

Investigación

Bautista, A., del Castillo, R.F. y Gutiérrez, C. 2003. Patrones de desarrollo del suelo asociados con sucesión secundaria en un área originalmente ocupada por bosque mesófilo de montaña. *Ecosistemas* 2003/3 (URL: <http://www.aet.org/ecosistemas/033/investigacion1.htm>)

Patrones de desarrollo del suelo asociados con sucesión secundaria en un área originalmente ocupada por bosque mesófilo de montaña

Angélica Bautista Cruz¹, Rafael F. del Castillo¹ y Carmen Gutiérrez²

¹ Departamento de Recursos Naturales, CIIDIR IPN Oaxaca. Hornos 1003, Xoxocotlan. 71230, Oaxaca, México.

² Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Mexico.

El subtrópico húmedo montañoso alberga bosques mesófilos, uno de los ecosistemas más diversos y alterados por los humanos. En México, estos bosques comúnmente son destruidos para sembrar maíz, pero una vez agotada su fertilidad, o por otras razones, el terreno es abandonado y repoblado naturalmente por bosques secundarios. Los patrones de desarrollo del suelo después de tales cambios se estudiaron en El Rincón, Oaxaca, México, donde la expansión de vegetación secundaria en áreas originalmente ocupadas por bosques primarios está siendo muy rápida. Se seleccionó una cronosecuencia constituida por milpa, y bosques adyacentes de ~15 ("acahual"), ~45 (bosque incipiente), ~75 (bosque joven) y >100 (bosque maduro) años después del abandono. Los suelos fueron muy ácidos, ricos en materia orgánica, pero pobres en bases intercambiables. El carbono orgánico y el aluminio intercambiable aumentaron con la edad del rodal; en cambio, el pH disminuyó. Minerales como la muscovita y la clorita disminuyeron con la edad del bosque, tal vez debido a su inestabilidad en ambientes ácidos. La cristalización de la gibbsita fue inhibida probablemente por el alto contenido de materia orgánica. La taxonomía del suelo a nivel de orden estuvo afectada por los cambios en la vegetación. El suelo cultivado se clasificó como Entisols, y los suelos forestales como Inceptisols. La elevada acidez, particularmente en bosques maduros, sugiere problemas de fertilidad para las plantas relacionados con déficit de nutrientes y toxicidad por aluminio. En conclusión, la sucesión secundaria en áreas originalmente ocupadas por bosque mesófilo de montaña está asociada con cambios importantes en la taxonomía, mineralogía y génesis del suelo que, a su vez, afectan de manera importante la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Introducción

Las áreas montañosas húmedas tropicales y subtropicales del planeta en regiones frecuentemente cubiertas por nubes forman un tipo de vegetación denominado bosque mesófilo de montaña. El dosel de éste tipo de vegetación tiene una altura media (12- 18 m) más baja que el del bosque tropical lluvioso y, en comparación con éste último, se ubica, por lo general, en un piso altitudinal más alto. La mayor parte de las especies de árboles y arbustos del bosque mesófilo de montaña presentan hojas esclerófilas y abundancia de epífitas. En el piso forestal, los suelos son húmedos con alto contenido de materia



Foto 1.- El bosque mesófilo de montaña de El Rincón, Sierra Norte, Oaxaca, México.

orgánica y humus tipo mor (Hamilton *et al.*, 1995). El bosque mesófilo de montaña es uno de los ecosistemas más amenazados por actividades humanas (**Foto 1**). Importantes extensiones de este bosque han sido desmontadas con fines agrícolas (Doumenge *et al.* 1995; Ortega y Castillo, 1996; Aldrich y Hostettler, 2000; Bruijnzeel y Hamilton, 2000).

