

Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina

Dendrochronology and tropical dendroecology: history and successful experiences in Latin American countries

Mario Tomazello Fo.¹, Fidel A. Roig² & Percy A. Zevallos Pollito³

¹Departamento de Ciências Florestais, ESALQ/Universidade de São Paulo, Caixa Postal 09, 13.418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil email: mtomazel@esalq.usp.br

²Laboratorio de Dendrocronología y Ciencias Ambientales, IANIGLA, CC 330 (5500), Mendoza, Argentina

³Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Casilla 456, Lima, Perú

La dendrocronología está conceptualizada como la ciencia que hace posible la detección y análisis de los anillos de crecimiento en la madera de los árboles y de piezas en la madera, incluyendo la aplicación de la información registrada en su estructura, para estudios ambientales e históricos. También es una herramienta importante para la reconstrucción del crecimiento de los árboles, con la aplicación inmediata en los planos de manejo forestal sostenible (Tomazello Filho & Cardoso 1999). Esta ciencia comenzó en Alemania con el trabajo sistemático de Theodor y Robert Hartig (a mediados del siglo XIX), siendo publicados importantes libros, como "Climatic cycles and tree growth" (Douglass 1936) y "Tree rings and climate" (Fritts 1976), entre otros. Roig (2000) editó el libro "Dendrocronología en América Latina" y Tomazello Filho *et al.* (2001) publicaron "Dendrocronología: análisis y aplicación de los anillos de crecimiento como indicadores ambientales". Luego Brienén (2005) publicó "Tree rings in the tropics: a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees", con énfasis en especies de Bolivia.

La dendrocronología y dendroecología tropical en los países de América Latina

En **Bolivia**, López (2003) desarrolló los primeros estudios dendrocronológicos de árboles en 11 especies comerciales, de la provincia Guarayos (Depto. Santa Cruz), analizando los anillos de crecimiento anuales para la evaluación de los ciclos de corta de los planes de manejo forestal. En 2003 se generaron tesis sobre dendrocronología aplicada a especies de árboles en Bolivia, en la Universidad de Utrecht (Holanda) por Rijkema, Rodenburg y Janssens y por Callejas en la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno (Bolivia). En el mismo año, el Programa de Gestión de Bosques de la Amazonía Boliviana (PROMAB), divulgó dos importantes publicaciones científicas: En la primera, Brienén & Zuidema (2003) describieron los diferentes tipos de anillos de crecimiento de los árboles de 32 especies tropicales, indicando que *Cedrelinga catenaeformis* y *Cedrela odorata* con edades máximas de 123 y 308 años respectivamente. En la segunda, Brienén *et al.* (2003) evaluaron la recuperación del volumen de leña de árboles de cuatro especies sometidas a diferentes ciclos de explotación forestal, indicando que los de 20 años son demasiado cortos para una recuperación completa del volumen de madera. Los autores publicaron un resumen de los resultados en revistas de prestigio de ecología y manejo forestal (Brienén & Zuidema 2005, 2006 a, b, 2007). Las formaciones forestales, fenología de las especies y los anillos de crecimiento de

árboles que ocurren en Bolivia son presentadas por Roig (2000), con una tabla de 39 especies, lo que indica el potencial de la dendrocronología.

México se ha constituido en uno de los principales países de la región en la investigación sobre dendrocronología, con el registro de cronologías de anillos de crecimiento en 1940-1950 (Schulman 1944, 1956, Scott 1966) en base a árboles de *Pinus* sp., *Pseudotsuga mensiesii* y *Abies duranguensis*. En la década de los 70, el "Proyecto Mexicano de Anillos de Crecimiento" originó 20 cronologías de árboles, además de otras cronologías cortas de madera recogidas de las antiguas iglesias de las misiones jesuitas (Villanueva-Díaz *et al.* 2004). En dendroarqueología, Scott (1966) construyó una cronología flotante de 485 años con madera de coníferas obtenidas de ruinas prehistóricas de Casas Grandes, en Chihuahua. La dendroclimatología posibilitó la reconstrucción de la precipitación e índice de intensidad de sequía de Palmer de árboles localizados en el norte de Sonora (Villanueva-Díaz & McPherson 1996). Las cronologías de anillos de crecimiento de árboles de coníferas de las regiones norte y noroeste fueron correlacionadas con las lluvias de invierno e índices de El Niño/oscilación del sur, aplicadas en la reconstrucción de esos índices (Villanueva-Díaz *et al.* 2004, 2008) y en la datación de árboles (Villanueva-Díaz *et al.* 2006). La anatomía de los anillos de crecimiento de árboles en la península de Yucatán fue descrita por Roig *et al.* (2005) y una revisión sobre las investigaciones en dendrocronología fueron realizadas por Stahle *et al.* (2000), enfatizando en estudios paleoclimáticos, ecológicos, análisis de los patrones de circulación atmosférica global, entre otros.

