



Artículo / Article

Variabilidad de la temperatura local en bosques de coníferas por efectos de la deforestación

Variability of local temperature in conifer forests as a consequence of deforestation

Antonio González Hernández¹, Ramiro Pérez Miranda¹, Francisco Moreno Sánchez¹, Gabriela Ramírez Ojeda², Sergio Rosales Mata³, Antonio Cano Pineda⁴, Vidal Guerra de la Cruz⁵ y María del Carmen Torres Esquivel¹

Resumen

Ante lo prioritario que resulta la evaluación de los impactos de la deforestación sobre las variaciones del clima local en los bosques mexicanos, se planteó el estudio que se describe a continuación con el propósito de precisar la variabilidad de la temperatura (máxima, mínima y media) en algunas asociaciones de coníferas y áreas vecinas deforestadas en México, así como sus diferencias diurnas y nocturnas. Se ubicaron seis sitios en pinares, oyametales y en zonas sin arbolado próximas a los mismos en los estados de Tlaxcala, Coahuila, Michoacán, Jalisco y Durango, donde se colocaron Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA). Los resultados indican que las zonas deforestadas presentan mayor temperatura que las arboladas (de 0.43 °C a 0.69 °C). En el bosque de *Pinus michoacana* se registraron los valores más altos de temperatura, mientras que en el de *Abies vejarii* los menores. Entre las temperaturas diurnas y nocturnas se observó una diferencia media de 3 °C y predominó una temperatura superior en las territorios deforestados con 1.4 %, respecto a los cubiertos por árboles. Finalmente, las áreas con *Pinus durangensis* tuvieron la mayor oscilación de temperatura entre el día y la noche (arriba de 4 °C) y las de *Abies religiosa*, la más baja, con valores inferiores a 1.5 °C.

Palabras clave: *Abies spp.*, *Pinus spp.*, temperatura diurna, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura nocturna.

Abstract

Given that assessing the impact of deforestation on local climate changes in the Mexican forests is a priority, the study here described was carried out in order to determine the variability of temperature (maximum, minimum and average) in some conifer woods and neighboring deforested areas, as well as their daily and night differences. Six sites were located in *Pinus* and *Abies* forests and in nearby treeless areas in the states of Tlaxcala, Coahuila, Michoacán, Jalisco and Durango, where Automatic Weather Stations (AWS) were placed. The results revealed that the deforested areas are warmer than those with trees (by 0.43 °C to 0.69 °C). The *Pinus michoacana* forest showed the highest temperature values, while the lowest occurred at the *Abies vejarii* community. Between day and night temperatures, the average difference was 3 °C, and a higher temperature by 1.4 % prevailed in deforested areas compared to those covered by trees. Finally, by forest type, the areas with *Pinus durangensis* had the highest variation in temperature between day and night (by more than 4 °C) and those with *Abies religiosa* the lowest, with values below 1.5 °C.

Key words: *Abies sp.*, *Pinus spp.*, diurnal temperature, maximum temperature, minimum temperature, night temperature.

Fecha de recepción/date of receipt: 11 de julio de 2014; Fecha de aceptación/date of acceptance: 18 de febrero de 2015.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. INIFAP. Correo-e: gonzalez.antonio@inifap.gob.mx

² Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. CIR Pacífico Centro INIFAP.

³ Campo Experimental Valle del Guadiana. CIR-Norte Centro INIFAP.

⁴ Campo Experimental Saltillo. CIR-Norte Centro INIFAP.

⁵ Sitio Experimental Tlaxcala. CIR-Norte. INIFAP.

Introducción

Las coníferas representan a la vegetación propia de las zonas de clima templado y frío del hemisferio boreal, las cuales exhiben una amplia diversidad florística y ecológica (Rzedowski, 2006). México reúne 49 millones 367 mil ha de bosques, que ocupan alrededor de 25 % del territorio nacional, de ellas, 16 % corresponden a los de aciculares y encinos. Solo cuatro estados (Durango, Chihuahua, Jalisco y Michoacán) integran 55 % de estas asociaciones en las que se desarrollan aproximadamente 35 especies endémicas de pinos y 109 de encinos, además constituyen uno de los recursos forestales económicos más valiosos (Torres, 2014).

Por otro lado, el crecimiento exponencial que ha experimentado la población humana a nivel mundial en las últimas décadas, la demanda de productos naturales para satisfacer sus necesidades de supervivencia, así como las formas y mecanismos de su apropiación tienen implicaciones estructurales y funcionales sobre los ecosistemas (Mas *et al.*, 2009; Rosete *et al.*, 2009), de modo que cuando se realizan intervenciones sobre la masa forestal, se provocan cambios en las condiciones microclimáticas del sistema original. Asimismo, hay gran certidumbre de que las condiciones climáticas cambiarán en los próximos años, por lo que es importante estudiar y precisar cuáles comunidades vegetales resultarán más afectadas y la magnitud del impacto que recibirán. Las gimnospermas, en general, se distribuyen en climas semifríos o templados con distinto régimen de humedad, y son los del segundo tipo, en particular, los que se modificarán debido al cambio climático, y serán remplazados por otros más secos y cálidos (Gay *et al.*, 2006; Greenpeace, 2010).

Las proyecciones de cambio climático del IPCC (2007) indican que entre 20 % y 46 % de las superficies de los bosques de coníferas experimentarán modificaciones de 2020 a 2050. La reducción de la cobertura arbórea genera diversos efectos a distintas escalas sobre la diversidad biológica y se manifiesta en la degradación de suelos, la pérdida de capacidad de los sistemas biológicos, el incremento de la vulnerabilidad en regiones sujetas a perturbaciones climáticas y la variación del albedo, que alteran el intercambio de energía entre la superficie y la atmósfera. Además, repercute en las tasas de evapotranspiración y el ciclo del carbono a nivel global, por la disminución en los reservorios y áreas de captura (Sala *et al.*, 2000; MEA, 2003; Lambin *et al.*, 2003).

La sensibilidad de los ecosistemas forestales a las variaciones climáticas fue documentada por Constante *et al.* (2009), Stahle *et al.* (2011), Sheffield *et al.* (2012) y Sáenz *et al.* (2012). La disminución de la precipitación y el incremento de la temperatura inciden en la vulnerabilidad de las especies forestales (Williams *et al.*, 2012). Es probable que las sequías aumenten en frecuencia e intensidad (IPCC, 2007) y posiblemente provocarán que dichos taxa modifiquen su distribución (Gómez y Arriaga, 2007)

Introduction

Conifers represent the vegetation of the temperate and cold zones of the northern hemisphere and exhibit a wide floristic and ecological diversity (Rzedowski, 2006). Mexico has 49 million 367 thousand hectares of forests, occupying approximately 25 % of the country, of which 16 % consist of softwoods and oaks. Four states alone (*Durango, Chihuahua, Jalisco and Michoacán*) comprise 55 % of the associations of approximately 35 pine and 109 oak endemic species and are among the most valuable economic forest resources (Torres, 2014).

On the other hand, the exponential growth experienced by the human population worldwide in recent decades, the demand for natural products to meet their survival needs and the ways and mechanisms of appropriation have structural and functional implications on ecosystems (Mas *et al.*, 2009; Rosete *et al.*, 2009), so that when interventions are made in the forest mass, they cause changes in the microclimate of the original system. In addition, there is great certainty that the weather will change in the coming years, so it is important to study and specify which plant communities will be most affected and what will be the magnitude of their impact. Gymnosperms generally are associated with semi-cold or temperate climates with different moisture regimes and are those of mild weather, in particular, will be modified due to climate change, and will be replaced by other, drier and warmer climates (Gay *et al.*, 2006; Greenpeace, 2010).

