

Impacto del cambio climático en plantaciones forestales en Centroamérica

Efraín J. Leguía¹; Bruno Locatelli²; Pablo Imbach³

El cambio climático tendrá impactos negativos, pero también positivos, sobre la distribución de áreas con potencial para el desarrollo de plantaciones forestales en Centroamérica.

En general, las áreas adecuadas para el establecimiento de plantaciones con especies nativas (pino caribeño, caoba y vochisia) se van a reducir y, por el contrario, es muy probable que las especies introducidas (teca y melina) se vean favorecidas con el cambio en los patrones de temperatura y precipitación.

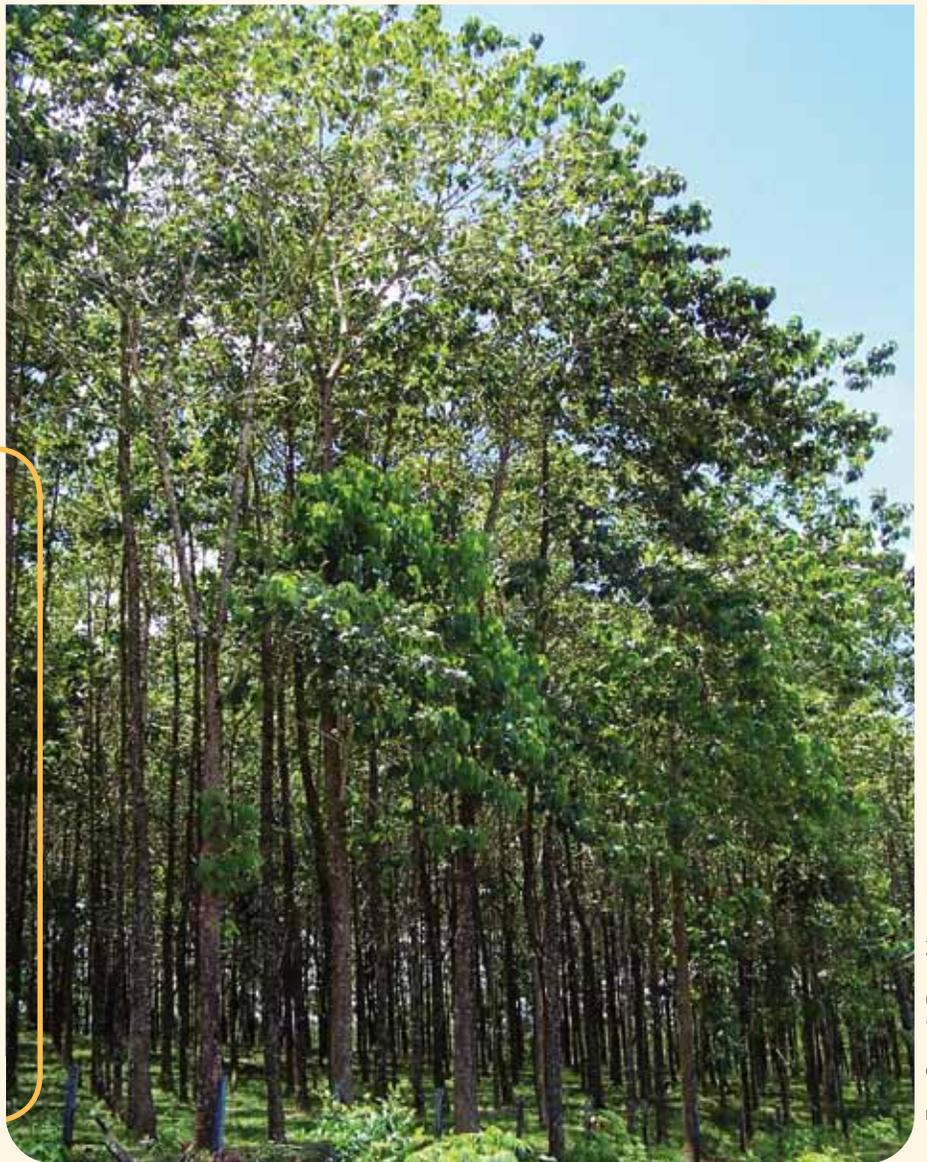


Foto Gerardo Bermúdez.

¹ Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP). Pucallpa, Perú. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Programa Cambio Global, CATIE, Turrialba, Costa Rica. eleguia@catie.ac.cr

² Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) UPR Ressources Forestières, Montpellier 34398 Francia. Centre for International Forestry Research (CIFOR), Indonesia. bruno.locatelli@cirad.fr

³ Programa Cambio Climático. pimbach@catie.ac.cr

Resumen

Se buscó evaluar el impacto del cambio climático sobre la distribución potencial de plantaciones de *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Pinus caribea*, *Swietenia macrophylla* y *Vochysia guatemalensis* en Centroamérica. Mediante un método basado en los requerimientos edafoclimáticos de las especies, se identificaron las áreas con potencial actual para plantaciones con base en la climatología del periodo 1950-2000. Luego se consideraron los resultados del modelo regional PRECIS-Caribe con el escenario de emisiones A2, para tres horizontes de climatología futura (2010-2040; 2040-2070 y 2070-2100). Nuestros hallazgos muestran que el cambio climático tendrá impactos negativos y positivos sobre la distribución de áreas con potencial para el desarrollo de plantaciones forestales. En el futuro, se incrementarán las áreas óptimas para las especies introducidas, pero disminuirán para las especies nativas; esta tendencia se agudizará hacia finales del presente siglo. Algunos países, como Nicaragua, tienen un potencial alto para plantaciones pero enfrentan muchos riesgos relacionados con los impactos del cambio climático sobre las especies forestales estudiadas. Los resultados del estudio permitirán al sector forestal, a los decisores y a las comunidades tomar medidas desde ahora.

Palabras claves: Plantaciones forestales; *Tectona grandis*; *Gmelina arborea*; *Pinus caribaea*; *Swietenia macrophylla*; *Vochysia guatemalensis*; cambio climático; impacto ambiental; América Central.

Summary

Impacts of Climate Change on Forest Plantations in Central America. This study sought to determine the impact of climate change on potential distribution of *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Pinus caribea*, *Swietenia macrophylla* y *Vochysia guatemalensis* plantations in Central America. The method used was based on the species' edaphic and climatic requirements. The areas presently adequate for planting were identified through climate information from 1950 to 2000. Then, the results of the regional model PRECIS-Caribe were matched both to the A2 emission scenario and three climate horizons (2010–2040; 2040–2070 y 2070–2100). It was determined that climate change will produce both negative and positive impacts over the distribution of potentially adequate areas for forest plantations. In the future, the most convenient areas will tend to increase for introduced species and decrease for native species; this tendency will be sharpest toward the end of the century. Some countries, like Nicaragua, will enjoy a high potential for plantations, but similarly, the risks related to climate change impacts will be also high. These results will help the forest sector, decision makers, and communities to adopt the appropriate measures beginning now.