En **Perú**, los registros bibliográficos indican la publicación de Schwyzer (1988) con el análisis de los anillos de crecimiento de árboles de *Myrciaria* sp., *Chorisia* sp. y *Cedrela* sp. en la Amazonía peruana. La aplicación de la dendrocronología en la región norte del Perú se inició por la Universidad de Piura (1987),

registrándose tesis de Flores (1994) y Martínez (2002). Rodríguez *et al.* (1993) seleccionaron árboles de *Capparis angulata*, *Bursera graveolens* y *Loxopiterigium huasango*, determinando las curvas del incremento radial del tronco, obteniendo una alta correlación de los índices de anchura de los anillos y los niveles de precipitación. Posteriormente, Rodríguez *et al.* (2005) y López *et al.* (2005) caracterizaron los anillos de crecimiento de árboles de *Bursera graveolens* y *Prosopis pallida* obteniendo elevadas correlaciones con los eventos ENSO. De la Universidad Nacional Agraria La Molina/UNALM se destacan las disertaciones de Becerra (2008), Ríos (2008), Zumaeta (2009) y Poblete (2009). Están en marcha tesis sobre la dendrocronología de *Cedrela odorata* e *Hymenaea courbaril*. La dendrocronología en árboles de *Swietenia macrophylla* de la selva tropical amazónica del Perú fue realizada por Alvarado *et al.* (en prensa) en la Universidad de San Paulo, Brasil. Anualmente, en los cursos internacionales de "Ecología de la Conservación y Diseño de Sistema Forestales Sostenibles" de la UNALM son implementadas clases de dendrocronología.

En **Brasil**, las publicaciones de Alwim (1964) y Alwim & Alwim (1978), sobre la periodicidad del crecimiento de los árboles y el clima tropical fueron los primeros registros bibliográficos. Luego siguieron estudios de los árboles en las llanuras de inundación de la Amazonía Central (300.000 km²) por Worbes *et al.* (1985, 1988, 1989, 1992, 1995), Schöngart *et al.* (2002, 2004, 2005, 2007) y dos tesis publicadas (Schöngart 2003, Fonseca Junior 2007) relacionados con la dendrocronología (edad, índice de crecimiento, reconstrucción de eventos climáticos de El Niño y otros). Del mismo modo, en la selva amazónica, estudios examinaron los anillos de crecimiento, frecuencia y El Niño (Botosso 1984, Botosso & Vetter 1991, Bauch & Dunisch 2000, Dunisch *et al.* 2002a, b, 2003). Hay una tesis que examinó los anillos de crecimiento de las especies de tierra firme (Tanaka 2005) y artículos de revisión (Tomazello Filho 1995,

et al. 2000, Botosso *et al.* 2000, Vetter 2000). El bosque atlántico constituye un reto, en que se registran pocas publicaciones sobre la anatomía, calendario de los anillos y relaciones con la fenología y el clima (Callado *et al.* 2001a, b, Lisi *et al.* 2008, Marcati *et al.* 2001, Tomazello Filho *et al.* 2004) con énfasis en meliáceas (Tomazello Filho *et al.* 2001) y la anatomía de los anillos de crecimiento y ecología (Alves & Angyalossi-Alfonso 2000). En las selvas subtropicales con árboles de *Araucaria angustifolia* se generaron otras publicaciones: Seitz & Kanninen 1989, Wher 1998, Wher & Tomazello Filho 2000, Lisi 2000, Oliveira 2007). Para las especies del Cerrado también se produjeron tesis sobre la actividad cambial y la formación de los anillos de crecimiento (Coradin 2000, Marcati 2000, Mattos 1999, Amano 2007). Se destaca, también, la dendrocronología de las especies de la caatinga (*Tsuchyia* 1990, Silva 2006), los bosques semidecíduos (Luchi 1998) y las plantaciones de *Tectona grandis* (Cardoso 1991, Tomazello Filho & Cardoso 1999).