Al cabo de cierto tiempo, los ciclos de cultivo se interrumpen como consecuencia de la pérdida de fertilidad del suelo, emigración humana y otras razones. Como resultado, se inicia un proceso de sucesión secundaria. En México, las primeras especies arbóreas en colonizar estas tierras son pinos, como *Pinus chiapensis*. Si el disturbio es de baja intensidad y la sucesión secundaria no es interrumpida, los bosques de pino pueden ser reemplazados por bosques dominados por latifoliadas (González-Espinosa *et al.*, 1991; Sánchez Velásquez y García Moya, 1993; del Castillo, 1996; Blanco, 2001; Córdova y del Castillo, 2001). Los efectos de estos cambios en la vegetación sobre la evolución y clasificación del suelo no han sido documentados. Sin embargo, en otros ecosistemas este tipo de cambios generalmente producen importantes alteraciones en las propiedades del suelo (Buol, 1994). Por ejemplo, la presencia de pinos incrementa la acidez del suelo y, asociada con ésta, se alteran procesos edáficos como: hidrólisis ácida, lixiviación de cationes básicos, nitrificación y actividad fúngica (Urrego, 1997; Dames *et al.*, 1998; Scholes y Nowicki, 1998; Lilienfein *et al.*, 2000). Estas modificaciones pueden ser tan drásticas que producen cambios en las categorías taxonómicas más altas del suelo (por ejemplo, Amiotti *et al.*, 2000). En bosques templados, la acidez del suelo tiende a disminuir cuando las latifoliadas reemplazan los bosques de pino durante la sucesión secundaria (Daubenmire, 1974). Sin embargo, en áreas originalmente ocupadas por el bosque mesófilo de montaña, la sustitución de coníferas por latifoliadas parece afectar las propiedades del suelo en una manera diferente. En las áreas montañosas del sureste de México, en los estados de Chiapas y Oaxaca, el suelo bajo vegetación secundaria dominado por pinos, de etapas sucesionales tempranas, es menos ácido, tiene una capacidad de intercambio catiónico y un contenido de materia orgánica más bajos que el suelo de bosques más viejos, dominados por latifoliadas (Bautista, 2001; Galindo-Jaimes *et al.*, 2002). Este artículo resume los resultados preliminares obtenidos en un estudio sobre los cambios en el desarrollo del suelo y en las categorías taxonómicas durante la sucesión secundaria en un área originalmente ocupada por bosque mesófilo de montaña en la región de El Rincón, Oaxaca, México.

Descripción del sitio de estudio

El sitio de estudio se localiza en El Rincón, Sierra Norte del estado de Oaxaca, en el sureste de México (17°15' - 17°30' N; 95°15' - 96°25' W). La elevación varía entre 800 y 2.300 m, pero nuestro estudio se limitó a una franja altitudinal de 1850 ± 150 m, donde el bosque mesófilo de montaña es la vegetación original. La precipitación media anual en la estación meteorológica más cercana (Villa Alta, ~16 km del sitio de estudio) es de 1.719 mm año⁻¹, con una temporada lluviosa en verano y otra seca en invierno. La temperatura media anual varía entre 20 y 22 °C (Anónimo, 1999). El clima es templado húmedo a subhúmedo (CONABIO, 1998). El régimen de humedad del suelo es údico (Van Wambeke, 1987). Los suelos son derivados de esquistos (CRM, 1996).

Una porción importante de la vegetación original ha sido desmontada para sembrar maíz y parte de esos terrenos cultivados han sido abandonados en diferentes tiempos. Así, el paisaje es un mosaico de campos de cultivo, bosques secundarios de diferentes edades y bosques maduros. Esta característica permite inferir, con el método de la cronosecuencia, los posibles cambios en el suelo asociados con el desarrollo de la vegetación. Con este objetivo, seleccionamos una cronosecuencia compuesta por cinco etapas: campo de maíz (0 años) y bosques adyacentes de ~15 ("acahual"), ~45 (bosque incipiente), ~75

(bosque joven) y >100 (bosque maduro) años a partir del abandono. Se tuvo cuidado que el material rocoso, el relieve y el clima fueran similares.

En el campo de cultivo, además del maíz, se encontraron *Pteridium* sp., *Smilax* y algunas especies de Asteraceae, Melastomataceae, Poaceae, Phytolacaceae y Rubiaceae. En el acahual, las especies con mayor densidad fueron *Pinus chiapensis*, *Quercus sapotifolia*, *Liquidambar macrophylla*, *Phyllonoma laticuspis*, *Gaultheria acuminata*, *Hedyosmun mexicanum* y *Clethra integerrima*. En el bosque incipiente, las especies con mayor densidad fueron *Phyllonoma laticuspis*, *Bejaria mexicana*, *Clethra kenoyeri*, *Viburnum leucanthum* y *Lyonia squamulosa*. El bosque joven incluyó especies tales como *Clethra kenoyeri*, *Phyllonoma laticuspis*, *Rapanea jurgensenii*, *Ternstroemia hemsleyi*, *Quercus laurina*, *Rondeletia liebmannii* y *Ocotea helicterifolia*. El bosque maduro estuvo representado por especies como *Ternstroemia hemsleyi*, *Bejaria mexicana*, *Ilex pringlei*, *Quetzalia occidentalis*, *Weinmannia pinnata*, *Persea americana*, *Clethra kenoyeri*, *Ocotea helicterifolia* y *Hamelia patens* (Blanco, 2001).