The IPCC climate change projections (2007) indicate that 20 % to 46 % of the areas of conifer forests will experience changes between 2020 and 2050; the reduction of tree cover generates various effects on biodiversity at different scales and is manifested in land degradation, loss of ability of biological systems, increased vulnerability of regions under climatic disturbances, and variation in the albedo, thus altering the energy exchange between the surface and the atmosphere. In addition, it globally affects evapotranspiration rates and the carbon cycle from lower reservoirs and sequestration areas (Sala *et al.*, 2000; MEA, 2003; Lambin *et al.*, 2003).



y tiendan a contraerse en sitios con climas propicios para su adaptación (Sáenz *et al.*, 2010; Rehfeldt *et al.*, 2012).

Grimmond *et al.* (2000) señalan que los climas locales variantes resultan de una compleja interacción de ciertas características del rodal y de cuestiones fisiográficas. La mayoría de los estudios (Geiger, 1965; Oke, 1987; McCaughey *et al.*, 1997) sobre el microclima del bosque han identificado una moderación general en los parámetros meteorológicos comunes como efecto de las copas de los árboles.

Los ecosistemas forestales tienen un claro microclima debajo del dosel, regulado por diversos procesos biofísicos y de eminente importancia para el crecimiento y la supervivencia de la vegetación del sotobosque y las plantas procedentes de semillas. El dosel y el tronco del árbol protegen, parcialmente, las áreas cercanas al suelo de la radiación solar y reducen la mezcla de aire. Como consecuencia, dicho microclima suele diferir, de manera importante del presente en las áreas abiertas (Geiger *et al.*, 2009).

Por lo anterior, resulta prioritaria la evaluación de los impactos de la deforestación en los bosques mexicanos. Así, en este trabajo se incursionó en ese problema, a partir de mediciones de las temperaturas máxima, mínima y media *in situ*, para generar conocimientos que ayuden a entenderla como fuente generadora de variabilidad climática a escala local; así como evaluar cuantitativamente la acción de la vegetación como factor estabilizador del clima.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se ubicó en cinco bosques de coníferas: (1) *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. *et* Cham.; 2) *Abies vejarii* Martínez; 3) *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. *et* Cham.; 4) *Pinus michoacana* Martínez; y 5) *Pinus durangensis* Martínez, cuyas condiciones de vegetación son diferentes y se ubican en cinco estados de la república mexicana (Figura 1).

Estaciones meteorológicas

En cada sitio se colocó una estación climatológica automatizada, *Davis Institute Corporation Modelo Vantage Prod. 2*, dentro del bosque de coníferas (*Abies* o *Pinus*) con una cobertura mínima de 60 % y una altura promedio de los árboles de 25 m, seleccionados bajo el criterio de que no tuvieran evidencia de disturbio reciente, plagas o enfermedades. También se puso otra estación climatológica en un área cercana deforestada con una separación mínima del bosque de 200 m, en los estados de Michoacán, Tlaxcala, Jalisco, Durango y Coahuila (Figura 1). Las estaciones fueron dispuestas en la superficie y los sensores de temperatura a 1.5 m de altura del suelo. La

The sensitivity of forest ecosystems to climate changes was documented by Sheffield *et al.* (2012) and Saenz *et al.* (2012), Stahle *et al.* (2011) and Constante *et al.* (2009). The decreased precipitation and increased temperature impact on the vulnerability of forest species (Williams *et al.*, 2012). Droughts are likely to increase in frequency and intensity (IPCC, 2007) and conceivably cause these taxa to modify their distribution (Gómez and Arriaga, 2007); also, they tend to contract in places with climates prone to their adaptation (Saenz *et al.*, 2010; Rehfeldt *et al.*, 2012).

Grimmond *et al.* (2000) note that the local climate variations result from a complex interaction of certain stand characteristics and physiographic issues. Most studies (Geiger, 1965; Oke, 1987; McCaughey *et al.*, 1997) on the microclimate of the forest have identified a general moderating effect of the treetops on common meteorological parameters.

Forest ecosystems have a clear microclimate beneath the canopy regulated by biophysical processes and of eminent importance for the growth and survival of understory vegetation and seed plants. The canopy and the tree trunk partially protect areas near the ground from solar radiation and reduce air mixture. Hence, this microclimate often differs substantially from that of the open areas (Geiger *et al.*, 2009).

It is therefore a priority to assess the impacts of deforestation in Mexican forests. Thus, the aim of this study is to delve into this problem upon the basis of measurements of the maximum, minimum and average *in situ* temperatures, in order to generate knowledge that will contribute to its understanding as a source of climate variability at local level, and to quantitatively evaluate the action of the vegetation as a stabilizing factor of climate.

Materials and Methods

The study area

The study area was located in five conifer forests: (1) *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. *et* Cham.; 2) *Abies vejarii* Martínez; 3) *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. *et* Cham.; 4) *Pinus michoacana* Martínez and 5) *Pinus durangensis* Martínez, with different vegetation conditions in five states of Mexico (Figure 1).