En la selva de Misiones de la **Argentina**, al sur de la selva amazónica se analizaron los árboles de *Cedrela fissilis* a través de los métodos de la dendrocronología, por Boninsegna *et al.* (1989), permitiendo determinar su edad (60-200 años) y la tasa de crecimiento, convirtiéndose en una herramienta importante para la gestión y reconstrucción de las variables climáticas, entre otros. Los árboles de *Cedrela angustifolia* de bosques de baja latitud del norte de la Argentina y de Bolivia mostró el potencial para la dendroclimatología, presentando crecimiento de septiembre hasta abril o mayo, seguido de caducifolia. Los anillos de crecimiento son anuales, diferentes con una buena uniformidad circular, permitiendo obtener dataciones cruzadas de alta calidad, con la temperatura y la precipitación en el inicio de la estación de crecimiento, induciendo un aumento de la espesura de los anillos de crecimiento (Villalba *et al.* 1985). En la región de los Yungas (la continuidad de los ecosistemas forestales similares a las del sur de Bolivia) del

NW argentino se desarrollaron cronologías a través de los anillos de crecimiento de árboles de *Juglans australis* y de *Cedrela lilloi* (Villalba *et al.* 1987, 1992). Las cronologías han sido utilizadas por Villalba *et al.* (1998) en la reconstrucción del clima (temperatura y precipitaciones) en el noroeste de Argentina en los últimos 200-300 años.

En un artículo de revisión sobre la dendrocronología de los bosques neotropicales, Roig (2000) analizó la posibilidad de aplicación de los anillos de crecimiento en especies tropicales. Se presentó una descripción anatómica macro y microscópica de la madera de los árboles, con énfasis en los anillos de crecimiento, su baja resistencia natural de la madera de los árboles para organismos xilófagos, los métodos principales de estudio y la influencia de la fenología y de los factores climáticos, entre otros aspectos importantes.

Otros países

Para otros países de América Latina, la literatura muestra algunos trabajos científicos relacionados con la dendrocronología. En **Venezuela**, Dezzeo *et al.* (2003) examinaron la madera de los árboles de especies de la zona húmeda, encontrando los anillos de crecimiento estrechos correspondientes a las características de la inundación. Anteriormente, Worbes (1999) llevó a cabo evaluaciones de los árboles tropicales de la Reserva Forestal de Caparo, identificando los anillos formados en respuesta al clima de temporada. En **Honduras**, la contribución de Devall *et al.* (1995) describieron la formación de anillos anuales de algunas especies y las condiciones ecológicas de su área. En la **Guayana Francesa** se evaluó la tasa de crecimiento en diámetro del tronco de los árboles con dendrómetros, en correlación con los anillos de crecimiento, fenología y estaciones climáticas por Detienne & Mariaux (1988). En **Costa Rica**, los anillos de crecimiento de *Cordia alliodora* fueron

analizados y sincronizados por Tschinkel (1966), continuado por Lojan (1967) con un estudio más amplio, quien relacionó respecto al clima los anillos de árboles de numerosas especies. McKenzie (1972) estudió la dinámica de la formación de anillos a través de lesiones del cambium en árboles de *Prioria copaifera*. Además Hazlett (1987) evaluó la estacionalidad de la actividad cambial de árboles de *Pentaclethra*, *Goeltzalsia* y *Carapa* correlacionada con las variaciones climáticas. En El **Salvador**, una revisión sobre dendrocronología fue presentada por Hastenrath (1987) y en **Honduras** estudios dendrocronológicos fueron realizados por Johnson (1980) con el análisis de árboles de *Pinus oocarpa* de Copan.

