpson et al. (2005) informaron que las diferencias en horas de calentamiento entre las especies de madera dura (arce rojo, arce, roble rojo, tilo americano y álamo temblón) no fueron grandes y se fundamentaron en la variabilidad natural entre las tablas individuales. Ellos llegaron a la conclusión de que no hay razón práctica para someter a tratamiento térmico a las diferentes especies de manera dura por separado.

6.3.2 Tamaño y configuración

El tamaño de la madera y su configuración afectan al proceso de tratamiento térmico. El tiempo de calentamiento aumenta con productos de madera más espesos y grandes (Figura 1). Los trozos y troncos de madera tomarán obviamente períodos más largos para someter la madera a tratamiento térmico que la madera aserrada de dimensiones menores. Las formas dispares y dimensiones variadas de leña significan diferentes tiempos de calor para los pedazos individuales lo cual resulta en un protocolo de tratamiento más exigente que acomode al peor escenario (Wang et al. 2009, 2010).

Figura 1: Curva de tiempo de calentamiento de las tablas con espesores que varían entre 0.75 y 12 in (de Wang 2010)

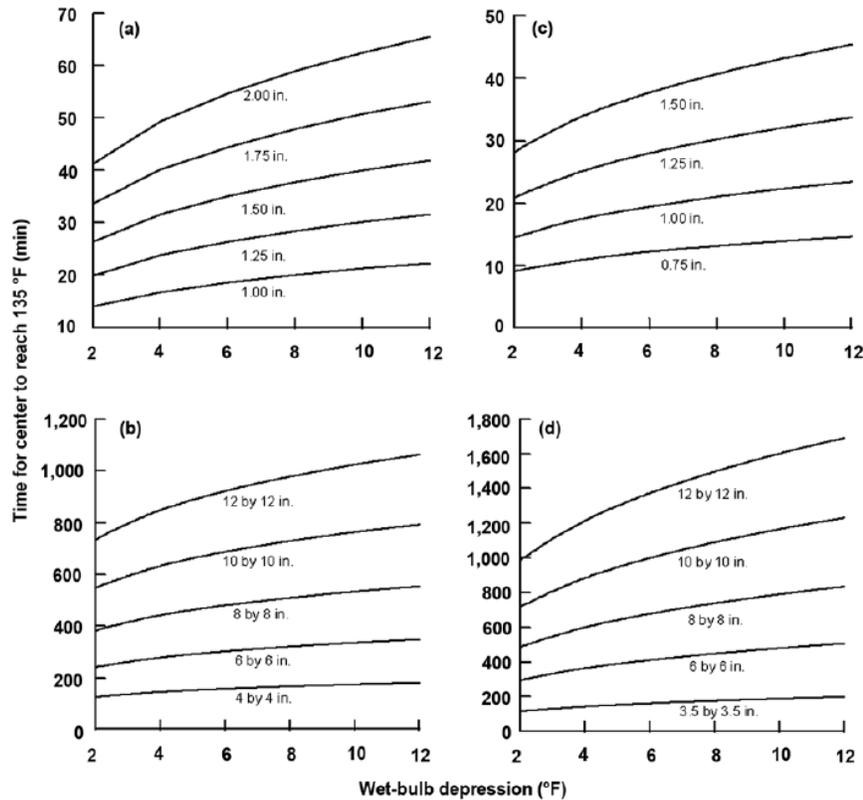


Figure 20–1. Dependence of heating time on wet-bulb depression for (a) 1- to 2-in.-thick ponderosa pine boards; (b) 4- to 12-in. ponderosa pine timbers; (c) 3/4- to 1-1/2-in.-thick Douglas-fir boards; and (d) 3-1/2- by 3-1/2-in. Douglas-fir timbers (initial temperature: 60 °F). (°C = (°F – 32)/1.8; 1 in. = 25.4 mm)

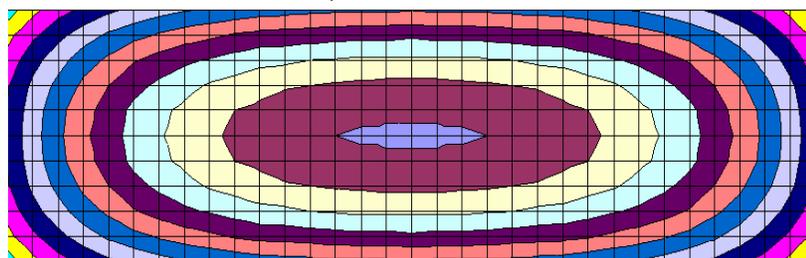
6.4 Modelos de penetración térmica – gradientes de temperatura

En la actualidad, la mayoría del tratamiento térmico se logra mediante el uso de estufas que reducen la humedad de la madera (en donde la aplicación controlada del calor es parte del proceso de secado) o las cámaras diseñadas específicamente para el tratamiento térmico. Hay una serie de consideraciones que necesitan abordarse para lograr una temperatura de 56°C en el centro de la madera para cada pedazo de madera en una pila grande; por ejemplo, la especie de madera, variabilidad en la densidad de la madera, humedad y tamaño del pedazo, temperatura inicial y uniformidad de la distribución del calor en la cámara. Para compensar debido a estas variables, las sondas de monitoreo de temperatura se colocan estratégicamente en pedazos centinela de madera o se establecen protocolos de tiempo temperatura. En cualquiera de los casos, la temperatura ambiental de la cámara se establece mayor que 56°C, con frecuencia 70 a 90°C. Puesto que el proceso de tratamiento térmico requiere muchas horas para que todos los pedazos de madera alcancen 56°C, la mayoría de la madera, en particular la “piel” exterior y esquinas de cada pedazo de madera se calientan a temperaturas mayores de 56°C por tiempos mucho mayores de 30 min. Para los organismos como *Agrilus planipennis* por ende,

“El calentamiento de la madera hasta que el centro alcance 56°C resultaría en un gradiente de temperatura que depende de la masa y el tamaño en todos los troncos, y las especies que vivan en las capas exteriores, tales como el BEF, estarán expuestas a temperaturas considerablemente altas durante períodos de tiempo largos que las especies que habitan en el centro. Una vez terminado el tratamiento, la inercia térmica significaría que la madera permanecerá a temperaturas altas por algún tiempo, lo cual asegura nuevamente de que la norma actual (tal como se implementó en la instalación que investigamos) es suficiente para exterminar al EAB” (Sobek et al. 2011).

Esta lógica concuerda con un análisis de modelado realizado por Forintek y CFS en el 2007 el cual demostró que la madera de fresno sometida a tratamiento de acuerdo al protocolo de tratamiento de madera dura del manual PI-07 de la ACIA recibió exposición a temperaturas superiores a los 60°C durante varias horas (Fig. 2).

Fig 2: Perfil de la temperatura al final del tratamiento térmico a través de la sección cruzada de 51mm de espesor por 152mm de ancho de madera de fresno a 56°C (tiempo para alcanzar 56°C /30 = 314 minutos)



■ 55-56 ■ 56-57 ■ 57-58 ■ 58-59 ■ 59-60 ■ 60-61 ■ 61-62 ■ 62-63 ■ 63-64 ■ 64-65 ■ 65-66 ■ 66-67

El enfoque del protocolo genérico adoptado por PI-07 contiene suficientes medidas de salvaguarda para asegurar que todos los productos de madera que han recibido tratamiento de acuerdo al protocolo cumplirán con la norma fitosanitaria, una temperatura mínima en el centro de la madera de 56°C durante 30 minutos como mínimo. Proporciona una norma mínima para alcanzar el objetivo del tratamiento. Cuando la reducción de la humedad también es una meta, la madera está sujeta a calor durante períodos de tiempo más largos. Por ejemplo, en una carga típica de 4/4 (29 mm de espesor) la madera de fresno aserrada se secó a un 7% MC en un molino canadiense de madera dura, la temperatura en el centro de la madera alcanzó 56° C al punto de 193 horas en un programa de calentamiento de 338 horas. Después de 220 horas, la temperatura en el centro de la madera excedió los 71° C. En este caso, los requisitos de tiempo como de temperatura para la seguridad fitosanitaria se sobrepasaron considerablemente.