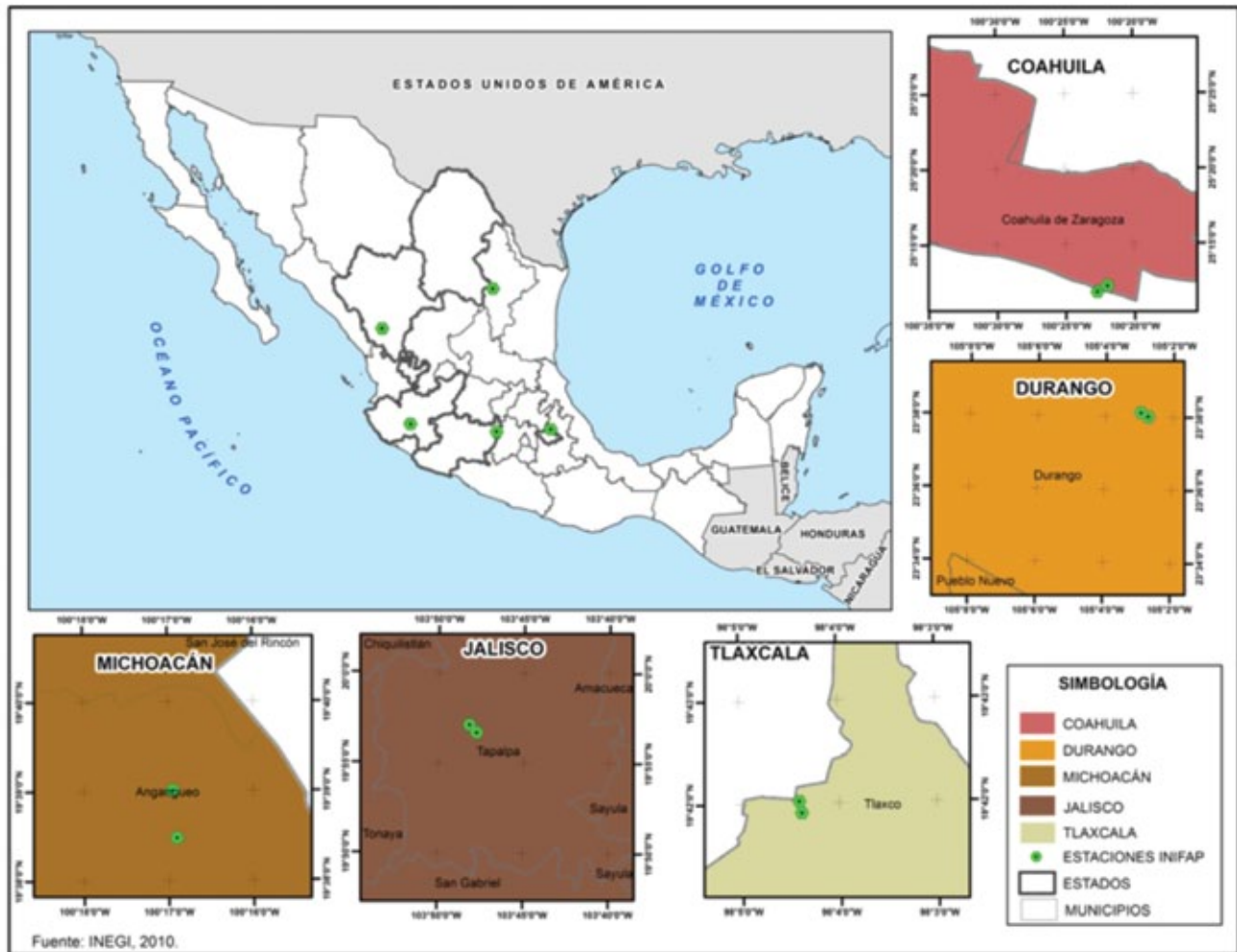


Figura 1. Localización de las estaciones meteorológicas y sitios con bosques de coníferas y áreas deforestadas evaluados en la república mexicana.

Figure 1. Location of the weather stations and the assessed sites with conifer forests and deforested areas in Mexico.

variable medida fue la temperatura (máxima, mínima y media) de mayo de 2012 a junio 2013 y se registró cada 30 minutos, en bosque y área deforestada, por especie y superficie deforestada; además de la temperatura diurna y nocturna en cada opción. Las características de los sitios se describen en el Cuadro 1.

Weather stations

A Vantage Pro2 automatic weather station by Davis Instruments Corp., was placed in each site within the conifer (*Abies* or *Pinus*) forest with a minimum coverage of 60 % and an average tree height of 25 m, selected based on the criterion that the trees should exhibit no evidence of recent disturbances, pests or diseases. Another weather station was set up in a nearby deforested area with a minimum separation of 200 m from the forests, in the states of Michoacán, Tlaxcala, Jalisco, Durango and Coahuila (Figure 1). The stations were set on the surface, and the temperature sensors were placed at a height of 1.5 m from the ground level. The (maximum, minimum and mean) temperature was the variable measured from May 2012 to June 2013; it was recorded every 30 minutes, both in the forests and in the deforested areas, by species and by deforested surface, in the daytime and at night, in each case. Table 1 describes the characteristics of the sites.



Cuadro 1. Descripción de los sitios de monitoreo.

Sitio de monitoreo	Estación	Latitud (Cónica conforme a Lambert, México)	Longitud (Cónica conforme a Lambert, México)	Altitud (msnm)	Pendiente (%)	Orientación	Especies arbóreas	Altura promedio de los árboles (m)	Especies arbustivas
Coahuila de Zaragoza	Bosque natural	1462111.54600	2662585.71000	2 969	55	N	<i>Abies vejarii</i> Martínez, <i>Pseudotsuga fahaultii</i> Flous, <i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schldl.	20 m	Manzanita, chaparro prieto
	Zona deforestada	1464653.51014	2664238.91037	2 877	30	N	-	-	Chaparro prieto, encino, tejocote, manzanita
Durango	Bosque natural	1292316.34103	2190966.27529	2 581	-	Zenital	<i>Pinus durangensis</i> Martínez <i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schldl. & Cham. <i>Pinus engelmanni</i> Carr. <i>Pinus teocote</i> , Schiede ex Schldl. & Cham. <i>Quercus</i> sp. y <i>Arbutus</i> sp.	18-20 m	Madrño
	Zona deforestada	1292525.91609	2190607.44486	2 590	-	Zenital	-	-	-
	Bosque natural	884508.03717	2311945.38192	2 185	16	SW	<i>Pinus michoacana</i> Martínez (Dominante)	22 m	Presencia de algunas leñosas
Jalisco	Zona deforestada	883711.04785	2312667.40892	2 074	3	SW	-	-	Leñosas
	Bosque natural	850164.39064	2679644.73622	3 030	37	N	<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schldl. & Cham.	25 m	-
Michoacán de Ocampo	Zona deforestada	851141.95381	2679554.81980	2 947	24	S	-	-	-
	Bosque natural	861016.57686	2910336.58799	2 793	14	NW	<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schldl. & Cham. <i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schldl. & Cham.	29 m	<i>Baccharis conferta</i> Kunth (hierba del carbonero), <i>Senecio</i> sp.
Tlaxcala de Xicohténcatl	Zona deforestada	861220.73679	2910290.43368	2 761	5	Zenital	-	-	<i>Moulenbergia macraura</i> (Kunth) Hitchc. (zacatón)

Table 1. Description of the monitored sites.

Monitored site	Station	Latitude (Lambert Conic Conformal, Mexico)	Longitude (Lambert Conic Conformal, Mexico)	Altitude (masl)	Slope (%)	Orientation	Tree species	Average tree height (m)	Shrub species
Coahuila de Zaragoza	Natural forest	1462111.54600	2662585.71000	2969	55	N	<i>Abies vejarii</i> Martínez <i>Pseudotsuga flahaulti</i> Flous, <i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schldl.	20 m	Manzanita, blackbrush acacia
	Deforested area	1464653.51014	2664238.91037	2877	30	N	-	-	Blackbrush acacia, <i>Quercus</i> sp., tejacote, manzanita
	Natural forest	1292316.34103	2190966.27529	2581	-	zenithal	<i>Pinus durangensis</i> Martínez <i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schldl & Cham. <i>Pinus engelmannii</i> Carr. <i>Pinus</i> <i>teocote</i> , Schiede ex Schldl & Cham. <i>Quercus</i> sp. y <i>Arbutus</i> sp.	18-20 m	<i>Arbutus</i> sp.
Durango	Deforested area	1292525.91609	2190607.44486	2590	-	zenithal	-	-	-
	Natural forest	884508.03717	2311945.38192	2185	16	SW	<i>Pinus michoacana</i> Martínez (Dominant)	22 m	Occurrence of certain woody shrubs
Jalisco	Deforested area	883711.04785	2312667.40892	2074	3	SW	-	-	Woody
	Natural forest	850164.39064	2679644.73622	3030	37	N	<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schldl. & Cham.	25 m	-
Michoacán de Ocampo	Deforested area	851141.95381	2679554.81980	2947	24	S	-	-	-
	Natural forest	861016.57686	2910336.58799	2793	14	NW	<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schldl & Cham. <i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schldl. & Cham.	29 m	<i>Baccharis conferta</i> Kunth, <i>Senecio</i> sp.
Tlaxcala de Xicohténcatl	Deforested area	861220.73679	2910290.43368	2761	5	zenithal	-	-	<i>Moulenbergia macrourea</i> (Kunth) Hitchc.