Muestreo y análisis del suelo

En cada etapa sucesional excavamos y describimos un perfil de suelo de acuerdo con la FAO (1990). En cada horizonte colectamos muestras de suelo para su análisis físico, químico y mineralógico. Se usaron los métodos propuestos por el *Soil Survey Laboratory* (Anónimo, 1996), para determinar las propiedades físicas y químicas de cada horizonte. Los análisis mineralógicos involucraron difracción de rayos X para identificar la fracción arcillosa, previa eliminación de agentes cementantes. Las arenas de tamaño medio se secaron al aire, se montaron en un portaobjetos y se contaron 100 granos por el método de conteo de líneas.

Características edafológicas asociadas con sucesión secundaria

La textura del suelo estuvo relacionada con la edad de la parcela y el grado de intemperismo de los minerales primarios. En el campo de cultivo y en el acahual, donde el material estaba poco alterado, la textura fue franco arenosa. En el bosque incipiente, donde los materiales presentaron un estado moderado de intemperismo, la textura fue franco limosa. En el bosque joven y en el bosque maduro, donde los materiales estaban muy alterados, la textura fue franco arcillosa. La consistencia del suelo de las primeras etapas serales fue friable, y firme en las etapas avanzadas. La reacción del suelo fue ácida en todos los suelos estudiados. Esto concuerda con los resultados obtenidos en bosque mesófilo de montaña de otras partes del mundo (Bruinjeel y Proctor, 1995). La acidez del suelo fue menor en las partes más bajas del perfil, y aumentó con la edad del bosque. La concentración de cationes básicos intercambiables y de fósforo extractable fue muy baja en todas las parcelas, pero la concentración de aluminio intercambiable fue alta, con tendencia a incrementar en las etapas serales avanzadas. De acuerdo con los criterios de Vásquez y Bautista (1993), los niveles de carbono orgánico y materia orgánica del suelo fueron altos y se incrementaron con la edad del bosque.

Mineralógicamente, la fracción gruesa del suelo se compuso de muscovita, el mineral dominante, cuarzo y albita, un mineral accesorio. La fracción fina estuvo dominada por caolinita; también se encontraron estos minerales representativos: caolinita, esmectita, gibbsita, clorita, illita y óxidos de hierro (Bautista *et al.*, enviado). La mineralogía del suelo parece estar fuertemente asociada con el incremento en la acidez detectado al aumentar la edad del sitio y en las capas superiores del perfil

(Bautista *et al.*, enviado). La muscovita y la clorita disminuyeron con la edad del bosque, probablemente como resultado de su inestabilidad en ambientes ácidos (Olson *et al.*, 2000). La extracción de sílice (desilificación) de los minerales primarios y secundarios fue promovida por la acidez del suelo. Particularmente, la caolinita es el resultado de la desilificación de los minerales primarios, por lo que su elevada abundancia puede atribuirse al bajo pH del suelo. Así mismo, la presencia de gibbsita puede ser resultado de la desilificación directa de los minerales primarios (Curi y Franzmeier, 1984). Según Kampf *et al.* (2000), la gibbsita se encuentra en mayor cantidad en ambientes ácidos con intensas lluvias y drenaje libre, por lo que nosotros esperábamos encontrar mayor abundancia de este mineral en los suelos del bosque maduro, que son los más ácidos. Sin embargo, este mineral fue menos abundante precisamente en estas parcelas. Este resultado puede explicarse por el alto contenido de materia orgánica detectado en ellas, ya que ésta inhibe la cristalización de la gibbsita (Singer y Huang, 1990).