7. El tratamiento térmico como componente de un enfoque de medidas integradas

Varios procesos mecánicos que se utilizan en la fabricación de productos de madera de árboles incluyendo las prácticas de cosecha, almacenamiento de madera, aserrado y procesos posteriores al aserrado disminuyen las plagas relacionadas (FAO 2011). Estos procesos transforman las propiedades estructurales y físicas de la madera, reduciendo generalmente la calidad del sustrato para la supervivencia exitosa de organismos plaga que pudieron haber estado viviendo en el árbol vivo. Cada uno de estos pasos disminuye la prevalencia de la plaga en la madera y puede considerarse medidas fitosanitarias independientes. Siguiendo los principios internacionales de las medidas integradas, el efecto acumulativo de estos procesos resulta en una reducción mayor del riesgo de plagas que si fuera con una sola medida. En este contexto, el tratamiento térmico es una

parte de un ejercicio mayor de reducción del riesgo, no la única oportunidad para mitigación de plagas.

El conocimiento de la biología de la plaga, cómo y dónde vive en la corteza y los tejidos leñosos del árbol hospedante ayudan a entender la eficacia del tratamiento y el diseño de los procesos eficaces de disminución del riesgo. Por ejemplo, los estadios de vida de *Agrilus planipennis*: huevecillos, larvas, prepupa, pupa y adultos viven en la corteza o en el tejido del cámbium y la albura ubicados por debajo de la corteza. En madera en rollo de tamaño comerciable, la mayoría de los estadios de pupa se eliminan de manera eficaz durante el descortezado. El siguiente proceso principal de producción, en el cual los troncos se cortan en tablas, elimina una parte considerable de la albura externa en donde se forman las cámaras prepupales en troncos de diámetro menor. Finalmente, el tratamiento térmico de la madera aserrada que asegura que el centro de la madera haya alcanzado una temperatura de 56°C durante 30 minutos y mata prácticamente a todos los estadios de vida de *A. planipennis* que aún puedan estar presentes. En combinación, estas medidas fitosanitarias independientes reducen de manera más eficaz el riesgo de plaga que la implementación de cualquier medida individual (NIMF 14: 2002).

En el contexto de reducción del riesgo a través de medidas integradas múltiples, podrá no ser necesario medir un solo componente, tratamiento térmico, por ejemplo, para producir casi un 100% de mortalidad. Haack et al. (2011) indicaron que los factores biológicos también entran en juego sugiriendo que

“el enfoque en la mortalidad como el único criterio para evaluar la seguridad cuarentenaria no toma en cuenta los factores fundamentados en el riesgo a lo largo de la vía, tales como la probabilidad de infestación, supervivencia natural, potencial reproductor y potencial de establecimiento, así como parámetros de procesamiento tales como prácticas de embalaje y envío y tiempos de distribución”.

Al cambiar la expectativa de que un tratamiento necesita proporcionar niveles muy altos de mortalidad por sí mismos, debería permitirse una mayor flexibilidad para crear sistemas eficaces de reducción del riesgo fitosanitario. Al reconocer el valor cuantificable de reducción del riesgo de un tratamiento junto con otras medidas cuantificadas permitirá el diseño de dichos sistemas que cumplan con los objetivos especificados de reducción del riesgo fitosanitario.

Apéndice 1: Ejemplos de requisitos de importación para tratamiento térmico de varios países

Ministerio de Nueva Zelanda para el sector primario

<http://www.biosecurity.govt.nz/imports/forests/standards/non-viable-forest-produce/sawn-wood.htm>
(consultado en junio de 2013)

Opciones de tratamiento

Madera aserrada: Tratamiento térmico (o secado en estufa) hasta que el centro de la madera alcance una temperatura mínima continua de 70°C durante más de 4 horas

Postes, pilas, madera en rollo y durmientes: tratamiento térmico durante más de 4 horas hasta que el centro de la madera alcance una temperatura mínima continua de 70°C o secado en estufa a menos del 20% de contenido de humedad a temperaturas que excedan los 56°C.

Departamento de Agricultura, Pesca y Silvicultura de Australia (DAFF, por su sigla en inglés) 2013

<http://www.daff.gov.au/aqis/import/timber/approved-treatments-timber/heat-treatments> (consultado en junio de 2013)

El embalaje de madera /madera de estiba que esté libre de corteza y que haya sido sometido a un tratamiento térmico aprobado por el DAFF en un período de 21 días de exportación, se considera que ha sido sometido a tratamiento de manera eficaz para las plagas cuarentenarias exóticas para Australia, salvo cuando el DAFF haya identificado una preocupación cuarentenaria específica.

Los tratamientos térmicos para la madera aprobados por el DAFF son:

1. secado en estufa para fines cuarentenarios (T9912)
2. tratamiento térmico: 56°C durante 30 minutos (T9968)
3. tratamiento térmico del embalaje de madera y madera para estiba en conformidad con lo establecido en la NIMF 15: 2009

Mientras que el protocolo tiempo-temperatura para el tratamiento térmico T9968 es el mismo que el especificado en la NIMF 15: 2009, los requisitos de documentación del DAFF para la validación de cada uno de estos tratamientos térmicos difieren. Consulte la política de requisitos documentarios mínimos para obtener detalles adicionales.

La norma del DAFF sobre tratamiento térmico (Australia DAFF 2013) es una metodología general para realizar tratamientos térmicos en seco con el fin de cumplir con los requisitos cuarentenarios de Australia.

Apéndice 2: Ejemplos de hongos termofílicos que habitan en la madera

| Hongo | Grupo de hongo | Temperatura letal | Referencia |
|---|---------------------------|-------------------|----------------------------|
| <i>Aspergillus fumigatus</i> Fresen. | anamorfo ascomiceto | de >82 °C | Tansey 1971 |
| <i>Chaetomium thermophile</i> La Touche var. <i>coprophile</i> Cooney y R. Emers. | ascomiceto | >60 °C | Tansey 1971 |
| <i>Dactylomyces thermophilus</i> Sopp | ascomiceto | >52 °C | Guilmo et al. 1998 |
| <i>Humicola lanuginosa</i> (Griffon y Maubl.) Bunce | ascomiceto | >83 °C | Tansey 1971 |
| <i>Penicillium bacillisporum</i> Swift | anamorfo ascomiceto | de >52 °C | Guilmo et al. 1998 |
| <i>Rhizomucor</i> sp | zigomiceto | >52 °C | Guilmo et al. 1998 |
| <i>Sporotrichum thermophile</i> Apinis | anamorfo basidiomiceto | de >55 °C | Semeniuk y Carmichael 1966 |
| <i>Thermoascus aurantiacus</i> Miehe | anamorfo ascomiceto | de >82 °C | Tansey 1971 |

Apéndice 3: Hongo basidiomiceto que produce clamidosporas (de Stalpers, 1978)