Análisis estadístico

El análisis de los datos de temperaturas se promedió por hora, y se procesaron solo los que coincidieron en las estaciones meteorológicas de los cinco sitios por fecha, hora y día. En función de los objetivos fue importante determinar estas diferencias durante la noche y el día. Para la realización de este estudio comparativo se emplearon análisis gráficos, correlaciones, regresiones y un análisis multivariante de la varianza (MANOVA), seguido de una prueba de medias de Tukey al 0.01.

Resultados y Discusión

Temperaturas en áreas de bosque contra superficie deforestada

Los resultados de la prueba estadística de MANOVA para probar el contraste térmico entre los sitios deforestados y forestados se presentan en el Cuadro 2. Se advierte que los cuatro criterios son estadísticamente significativos para la prueba de F; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada (H₀), lo que sugiere que al menos un vector de efectos de los promedios de los sitios sin y con arbolado produce diferencias significativas en las variables climáticas de respuestas, a partir de los análisis de variancia individuales de cada una, e indica también que son reales y no se deben al azar.

Cuadro 2. Análisis MANOVA para temperaturas.

Estadístico	Valor	F-valor	Grados de libertad del numerador	Grados de libertad del denominador	Probabilidad mayor de F
Lambda de Wilks	0.98307506	325.71	3	56 756	<.0001
Traza de Pillai	0.01692494	325.71	3	56 756	<.0001
Traza Hotelling-Lawley	0.01721633	325.71	3	56 756	<.0001
Raíz más grande de Roy	0.01721633	325.71	3	56 756	<.0001

Table 2. MANOVA analysis of temperatures.

Statistic	Value	F-value	Degrees of freedom of the numerator	Degrees of freedom of the denominator	Probability above F
Wilks' Lambda	0.98307506	325.71	3	56 756	<.0001
Pillai's trace	0.01692494	325.71	3	56 756	<.0001
Hotelling-Lawley's trace	0.01721633	325.71	3	56 756	<.0001
Largest Roy's root	0.01721633	325.71	3	56 756	<.0001

Statistical analysis

The analysis of the temperature data was averaged by hour, and only those data that agreed at the weather stations of all five sites were processed by date, hour and day. In regard to the objectives, it was important to determine these differences between night and daytime. This comparative study was carried out using graphic analyses, correlations, regressions and a multivariate analysis of variance (MANOVA), followed by a Tukey's mean test at 0.01.

Results and Discussion

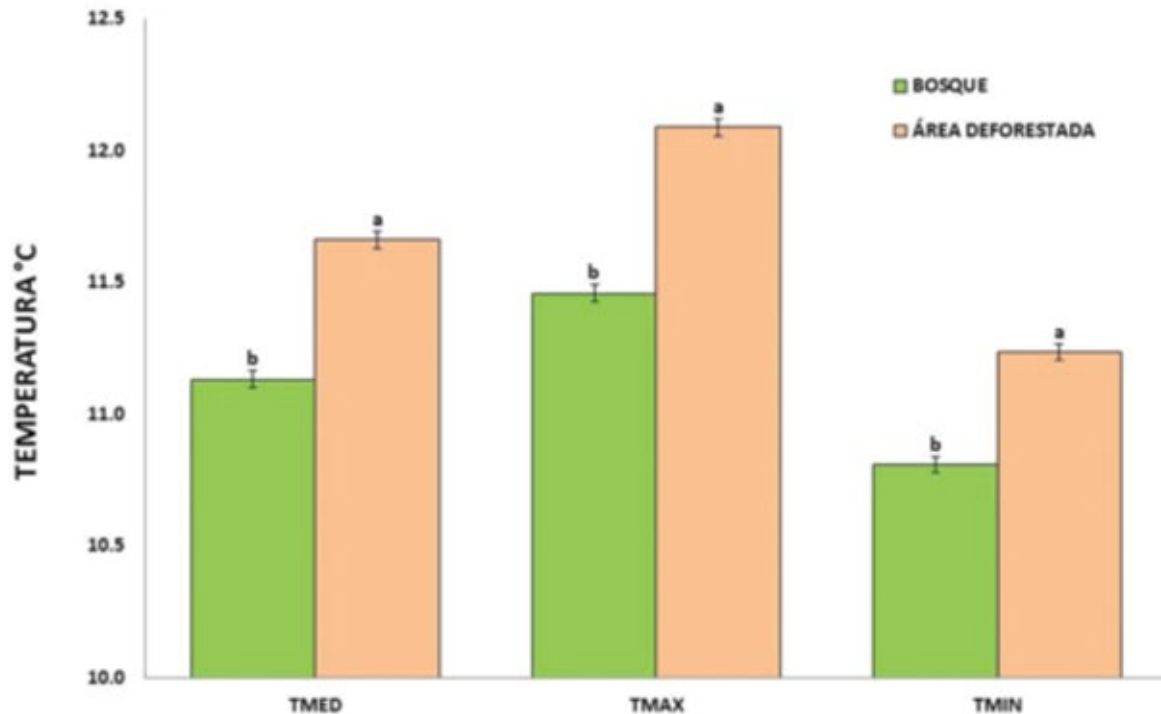
Temperatures in forest areas versus deforested surface

Table 2 shows the results of the ANOVA statistic test carried out to assess the thermal contrast between the deforested sites and the forests selected for the study. The four criteria are found to be statistically significant for the F test, and therefore, the stated hypothesis (H₀) is ruled out; this suggests that at least one effect vector of the averages in the sites with and without trees produces significant differences in the response climatic variables based on the individual variance analyses of each and also indicate that these differences are real and that they are not random.



En la Figura 2 se muestran los ascensos en la temperatura media, máxima y mínima que presentan las zonas deforestadas en comparación con la cubierta por bosque; la media aumentó 0.53 °C, máxima 0.63 °C y la mínima 0.43 °C. Existe un incremento de aproximadamente 0.53 °C en promedio de las tres temperaturas analizadas en las zonas que carecen de cobertura arbórea.

Figure 2 shows the rises in mean, maximum and minimum temperatures in deforested areas compared to those areas that are covered with forests; the mean temperature increased by 0.53 °C, the maximum temperature by 0.63 °C, and the minimum temperature by 0.43 °C. There is an average increase of approximately 0.53 °C in the three analyzed temperatures in the areas without tree cover.



a y b = $p < 0.01$. Medias con diferente letra presentan diferencias altamente significativas.

a and b = $p < 0.01$. Means with different letters exhibit highly significant differences.

Figura 2. Promedio de la temperatura media, máxima y mínima en bosques templados y en zonas deforestadas.

Figure 2. Average of the mean, maximum and minimum temperatures in temperate forests and deforested areas.

Lewis (1998) comparó las temperaturas de la superficie del suelo y la media diaria del aire, cuyo valor medio anual diario promedio de los valores máximos y mínimos durante todo el año en la estación meteorológica estándar más cercana fue de 9.72 °C; la mínima diaria promedio del aire fue de 5.23 °C. Con respecto a la media anual SAT, en promedio, las temperaturas de la superficie del suelo (GST) variaron de -0.7 a 2.4 °C en los ocho sitios que evaluó.

Lewis (1998) compared the temperatures of the soil surface and the daily mean of the air. The annual mean daily average value of the former throughout the year at the closes standard weather station was 9.72 °C; the minimum daily average temperature of the air was 5.23 °C. In relation to the mean annual SAT, the average ground surface temperatures (GST) ranged between -0.7 and 2.4 °C in the eight evaluated sites.