Como conclusión planteamos que los ecosistemas boscosos tropicales y subtropicales de América Latina son incluidos entre aquellos de mayor diversidad de especies y de mayor extensión territorial del mundo. El número total de especies arbóreas y su presencia por unidad de área son llamativos, con un reconocimiento internacional de su importancia como patrimonio genético, papel en el mantenimiento y equilibrio climático global, almacenamiento de CO₂, entre otros. Sin embargo, por la amplitud y significado de esos ecosistemas tropicales y subtropicales, las investigaciones dendrocronológicas pueden ser consideradas incipientes en relación a los demás ecosistemas, por el número de publicaciones científicas, investigadores e instituciones involucradas. Una aplicación de los métodos de dendrocronología puede proporcionar información extraordinaria respecto a la edad, tasa de crecimiento, fijación de carbono, autoecología de los árboles y otros, haciendo posible implementarlas en estudios forestales, ecológicos y climáticos. Las restricciones señaladas sobre la existencia y anualidad en la formación de anillos de crecimiento se han reducido con una pequeña y constante producción científica. A título indicativo de inmaduros y de la tasa elevada de descomposición del tronco de árboles muertos

no deben ser limitantes para el desarrollo de las investigaciones. Es fundamental la divulgación de la dendrocronología y su aplicación como herramientas en asociación a las demás ciencias para responder a preguntas y desafíos de la sociedad sudamericana y mundial respecto a asuntos estratégicos del calentamiento global y cambio climático, conservación de la biodiversidad, manejo y uso sostenible de los recursos forestales, entre otros.

Referencias

- Alvarado, J.R., P.A.Z. Pollito & M. Tomazello Filho. En prensa. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. Scientia Forestalis.
- Alves, E. S. & V. Angyalossy-Alfonso. 2000. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. IAWA Journal 21: 3-30.
- Alvim, P. T. 1964. Tree growth periodicity in tropical climates. Pp. 479-495. En: Zimmermann, M.H. (ed.) The Formation of Wood in Forest Trees. Academic Press, Nueva York.
- Alvim, P. T. & R. Alvim. 1978. Relation of climate to growth periodicity in tropical trees. Pp. 445-468. En: Tomlinson, P.B. & M.H. Zimmermann (eds.) Tropical Trees as Living Systems. Cambridge University Press, Cambridge.
- Amano, E. 2007. Pau-Brasil, madeira e casca: formação, desenvolvimento e estrutura. Tesis de doctorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 107 p.
- Bauch, J. & O. Dunisch. 2000. Comparison of growth dynamics and wood characteristics of plantation growth and primary forest *Carapa guianensis* in Central Amazonia. IAWA Journal 21: 321-333.