Keywords: Forestry plantations; *Tectona grandis*; *Gmelina arborea*; *Pinus caribaea*; *Swietenia macrophylla*; *Vochysia guatemalensis*; climate change; environmental impact; Central America.

Introducción

Las plantaciones forestales tienen el potencial de proveer bienes y servicios ecosistémicos importantes para el desarrollo de las naciones centroamericanas, pues son una fuente de energía y de materia prima para la industria de productos maderables y no maderables; además, forman parte de las

estrategias de vida de muchas sociedades (Fearnside 1999). Las plantaciones también brindan servicios ecosistémicos de regulación, como el almacenamiento de carbono y la protección de los suelos (MEA 2003). Sin embargo, su capacidad para proveer bienes y servicios puede verse afectada por el cambio climático, que modificará la estructura,

composición y funcionamiento de los ecosistemas terrestres (IPCC 2007). El sector forestal, los decisores y las comunidades deben conocer cómo afectará el cambio climático al potencial de las plantaciones, para ajustar sus decisiones en función de los futuros cambios. Un paso importante para minimizar lo negativo y aprovechar lo positivo es determinar

los posibles impactos del cambio climático sobre las áreas aptas para las especies usadas en plantaciones forestales (Rehfeld et ál. 2002).

La distribución actual y futura de las especies por lo general se predice mediante modelos bioclimáticos que suponen que el clima es el factor que restringe la distribución de las especies (McLaughlin et ál. 2002, Beaumont et ál. 2005, Parmesan 2006). Existe una extensa y creciente literatura referente a los impactos del cambio climático sobre la abundancia y la distribución de las especies; sin embargo hay poca experiencia sobre sus efecto en plantaciones forestales (Hansen et ál. 2001, Booth y Jovanovic 2002, Iverson et ál. 2008). El objetivo de este artículo es evaluar cómo el cambio climático puede afectar las zonas con potencial para el establecimiento de plantaciones forestales en Centroamérica.

Selección de especies

El trabajo empezó con la selección de especies forestales importantes para el sector forestal y la producción de bienes en Centroamérica. Se envió una lista de 19 especies encontradas en la región a 23 expertos, a quienes se pidió escoger cinco de ellas con base en la superficie plantada, la demanda y el valor de la madera. Se priorizaron dos especies forestales introducidas: teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina*

arborea) y tres especies nativas: pino caribeño (*Pinus caribaeae* var. *hondurensis*), vochisia (*Vochysia guatemalensis*) y caoba del Atlántico (*Swietenia macrophylla*).

Requerimientos edafoclimáticos

En una segunda etapa se buscó información sobre los requerimientos edafoclimáticos de las cinco especies seleccionadas. Se tomó en cuenta una cantidad prudente de variables a evaluar para no subestimar ni sobreestimar el potencial de distribución de las especies estudiadas (Beaumont et ál. 2005). Se seleccionaron las siguientes variables con base en la literatura y consultas a expertos: precipitación anual total, temperatura promedio anual, número de meses secos por año, elevación, pendiente, profundidad del suelo y drenaje.

Se sistematizó la información recopilada mediante la construcción de una curva de adecuación de la especie para cada una de las variables cuantitativas (precipitación, temperatura, número de meses secos, altitud) mediante la asignación de medio punto a los intervalos reportados como “aptos” y un punto a los “óptimos” en cada referencia de la literatura. Para cada especie y cada variable, se sintetizaron las diferentes fuentes de información creando un índice promedio de adecuación de la especie en función de la variable (Fig. 1). Se ajustó este

primer índice de adecuación para construir un índice simplificado. Se consideró que una especie se desarrolla de manera óptima cuando el índice de adecuación basado en la literatura supera 0,75 (Fig. 2). Los valores seleccionados para los rangos aptos y óptimos de cada especie aparecen en el Cuadro 1.

Las otras tres variables (pendiente, profundidad, drenaje) fueron analizadas de manera cualitativa. Debido a las leves diferencias en la respuesta de las especies estudiadas a esas variables, se asumió que las cinco especies tienen el mismo requerimiento edáfico. Asimismo, la limitación de la base de datos de suelos de SOTERLAC no permitió discriminar entre valores aptos y óptimos. Los requerimientos edáficos usados fueron pendiente plana a ondulada y suelos profundos (superior a un metro) y bien drenados.

Datos espaciales

En la tercera etapa del trabajo se buscaron datos espaciales relacionados con las variables seleccionadas. Los datos de climatología (1950-2000) provienen de la base de datos de WorldClim (Hijmans et ál. 2005) que están en formato de *raster* y tiene una resolución de 30 arc seg (~1km), la cual se escogió como resolución de base del trabajo. Los datos de WorldClim incluyen los promedios mensuales de precipitación y temperaturas máximas

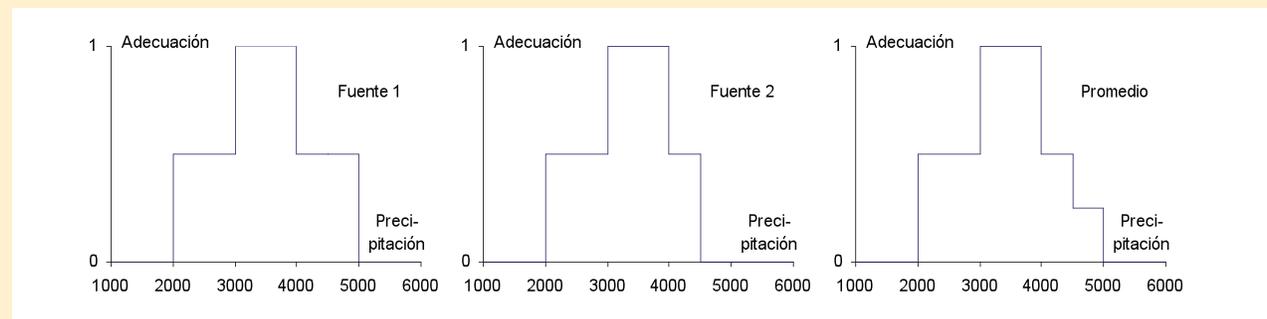


Figura 1. Ejemplo de construcción de un índice de requerimientos con base en información bibliográfica

y mínimas. De estos, se derivaron las variables de precipitación anual total, temperatura promedio anual y número de meses secos. Este último dato se estimó combinando los *grids* de precipitación mensual con los de temperatura mensual; se definió como mes seco aquel en el cual la precipitación es inferior a la mitad de la evapotranspiración potencial (Holdridge 1967, Lugo et ál. 1999).