En el terreno cubierto de hierba, con un alto nivel freático, la temperatura promedio del suelo más baja fue de 9.02 °C y de las dos áreas arboladas, el sitio orientado al norte y otro sitio plano con un alto nivel freático, tenía la GST promedio un poco más baja. Los cuatro sitios con grados variables de sombra parcial, registraron una GST media próxima a 10 °C, intermedia entre los extremos en terrenos no forestales sin agua freática superficial y boscosa, mientras que el registro fue alto. El autor concluyó que en sitios sin árboles, con buen drenaje

On grass-covered land with a high phreatic level, the lowest average temperature of the soil was 9.02 °C, and that of two areas covered with trees, the site oriented toward the north and another, flat site with a high phreatic level had a slightly lower average GST. The four sites with variable degrees of partial shade had a mean GST of approximately 10 °C, an intermediate GST between the two extremes -the deforested areas without superficial phreatic water and the forested areas-, and a high GST on flat land. The conclusion was reached that much

se alcanzan valores mucho más altos de GST promedio, que en los terrenos forestales y aquéllos con altos niveles freáticos. Asimismo estableció que, si la deforestación causada por un incendio forestal o por el aprovechamiento de la madera produce un calentamiento en la temperatura de la superficie del suelo (GST), y si el bosque no se restablece el cambio en esta variable será permanente.

En las zonas boscosas, los doseles integrados por muchos individuos modifican las condiciones microclimáticas, con el consecuente efecto en varias especies del sotobosque, las cuales, bajo un denso estrato superior se adaptan a condiciones muy distintas a las que prevalecen en sitios abiertos. Existen diferencias de microclima (suelo, temperatura del aire, viento y radiación fotosintéticamente activa recibida (PAR)) por debajo de un dosel denso si se compara con pastizales abiertos que pueden ser sustanciales y alterar la estructura y función del ecosistema (Davies-Colley *et al.*, 2000). Los patrones de vegetación y los procesos de los ecosistemas son determinados, en gran parte, por el ambiente lumínico del sotobosque, por la altura de la planta y la cubierta arbórea, en particular (Martens *et al.*, 2000).

Un estudio reciente (Bertrand *et al.*, 2011) demostró que el calentamiento, incluso en pequeñas valores de alrededor de 1 °C a lo largo de unas pocas décadas, origina cambios en la composición de las especies del sotobosque. Destaca, además, que la temperatura del aire (T) y la humedad relativa (HR) son dos parámetros meteorológicos clave que influyen en el crecimiento de las plantas, ya que están directamente relacionadas con sus tasas metabólicas.

Temperaturas por tipo de bosque y superficies deforestadas

Los resultados de la prueba estadística de MANOVA para probar si existen diferencias significativas entre los sitios seleccionados con y sin arbolado, se presentan en el Cuadro 3; se advierte que los cuatro criterios resultaron estadísticamente significativos para la prueba F. Se rechaza, entonces, la hipótesis planteada (H₀), lo que sugiere que al menos un vector de efectos de los promedios de los sitios produce diferencias significativas en las temperaturas por tipo de bosque. Este resultado confirma las diferencias significativas obtenidas en los análisis de variancia individuales de cada variable e indica la existencia de diferencias reales, que no se deben al azar.

higher average GSTs are attained in treeless areas with good drainage than in forests and on land with a high phreatic level. The same author established that the ground surface temperature (GST) increases with deforestation caused by a forest fire or by the exploitation of timber, and that, if the forest does not grow back, the change in the temperature will be permanent.

In forested areas, canopies made up of a large number of individuals modify the microclimatic conditions that affect many species in the undergrowth, which under a dense higher stratum adapt to very different conditions than in the open air. Under a dense canopy, there are microclimatic differences (ground and air temperatures, wind, and the photosynthetically active radiation (PAR) received) that can be substantial and alter the structure and function of the ecosystem (Davies-Colley *et al.*, 2000), compared to open grasslands. The vegetation patterns and the processes of the ecosystems are determined, to a large extent, by the luminous environment of the undergrowth, by the height of the plant and by the tree cover in particular (Martens *et al.*, 2000).

A recent study published by Bertrand *et al.* (2011) proved that the increase of the temperature even by as little as 1 °C through a few decades can bring about changes in the species composition of the undergrowth. Other key weather parameters that influence the growth of the plants are the air temperature (T) and the relative moisture (RM), since they are directly associated with their metabolic rates.

Temperatures by type of forest and deforested areas

Table 3 shows the results of the MANOVA statistic test carried out to determine whether or not there are significant differences between the selected sites with and without trees, considering the information about the forest type. As may be seen, the four criteria were statistically significant for the F test. Thus, the stated hypothesis (H₀) is ruled out; this suggests that at least one effect vector of the averages of the sites produces significant differences in temperature according to the type of forest. This result confirms the occurrence of significant differences observed in the individual variance analysis for each variable and also indicates that these differences are real and that they are not random.



Cuadro 3. Análisis MANOVA por tipos de bosque.

Estadístico	Valor	F-valor	Probabilidad mayor de F	Probabilidad mayor de F	Probabilidad mayor de F
Lambda de Wilks	0.80042155	1 098.41	12	150 155	<.0001
Traza de Pillai	0.21012655	1 068.66	12	170 265	<.0001
Traza Hotelling-Lawley	0.23616388	1 116.90	12	99 313	<.0001
Raíz más grande de Roy	0.14580388	2 068.77	4	56 755	<.0001

Table 3. MANOVA analysis by type of forest.

Statistic	Value	F-value	Probability above F	Probability above F	Probability above F
Wilks' Lambda	0.80042155	1 098.41	12	150 155	<.0001
Pillai's trace	0.21012655	1 068.66	12	170 265	<.0001
Hotelling-Lawley's trace	0.23616388	1 116.90	12	99 313	<.0001
Largest Roy's root	0.14580388	2 068.77	4	56 755	<.0001

En la Figura 3 se observan las diferencias promedio de temperaturas media, máxima y mínima, en la que se muestra que son distintas entre todos los tipos de bosque. Solo el oyamental (*Abies religiosa*) y el de *Pinus patula* no presentan diferencias significativas en la media de temperatura máxima registrada, en ambos sitios. El bosque de *Pinus michoacana* registra las cifras más elevadas con respecto a los demás tipos con valores desde los 13.5 °C mínima en el bosque a 15.4 °C máxima en el área deforestada. El caso contrario corresponde a *Abies vejarii* cuyas temperaturas varían de 8.1 °C a 10.3 °C.