- Abortiporus biennis* (Bull. ex Fr.) Sing.
Amylocystis lapponica (Romell) Bond. & Sing.
Anomoporia bombycina (Fr.) Pouzar
Antrodia carbonica Overh.
Antrodia malicola (Berk. & Curt.) Murr.
Antrodia oleracea Davidson & Lombard
Antrodia serialis (Fr.) Murr.
Antrodia sinuosa (Fr.) Sarkar
Antrodia vaillantii (DC. ex Fr.) Cooke
Antrodia xantha (Fr. ex Fr.) Cooke
Bjerkandera adusta (Willd. ex Fr.) P. Karst.
Bjerkandera fumosa (Pers. ex Fr.) P. Karst.
Bondarzewia berkeleyi (Fr.) Bond. & Sing.
Bondarzewia montana (Quel.) Sing.
Ceraceomyces borealis (Romell) J. Erikss. & Ryv.
Ceriporia alachuana Murr.
Ceriporiopsis rivulosa (Berk. & Curt.) Cooke
Climacocystis borealis (Fr.) Imaz.
Climacodon septentrionalis (Fr.) P. Karst.
Veluticeps fimbriata (Pers. ex Fr.) Pouzar
Daedalea quercina (L.) ex Fr.
Dichomitus squalens (P. Karst.) D. Reid
Dichostereum effuscatum (Cooke & Ellis) D.P. Rogers & H.S. Jacks.
Dichostereum pallescens (Schw.) D.P. Rogers & H.S. Jacks.
Diplomitoporus lindbladii (Berk. & Br. ex Berk.) Cooke
Echinodontium tinctorium Ellis & Everh
Fistulina hepatica (Schaeff.) ex Fr.
Fomitopsis cajanderi (P. Karst.) Kotl. & Pouzar
Fomitopsis meliae Underw.
Fomitopsis officinalis (Vill. ex Fr.) Donk
Fomitopsis palustris Berk. & Curt.
Fomitopsis pinicola (Schw. ex Fr.) P. Karst
Fomitopsis spraguei Berk. & Curt.
Ganoderma colossum (Fr.) C.F. Baker
Ganoderma lucidum Boud. apud Pat.
Gloeocystidiellum porosum (Berk. & Curt.) Donk
Gloeophyllum abietinum (Bull. ex Fr.) P. Karst.
Gloeophyllum odoratum (Wulf. ex Fr.) Imaz
Gloeophyllum protractum (Fr.) Imaz.
Gloeophyllum sepiarium (Wulf. ex Fr.) P. Karst.
Gloeophyllum striatum (Sw. ex Fr.) Murr.
Gloeophyllum trabeum (Pers. ex Fr.) Murr.
Grifola frondosa (Dicks. ex Fr.) S. F. Gray
Hapalopilus croceus (Pers. ex Fr.) Donk
Hapalopilus mutans Peck
Hericium coralloides (Scop. ex Fr.) S.F. Gray
Hericium erinaceus (Bull. ex Fr.) Pers.
Hymenochaete rubiginosa (Dicks. ex Fr.) Lev.
Hyphodermella corrugata (Fr.) Bres.
Hypochnicium vellereum (Ell. & Cragin) Parm.
Hypochnicium vellereum (Ell. & Cragin) Parm.
Inonotus rickii (Pat.) D. Reid
Laetiporus sulphureus (Bull. ex Fr.) Bond. & Sing.
Laxitextum bicolor (Fr.) Lentz
Megalocystidium lactescens (Berk.) Boidin
Melanoporia nigra (Berk.) Cooke
Microporellus obovatus Berk. & Curt.
Mycoacia fuscoatra (Fr.) Donk
Osteina obducta (Berk.) Donk
Perenniporia compacta Overh.
Perenniporia fraxinophila (Peck) Ryv.
Perenniporia robinophila (Murr.) Lloyd
Phaeolus schweinitzii (Fr.) Pat.
Phanerochaete chrysosporium Burds. & Eslyn
Phanerochaete sordida (P. Karst.) Burt
Phlebia merismoides Fr.
Phlebia subserialis H. S. Jacks. & Dearden
Phlebia subserialis (Bourd. & Galz.) Donk
Phlebia tremellosus Schrad. ex Fr.
Phlebia chrysocreas (Berk. & Curt. apud Berk.) Burdsall
Piptoporus betulinus (Bull. ex Fr.) P. Karst
Polyporus brumalis (Pers. ex Fr.) Fr.
Polyporus mori (Bosc.) ex Fr.
Poria aurea Peck
Postia amara (Hedgec.) Lowe
Postia balsamea (Peck) Murrill
Postia placenta (Fr.) Cooke
Postia salmonicolor (Berk. & Curt.) Pouzar
Postia sericeomollis (Rom.) Bond. & Sing.
Postia tephroleuca (Fr.) Donk
Punctularia atropurpurascens (Berk. & Br.) Petch
Pycnoporus cinnabarinus (Jacq. ex Fr.) P. Karst
Pycnoporus sanguineus (L. ex Fr.) Murr.
Radulodon casearium Ryv.
Schizophyllum commune Fr.
Sparassis crispa (Wulf. ex Fr.) Fr.
Spongipellis delectans (Peck) Murr.
Spongipellis pachyodon (Pers.) Kotl. & Pouzar
Spongipellis unicolor (Schw.) Murr.
Sporotrichum pruinosum Novobranova
Trametes cubensis (Mont.) Sacc.
Trametes pubescens (Schum. ex Fr.) Pilat
Trametes suaveolens (Fr.) Fr.
Trametes versicolor (L. ex Fr.) Pilat
Tryomyces chioneus (Fr. ex Fr.) P. Karst
Tryomyces fissilis (Berk. & Curt.) Donk
Tryomyces fumidiceps Atk.
Vararia granulosa (Fr.) Laurila
Veluticeps berkeleyi (Berk. & Curt.) Cooke

Referencias

(en **negrita** indican las referencias citadas en el texto)

Aleon, D. 2003. Phytosanitary protection of timber with heat treatments. / Protection phytosanitaire du bois par traitement thermique. CTBA Info 37-42.

Aleon, D. 2004. Phytosanitary heat treatment of wood. / Traitement phytosanitaire du bois par chauffage à coeur. Bulletin OEPP 34: 133-138.

Allen, E. A. y Humble, L. M. 2002. Nonindigenous species introductions: a threat to Canada's forests and forest economy. Canadian Journal of Plant Pathology 24(2): 103-110.

Ambrogioni, L., Cavalli, M., Coniglio, D., Roversi, F.P., y Caroppo, S. 2005. Heat treatment by microwaves irradiation: a possible solution for sanitizing nematode infected wood. / Trattamento al calore mediante irradiazione a microonde: una possibile soluzione nel contenimento della nematofauna associata al legno. Nematologia Mediterranea 33: 79-86.

Annala, E. 1969. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). Ann. Zool. Fennici 6: 161-208.

Anonymous. 1991. The development of treatment schedules to ensure eradication in timber of the pinewood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*) and its insect vectors. Final Report. ELOAS.

APS. 1999. Resolution on Wood Importation. Council of The American Phytopathological Society, January 1999.

Armstrong, J. W. y R. L. Mangan. 2007. Commercial quarantine heat treatments, pp. 311-340. En: J. Tang, E. Mitcham, S. Wang, y S. Lurie (eds.), Heat treatments for postharvest pest control. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom.

Assaraf, M. P., Ginzburg, C., y Katan, J. 2002. Weakening and delayed mortality of *Fusarium oxysporum* by heat treatment: Flow cytometry and growth studies. Phytopathology 92:956-963.

Aurora, D. K., Pandey, A. K., y Srivastva, A. K. 1996. Effects of heat stress on loss of C, germination and pathogenicity from chlamydospores of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*. Siol Biol. Biochem 28: 399-407.

Baker, A. C. 1939. The basis for treatment of products where fruit flies are involved as a condition for entry into the United States. USDA Circ. 553: 1-7.