Cada variable cuantitativa (precipitación, temperatura, número de meses secos, altitud) se convirtió a índices de adecuación según la siguiente fórmula:

$$\text{Índice} = \text{Mín} (1 ; \text{Max} [0 ; (v - a) / (b - a)] ; \text{Max} [0 ; (v - d) / (c - d)])$$

Donde v es el valor de la variable a reclasificar; a es el valor mínimo por debajo del cual no se desarrolla la especie; b y c son el valor mínimo y máximo del umbral óptimo y d es el valor máximo por encima del cual la especie no se desarrolla.

Las variables edáficas se obtuvieron de la base de datos SOTERLAC (Batjes 2005). Mediante la vinculación de tablas, selección de variables y su posterior anexión a un archivo de SIG, se construyeron los *grids* de profundidad y drenaje. Para calcular el *grid* de pendiente fue necesario cambiar la proyección geográfica del *grid* de elevación a una proyección plana. Se calculó la pendiente con la herramienta *surface analysis* de *ArcMap* y se reprojectó el resultado a coordenadas geográficas.

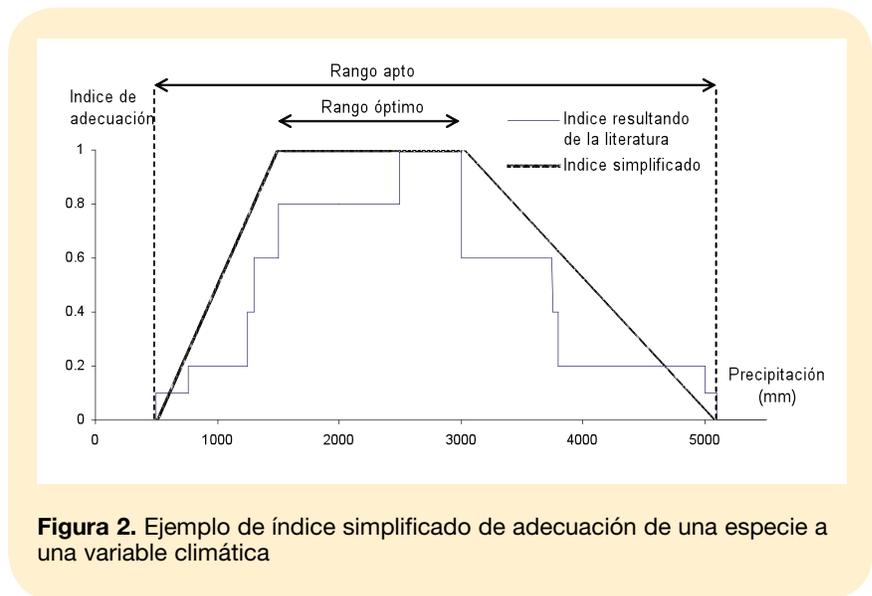


Figura 2. Ejemplo de índice simplificado de adecuación de una especie a una variable climática

Mapas de distribución potencial actual

En la cuarta etapa se construyeron mapas de distribución potencial de las cinco especies según el clima actual. Se usó el concepto de factor limitante basado en la ley de mínimos de Liebig para combinar las variables (Hackett y Vanclay 1998, Booth y Jovanovic 2002). El índice de adecuación de una especie a un lugar es el mínimo de los índices de adecuación de la especie a las diferentes variables edafoclimáticas del lugar.

Se construyó un modelo en SIG que compara los requerimientos de clima y suelo con las condiciones edafoclimáticas en Centroamérica (Booth y Jovanovic 2002). Para el

manejo de la base de datos, cálculos y construcción del modelo se utilizó la herramienta *raster calculator* de *ArcMap*. El resultado es un mapa que muestra las zonas óptimas (índice >0,75), aptas (0,50 a 0,75) e inapropiadas (<0,50) para el desarrollo de cada una de las especies forestales.

Mapas de distribución potencial futura

En la quinta etapa se construyeron mapas de distribución potencial de las cinco especies bajo escenarios de cambio climático. Esta etapa se basa en tres supuestos: 1) El cambio climático ocurre a una velocidad que no permite la adaptación autónoma de las especies a las nuevas

Cuadro 1. Rango climático y altitudinal para las especies en estudio

Variables		Especies				
		<i>T. grandis</i>	<i>G. arborea</i>	<i>P. caribea</i>	<i>S. macrophylla</i>	<i>V. guatemalensis</i>
Precipitación (mm/año)	Apto	500 - 5100	700 - 5000	600 - 4000	1000 - 5000	1600 - 5000
	Óptimo	1500 - 3000	1800 - 2500	900 - 3900	2000 - 4000	3000 - 4500
Periodo seco (nº meses/año)	Apto	1 - 6	1 - 6	< 6	< 4	< 4
	Óptimo	2 - 5	2 - 4	< 4	< 3	< 3
Temp. media (°C)	Apto	13 - 43	18 - 38	20 - 34	20 - 37	12 - 35
	Óptimo	22 - 27	24 - 29	22 - 27	24 - 28	24 - 27
Altitud (msnm)	Apto	0 - 900	0 - 900	0 - 1000	0 - 1500	0 - 1200
	Óptimo	0 - 500	0 - 600	0 - 800	0 - 600	0 - 900

Fuentes: FAO (1973), Lamprecht (1990), Francis (1992), Chavarría y Valerio (1993), Pancel (1993), Weaver (1993), Briscoe (1995), Baciliery et ál. (1998), Pandey y Brown (2000), Krishnapillay (2000), Delgado (2002), Solís y Moya (2002), Varmola (2002), Cordero y Boshier (2003), Fonseca (2004), Rojas et ál. (2004), Vallejo (2006).

condiciones ambientales; es decir que las especies tienen los mismos requerimientos en el presente y en el futuro. 2) No se considera la posibilidad de adaptación inducida a través de mejoras silviculturales. 3) Las variables edáficas se mantienen constantes y solamente se toman en cuenta los efectos directos de los cambios del clima sobre la distribución de especies.