- Becerra, V. 2008. Determinación del turno de corta de *Cedrela odorata*, *Retrophyllum rospigliosii pilger* y *Prumnopitys harmsiana* a través del estudio dendrocronológico en la región Cajamarca-Perú. Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 115 p.
- Boninsegna, J.A., R. Villalba, L. Amarilla & J. Ocampo. 1989. Studies on tree rings, growth-rates and age-size relationships of tropical tree species in Misiones, Argentina. IAWA Bulletin 10: 161-169.
- Botosso, P. C. 1984. Some anatomical wood characteristics as sources of cyclic structural change of growth periodicity for 20 Amazonian species. IAWA Bulletin 5: 345-346.
- Botosso, P. C. & R.E. Vetter. 1991. Alguns aspectos da periodicidade e taxa de crescimento em 8 espécies arbóreas tropicais da floresta de terra firme da Amazônia. Revista do Instituto Florestal 3(2):163-180.
- Botosso, P.C., R.E. Vetter & M. Tomazello Filho. 2000. Periodicidade e taxa de crescimento de árvores de *Cedrela odorata*, *Calophyllum angulare* e *Eperuabijuga* de floresta de terra firme de Manaus. Pp. 357-380. En: Roig, F. A. (ed.) Dendrocronología en los Bosques del Neotrópico: Revisión y Prospección Futura. **Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo**, Mendoza.
- Brienen, R. 2005. Tree rings in the tropics: a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees. Scientific Series 10, PROMAB, Riberalta. 137 p.
- Brienen, R. & P. A. Zuidema. 2003a. Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica. Informe Técnico N° 7, PROMAB / IGEMA, Riberalta. 33 p.
- Brienen, R. & P. A. Zuidema. 2003b. Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica. PROMAB / IGEMA, Informe Técnico N° 7, Riberalta. 33 p.
- Brienen, R. & P. A. Zuidema. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. Oecologia 146: 1-12.
- Brienen, R. & P. A. Zuidema. 2006b. The use of tree rings in tropical forest management: projecting timber yields of four Bolivian tree species. Forest Ecology and Management 226: 256-267.
- Brienen, R. & P. A. Zuidema. 2006b. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. Journal of Ecology 94: 481-493.
- Brienen, R. & P. A. Zuidema. 2007. Incorporating persistent tree growth differences increases estimates of tropical timber yield. Frontiers Ecology Environment 5(6): 302-306.
- Callado, C. H., S. J. Silva Neto, F. R. Scarano, C. F. Barros & C. G. Costa. 2001a. Anatomical features of growth rings in trees of the Atlantic rain forest. IAWA Journal 22(1): 29-42.
- Callado, C. H., S. J. Silva Neto, F. R. Scarano & C. G. Costa. 2001b. Periodicity of growth rings in some flood-prone trees of the Atlantic rain forest in Rio de Janeiro. Trees 15: 492-497.
- Callejas, L. L. 2003. Anillos de crecimiento en especies forestales de Santa Cruz, Bolivia. Tesis de ingeniería forestal, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz. 143 p.
- Cardoso, N. S. 1991. Caracterização da estrutura anatômica da madeira, fenologia e relações com a atividade cambial de árvores de *Tectona grandis*. Tesis de maestría, Universidade de São Paulo, São Paulo. 98 p.
- Coradin, V. T. 2000. Formação de anéis de crescimento e sazonalidade da atividade cambial de dez espécies lenhosas do cerrado. Tesis de doctorado, Universidade de Brasília, Brasília DF. 125 p.

- Detienne, P. & A. Mariaux. 1988. Rythmes de croissance de quelques essences de Guyane Française. *Bois et Forêts des Tropiques* 217: 63-76.
- Devall, M. S., B. R. Parresol & S. J. Wright. 1995. Dendroecological analysis of *Cordia alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in central Panama. *IAWA Journal* 16: 411-424.
- Dezseo, N., M. Worbes, I. Ishii & R. Herrera, 2003. Annual tree rings revealed by radiocarbon dating in seasonally flooded forest of the Mapire River, a tributary of the lower Orinoco River, Venezuela. *Plant Ecology* 168: 165-175.
- Douglass, A. E. 1936. Climatic cycles and tree growth, III. A study of cycles. Carnegie Institution of Washington Publication 289: 1-586.
- Dunisch, O., J. Bauch & L. Gasparotto. 2002a. Cambial growth dynamics and formation of increment zones in the xylem of *Swietenia macrophylla*, *Carapa guianensis*, and *Cedrela odorata* (Meliaceae). *IAWA Journal* 23: 101-119.
- Dunisch, O., C. P. Azevedo, L. Gasparotto, G. R. Montoia, G. J. da Silva & T. Schwarz. 2002b. Light, water and nutrient demand for the growth of three high quality timber species (Meliaceae) of the Amazon. *Journal Applied Botany* 76: 29-40.
- Dunisch, O., V.R. Montoia & J. Bauch. 2003. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. *Trees* 17: 244-250.
- Flores, V. 1994. Relación dendrocronológica entre el crecimiento radial del sapote y eventos climáticos. Tesis de Bachillerato, Universidad de Piura, Piura. 89 p.
- Fonseca Jr., S. F. 2007. Avaliação do crescimento da madeira de *Tabebuia barbata* e *Vatairea guianensis*, duas espécies arbóreas em florestas alagáveis do igapó e várzea, na Amazônia Central, por dendrocronologia. Tesis de maestría, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 30 p.
- Fritts, H. C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press, Londres. 576 p.
- Hastenrath, S. 1987. Dendrochronologie em El Salvador. *Meteorol. Rundschau* 16: 110-113.
- Hazlett, D. 1987. Seasonal cambial activity for *Pentaclethra*, *Goelthalsia* and *Carapa* trees in Costa Rica lowland forest. *Biotropica* 19:357-360.
- Janssens, M. P. 2003. Evaluating growth patterns and population dynamics of five Bolivian tree species by means of tree ring measurements. Tesis de maestría, Utrecht University, Utrecht. 119 p.
- Johnson, W. C. 1980. Dendrochronological sampling of *Pinus oocarpa* near Copan, Honduras: a preliminary note. *Biotropica* 12:315-316.
- Lisi, C. S. 2000. Atividade de ^{14}C do fallout e razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ em anéis de crescimento de árvores de clima tropical e sub-tropical do Brasil. Tesis de doctorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura/Universidade de São Paulo, Piracicaba. 157 p.
- Lisi, C. S., M. Tomazello Fo., P. C. Botosso, F. A. Roig, V. RB. Maria, L. Ferreira-Fedele & A. RA. Voigt. 2008. Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. *IAWA Journal* 29(2): 189-207.
- Lojan, L. 1967. Periodicidad del clima y crecimiento de especies forestales de Turrialba, Costa Rica. *Turrialba* 17(1): 71-83.
- Lopez, L. 2003. Estudio de anillos de crecimiento en once especies forestales de Santa Cruz – Bolivia. Universidad Autónoma Gabriel René Moreno - BOLFOR, Santa Cruz. 85 p.
- López, B.C., S. Sabate, C. A. Gracia & R. Rodríguez. 2005. Wood anatomy,