Baker, AC. 1952. The vapour heat process. En: US Department of Agriculture Yearbook. US Government Printing Office, Washington, DC, pp. 401-404.

Barnes, H.M. y Williams, L.H. 1988. Integrated protection against lyctid beetle infestations. VI. Thermal treatment of tropical hardwood lumber with polyborates. For. Prod. J. 38: 20-21.

Benker, U. 2008. Stowaways in wood packaging material - current situation in Bavaria. Forstschutz Aktuell 30-31.

Boina, D. y Subramanyam, B., 2004. Relative susceptibility of *Tribolium confusum* (Jacquelin du Val) life stages to elevated temperatures. Journal of Economic Entomology 97: 2168–2173.

Cartwright, K. y W.P.K. Findlay. 1958. *Decay of Timber and its Prevention*. Forest Her Majesty's Stationary Office 2nd ed. London. 332 pp.

Chapman, A.D. 1933. Effect of steam sterilization on susceptibility of wood to blue-staining and wood-destroying fungi. Journal of Agricultural Research 369-374.

Chen, Z., Poland, T.M., Clark, E.L., White, M.S., y Keena, M.A. 2008. Evaluation of vacuum technology to kill larvae of the Asian longhorned beetle, *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae), and the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae), in wood [electronic resource]. For. Prod. J. 58: 87-93.

Chidester, M.S. 1937. Temperature necessary to kill fungi in wood. Proceedings American Wood-Preservers' Association 33: 316-324.

Chidester, M.S. 1939. Further studies on temperatures necessary to kill fungi in wood. Amer. Wood Pres. Ass. [Division of Forest Pathology, Bureau of Plant Industry, U. S. D. A.

Cooper, P., Albright, M., Srinivasan, U., y Ung, T. 1998. Temperature development and sterilization of red pine poles during CCA treatment, elevated temperature fixation and drying. Material und Organismen 32: 127-143.

Cooper, P.A., Ung, Y.T., y Wang, J. 2007. "An order of deep-fried two-by-fours please!". For. Chron. 83: 475-477.

Craighead, F. C. 1921. Temperatures fatal to larvae of the red-headed ash borer as applicable to commercial kiln drying. Jour. of Forestry 19: 250-254.

Crisan, E.V. 1973. Current concepts of thermophilism and the thermophilic fungi. Mycologia 65: 1171-1198.

DAFF - Australian Department of Agriculture Fisheries and Forestry. 2013. Heat Treatment Standard
http://www.daff.gov.au/aqis/import/general-info/qftp/treatments-fumigants/aqis_heat_treatment_standard
(accessed June 2013).

- de Keijzer J., van den Broek L.A.M., Ketelaar T., y van Lammeren, A.A.M. 2012. Histological examination of horse chestnut infection by *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* and non-destructive heat treatment to stop disease progression. PLoS ONE 7(7): e39604. doi:10.1371/journal.pone.0039604
- Denlinger, D.L. y Yocum, G.D. 1998. Physiology of heat sensitivity. En: Hallman GJ, Denlinger DL, eds. 1998. Temperature Sensitivity in Insects and Application in Integrated Pest Management. Boulder, CO: Westview. 311 pp.
- Dijksterhuis, J. 2007. Heat-resistant ascospores. En: Dijksterhuis, J. y Samson, R. A. (Eds.). (2007). Food mycology: a multifaceted approach to fungi and food (Vol. 25). CRC.
- Dwinell, L.D. 1986. Ecology of the pinewood nematode in southern pine chip piles. USDA For. Service.
- Dwinell, L.D. 1987. Pinewood nematode in southern pine chips exported from Georgia. En: Series Title: Pathogenicity of the pine wood nematode. APS Press, St. Paul, MN pp. 50-57.
- Dwinell, L.D. 1990. Heat-treating and drying southern pine lumber infested with pinewood nematodes. Forest Products Journal 40: 53-56.
- Dwinell, L.D. 1990. Thermal death point of *Bursaphelenchus xylophilus* in southern pine chips. Nematologica 36: 346.
- Dwinell, L.D. 1994. Using heat to decontaminate pine chips infested with the pinewood nematode. Annual Intl. Res. Conf. Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions 961-962.**
- Dwinell, L.D. 1995. Annual Meeting: Forest Products Society. June.
- Dwinell, L.D. 1996. Alternatives to methyl bromide for eradicating pests in exported softwood chip, lumber, and logs. USDA Methyl Bromide Alternatives Newsletter 2: 78.
- Dwinell, L.D. 1996. Methyl bromide alternatives for decontaminating softwood chips, lumber and logs. Annual Res. Conf. on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. Nov. 4-6. 6: 641-643.
- Dwinell, L.D. 1996. Using heat to decontaminate softwood chips, lumber and logs. Conf. Importing Wood Products: Pest Risks to Domestic Industries. March 4-6.
- Dwinell, L.D. 1997. The pinewood nematode: regulation and mitigation. Annual Review of Phytopathology 35: 153-166.
- Dwinell, L.D. 2000. Effect of methyl bromide on *Bursaphelenchus xylophilus* in pine wood. En: Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions, 6-9 November 2000, Orlando, Fl. 71-1,3.

Dwinell, L.D. 2001. Potential use of elevated temperature to eradicate fungi in white oak wood. (resumen) *Phytopathology* 91: S25. Publication No. P-2001-0174-AMA.

Dwinell, L.D. y Carr, W.W. 1991. Using radio waves to eradicate *Bursaphelenchus xylophilus* in southern pine chips. *J. Nematol.* 23: 527.

Dwinell, L.D. y Carr, W.W. 1995. Radio waves and steam, alone or in combination, for the eradication of *Bursaphelenchus xylophilus* in southern pine chips. Annual Intl. Res. Conf. on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. Nov. 6-8. 81-1,3.

Dwinell, L.D., Avramidis, S., y Clark, J.E. 1994. Evaluation of a radio-frequency/vacuum dryer for eradicating the pinewood nematode in green sawn wood. *Forest Products Journal* 44: 19-24.

Dwinell, L.D., Avramidis, S., y Clark, J.E. 1994. Evaluation of a radio frequency/vacuum dryer for the eradication of the pine wood nematode in green sawn wood. *Forest Prod. J.* 44: 19-24.

Dwinell, L.D., Chung, Y., Lee, D., y Yi, C. 1995. Heat treating loblolly pine lumber to eradicate *Bursaphelenchus xylophilus*: Verification tests. Annual Intl. Res. Conf. on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. Nov. 6-8. 80-1,3.

Dwinell, L.D., Magnusson, C., y Tomminen, J. 1994. Evaluation of a Swedish steam-dryer for treatment of *Bursaphelenchus xylophilus* in pine chips. *Bulletin-OEPP* 24: 805-811.

Ebeling, W. 1994. Heat penetration of structural timbers. Technical note (Forest Engineering Research Institute of Canada). Technical note 16: 9-10.

EFSA. 2011. EFSA Panel on Plant Health (PLH); Scientific opinion on a technical file submitted by the US authorities to support a request to list a new option among the EU import requirements for wood of *Agrilus planipennis* host plants. *EFSA Journal* 2011; 9(7):2185. [51 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2011.2185. Disponible en línea: www.efsa.europa.eu/efsajournal

Eom, C.D., Han, Y.J., Shin, S.C., Chung, Y.J., Jung, C.S., y Yeo, H.M. 2007. Study on heat treatment of red pine log. *Mokchae Konghak = Journal of the Korean Wood Science and Technology* 35: 50-56.