Para los escenarios climáticos se usaron los datos del modelo regional PRECIS Caribe con el escenario de emisiones A2 (Jones et ál. 2004). Las variables que se obtuvieron de PRECIS fueron los cambios de la temperatura superficial mensual y la precipitación mensual para los periodos 2010–2040, 2040–2070 y 2070–2100, en comparación con el clima base. Los datos disponibles, con una resolución de 0,5° (~60 km), fueron remuestreados y suavizados a una resolución de 30 arc seg y añadidos al clima base. Ese proceso se basa en el supuesto de que los cambios o las anomalías climáticas ocurren sobre una larga escala espacial; por ello, el cambio en el *grid* de 0,5° puede ser aplicado a todo aquel *grid* de 30 arc seg contenido en el de 0,5° (Hulme et ál. 1999, Hewitson 2003). Con estos datos se construyó la variable número de meses secos.

Siguiendo el procedimiento usado para el clima actual, se construyeron mapas de distribución potencial bajo escenarios de cambio climático para las cinco especies.

Análisis de resultados

En la última etapa se analizaron los resultados. Se observaron las áreas óptimas y aptas en los cinco países más grandes de Centroamérica. En el análisis no se tomó en cuenta la competencia por el uso del suelo -por ejemplo la existencia de bosques protegidos o zonas urbanas. Por lo tanto, las áreas se refieren a zonas potenciales para plantaciones según criterios únicamente edafoclimáticos. También se analizaron los cambios en áreas potenciales entre el periodo actual y los diferentes periodos futuros. Se definió un cambio favorable como la transición de área inapropiada a apta, inapropiada a óptima, o apta a óptima (las transiciones opuestas definen un cambio desfavorable).

Resultados y discusión

A nivel regional

En la región centroamericana, más del 20% del área tiene condiciones óptimas para teca, pino caribeño y caoba, lo que demuestra el gran potencial de la región para plantaciones

(ver escenario actual en Cuadro 2). El cambio climático, sin embargo, tendrá impactos diferentes sobre las diferentes especies. Las áreas óptimas para teca y melina aumentarán hasta el periodo 2040-2070 y luego se reducirán ligeramente. Las áreas óptimas para las tres otras especies (pino caribeño, caoba y vochisia) van a disminuir de manera constante. El impacto más fuerte lo sufrirá el pino caribeño, para el cual las áreas óptimas se reducirán de 24,9 a 3,5% entre el periodo actual y el 2070-2100. Las tres especies sufrirán el impacto más fuerte a partir del periodo 2040-2070.

Las especies introducidas (teca y melina) se verán favorecidas con los cambios climáticos porque sus rangos de tolerancia son más amplios. Durante el periodo 2010-2040, las áreas óptimas para las especies introducidas van a aumentar entre 2,3% (teca) y 3,5% (melina) del área de la región, en tanto que para las especies nativas van a disminuir casi en la misma proporción (entre 2,2 y 3,3%).

Las especies nativas del istmo sufrirán reducciones considerables en las áreas con potencial para plantaciones forestales. Esta tendencia se agudizará hacia finales del presente siglo. Por ejemplo, hasta el periodo 2070-2100, las áreas óptimas para especies nativas van a perder de 8,9% (vochisia) a 21,4% (pino caribeño) del área regional.

Tectona grandis

Panamá y Nicaragua tienen gran potencial de áreas óptimas para plantaciones de teca (Fig. 3A y Cuadro 3). Bajo los escenarios de cambio climático de los periodos 2010-2040 y 2040-2070, los cambios favorables son más extensos que los desfavorables en Costa Rica y Nicaragua (Fig. 3B, 3C y Cuadro 3). A más largo plazo (2070-2100), las áreas óptimas para plantaciones de teca se van a beneficiar del cambio solamente en Nicaragua (Fig. 3D y Cuadro 3).

Cuadro 2. Situación actual y cambios esperados en áreas potenciales para las cinco especies a nivel regional (en % del área total)

	Actual	2010-2040	2040-2070	2070-2100
<i>Tectona grandis</i> (teca)				
Áreas óptimas	28,6	30,9	30,9	28,3
Áreas aptas no óptimas	8,7	9,9	11,3	10,5
<i>Gmelina arborea</i> (melina)				
Áreas óptimas	19,7	23,2	23,8	21,0
Áreas aptas no óptimas	10,8	11,1	10,8	11,1
<i>Pinus caribaea</i> (pino caribeño)				
Áreas óptimas	24,9	21,6	12,9	3,5
Áreas aptas no óptimas	4,5	4,1	4,0	5,9
<i>Swietenia macrophylla</i> (caoba)				
Áreas óptimas	22,1	19,9	12,7	7,0
Áreas aptas no óptimas	6,7	6,6	5,3	4,9
<i>Vochisia guatemalensis</i> (vochisia)				
Áreas óptimas	13,9	11,1	7,7	5,0
Áreas aptas no óptimas	8,0	7,0	5,2	4,3

Gmelina arborea

Los resultados para la melina se parecen a los de la teca. Panamá y Nicaragua presentan un gran potencial de áreas óptimas para plantaciones de melina (Fig. 4A y Cuadro 4). Bajo escenarios de cambio climático a corto plazo (2010-2040), los cambios favorables son más extensos que los desfavorables en Costa Rica y Nicaragua (Fig. 4B y Cuadro 4). A más largo plazo (2070-2100), las áreas óptimas para plantaciones de melina se benefician del cambio solamente en Nicaragua (Fig. 4D y Cuadro 4).

Pinus caribaea

Actualmente, los países con mayores áreas adecuadas para el establecimiento de pino caribeño son Nicaragua, Honduras y Guatemala (Fig. 5A y Cuadro 5). La comparación entre el escenario base y el periodo 2010-2040 evidencia que los cambios favorables son reducidos (siempre menos de 1,3% del área). Los cambios desfavorables son mayores que los favorables y alcanzan un 11,8% del territorio en Nicaragua (Cuadro 5). En los siguientes periodos se mantiene la misma tendencia de cambios favorables bajos (menos de 2,1%) y cambios desfavorables más altos y crecientes. Nicaragua es el país en el cual ocurrirán los mayores cambios desfavorables (hasta 41,9% de su territorio), seguido por Honduras

(25,1%) y Guatemala (23,2%). Las áreas óptimas o aptas para pino caribeño se vuelven muy escasas en Nicaragua y en Honduras en el periodo 2070-2100 (Fig. 5D).

Swietenia macrophylla

Nicaragua tiene el 40,8% de su territorio con condiciones óptimas para el establecimiento de plantaciones

forestales de *S. macrophylla*. Costa Rica, Honduras y Guatemala presentan condiciones que limitan las áreas óptimas alrededor de un 17% (Fig. 6A y Cuadro 6).