- description of annual rings and responses of ENSO events of *Prosopis pallida*. *Journal of Arid Environments* 61: 541-554.
- Luchi, E. L. 1998. Periodicidade do crescimento em *Hymenaea courbaril* e anatomia ecológica do lenho de espécies da mata ciliar. Tesis de doctorado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 195 p.
- Marcati, C. R. 2000. Sazonalidade cambial em espécies tropicais. Tesis de doctorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 147 p.
- Marcati, C. R., V. Angialossy-Alfonso & I. Benati. 2001. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* de floresta e cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 24(3): 311-320.
- Martinez, E.C.I. 2002. Reconstrucción climática a partir del anillado de árboles de la costa norte del Perú. Tesis de Bachillerato, Universidad de Piura, Piura. 132 p.
- Mattos, P. P. 1999. Identificação de anéis de crescimento anuais e estimativa da idade e incremento anual em diâmetro do tronco de espécies nativas do pantanal da Nhecolândia. Tesis de doctorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 97 p.
- McKenzie, T. A. 1972. Observations on growth and a technique for estimating annual growth in *Poria copaifera*. *Turrialba* 22:353-354.
- Oliveira, J. M. 2007. Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia*: bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil. Tesis de doctorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 115 p.
- Poblete, J. M. 2008. Dendrocronología de la especie *Pinus radiata* de plantaciones de la Granja Porcón, Cajamarca. Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 147 p.
- Rijpkema, A. 2003. Using tree rings to analyse growth patterns of four tree species in a semi-humid forest in Bolivia. Tesis de maestría, Utrecht University, Utrecht. 107 p.
- Ríos, F.A. dos. 2008. Caracterización fenotípica: dendrológica y anatómica de los tipos morfológicos del *Cordia alliodora* procedentes de plantaciones realizadas en Jaén, Cajamarca-Perú. Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 87 p.
- Rodenburg, J. 2003. A dendro-ecological study of *Cedrela odorata*. Tesis de maestría, Utrecht University, Utrecht. 88 p.
- Rodriguez, R., A. Mabres, G. Luckman, M. Evans, M. Masiokas & T. M. Ektvedt. 2005. "El Niño" events recorded in dry-forests species of the lowlands of northwest Peru. *Dendrochronologia* 22: 181-186.
- Rodriguez, R., R. Woodman, B. Balsley, A. Mabres & R. Phipps. 1993. Avances sobre estudios dendrocronológicos en la región costera del Perú para obtener un registro pasado del fenómeno El Niño. *Instituto Francés de Estudios Andinos* 22(1): 267-281.
- Roig, F. A. (ed.). 2000. Dendrocronología en los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura. Pp. 307-355. En: *Dendrocronología en América Latina*. Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza.
- Roig, F.A., J. J. Jimenez O., J. Villanueva D., B. Luckman, H. Tiessen, A. Medina & E. J. Noellemeyer. 2005. Anatomy of growth rings at the Yucatán Peninsula. *Dendrochronologia* 22: 187-193.
- Schöngart, J. 2003. Dendrochronologische Untersuchungen in Überschwemmungswäldern der várzea Zentralamazoniens. Tesis de doctorado, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Universität Göttingen, Göttingen. 223 p.
- Schöngart, J., W.J. Junk, M.T.F. Piedade, J.M. Ayres, A. Hüttermann & M. Worbes. 2004. Teleconnection between tree growth in