European Commission. 1992. Commission Directive 92/103/EEC of 1 December 1992 amending Annexes I to IV to Council Directive 77/93/EEC on protective measures against the introduction into the Community of organisms harmful to plants or plant products and against their spread within the Community. *Official Journal No. L 363, 11.12.1992, p. 1.*

Evans, D.E. 1981. The influence of some biological and physical factors on the heat tolerance relationships for *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Bostrichidae and Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* 17: 65-72.

- FAO. 2011. Guide to the implementation of phytosanitary standards in forestry. FAO Forestry paper No. 164. 101 pp. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.**
- Fields, P. G. y White, N. D. 2002. Alternatives to Methyl Bromide Treatments for Stored-Product and Quarantine Insects 1. Annual Review of Entomology 47(1): 331-359.**
- Finney-Crawley, J.R. 1989. Investigation to determine the insect vectors of pinewood nematode in Canada. Contract report to Forestry Canada, Newfoundland and Labrador Region, St. John's, Newfoundland. 73 pp.**
- Fleming, M.R., Hoover, K., Janowiak, J.J., Fang, Y., Wang, X., Liu, W., Wang, Y., Hang, X., Agrawal, D., Mastro, V.C., Lance, D.R., Shield, J.E., y Roy, R. 2003. Microwave irradiation of wood packing material to destroy the Asian longhorned beetle. For. Prod. J. 53: 46-52.**
- Fleming, M.R., Janowiak, J.J., Kimmel, J.D., Halbrendt, J.M., Bauer, L.S., Miller, D.L., y Hoover, K. 2005. Efficacy of commercial microwave equipment for eradication of pine wood nematodes and *cerambycid* larvae infesting red pine. For. Prod. J. 55: 226-232.**
- Flores, A., Suszkiw, J., and Wood, M. 2003. Radio frequency puts the heat on plant pests. *Agricultural Research* 51: 15-17.
- Forest Products Research Laboratory. 1957. The kiln sterilization of *Lyctus*-infested timber. Dept. Sci. and Ind. Res., For. Prod. Res. Lab, Rep. Leaflet 13.
- Freeman, S. y Katan, J. 1988. Weakening effect on propagules of *Fusarium* by sublethal heating. *Phytopathology* 78: 1656-1661.**
- French, J.R.R. y Johnstone, R.S. 1968. Heat sterilization of block stacked timber in wood-destroying insect control. *J. Inst. Wood Sci.* 20: 42-46.
- Gilbert, J., Woods, S.M., Turkington, T.K. y Tekauz, A. 2005. Effect of heat treatment to control *Fusarium graminearum* in wheat seed. *Canadian journal of plant pathology = Revue Canadienne de Phytopathologie* 27: 448-452.
- Goebel, C.P., Bumgardner, M.S., Herms, D.A. y Sabula, A. 2010. Failure to phytosanitize ash firewood infested with emerald ash borer in a small dry kiln using ISPM-15 standards. *Journal of Economic Entomology* 103: 597-602.**
- Graham, S. A. 1924. Temperature as a limiting factor in the life of subcortical insects. *Journal of economic entomology* 17(3): 377-383.**
- Guilmo, S.M.P., Auer, C.G. y Barrichelo, L.E.G. 1999. Effect of thermophilic fungi on wood of *Eucalyptus saligna*. III. The fungal population. *Boletim-de-Pesquisa-Florestal*. 37:89-95.**

- Haack, R. A., Hérard, F., Sun, J., y Turgeon, J. J. 2010. Managing invasive populations of Asian longhorned beetle and citrus longhorned beetle: a worldwide perspective. Annual Review of Entomology, 55, 521-546.**
- Haack, R.A. y Petrice, T.R. 2009. Bark and wood-borer colonization of logs and lumber after heat treatment to ISPM 15 specifications: The role of residual bark [recurso electrónico]. J. Econ. Entomol. 102: 1075-1084.**
- Haack, R.A., Petrice, T.R. y Nzokou, P. 2007. Do bark beetles and wood borers infest lumber following heat treatment? the role of bark. En: Proceedings, 17th U.S. Department of Agriculture Interagency Research Forum on Gypsy Moth and Other Invasive Species, 2006 : January 10-13, 2006 pp. 46-46.
- Haack, R. A., Uzunovic, A., Hoover, K. y Cook, J. A. 2011. Seeking alternatives to probit 9 when developing treatments for wood packaging materials under ISPM No. 15. EPPO Bulletin 41(1): 39-45.**
- Hansen J. D. y Johnson J. A. 2007. Introduction. En: J. Tang, E. Mitcham, S. Wang, y S. Lurie (eds.), Heat treatments for postharvest pest control. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom.**
- Hansen J.D. Johnson, J.A. y D.A Winter. 2011. History and use of heat in pest control: a review. International Journal Pest Management 57(4):267-289.**
- Hansen, L. S. y Jensen, K. M. V. 1996. Upper lethal temperature limits of the common furniture beetle *Anobium punctatum* (Coleoptera: Anobiidae). International biodeterioration & biodegradation 37(3): 225-232.**
- He, W., Simonsen, W.J., Chen, H. y Morrell, J.J. 1997. Evaluation of the efficacy of selected thermal boron treatments in eliminating pests in freshly peeled Douglas-fir logs. For. Prod. J. 47: 66-70.
- Heather, N.W. y Hallman, G.J. 2008. Phytosanitary heat treatments. En: Pest Management and Phytosanitary Trade Barriers. Wallingford, UK: CAB International, p. 111-131.
- Hoover, K., Uzunovic, A., Gething, B., Dale, A., Leung, K., Ostiguy, N. y Janowiak, J. J. 2010. Lethal temperature for pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, in infested wood using microwave energy. Journal of Nematology 42(2): 101.**
- Hopping, G.R. y Jenkins, J.H. 1933. The effect of kiln temperatures and air-seasoning on ambrosia insects (pinworms). Can Dept. Interior, For. Serv, Rep. Circ. 38.
- Huang, L., Chen, B. y Kang, L. 2007. Impact of mild temperature hardening on thermo tolerance, fecundity, and HSP gene expression in *Liriomyza huidobrensis*. Journal of Insect Physiology 53: 1199–1205.**

- Hubert, E.E. 1924. Effect of kiln drying, steaming and air seasoning on certain fungi in wood. USDA, Rep. USDA Dept. Bull. No. 1262.
- Hulme, M.A. y Stranks, D.W. 1976. Heat tolerances of fungi inhabiting chip piles. Wood Science 8: 237-241.
- Humphrey, C.J. y Siggers, P.V. 1934. Temperature relations of wood-destroying fungi. J. Agric. Res. 47: 997-1008.**
- Ishibashi, N. y Kondo, E. 1977. Occurrence and survival of the dispersal forms of pinewood nematode, *Bursaphelenchus lignicolus*. Applied Entomology and Zoology 12: 293-302.**
- Janson, R. y Farrell, R.L. 2000. Identification of fungal infections in imported timber. University of Waikato, Rep. Project Code MBS 304.
- Jaynes, R.A. y DePalma, N.D. 1984. Natural infection of nuts of *Cattanea dentata* by *Endothia paratitica*. Phytopathology 74:296-299**
- Jones, T.W. 1973. Killing the oak wilt fungus in logs. For. Prod. J. 23: 52-54.
- Kappenburg, K.W. 1998. Evaluation of alternative quarantine procedures for North American oak timber to replace MB / Evaluierung alternativer quarantantechniken zum ersatz von methylbromid bei der behandlung nordamerikanischen eichenholzes. Inauguraldissertation zur erlangung der Doktorwurde. 140.**
- Keck M., Chartier R., Zislavsky W., Lecomte P. y Paulin J.P. 1995. Heat treatment of plant propagation material for the control of fire blight. Plant Pathology 44:124-129.**
- Kinn, D.N. 1986. Heat-treating wood chips: a possible solution to pine wood nematode contamination. Tappi J. 69: 97-98.**
- Kocaefe, D., Shi, J.L., Yang, D.Q. y Zhang, J. 2007. Preliminary study of thermal treatment effects on mold growth of selected Quebec wood species. For. Prod. J. 57: 30-33.
- Kondo, E. y Ishibashi, N. 1978. Ultrastructural differences between the propagative and dispersal forms in pine wood nematode, *Bursaphelenchus lignicolus*, with reference to the survival. Applied entomology and zoology 13(1): 1-11.**
- Kurpik, V.W. y Wazny, J. 1978. Lethal temperatures for the wood-destroying fungi *Coniophora putanea* Fr. and *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf.) Karst. Material und Organismen 13: 1-12.**
- Lazarescu, C., Breuil, C., Avramidis, S., Plattner, A. y Hart, F. 2009. Pasteurization of hemlock by radio frequency heating: a preliminary study. For. Prod. J. 59: 79-83.