En el periodo 2010-2040, Nicaragua será el país más impactado de manera negativa; un área equivalente al 11,7% de su territorio sufrirá cambios desfavorables.

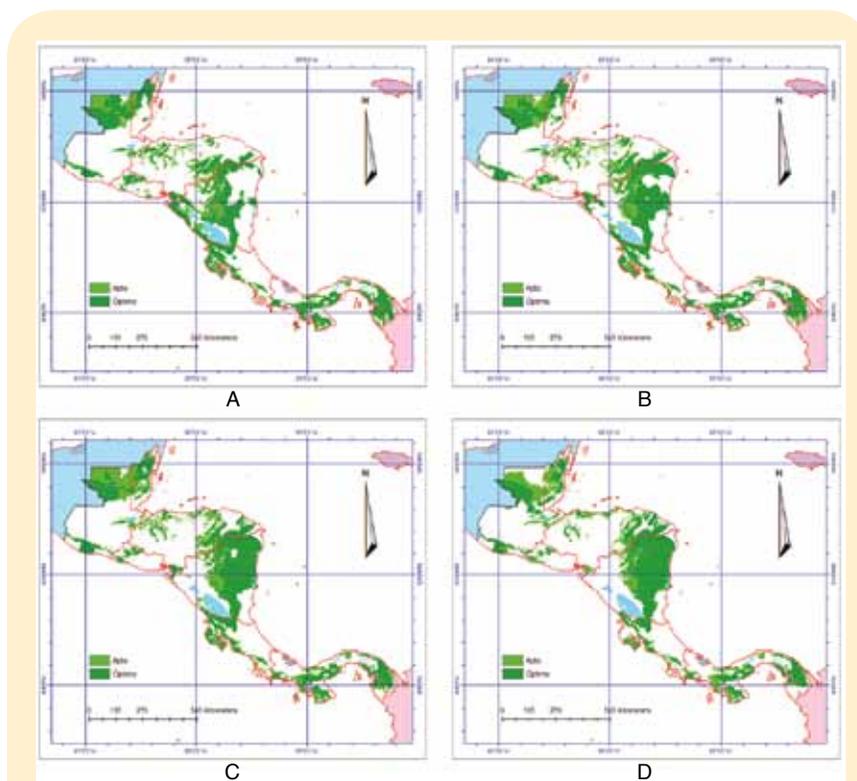


Figura 3. Áreas potenciales para plantaciones de *T. grandis* en Centroamérica. A) Escenario base; B) Periodo 2010-2040; C) Periodo 2040-2070; D) Periodo 2070-2100

Cuadro 3. Situación actual y cambios esperados en áreas potenciales (en % del área del país) para *T. grandis*

	Panamá	Costa Rica	Nicaragua	Honduras	Guatemala
Áreas potenciales con el clima actual					
Áreas óptimas	41,3	26,9	38,3	16,7	22,7
Áreas aptas no óptimas	7,0	6,8	9,3	8,6	10,1
Cambios entre el periodo actual y 2010-2040					
Favorables	1,2	1,4	14,4	3,8	2,2
Desfavorables	3,2	0,3	5,8	3,7	2,9
Cambios entre el periodo actual y 2040-2070					
Favorables	1,8	2,3	23,4	8,4	3,1
Desfavorables	8,1	1,7	10,1	8,5	6,8
Cambios entre el periodo actual y 2070-2100					
Favorables	1,9	3,2	26,0	11,6	8,4
Desfavorables	14,9	10,2	13,6	15,1	14,4

Durante el periodo 2040-2070, los cambios desfavorables se incrementarán notablemente en Nicaragua (33,8%); mientras que Panamá será el país menos afectado (2,3% de cambios desfavorables y 6,5% de favorables). Para el periodo 2070–2100, Nicaragua continúa siendo el país más afectado por cambios desfavorables los cuales impactarán un área aproximada al 42% de su terri-

torio; el cambio de áreas óptimas a inapropiadas será el que registre el mayor impacto. Los impactos en Honduras serían la mitad de los registrados por Nicaragua (Cuadro 6).

Vochysia guatemalensis

Nicaragua cuenta con el 29,9% de su territorio con condiciones óptimas para el establecimiento de *vochysia*, por encima de Costa Rica y Panamá

con 19,1% y 11,9% respectivamente (Fig. 7A y Cuadro 7). En los periodos 2010-2040 y 2040-2070, todos los países sufrirán más cambios desfavorables que favorables, excepto Panamá. El país que registra los mayores cambios desfavorables es Nicaragua, con un área equivalente al 30,7% de su superficie en el periodo 2040-2070.

En el periodo 2040-2070, los cambios desfavorables son más extensos que los favorables en todos los países. Los cambios desfavorables afectan a Nicaragua mucho más que al resto de países de la región. Un área equivalente al 36,7% de su superficie pasa de apta a inapropiada y de óptima a inapropiada. Los países menos afectados serán Panamá y Costa Rica.

Conclusión

Las plantaciones forestales van ganando mayor relevancia en el sector forestal centroamericano. Dicha importancia radica en su rol como fuente de materia prima y energía, así como base de las estrategias de vida de muchas comunidades y provisión de servicios ecosistémicos. En el ámbito internacional actual, los servicios ecosistémicos vienen siendo vistos con buenos ojos por su rol en la mitigación del cambio climático.

El cambio climático tendrá impactos negativos, pero también positivos, sobre la distribución de áreas con potencial para el desarrollo de plantaciones forestales. Los