- the Amazonian Floodplains and the El Niño-Southern Oscillation Effect. *Global Change Biology* 10: 683-692.
- Schöngart, J., M. T. F. Piedade, S. Ludwigshausen, V. Horna & M. Worbes. 2002. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. *Journal of Tropical Ecology* 18: 581-597.
- Schöngart, J., M. T. F. Piedade, F. Wittmann, W. J. Junk & M. Worbes. 2005. Wood growth patterns of *Macrolobium acaciifolium* (Benth.) Benth. (Fabaceae) in Amazonian black-water and white water floodplain forests. *Oecologia* 145: 454-461.
- Schöngart, J., F. Wittmann, M. Worbes, M. T. F. Piedade & W. J. Junk. 2007. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. *Annals of Forest Science* 64: 657-664.
- Schulman, E. 1944. Dendrochronology in Mexico. *Tree Ring Bulletin* 10: 18-24.
- Schulman, E. 1956. Dendroclimatic changes in semiarid America. University of Arizona Press, Tucson. 142 p.
- Schwyzer, A. 1988. Anillos de crecimiento en cuatro árboles tropicales de Jenaro Herrera, Loreto, Perú. *Boletín de Lima* 58: 83-86.
- Scott, S. D. 1966. Dendrochronology in Mexico. Report of the Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona Press, Tucson. 80 p.
- Seitz, R. A. & M. Kanninen. 1989. Tree-ring analysis of *Araucaria angustifolia* in southern Brazil: preliminary results. *IAWA Bulletin* 10(2):170-174.
- Silva, L. B. 2006. Variação na estrutura da madeira de quatro espécies da caatinga nordestina e seu potencial para o desenvolvimento sustentável. Tesis de doctorado, Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia. 141 p.
- Stahle, D. W., J. Villanueva-Diaz, M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, G. J. Paull, B. T. Burns, W. Salinas, H. Suzan & P. Z. Fule. 2000. Recent tree-ring research in Mexico. Pp. 285-306. En: Roig, F. A. (ed.) *Dendrocronologia en América Latina. Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo*, Mendoza.
- Tanaka, A. 2005. Avaliação de anéis de crescimento de espécies florestais de terra-firme no município de Novo Aripuanã, estado do Amazonas. Tesis de doctorado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 194 p.
- Tomazello Filho, M. 1995. Dendrochronology in Brazil: current situation and perspectives. *IAWA Journal* 16(1): 31.
- Tomazello Filho, M. & N. S. Cardoso. 1999. Seasonal variations of the vascular cambium of *Tectona grandis* in Brazil. Pp. 45-67. En: Wimmer, R. & R. E. Vetter (eds.) *Tree-ring Analysis: Biological Methodological and Environmental Application*. CABI Publishing, Oxford.
- Tomazello Filho, M., P. C. Botosso & C. S. Lisi. 2000. Potencialidade da família Meliaceae para dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais. Pp. 381-431. En: Roig, F. A. (ed.) *Dendrocronologia en América Latina. Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo*, Mendoza.
- Tomazello Filho, M., P. C. Botosso & C. S. Lisi. 2001. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. Pp. 117-143. En: Maia, N. B., H. L. Martos & W. Barrella (eds.) *Indicadores Ambientais: Conceitos e Aplicações*. EDUC, COMPED, INEP, São Paulo.
- Tomazello Filho, M., C. S. Lisi, N. Hansen & G. Cury. 2004. Anatomical features of increment zones in different tree species in the State of São Paulo, Brazil. *Scientia Forestalis* 66: 46-55.
- Tschinkel, H. M. 1966. Annual growth rings in *Cordia alliodora*. *Turrialba* 16:73-80.