- Lazarescu, C., Dale, A., Uzunovic, A., Breuil, C. y Avramidis, S. 2011. Radio frequency heating pasteurization of pine wood nematode (*Bursaphelenchus xylophilus*) infected wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 69(4): 573-578.
- Lewis Jr., R. 1985. Temperature tolerance and survival of *Ceratocystis fagacearum* in Texas. *Plant Dis.* 69: 443-444.
- Liebholt A.M., MacDonald W.L., Bergdahl D. y Mastro V.C. 1995. Invasion by exotic forest pests: a threat to forest ecosystems. *Forest Science* 41: 1-49.
- Lifshitz, R., Tabachnik, M., Katan, J. y Chet, I. 1983. The effect of sublethal heating on sclerotia of *Sclerotium rolfsii*. *Canadian Journal of Microbiology* 29:1607-1610.
- Lindgren, R.M. 1942. Temperature, moisture and penetration studies of wood staining *Ceratostomellae* in relation to their control. USDA, Rep. Tech. Bull. 807.
- Lindquist, S. y Craig, E.A. 1988. The heat-shock proteins. *Annu Rev Genet.* 1988 22:631– 677.
- MacLean, J.D. 1930. Studies of heat conduction in wood-results of steaming green round southern pine timbers. *Proc. American Wood-Preservers' Assoc* 26: 197-217.
- MacLean, J.D. 1932. Studies of heat conduction in wood -Part II-Results of steaming green sawn southern pine timbers. *Proc. Wood-Preservers' Assoc.* 28: 303-329.
- Maehara, N. y Futai, K. 1996. Factors affecting both the numbers of the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae), carried by the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae), and the nematode's life history. *Applied entomology and zoology* 31(3): 443-452.
- Magnusson, C. y T. Schröder. 2009. Technical protocol for testing nematodes during treatment development. IFQRG-7, International Forestry Quarantine Research Group, 14D17 September 2009, Rome, Italy.
- Maheshwari, R., Bharadwaj, G. y Bhat, M.K. 2000. Thermophilic fungi: Their physiology and enzymes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 64:461-488.
- Mamiya, Y. y N. Enda. 1972. Transmission of *Bursaphelenchus lignicolus* by *Monochamus alternatus*. *Nematologica* 18:159-162.
- Mamiya, Y. 1984. The pine wood nematode. En: *Plant and insect nematodes*, Nickle W.R. (ed) Marcel Dekker, New York. P.589-626.

Mahroof, R., Subramanyam, B., Throne, J. E. y Menon, A. 2003. Time-mortality relationships for *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) life stages exposed to elevated temperatures. Journal of Economic Entomology 96(4): 1345-1351.

Mayfield III, A. E., Fraedrich, S. W., Taylor, A., Merten, P., y Myers, S. W. 2014. Efficacy of Heat Treatment for the Thousand Cankers Disease Vector and Pathogen in Small Black Walnut Logs. *Journal of economic entomology*, 107(1), 174-184.

McCullough, D.G., Poland, T.M., Cappaert, D., Clark, E.L., Fraser, I., Mastro, V., Smith, S., y Pell, C. 2007. Effects of Chipping, Grinding, and Heat on Survival of Emerald Ash Borer, *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae), in Chips [electronic resource]. J. Econ. Entomol. 100: 1304-1315.

Myers, S W.; Bailey, S. M. 2011. Evaluation of a Heat Treatment Schedule for the Asian Longhorned Beetle, *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae). Forest Products Journal. Vol. 61:46-49.

Miric, M. y Willeitner, H. 1984. Lethal temperature for some wood-destroying fungi with respect to eradication by heat treatment. Inter. Res. Group on Wood Preservation, Rep. Doc. No. IRG/WP/1229.

Mironidis, G.K. y Savopoulou-Soultani, M. 2010. Effects of heat shock on survival and reproduction of *Helicoverpa armiger* (Lepidoptera: Noctuidae) adults. Journal of Thermal Biology 35: 59–69.

Montgomery, H.B.S. 1936. An investigation of the temperatures lethal to some wood-decaying fungi. Trans. Brit. Mycol. Soc. 20: 293-298.

Morrell, J.J. 1995. Importation of unprocessed logs into North America: a review of pest mitigation procedures and their efficacy. For. Prod. J. 45: 41-50.

Morrell, J.J. 1996. Methods for mitigating the risks associated with unprocessed wood into the United States. Importing Wood Products Conf: Pest Risks to Domestic Industries. Portland, OR. March 4-6. P.27-32.

Morrell, J.J. y Newbill, M.A. 1991. Survival of basidiomycetes in Cellon-treated Douglas-fir heartwood. For. Prod. J. 41: 37-39.

Morrell, J.J., Freitag, C.M. y Eddington, C. 2001. Effect of preservative treatment on survival of fungi in western red cedar utility poles. For. Prod. J. 51: 69-72.

Morton, L.H.G. y Eggins, H.O.W. 1979. A survey of the thermophilous cellulolytic fungi of imported softwoods and of in-service timber joinery. Material-und-Organismen 14: 205-213.

Mullett, M. S. y Webber, J. F. 2013. *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi*: foliar infection of *Aesculus* species and temperature–growth relationships. Forest Pathology doi: 10.1111/efp.12040.