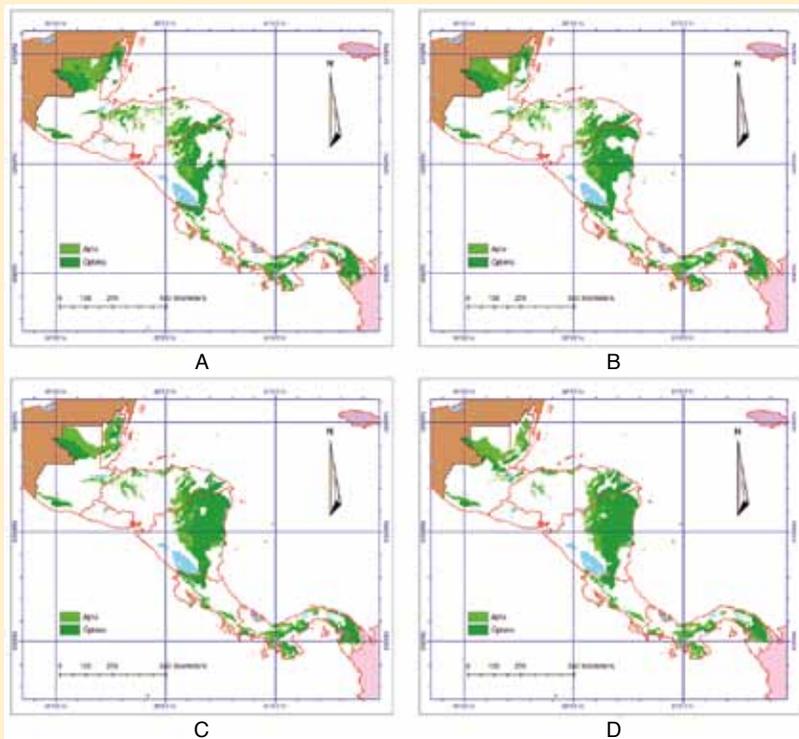


Figura 4. Áreas potenciales para plantaciones de *G. arborea*. A) Escenario base; B) Periodo 2010-2040; C) Periodo 2040-2070; D) Periodo 2070-2100

Cuadro 4. Situación actual y cambios esperados en áreas potenciales (en % del área del país) para *G. arborea*

	Panamá	Costa Rica	Nicaragua	Honduras	Guatemala
Áreas potenciales con el clima actual					
Áreas óptimas	32,5	12,9	28,0	10,4	14,7
Áreas aptas no óptimas	12,7	6,4	6,5	10,1	17,1
Cambios entre el periodo actual y 2010-2040					
Favorables	2,9	1,8	15,5	4,0	0,6
Desfavorables	6,1	0,8	1,1	5,8	5,4
Cambios entre el periodo actual y 2040-2070					
Favorables	3,8	2,7	24,4	8,0	1,2
Desfavorables	12,5	3,0	3,0	10,7	12,8
Cambios entre el periodo actual y 2070-2100					
Favorables	3,3	3,8	26,5	10,5	6,2
Desfavorables	22,1	6,1	7,4	14,7	25,5

resultados permiten al sector forestal, los decisores y las comunidades tomar medidas desde ahora. Como ciertas plantaciones forestales implican rotaciones de largo plazo, se recomendaría evitar la plantación de especies que pueden encontrar un ambiente climático adverso a futuro.

En general, las áreas adecuadas para el establecimiento de plantaciones con especies nativas (pino caribeño, caoba y vochisia) se van a reducir y, por el contrario, es muy probable que las especies introducidas (teca y melina) se vean favorecidas con el cambio en los patrones de temperatura y precipitación. El hecho de que las especies nativas se vean impactadas negativamente causa cierta preocupación en cuanto a la protección de la biodiversidad de especies forestales; se requieren mayores investigaciones sobre las medidas para reducir esta amenaza. Tanto para especies nativas como introducidas, se recomienda desarrollar investigaciones sobre las medidas silviculturales y sobre orígenes o procedencias de semillas para ayudar a las plantaciones forestales a adaptarse a los futuros cambios. Los resultados de esas investigaciones serán muy importantes para países como Nicaragua, donde las plantaciones forestales tienen un potencial alto pero enfrentan muchos riesgos relacionados con el cambio climático.

La metodología aplicada en este estudio es relativamente sencilla, por lo tanto algunas mejoras se puede proponer para trabajos futuros. Un primer paso sería usar otros escenarios de cambio climático para estimar la robustez de los resultados frente a las incertidumbres sobre el clima futuro. Una etapa importante a futuro sería la validación de los resultados a partir del desarrollo de las plantaciones. Como hay pocas áreas plantadas en Centroamérica, la comparación de los mapas de áreas potenciales con mapas de ubicación actual de plantaciones no es

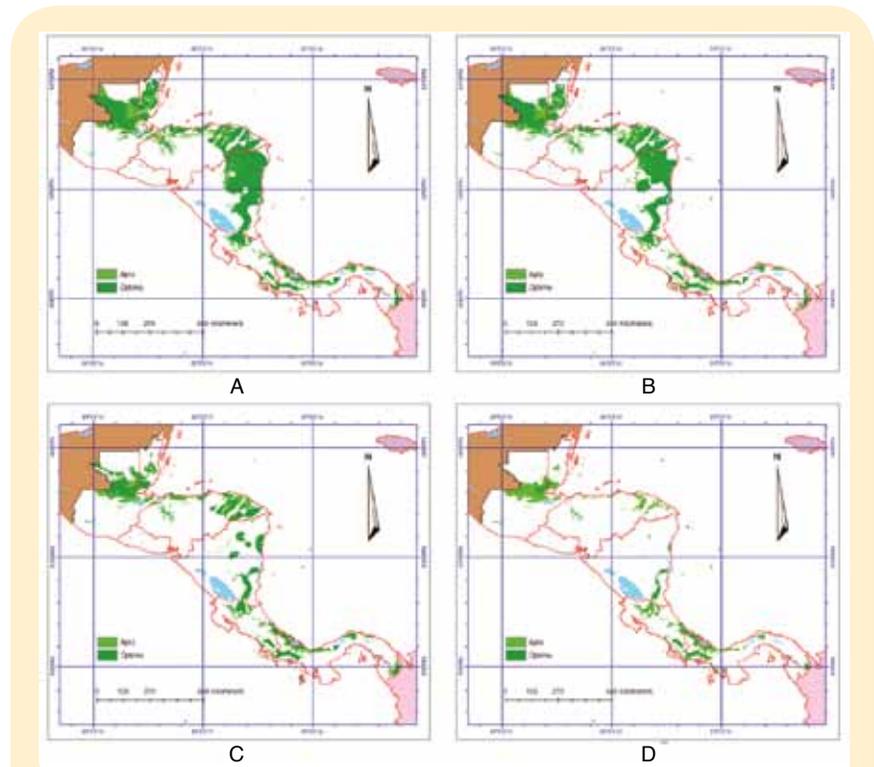


Figura 5. Áreas potenciales para plantaciones de *P. caribea*. A) Escenario base; B) Periodo 2010-2040; C) Periodo 2040-2070; D) Periodo 2070-2100

Cuadro 5. Situación actual y cambios esperados en áreas potenciales (en % del área del país) para *P. caribea*

	Panamá	Costa Rica	Nicaragua	Honduras	Guatemala
Áreas potenciales con el clima actual					
Áreas óptimas	14,8	16,9	41,3	21,6	20,8
Áreas aptas no óptimas	4,0	3,8	1,1	4,8	8,5
Cambios entre el periodo actual y 2010-2040					
Favorables	1,1	1,3	0,4	0,3	0,3
Desfavorables	1,2	2,1	11,8	3,5	2,8
Cambios entre el periodo actual y 2040-2070					
Favorables	2,1	1,7	0,4	0,2	0,5
Desfavorables	2,7	4,6	33,4	12,3	10,7
Cambios entre el periodo actual y 2070-2100					
Favorables	2,1	2,1	0,4	0,1	0,6
Desfavorables	10,4	11,3	41,9	25,1	23,2

relevante. Además, los mapas de ubicación no dan información sobre el desempeño de las plantaciones. Con datos sobre el crecimiento de plantaciones en varios lugares, sí sería posible tener un enfoque diferente para estimar los requerimientos de las especies a partir de los datos de campo y no a partir de la literatura.