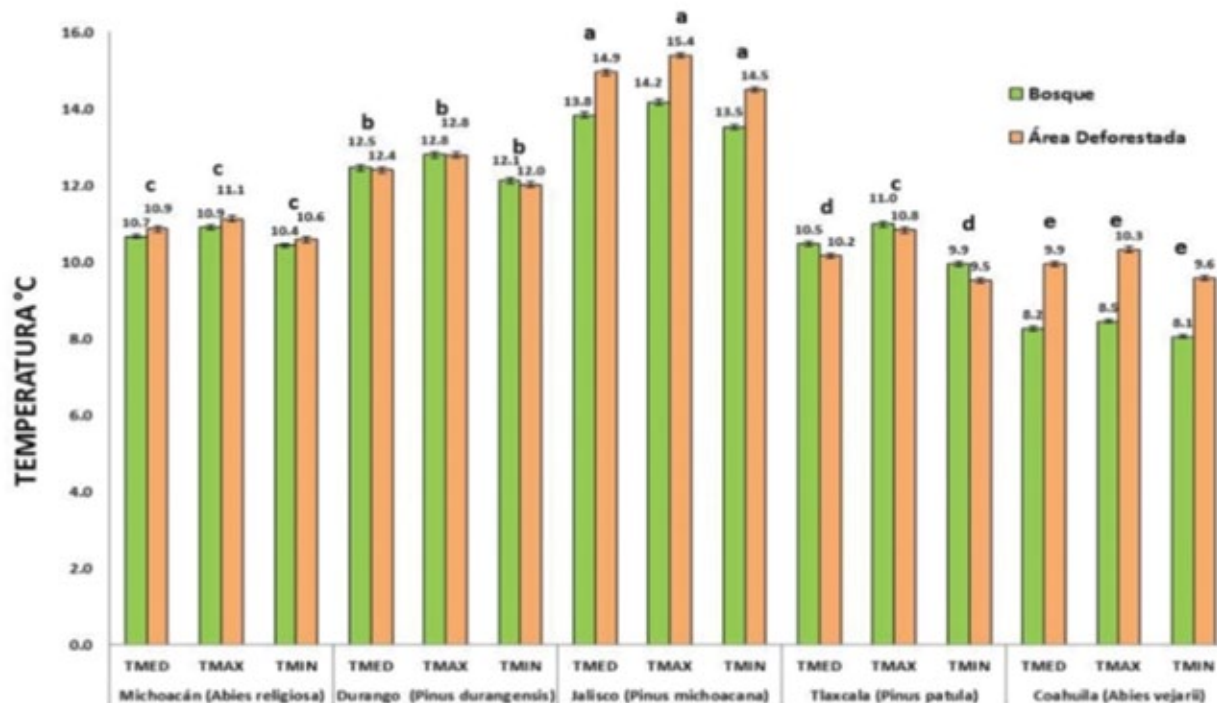
Las temperaturas (máxima, mínima y media) son mayores en las áreas deforestadas en comparación con las superficies ocupadas por bosques a excepción del de *Pinus patula*, donde el comportamiento es opuesto (Figura 3). Este contraste puede deberse a que poco tiempo después de colocadas las estaciones meteorológicas, el dueño del predio construyó un "jagüey" cerca de la estación ubicada en el área deforestada, y el espejo de agua hizo que la temperatura fuera más baja en esa zona, lo cual alteró los datos. Además, con respecto a todos los bosques de coníferas estudiados, el de pino patula contenía mayor cantidad de materia orgánica en su superficie que al descomponerse genera calor.

Lindner *et al.* (2010) consignan que los ecosistemas forestales con características diferentes muestran sensibilidades variables a los cambios del clima. Asimismo, señalan que los datos cuantitativos espacio-temporales sobre las relaciones entre el microclima bajo dosel y el clima de una zona abierta local son escasos, basados en plazos largos y en una gama de los diversos ecosistemas forestales; sin embargo, revisten gran importancia para mejorar los modelos de crecimiento,

Figure 3 shows the average differences between the mean, maximum and minimum temperatures analyzed in five types of forests and deforested areas adjacent to each of them, proving that they are different in each forest type. Only the Sacred fir (*Abies religiosa*) and *Pinus patula* forests have no significant differences in their mean Maximum Temperatures. The *Pinus michoacana* forest registered the highest figures in relation to the other forest types, with values ranging from a minimum temperature of 13.5 °C in the forest and a maximum temperature of 15.4 °C in the deforested area. The opposite is true of *Abies vejarii*, where the temperatures ranged between 8.1 °C and 10.3 °C.

As may be observed in Figure 3, the (maximum, minimum and mean) temperatures are higher in deforested areas than on those surfaces that are covered with forests, with the exception of *Pinus patula* forests, which exhibit the opposite behavior. This contrast may be due to the fact that soon after the weather stations were set in place, the owner of the plot built a water reservoir close to the station in the deforested area, and the water mirror caused the temperature to be lower in this area, altering the data. Furthermore, *Pinus patula* contained a larger amount of organic matter in its surface than all the other conifer forests studied, and the decomposition of this organic matter generates heat.

Lindner *et al.* (2010) state that forest ecosystems with different characteristics can exhibit varying sensitivities to weather changes. Besides, quantitative space-time data on the long-term relationships between the microclimate under a canopy and the climate of an open local area based on a broad range of diverse forest ecosystems are scarce; nevertheless, they



a, b, c, d, y e = p<0.001. Medias con diferente letra presentan diferencias altamente significativas.

a, b, c, d and e = p<0.001. Means with different letters exhibit highly significant differences.

Figura 3. Promedio de la temperatura media, máxima y mínima por tipo de bosques y zonas deforestadas.

Figure 3. Average maximum and minimum temperatures by forest type and deforested areas.

para optimizar la gestión de los bosques y para asegurar el funcionamiento futuro económico y ecológico de estas comunidades.

are crucial to improve growth models and to optimize forest management, as well as to ensure the future economic and ecological operation of these communities.

Lewis (1998) estableció que hay muchos factores que contribuyen a los contrastes geográficos en la amplitud de la temperatura de la superficie del suelo por los cambios que resultan de la deforestación, tales como la variación en la cantidad de precipitación y de las aguas subterráneas; la cantidad de calor radiactivo; el tamaño del árbol y el área de follaje. No obstante, como las temperaturas anuales promedian 0 °C, aproximadamente, el calor latente de las aguas subterráneas se convierte en el más importante. Por lo general, la temperatura de la superficie del suelo sigue a la variación sinusoidal del aire en el lapso de un año, excepto si está por debajo de los 0 °C. Cuando dicha temperatura es inferior a cero, la que está a muy pocos centímetros por debajo de la superficie se mantiene en el punto de congelación (Lewis y Wang, 1992). En consecuencia, la GST promedio es mucho más caliente que la temperatura media del aire en esos lugares. Si el promedio GST es cercano a cero en un sitio, un aumento de la temperatura del aire causará un incremento menor en ese factor. Lo anterior puede explicar el cambio menos notorio en GST producido por la deforestación en el lago Clear (1.2 °K), en comparación con 1.8 °K en el norte de la isla de Vancouver.

Lewis (1998) established that there are many factors that may contribute to the geographical contrasts in the amplitude of the ground surface temperature as a consequence of the changes resulting from deforestation, such as variations in the volumes of precipitation and of the ground waters, the amount of radioactive heat, tree size and foliage area. However, since the average annual temperatures are approximately 0 °C, the latent heat of the ground waters becomes the most important factor. In general, the ground surface temperature follows the sinusoidal variation of the air temperature within a year, unless it is below 0 °C. When the air temperature is below zero, the temperature a few centimeters below the ground surface remains at a freezing point (Lewis and Wang, 1992). Consequently, the average GST is much warmer than the mean air temperature in those places. If the average GST is close to zero in one site, the increase in air temperature will cause a minor increase in the GST. This may explain the less notorious change in the GST produced by deforestation in lake Clear (1.2 °K), compared to 1.8 °K in the north of the Vancouver island.