- Munnecke, D.E., Wilbur, W. y Darley, E.F. 1976. Effect of heating or drying on *Armillaria mellea* or *Tricoderme viride* and the relation to survival of *A. mellea* in soil. *Phytopathology* 66: 1363-1368.
- Mushrow, L., Morrison, A., Sweeney, J., & Quiring, D. 2004. Heat as a phytosanitary treatment for the brown spruce longhorn beetle. *The Forestry Chronicle*, 80(2), 224-228.
- Myers, S. W., Fraser, I. y Mastro, V. C. 2009. Evaluation of Heat Treatment Schedules for Emerald Ash Borer (Coleoptera: Buprestidae). *Journal of Economic Entomology* 102 (6): 2048-2055.
- Nelson, E.E. y Fay, H. 1974. Thermal tolerance of *Poria weirii*. *Can. J. For Res.* 4: 288-290.
- Neven, L.G. 2000. Physiological responses of insects to heat. *Postharvest Biology and Technology* 21:103-111.
- Newbill, M.A. y Morrell, J.J. 1991. Effects of elevated temperatures on the survival of Basidiomycetes that colonize untreated Douglas-fir logs. *For. Prod. J.* 41: 31-33.
- New Zealand Ministry for Primary Industries (NZ MPI). 2013. Import Requirements for sawn wood. <http://www.biosecurity.govt.nz/imports/forests/standards/non-viable-forest-produce/sawn-wood.htm> (consultado junio de 2013).
- NIMF 14. 2002. *Aplicación de medidas integradas en un enfoque de sistemas para el manejo del riesgo de plagas*. Roma, CIPF, FAO.
- NIMF 15. 2002. *Reglamentación del embalaje de madera utilizado en el comercio internacional*. Roma, CIPF, FAO.
- NIMF 15. 2009. *Reglamentación del embalaje de madera utilizado en el comercio internacional*. Roma, CIPF, FAO.
- NIMF 28. 2007. *Tratamientos fitosanitarios para plagas reglamentadas*. Roma, CIPF, FAO.
- Nzokou, P., Kamdem, D.P. y Tourtellot, S. 2008. Kiln and microwave heat treatment of logs infested by the emerald ash borer (*Agrilus planipennis* Fairmaire) (Coleoptera: Buprestidae). *For. Prod. J.* 58: 68-72.
- Ostaff, D.P. y Cech, M.Y. 1978. Heat sterilization of spruce-pine-fir lumber containing pine sawyer beetle larvae (Coleoptera: *Cerambycid Monochamus* sp.). Canadian Forest Service, Rep. OPX-200E.
- Palmer, J.G. y Payne, R.G. 1986. The effects of supraoptimal temperatures upon the North American brown-rot fungi in pure culture. *Can. J. For. Res.* 16: 169-176.
- Parkin, E.A. 1937. The kiln-sterilization of timber infested by *Lyctus* powder-post beetles. *J. For.* 11: 32-39.

Powell, M.R. 2002. A model for probabilistic assessment of phytosanitary risk reduction measures. *Plant Dis.* 86: 552-557.

Qi Longjun, Shong Shaoyi, Yan Zhenfen y Yu Xiang (Shanghai Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau. 200135). 2005. Study on the effect of heat treatment for pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* within imported wood packaging materials. Chinese Academy of Inspection and Quarantine. *Plant Quarantine* 6:19 325-329.

Rangel, D. E., Braga, G. U., Anderson, A. J., & Roberts, D. W. 2005. Variability in conidial thermotolerance of *Metarhizium anisopliae* isolates from different geographic origins. *Journal of invertebrate pathology*, 88(2), 116-125.

Ramsfield, T. D., Ball, R. D., Gardner, J. F. y Dick, M. A. 2010. Temperature and time combinations required to cause mortality of a range of fungi colonizing wood, *Canadian Journal of Plant Pathology*, Primera publicación: 26 de Julio de 2010 (iFirst) Para enlazar a este artículo: DOI: 10.1080/07060661.2010.499269 URL: <http://dx.doi.org/10.1080/07060661.2010.499269>

Scheffer, T.C. y Chidester, M.S. 1943. Significance of air-dry wood in controlling rot caused by *Poria incrassata*. *Sth. Lumberm.* (2091) 166: 53-55.

Scheffer, T.C. y Chidester, M.S. 1948. Survival of decay and blue-stain fungi in air-dry wood. *Sth. Lumberm.* 177: 110-112.

Scheffrahn, R.H., Wheeler, G.S. y Su, N. 1997. Heat tolerance of structure-infesting drywood termites (Isoptera: Kalotermitidae) of Florida. *Sociobiology* 29: 237-245.

Schmidt, E.L. y Westberg, C. 2001. Heartwood temperatures of red pine pole stock during pentachlorophenol pressure treatment and presence of decay fungi prior to treatment. *For. Prod. J.* 51: 41-44.

Schmidt, O. 2006. Wood and tree fungi: biology, damage, protection, and use. Springer. Berlin, Heidelberg, New York.

Schortemeyer, M., Thomas, K., Haack, R. A., Uzunovic, A., Hoover, K., Simpson, J. A. y Grgurinovic, C. A. 2011. Appropriateness of probit-9 in the development of quarantine treatments for timber and timber commodities. *Journal of Economic Entomology* 104(3): 717-731.

Scott, M., Berrigan, D. y Hoffmann, A.A. 1997. Costs and benefits of acclimation to elevated temperature in *Trichogramma carverae*. *Entomologica Experimentalis et Applicata* 85: 211-219.

Seehan, G. 1965. Effect of the drying and heating of softwoods on the growth of blue-stain fungi / Uber die wirkung einer trocknung und erwanrmang von nadelholz auf das wachstum von blauepilzen. *Holz als Roh und Werkstoff* 23: 341-347.

- Seifert, K. A., Nickerson, N. L., Corlett, M., Jackson, E. D., Louis-Seize, G. y Davies, R. J. 2004. *Devriesia*, a new hyphomycete genus to accommodate heat-resistant, cladosporium-like fungi. *Canadian Journal of Botany* 82(7): 914-926.
- Seifert, K.A. 1993. Sapstain of commercial lumber. En: Sapstain of commercial lumber. APS Press, St. Paul MN pp. 293.
- Semeniuk, G. y Carmichael, J.W. 1966. *Sporotrichum thermophile* in North America. *Can. J. Bot.* 44:105-8.
- Sienkiewicz, N., Buultjens, T. E. J., White, N. A. y Palfreyman, J. W. 1997. *Serpula lacrymans* and the heat-shock response. *International Biodeterioration and Biodegradation* 39: 217-224.
- Simpson, W.T. 2002. Effect of wet bulb depression on heat sterilization time of slash pine lumber. Res. Pap. FPL-RP-604. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 6 p.
- Simpson, W.T. 2006. Estimating heating times of wood boards, square timbers, and logs in saturated steam by multiple regression. *For. Prod. J.* 56: 26-28.
- Simpson, W.T., Wang, X., Forsman, J.W. y Erickson, J.R. 2005. Heat sterilization times of five hardwood species. Research Paper FPL-RP-626. Madison, Wisconsin. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 10 p.
- Sinclair, B.J. y Dillon, D. 2008. High Temperature tolerance of the Emerald Ash Borer *Agrilus planipennis*. Contract research report for the Canadian Food Inspection Agency.
- Smith, R.S., editor. 1991. The use of heat treatment in the eradication of the pinewood nematode and its vectors in softwood lumber. Report to the Task Force on pasteurization of Softwood Lumber. Forintek Canada Corporation, Vancouver, B.C., Canada. 72 pp.
- Snell, W.H. 1922. The effect of heat upon the mycelium of certain structural timber destroying fungi within wood. *Phytopathology* 12: 122.
- Snell, W.H. 1923. The effect of heat upon the mycelium of certain structural timber destroying fungi within wood. *Am. J. Bot.* 10: 399-411.
- Snyder, T.E. 1923. High temperatures as a remedy for *Lyctus* powder-post beetles. *J. For.* 21: 810-814.
- Sobek, S., Rajamohan, A, Dillon, D. Cumming, R.C. y Sinclair, B.J. 2011. High temperature tolerance and thermal plasticity in emerald ash borer *Agrilus planipennis*. *Agricultural and Forest Entomology* Article first published online: 14 FEB 2011 DOI: 10.1111/j.1461-9563.2011.00523.x