Literatura citada

Baciliery, R; Alloysius, D; Lapongan, J. 1998. Growth performance of teak. In Proceeding of the Seminar on high value timber species for plantation establishment -teak and mahoganies [1-2 December 1998, Tawau, Sabah]. p. 27-34. JIRCAS Working Report no.16.

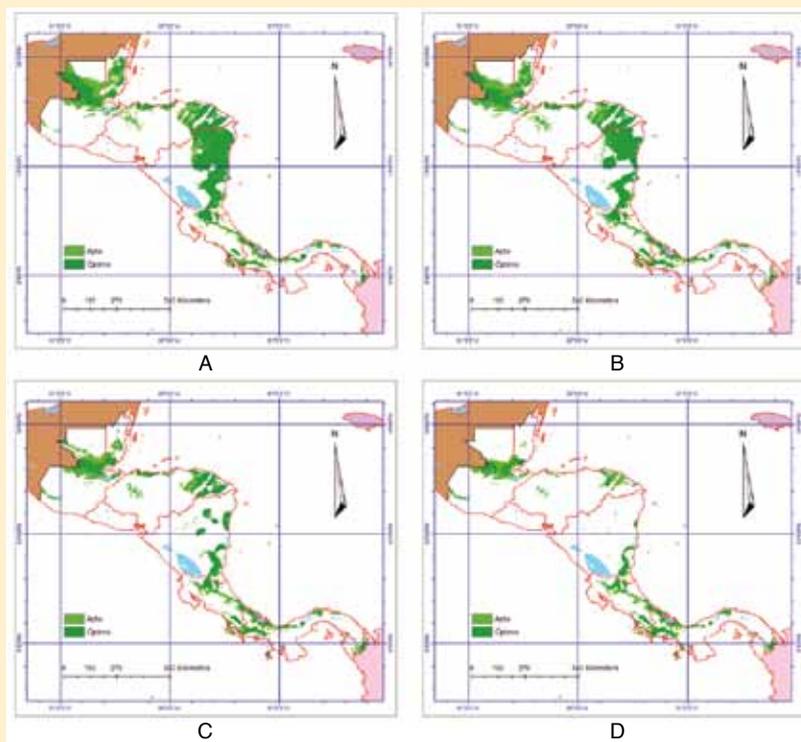


Figura 6. Áreas potenciales para plantaciones de *S. macrophylla*. A) Escenario base; B) Periodo 2010-2040; C) Periodo 2040-2070; D) Periodo 2070-2100

Cuadro 6. Situación actual y cambios esperados en áreas potenciales (en % del área del país) para *S. macrophylla*

	Panamá	Costa Rica	Nicaragua	Honduras	Guatemala
Áreas potenciales con el clima actual					
Áreas óptimas	12,5	17,1	40,8	16,6	16,3
Áreas aptas no óptimas	4,6	6,6	3,8	6,6	11,3
Cambios entre el periodo actual y 2010-2040					
Favorables	4,9	5,0	1,7	2,4	3,0
Desfavorables	1,0	2,4	11,7	4,3	6,0
Cambios entre el periodo actual y 2040-2070					
Favorables	6,5	6,4	0,8	1,3	3,2
Desfavorables	2,3	5,2	33,8	9,2	13,2
Cambios entre el periodo actual y 2070-2100					
Favorables	7,1	6,6	0,4	0,5	2,9
Desfavorables	3,9	7,6	42,1	20,7	18,0

Batjes, NH. 2005. SOTER-based soil parameters estimate for the Latin America and Caribbean (ver. 1.0). Wageningen, NL. ISRIC – World Soil Information. Report 2005/02. 32 p.

Beaumont, L; Hughes, L; Pulsen, P. 2005. Predicting species distribution: Use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and

future distribution. Ecological Modelling 186:250-269.

Booth, TH; Jovanovic, T. 2002. Identifying climatically suitable areas for growing particular trees in Africa: An example using *Grevillea robusta*. Agroforestry Systems 54:41-49.

Briscoe, CB. 1995. Silvicultura y manejo de teca, melina y pochote. Turrialba,

Costa Rica, CATIE. Serie técnica, Informe técnico No. 270. 43 p.

Chavarría, M; Valerio, M. 1993. Guía preliminar de variables silviculturales para apoyar los proyectos de reforestación en Costa Rica. San José, Costa Rica, Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas - Dirección General Forestal. 202 p.

Cordero, J; Boshier, D. (Eds). 2003. Árboles de Centroamérica: manual para extensionistas. San José, CR, Instituto Forestal de Oxford – CATIE. 1079 p.

Delgado, AM. 2002. Crecimiento de las plantaciones de especies nativas y su relación con la motivación de los finqueros a reforestar en la región Huetar Norte de Costa Rica. Informe de Práctica de Especialidad, Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 127 p.

FAO. 1973. Información sobre recursos genéticos forestales. Documento forestal ocasional 1973/1 (en línea). Roma, Italia. Consultado 16 ago. 2007. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/d4959s/D4959S00.htm>

Fearnside, P. 1999. Plantation forestry in Brazil: the potential impacts of climate change. Biomass and Bioenergy 16:91-102.

Fonseca, WG. 2004. Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. f.) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica, FONAFIFO. 121 p.

Francis, J. 1992. *Pinus caribaea* Morelet -Caribbean pine. New Orleans, LA, US. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. SO-ITF-SM-53. 10 p.

Hackett, C; Vanclay, JK. 1998. Mobilizing expert knowledge of tree growth with the PLANTGRO and INFER systems. Ecological Modelling 106:233-246.

Hansen, AJ; Neilson, RP; Dale, VH; Flater, CH; Iverson, LR; Currie, DJ; Shafer, S; Cook, R; Bartlein, PJ. 2001. Global change in forest: Responses of species, communities, and biomes. BioScience 51(9): 765-779.