- Tsuchiya, A. 1990. Hypertrophic growth of trees of caatinga plant community and water balance. *Latin American Studies* 11: 1-70.
- Vetter, R.E. 2000. Growth periodicity and age of Amazonian tree species. Methods for their determination. Pp.135-155. En: Roig, F. A. (ed.) *Dendrocronología en América Latina. Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo*, Mendoza.
- Villalba, R., J. A. Boninsegna & R.L. Holmes. 1985. *Cedrela angustifolia* and *Juglans australis*: two new tropical species useful in dendrochronology. *Tree-Ring Bulletin* 45: 25-35.
- Villalba, R., J. A. Boninsegna & A. Ripalta. 1987. Climate, site conditions and tree-growth in subtropical northwestern Argentina. *Canadian Journal of Forest Research* 17 (12): 1527-1544.
- Villalba, R., E. R. Cook, G. C. Jacoby, R. D. **D'Arrigo, T. T. Veblen & P. D. Jones**. 1998. Tree-ring based reconstructions of northern Patagonia precipitation since A.D. 1600. *The Holocene* 8: 659-674.
- Villalba, R., R.L. Colmes & J. A. Boninsegna. 1992. Spatial patterns of climate and tree-growth anomalies in subtropical Northwestern Argentina. *Journal of Biogeography* 19: 631-649.
- Villanueva-Díaz, J. J. Cerano-Paredes, D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland & I. Sanchez-Cohen. 2004. Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico (2): 1-37.
- Villanueva-Díaz, J., J. Cerano-Paredes, D. W. Stahle, M. D. Therrell, L. Vázquez S., R. Morán M. & B. H. Luckman. 2006. Árboles viejos del centro-norte de México- importancia ecológica y paleoclimática. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico (20): 1-46.
- Villanueva-Díaz, J. & G. R. McPherson. 1996. Reconstruction of precipitation and PDSI from tree-ring chronologies developed in mountains of New Mexico, USA and Sonora, Mexico. *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest* 26: 45-54.
- Villanueva-Díaz, J., J. Cerano-Paredes, D.W. Stahle, M.D. Therrell & M.K. Cleaveland. 2008. Potencial dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* y reconstrucciones de precipitación y flujo en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico (23): 1-49.
- Wher, N. C. 1998. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Araucaria angustifolia* através de microdensitometria de raios X. Tesis de maestría, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ Universidade de São Paulo, São Paulo. 89 p.
- Wher, N. C. & M. Tomazello Filho. 2000. Caracterização dos anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* através de densitometria de raios X. *Scientia Forestales* 58:15-28.
- Worbes, M. 1985. Structural and other adaptations to long-term flooding by trees in Central Amazonia. *Amazoniana* 9(3): 459-484.
- Worbes, M. 1988. Variety in structure of annual growth zones in *Tabebuia barbata* Bignoniaceae, a tropical tree species from Central Amazonian inundation forests. *Dendrochronology* 6: 71-89.
- Worbes, M. 1989. Growth rings, increment and age of trees in inundation forests, savannas and a mountain forest in the Neotropics. *IAWA Bulletin* 10 (2):109-122.
- Worbes, M. 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *Journal of Ecology* 87: 391-403.

- Worbes, M., H. Klinge, J. D. Revilla & C. Martius. 1992. On the dynamics, floristic subdivision and geographical distribution of várzea forests in Central Amazonia. *Journal of Vegetation Science* 3: 553-564.
- Worbes, M., D. Klosa & S. Lewark. 1995. Density fluctuation in annual rings of tropical timbers from central Amazonian inundation forests. *Holz Als Roh-und Werkstoff* 53: 63-67.
- Zumaeta, L.E.C. 2008. Dendrocronología en árboles de tornillo *Cedrelinga cateniformis*, del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, región Loreto-Perú. Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 143 p.