The worldwide increase in temperature and frequency of the extreme meteorological phenomena will affect the microclimate

El aumento mundial de la temperatura y la frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos afectarán el microclima presente abajo del dosel, e influirá para dar forma, en un futuro, a estructuras de los ecosistemas forestales, en particular cuando la regeneración natural es una práctica común (Bertrand *et al.*, 2011). Los ecosistemas forestales con características diferentes tienen sensibilidades distintas a estos cambios (Lindner *et al.*, 2010).

Temperatura diurna y nocturna de bosques contra superficies deforestadas

Los resultados de la prueba estadística de MANOVA a partir de la de temperatura diurna y la nocturna se resumen en el Cuadro 3; como en el caso de la información del tipo de bosque, se observa que los cuatro criterios resultaron estadísticamente significativos para la prueba F. De igual manera, se rechaza la hipótesis planteada (H_0) y se confirma la obtención de las diferencias significativas de los análisis de variancia individuales de cada variable y la existencia de discrepancias reales y no al azar.

Cuadro 3. Análisis MANOVA en temperaturas diurnas y nocturnas.

Estadístico	Valor	F-valor	Probabilidad mayor de F	Probabilidad mayor de F	Probabilidad mayor de F
Lambda de Wilks	0.83784248	3 661.55	3	56 756	<.0001
Traza de Pillai	0.16215752	3 661.55	3	56 756	<.0001
Traza Hotelling-Lawley	0.19354177	3 661.55	3	56 756	<.0001
Raíz más grande de Roy	0.19354177	3 661.55	3	56 756	<.0001

Table 3. MANOVA analysis in daytime and night temperatures.

Statistic	Value	F-value	Probability above F	Probability above F	Probability above F
Wilks' Lambda	0.83784248	3 661.55	3	56 756	<.0001
Pillai's trace	0.16215752	3 661.55	3	56 756	<.0001
Hotelling-Lawley's trace	0.19354177	3 661.55	3	56 756	<.0001
Largest Roy's root	0.19354177	3 661.55	3	56 756	<.0001

En la Figura 4 se ilustran las temperaturas media, máxima y mínima durante el día y la noche en el bosque y la zona deforestada. En la noche descienden 3 °C, en promedio. Por otro lado, es evidente que en el área deforestada la media es significativamente mayor que en el bosque en 1.4 %, más o menos, pues existe una variación en temperatura media de 1.2 %, 1.1 % en cuanto a la máxima y de 1.9 % en la mínima entre ambas condiciones de cubierta arbolada.

La influencia de las copas de los árboles en el microclima del sotobosque está directa e indirectamente relacionada con la presencia del dosel y los tallos. Las ramas, las hojas y las

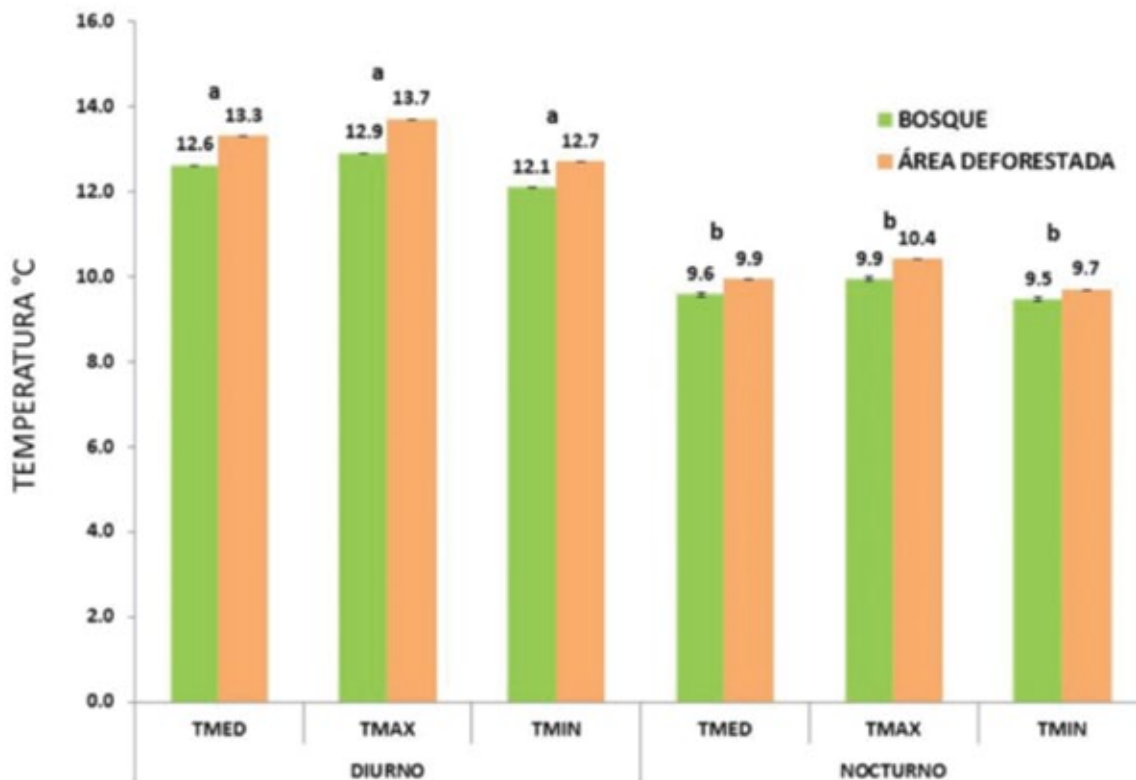
under the canopy with the potential to shape the structure of the forest ecosystem in the future, particularly when natural regeneration is a common practice (Bertrand *et al.*, 2001). The forest ecosystems with different characteristics can exhibit different sensitivities to these changes (Lindner *et al.* 2010).

Day and night temperature of forests versus deforested surfaces

Table 3 gathers the results of the MANOVA statistical test based on the day and night temperatures; as in the case of the information on the forest type, the four criteria turned out to be statistically significant for the F test. Equally, the stated H_0 hypothesis is ruled out, and the result confirms the obtainment of the significant differences of the individual variance analyses for each variable and confirms the existence of real discrepancies that are not random.



Figure 4 illustrates the maximum, minimum and mean temperatures during the day and at night in both the forested and the deforested areas; during the night, the temperature descends by an average of 3 °C. On the other hand, it is evident that the mean is significantly higher in the deforested area than in the forest, by approximately 1.4 %, as there is a variation of 1.2 % in relation the mean temperature, of 1.1 % in relation to the maximum temperature, and of 1.9 % in relation to the minimum temperature between the forested and the deforested areas.



a y b = p<0.01. Medias con diferente letra presentan diferencias altamente significativas.

a and b = p<0.01. Means with different letters exhibit highly significant differences.

Figura 4. Promedio de la temperatura media, máxima y mínima que se registraron durante el día y la noche en áreas boscosas y deforestadas.

Figure 4. Average maximum and minimum temperatures registered during the day and at night in forested and deforested areas.

acículas reflejan y absorben parte de la energía solar de la radiación en el día, por lo que llega menos energía al suelo (Geiger *et al.*, 2009).

Las áreas forestales, en general, se enfrían menos por la noche. Respecto al calentamiento del aire en el transcurso del día, varios autores demostraron que está suavizado por efecto de las amplitudes diarias de temperatura; y es más pronunciado en días soleados y en rodales densos (Holst *et al.*, 2004; Renaud y Rebetez, 2009; Ma *et al.*, 2010; Renaud *et al.*, 2011).