Hewitson, B. 2003. Developing perturbations for climate change impact assessments. EOS Transactions American Geophysical Union 84(35): 337-341.

Hijmans, R; Cameron, S; Parra, J; Jones, P; Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land area. International Journal of Climatology 25: 1965-1978.

Holdridge, LR. 1967. Life zone ecology. Revised edition. San José, Costa Rica, STC. 206 p.

Hulme, M; Barrow, E; Arnell, N; Harrison, P; Johns, T; Downing, T. 1999. Relative impacts of human-induced climate change and natural climate variability. Nature 397: 688-691.

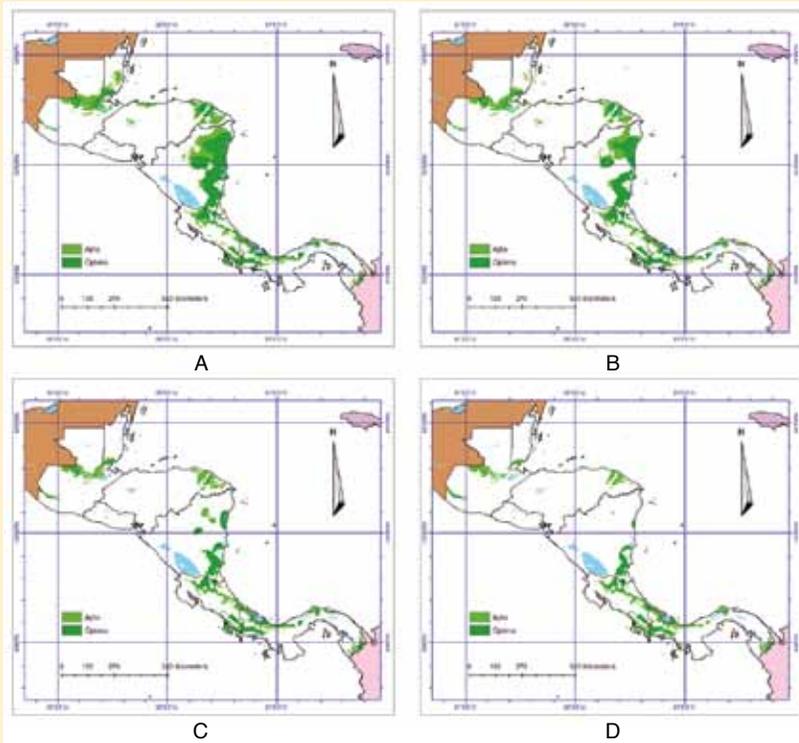


Figura 7. Áreas potenciales para plantaciones de *V. guatemalensis*. A) Escenario base; B) Periodo 2010-2040; C) Periodo 2040-2070; D) Periodo 2070-2100

Cuadro 7. Situación actual y cambios esperados en áreas potenciales (en % del área del país) para *V. guatemalensis*

	Panamá	Costa Rica	Nicaragua	Honduras	Guatemala
Áreas potenciales con el clima actual					
Áreas óptimas	11,9	19,1	29,9	4,8	4,9
Áreas aptas no óptimas	7,4	10,7	9,9	5,6	7,4
Cambios entre el periodo actual y 2010-2040					
Favorables	2,5	1,3	0,0	0,0	0,2
Desfavorables	0,9	2,8	16,4	3,7	3,6
Cambios entre el periodo actual y 2040-2070					
Favorables	4,1	1,6	0,0	0,0	0,4
Desfavorables	2,0	5,3	30,7	8,3	6,6
Cambios entre el periodo actual y 2070-2100					
Favorables	5,0	1,8	0,0	0,0	0,6
Desfavorables	5,9	9,5	36,7	10,3	8,8

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of IPCC. In Parry, M; Canziani, O; Palutikof, J; Van der Linden, P; Hanson, C. (Eds.). Climate Change 2007: Impacts, adaptation & vulnerability. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 976 p.

Iverson, L; Prasad, A; Matthews S. 2008. Modeling potential climate change impacts on the trees of the northeastern United States. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 13: 517-540.

Jones, RG; Noguier, M; Hassell, DC; Hudson, D; Wilson, SS; Jenkins, GJ; Mitchell, JFB. 2004. Generating

high resolution climate change scenarios using PRECIS. Exeter, Reino Unido, Met Office Hadley Centre. 40 p.

Krishnapillay, B. 2000. Silvicultura y ordenación de plantaciones de teca. In Dembner, SA; Perlis, A. (Eds.). Teca. Unasyva (en línea) 51(201). Consultado 16 ago. 2007. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/x4565s/x4565s00.htm>

Lamprecht, H. 1990. Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn, Alemania, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), p. 272-274; 294-296; 310-313.

Lugo, AE; Brown, SL; Dodson, R; Smith, TS; Shugart, HH. 1999. The Holdridge life zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping. Journal of biogeography 16: 1025-1038.

McLaughlin, JF; Hellman, JJ; Boggs, CL; Ehrlich, PR. 2002. Climate change hastens population extinction. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 99: 6070-6074.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2003. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Washington, DC, Estados Unidos, Island Press. 245 p.

Pancel, L. 1993. Tropical forestry handbook. Berlin, DE, Springer-Verlag. v. 1.

Pandey, D; Brown, C. 2000. La teca una visión global. In Dembner, SA; Perlis, A. (Eds.). Teca. Unasyva (en línea) 51(201). Consultado 16 ago. 2007. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/x4565s/x4565s00.htm>

Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Annual Review Ecological Evolutionary 37: 637-669.

Rehfeldt, GE; Tchekakava, NM; Parfenova, YI; Wykoff, WR; Kuzmina, NA; Milyutin, LI. 2002. Intra specific responses to climate in *Pinus sylvestris*. Global Change Biology 8: 912-929.

Rojas, F. Aguilar, D; Roque, R; Montoya, A; Gamboa, O; Gamboa, M. 2004. Manual para productores de melina (*Gmelina arborea*) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica, FONAFIFO. 314 p.

Solís, MC; Moya, RR. 2002. *Vochysia guatemalensis* en Costa Rica. Heredia, Costa Rica, FONAFIFO. 107 p.

Vallejo, A. 2006. Selector de especies (Software). Turrialba, Costa Rica, CATIE, Grupo Cambio Global.

Varmola, M. 2002. Melina (*Gmelina arborea*) in Central America. Rome, Italia, FAO. Working paper FP/20 based on the work of Alfaro and De Camino in 1998. 22 p.

Weaver, PL. 1993. *Tectona grandis* L.f. Teak. New Orleans, LA, US. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. SO-ITF-SM-64. 18 p.