Los estudios mineralógicos no mostraron ningún mineral que contenga fósforo, por lo que se espera que el aporte de este elemento al ecosistema provenga de trazas y de fuentes exógenas. Esto explica las bajísimas concentraciones de fósforo extractable detectado en el suelo. Por otra parte, la elevada acidez del suelo, sobre todo en las etapas avanzadas, sugieren que en estas etapas las plantas presentan severos problemas de disponibilidad de nutrientes y toxicidad de aluminio. Por ello se espera que las plantas de etapas sucesionales avanzadas presenten adaptaciones importantes para tolerar situaciones de estrés edáfico.

Efectos de los cambios en la vegetación sobre los patrones de desarrollo del suelo

El suelo cultivado fue poco profundo y tuvo gran cantidad de fragmentos de esquisto (80%). Sin embargo, presentó un epipedón úmbrico debido a su alto contenido de materia orgánica. Lo anterior sugiere una reciente incorporación de ese terreno a la agricultura. Debido a sus incipientes procesos pedogenéticos, este suelo se clasificó como un *Typic Udorthents* (**Figura 1**), dentro de los Entisols. Todos los suelos forestales estudiados fueron clasificados como Inceptisols y presentaron un horizonte orgánico (O), pero fue sólo el del bosque maduro el que reunió el espesor y el contenido de carbono orgánico requeridos por la taxonomía del suelo para ser considerado como un epipedón folístico (Anónimo, 1999). Este epipedón es común en áreas húmedas y frías, pero no en áreas húmedas y calientes, donde la mineralización es más intensa (Porta *et al.*, 1999). En los sitios estudiados dos factores pueden prevenir una alta tasa de mineralización. Primero, la temperatura no es tan alta como en los bosques tropicales lluviosos, pues el bosque mesófilo de montaña se ubica a una altitud más elevada (Hamilton *et al.*, 1995). Segundo, la elevada acidez detectada en el suelo puede también disminuir la tasa de mineralización.

En el suelo del acahual y del bosque incipiente los horizontes de diagnóstico fueron el úmbrico y el cámbico. El suelo de estos bosques fue clasificado como *Humic Dystrudepts* (**Figura 1**). En el suelo del bosque joven, los procesos pedogenéticos han favorecido la formación de un horizonte cámbico así como procesos incipientes de eluviación, evidentes por el alto contenido de cuarzo y zonas de empobrecimiento. El suelo de este bosque fue un *Typic Dystrudepts* (**Figura 1**). El suelo del bosque maduro no presentó horizonte A. Este patrón de desarrollo del suelo es característico de suelos ácidos con humus tipo mor (Duchaufour, 1984). Sin embargo, las condiciones ambientales y el alto grado de humificación de este sitio han provocado la traslocación de materia orgánica para llenar espacios porosos y formar un horizonte sómbrico. La secuencia de horizontes en este suelo fue folístico-sómbrico-cámbico. Es importante mencionar que la taxonomía del suelo (Anónimo, 1999) no considera al horizonte sómbrico dentro de los Inceptisols. Por lo que, el suelo del bosque maduro, a pesar de tener

un horizonte sómbrico, se clasificó como *Typic Dystrudepts* (**Figura 1**). Nuestros resultados apoyan la necesidad de realizar más estudios de suelo en áreas subtropicales y tropicales (Porta *et al.*, 1999). Con base en nuestras evidencias proponemos el subgrupo *Sombric* para Inceptisols tropicales.