- Sokhansanj, S., Venkatesam, V.S., Wood, H.C., Doane, J.F. y Spurr, D.T. 1992. Thermal kill of wheat midge and Hessian fly. *Postharvest Biol. Technol.* 2: 65-71.
- Sokhansanj, S., Wood, H.C. y Venkatesan, V.S. 1990. Simulation of thermal disinfestation of hay in rotary drum dryers. *Trans. ASAE* 33: 1647-1651.
- Sokhansanj, S., Wood, H.C., Whistlecraft, J.W. y Koivisto, G.A. 1993. Thermal disinfestation of hay to eliminate possible contamination with Hessian fly (*Mayetiola destructor* (Say)). *Postharvest Biol. Technol.* 3: 165-172.
- Soma, Y., Naito, H., Misumi, T., Mizobuchi, M., Tsuchiya, Y., Matsuoka, I., y Komatsu, H. 2001. Effects of some fumigants on pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* infecting wooden packages 1. Susceptibility of pine wood nematode to methyl bromide, sulfuryl fluoride and methyl isothiocyanate. *Research Bulletin of the Plant Protection Service Japan* 37: 19-26.**
- Srivastava, S.K. y Patel, P. N. 1970. Epidemiology of bacterial leaf spot, blight and shot-hole disease of Neem in Rajastan. *Indian Phytopathology, New Delhi* 1069 (22):237-44.**
- Stalpers, J. A. 1978. Identification of wood-inhabiting Aphyllophorales in pure culture. *Studies in Mycology*, 1978.**
- Suryanarayanan, T. S., Govindarajulu, M. B., Thirumalai, E., Reddy, M. S. y Money, N. P. 2011. Agni's fungi: heat-resistant spores from the Western Ghats, southern India. *Fungal Biology* 115(9): 833-838.**
- Tansey, M. R. 1971. Isolation of thermophilic fungi from self-heated, industrial wood chip piles. *Mycologia* 63: 537-547**
- Taylor, A. y Lloyd, J. 2009. Phytosanitation of railway crossties with a hot borate solution immersion treatment. *For. Prod. J.* 59: 76-78.**
- Tomminen, J. y Nuorteva, M. 1992. Pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* in commercial sawn wood and its control by kiln heating. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7(1-4): 113-120.**
- Tschernitz, J. L. 1991. Energy in kiln drying. Dry kiln operator's manual: USDA Agricultural Handbook AH-188. Forest Products Laboratory, Madison, 239-256.**
- U.S. Environmental Protection Agency. 1996. Heat treatment to control pests on imported timber, Methyl bromide alternative case study. Rep. 10 Case Studies, Volume 2.
- USDA Animal and Plant Health Protection Service. 1991. An efficacy review of control measures for potential pests of imported Soviet timber. USDA - APHIS, Rep. Misc. Publication No. 1496.**
- USDA Animal and Plant Health Protection Service. 1994. Federal Register 59 7 CFR Part 319 [Docket No. 91-074-3] RIN 0579-AA47 Importation of Logs, Lumber, and Other Unmanufactured Wood Articles.**

- USDA Animal and Plant Health Protection Service. 2000. Pest Risk Assessment for Importation of Solid Wood Packing Materials into the United States: APHIS and FS. United States Department of Agriculture. 275 pp.**
- USDA Forest Service. 1956. Temperatures necessary to kill fungi in wood. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Rep. Technical Note 259.
- USDA Forest Service. 1991. Pest risk assessment of the importation of larch from Siberia and the Soviet far East. USDA For. Serv. Misc. Pub. 1495.**
- USDA Forest Service. 1992. Pest Risk Assessment of the importation of *Pinus radiata* and Douglas-fir logs from New Zealand. USDA For. Serv. Misc. Pub. 1508.**
- USDA Forest Service. 1993. Pest Risk Assessment of the importation of *Pinus radiata*, *Nothofagus dombeyi* and *Laurelia philippiana* logs from Chile. USDA For. Serv. Misc. Pub. 1517.**
- Uzunovic, A. y Khadempour, L. 2007. Heat disinfection of mountain pine beetle-affected wood. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, B.C. Mountain Pine Beetle Initiative Working Paper 2007-14. 23 p.**
- Uzunovic, A., Khadempour, L. y Leung, K. 2008. Heat disinfection of decay fungi found in post-mountain pine beetle wood. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC. Mountain Pine Beetle Working Paper 2008-14. 12 p.**
- Uzunovic, A., Gething, B., Coelho, A., Dale, A., J. Janowiak, J., Mack, R. y Hoover, K. 2012. Lethal temperature for pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, in infested wood using radio frequency (RF) energy. Journal of Wood Science 59 (2): 1-11.**
- Vu Thanh, T. A., Sosnowski, M. R., Giblot-Ducray, D., Taylor, C. y Scott, E. S. 2012. Effect of burning and high temperature on survival of *Xanthomonas translucens* pv. *pistaciae* in infected pistachio branches and twigs. Plant Pathology 61: 1082-1092.**
- Wang, X. 2010. Heat sterilization of wood. General Technical Report FPL-GTR-190, US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, p.1-13.**
- Wang Yuyan, Song Yushuang, Zang Xiuqiang, Liu Yang, Ge Minghong y Zhao Julin. 1994. Study on the effect on fumigation on the wood infested by pine wood nematode with methyl bromide. Forest-Research 7: 6671-676.**
- Wang, X., Bergman, R., Simpson, W. T., Verrill, S. y Mace, T. 2009. Heat-treatment options and heating times for ash firewood. General Technical Report FPL-GTR-187. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 29 p.**

- Wang, X., Bergman, R. D. y Mace, T. 2010. Heat sterilization of ash (*Fraxinus* spp.) firewood: Heat-treating options, temperature monitoring and thermal verification. *Wood Material Science and Engineering* 5(2): 104-109.
- Webster JM . 1999. Pine wilt disease: a world wide survey. En: *Proceedings-of-International-Symposium,-Tokyo,-Japan,-27-28-October,-1998. Sustainability-of-pine-forests-in-relation-to-pine-wilt-and-decline*, p. 254-260.
- Wermelinger, B. y Seifert, M. 2008. Temperature dependent reproduction of the spruce bark beetle *Ips typographus*, and analysis of the potential population growth. *Ecological Entomology* 24(1): 103-110.
- Widmer, T. 2011. Effect of temperature on survival of *Phytophthora kernoviae* oospores, sporangia, and mycelium. *New Zealand Journal of Forestry Science* 41: S15-S23.
- Wilcox, W.W. 1973. Degradation in relation to wood structure. En: *Wood Deterioration and its Prevention by Preservative Treatments. Vol. 1. Degradation and Protection of Wood*. D.D. Nicholas ed. Syracuse University Press, Syracuse NY. P. 107-148.
- Wingfield, M.J. y R.A. Blanchette. 1983. The pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* in Minnesota and Wisconsin: insect associates and transmission studies. *Can. J. For. Res.* 13:1068-1076.
- Woodrow, R.J. y Grace, J.K. 1998. Field studies on the use of high temperatures to control *Cryptotermes brevis* (Isoptera: Kalotermitidae). *Sociobiology* 32: 27-49.
- Xie, B., Cheng, X., Shi, J., Zhang, Q., Dai, S., Cheng, F. X., y Luo, Y. 2009. Mechanisms of invasive population establishment and spread of pinewood nematodes in China. *Science in China Series C: Life Sciences* 52(6): 587-594.
- Yocum, G.D. y Denlinger, D.L., 1992. Prolonged thermotolerance in the Flesh fly, *Sarcophaga crassipalpis*, does not require continuous expression or persistence of the 72 kDa heat-shock protein. *J. Insect Physiol.* 38: 603–609.
- Zabel, R.A., Kenderes, A.M. y Lombard, F.F. 1980. Fungi associated with decay in treated Douglas-fir transmission poles in the Northeastern United States. *For. Prod. J.* 30: 51-56.
- Zheng BaoYou, Bao LiYou, Zhen Yi y Xin GuoGen . 2001. Effect of heat treatment on vigor of *Monochamus alternatus*. *Journal-of-Zhejiang-Forestry-Science-and-Technology* 21 (1): 40-41.