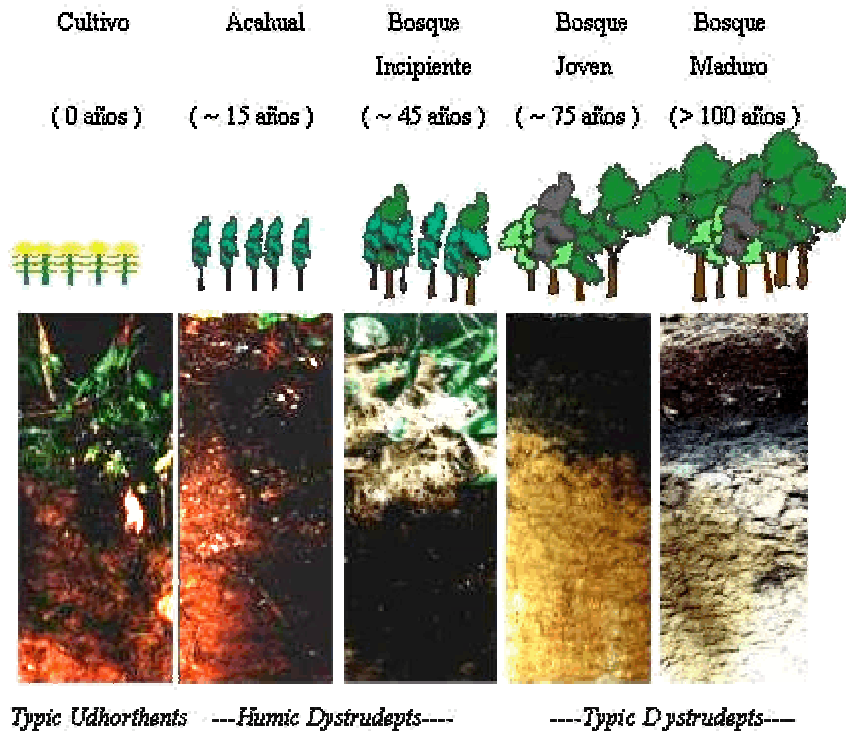


Figura 1. Perfiles de suelo desarrollados en un área originalmente ocupada por bosque mesófilo de montaña en El Rincón, Sierra Norte, Oaxaca-México.

Este estudio mostró que el desarrollo de la vegetación secundaria en áreas originalmente ocupadas por bosque mesófilo de montaña está asociado con cambios notables en la composición mineralógica, la génesis y la taxonomía del suelo. Estos cambios, a su vez, afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas y, por su magnitud, es probable que ejerzan una influencia importante en la composición y estructura de la vegetación a lo largo de la sucesión.

Agradecimientos

A Carmen Gutiérrez por su invaluable asesoría en este estudio. A Javier González y a Raúl Rivera su valiosa ayuda en el trabajo de campo. Un revisor anónimo aportó valiosos comentarios al manuscrito. Este trabajo fue posible gracias al financiamiento otorgado por *The Darwin Initiative for the Survival of Species, the European Commission INCO IV Programme* (BIOCORES project contract no. ICA4-CT 2001-10095), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y el Instituto Politécnico Nacional.

Referencias

- Aldrich, M. y Hostettler, S. 2000. *Tropical montane cloud forest, time for action*. UNEP-World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK.
- Amiotti, N.M., Zalba, P., Sánchez, L.F. y Peinemann, N. 2000. The impact of single trees on properties of loess-derived grassland soils in Argentina. *Ecology* 81: 3283-3290.
- Anónimo. 1999. *Anuario Estadístico del Estado de Oaxaca*. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Aguascalientes, México.
- Anónimo. 1999. *Keys to Soil Taxonomy*. Second Edition. USDA-NRCS, Washington, USA.
- Anónimo. 1996. *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Rept.No. 42. USDA-NRCS, Lincoln, USA.
- Bautista, A. 2001. *Indicadores de calidad del suelo en tres cronosecuencias de bosque mesófilo, Sierra Norte, Oaxaca*. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, México.
- Blanco, M.A., 2001. *Análisis sucesional del bosque mesófilo de montaña en El Rincón, Sierra Norte, Oaxaca*. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, México.
- Bruinjzeel, L.A. y Hamilton, L.S. 2000. *Decision time for cloud forest*. UNESCO (IHPO Humid Tropic Programme Series No. 13). Paris, Francia.
- Buol, S.W. 1994. Environmental consequences: Soils. En *Changes in land use and land cover: A global perspective* (eds Meyer, W.B. y Turner, B.L.), pp. 211-229, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- CONABIO. 1998. <http://www.conabio.gob.mx>
- Cordova, J. y Del Castillo, R.F. 2001. Changes in epiphyte cover in three chronosequences in a tropical montane cloud forest in Mexico. En *Life Forms and Dynamics in Tropical Forests. Dissertationes Botanicae 346* (eds. Gottsberger, G. y Liede, S.), pp. 79-94, J. Cramer in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin-Stuttgart, Germany.
- CRM, 1996. Consejo de Recursos Minerales. *Monografía Geológico Minera del Estado de Oaxaca*. (eds. F. Castillo N. y J. Castro M.), SECOFI, México.
- Curi, N. y Franzmeier, D.P. 1984. Toposequence of Oxisols from the central Plateau of Brazil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 48: 341-346.
- Dames, J.F., Scholes, M.C. y Straker, C.J. 1998. Litter production and accumulation in *Pinus patula* plantations of the Mpumalanga, South Africa. *Plant and Soil* 203: 183-190.

Daubenmire, F.R. 1974. *Plants and Environment*, 3rd Ed. John Wiley & Sons, New York, USA.

Del Castillo, R.F. 1996. Aspectos autoecológicos de *Pinus chiapensis*. En *Memorias del 2do. Coloquio Regional de Investigación, Ciencias Exactas y Naturales*. (eds. Garduño, L., Chavarría, G.V. y Pérez, I.M.), pp. 63-68. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México. México.

Doumenge, C., Gilmour, D., Ruíz, P. M. y Blockhus, J. 1995. Tropical montane cloud forests: conservation status and management issues. En *Tropical Montane Cloud Forests*. (eds. Hamilton, L.S., Juvick, J.O. y Scatena, F.N.), pp. 24-37, Springer-Verlag, New York, USA.

Duchaufour, P. 1984. *Edafogénesis y Clasificación*. Ed. Masson, Paris, France.

FAO, 1990. *Guidelines for Soil Profile Description*. 3rd ed. FAO, Rome/ISRIC, Wageningen, Holland.

Galindo-Jaimes, L., Gonzalez-Espinosa, M., Quintana-Ascencio, P.F. y García Barrios, L. 2002. Tree composition and structure in disturbed stands with varying dominance by *Pinus* spp. in the highlands of Chiapas, México. *Plant Ecology* 162: 259-272.

González-Espinosa, M., Quintana-Ascencio, P.F., Ramírez-Marcial, N. y Gaytán Guzmán, P. 1991. Secondary succession in disturbed *Pinus-Quercus* forests in the highlands of Chiapas, México. *Journal of Vegetation Science* 2: 351-360.

Hamilton, L.S., Juvick, J.O. y Scatena, F.N. 1995. The Puerto Rico Tropical Cloud Forest Symposium: Introduction and workshop synthesis. En *Tropical Montane Cloud Forests* (eds. Hamilton L. S, Juvick, J. O. y Scatena, F. N.), pp. 1-23, Springer-Verlag, New York, USA

Kampf, N., Scheinost, A.C. y Schulze, D.G. 2000. Oxide minerals. En *Handbook of Soil Science* (ed. Sumner, M.E.), pp.125-168, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Lilienfein, J., Wilcke, W., Ayarza, M.A., Vilela, L., Carmo Lima, S. do y Zech, W. 2000. Soil acidification in *Pinus caribea* forest on Brazilian savanna Oxisols. *Forest Ecology & Management* 128: 145-157.

Olson, C.G., Thompson, M.L. y Wilson, M.A. 2000. Phyllosilicates. En *Handbook of Soil Science* (ed. Sumner, M. E.), pp.77-123. CRC PRESS, Boca Raton, Florida, USA.

Ortega, E.S. y Castillo, C.G. 1996. El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal. *Ciencias (UNAM)* 43: 32-39.

Porta, C.J., López, A.M. y Roquero, C. 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 2da. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Sánchez Velásquez, L.R. y García Moya, E. 1993. Sucesión forestal en los bosques mesófilo de montaña y de *Pinus* de la Sierra de Manantlán, Jalisco, México. *Agrociencia Serie Recursos Naturales* 3: 7-26.

Scholes, M.C. y Nowicki, T.E. 1998. Effects of pines on soil properties and processes. En *Ecology and biogeography of Pinus* (ed. Richardson, D.M.), pp. 341-353. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Singer, A. y Huang, P.M. 1990. Effects of humic acids on the crystallization of aluminum hydroxides. *Clay and Clay Miner* 38: 47-52

Urrego, B., 1997. La reforestación con coníferas y sus efectos sobre la acidificación, podsolización y pérdida de fertilidad de los suelos. Instituto de la potasa y el fósforo (INPOFOS). Quito, Ecuador. *Informaciones Agronómicas* 28: 6-12.

Van Wambeke, A.R., 1987. *Soil moisture and temperature regimes of Central America Caribbean, Mexico*. SMSS. Soil Conservation Service USDA. Technical Monograph 16. Cornell University, New York, USA.

Vázquez, A.A. y Bautista, N.A. 1993. *Guía para interpretar el análisis químico de suelo y planta*. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Suelos. Chapingo, México.