Geiger *et al.* (2009) registran que las fluctuaciones diurnas moderadas de temperatura y humedad relativa en los bosques de pinos ocurren en el día, ya que estas comunidades disminuyen su temperatura de forma menos pronunciada que los otros tipos de bosque, durante la noche. La humedad reducida que se verifica en los pinares en dicho lapso, probablemente, sea una consecuencia directa del aumento impulsado por la temperatura en la presión de vapor saturado. Mitscherlich (1981) y Geiger *et al.* (2009) definen que la diferencia de temperatura en el área abierta es mayor al medio día y temprano en la tarde, cuando se registran los valores mínimos diarios.

The influence of tree crowns on the microclimate of the undergrowth is directly and indirectly related to the presence of a canopy and to the stems. The branches, leaves and needles reflect and absorb a large amount of solar energy from the radiation during the day, which allows less energy to reach the ground under the canopy (Geiger *et al.*, 2009).

The temperatures of forested areas generally decrease less during the night. The warming of the air during the daytime has been proven by several authors to be moderated by the effect of the tree crowns on daily amplitudes of temperature and is more pronounced on sunny days and in dense stands (Holst *et al.*, 2004; Renaud y Rebetez, 2009; Ma *et al.*, 2010; Renaud *et al.*, 2011).

Geiger *et al.* (2009) found that moderate temperature and relative moisture fluctuations in pine forests occur during the daytime, as these communities reduce their temperature in a less pronounced degree at night than the other forest types. The reduction of moisture found to occur during the nighttime in pine forests may be a direct consequence of the increase in the pressure of saturated vapor caused by the temperature. Mitscherlich

Chen *et al.* (1993), AbdLatif y Blackburn (2010) y Renaud *et al.* (2011) señalan que, por lo general, los valores de humedad relativa son más altos, sin embargo las amplitudes diarias de temperatura por debajo del dosel son regularmente menores que en las áreas abiertas o deforestadas.

Temperaturas diurna y nocturna por tipo de bosque y superficies deforestadas

Los resultados de la prueba estadística de MANOVA para probar si existen diferencias significativas entre los sitios seleccionados, a partir de las temperaturas diurna y nocturna y el tipo de bosque, se presentan en el Cuadro 4; y se observa que los cuatro criterios resultaron estadísticamente positivos para la prueba F. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada (H₀); es decir que al menos un vector de efectos de los promedios de los sitios deforestado y forestado produce diferencias significativas en dichas temperaturas por tipo de bosque. Con ello se confirma que en los análisis de variancia individuales de cada variable parte de que existen contrastes reales que no se deben al azar.

Cuadro 4. Análisis MANOVA en temperaturas diurnas y nocturnas por tipo de bosque.

Estadístico	Valor	F-valor	Probabilidad mayor de F	Probabilidad mayor de F	Probabilidad mayor de F
Lambda de Wilks	0.81765860	494.54	12	75 066	<.0001
Traza de Pillai	0.18959770	478.55	12	85 122	<.0001
Traza Hotelling-Lawley	0.2141298	506.26	12	49 647	<.0001
Raíz más grande de Roy	0.15794136	1 120.36	4	28 374	<.0001

Table 4. MANOVA analysis of day and night temperatures by forest type.

Statistic	Value	F-value	Probability above F	Probability above F	Probability above F
Wilks' Lambda	0.81765860	494.54	12	75 066	<.0001
Pillai's trace	0.18959770	478.55	12	85 122	<.0001
Hotelling-Lawley's trace	0.2141298	506.26	12	49 647	<.0001
Largest Roy's root	0.15794136	1 120.36	4	28 374	<.0001

En la Figura 5 se representan los valores de temperatura media, máxima y mínima en cinco tipos de bosque; es evidente que durante el día los valores se elevan más que en la noche, con un promedio de 3.46 °C. En promedio la variación de temperaturas diurnas y nocturnas en los distintos tipos de bosque es de 3.6 °C; de 3.56 °C en la máxima y de 3.23 °C en la mínima. Los sitios con mayor variabilidad de temperatura entre el día y la noche son el de *Pinus durangensis* con 5.28 °C, 5.6 °C y 4.7 °C de temperaturas media, máxima y mínima, respectivamente; el de *Abies vejarii* con 4.5 °C, 4.5 °C y 4.7 °C, mientras que el de *Abies religiosa* tiene menor variabilidad en las temperaturas diurna y nocturna, con 1.5 °C en temperatura media, 1.4 °C en temperatura máxima y 1.2 °C para la mínima.

(1981) and Geiger *et al.* (2009) define the difference in temperature in the open area as larger at noon and in the early afternoon, when the minimum daily values are registered.

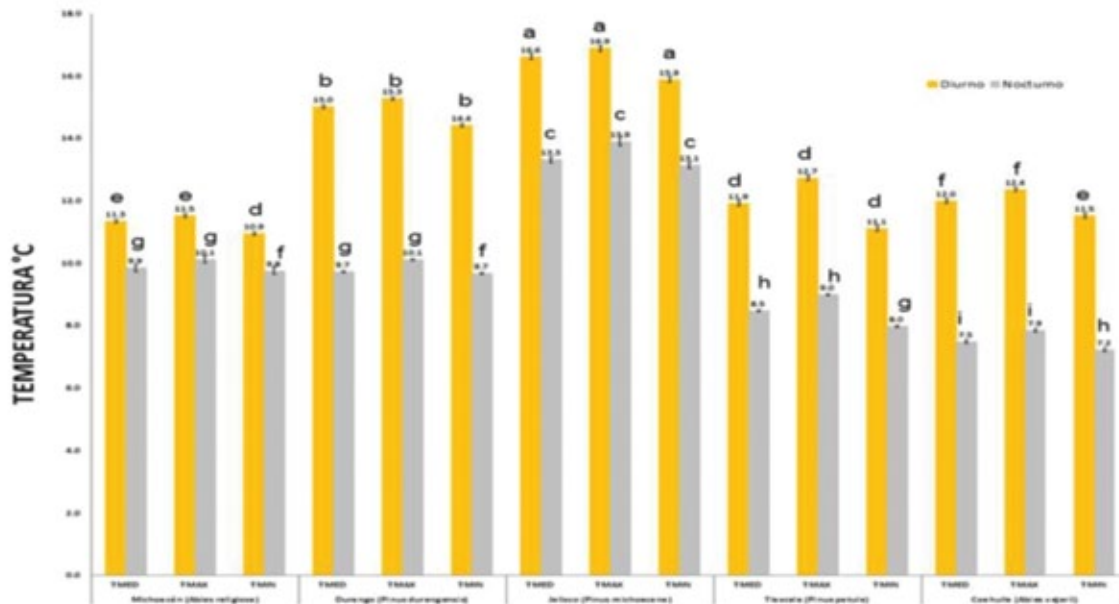
Chen *et al.* (1993), AbdLatif and Blackburn (2010) and Renaud *et al.* (2011) point out that, although the values of relative moisture are generally higher, the daily amplitudes of temperature under the canopy are regularly lower than in the open or deforested areas.

Day and night temperatures by forest type and deforested surfaces

Table 4 shows the results of the MANOVA statistical test carried out to determine whether or not there are significant differences between the selected sites, based on the day and night temperatures and the forest type, and the 4 criteria are seen to be statistically positive for the F test. That the stated H₀ hypothesis is ruled out, which means that at least one effect vector of the averages of the forested and deforested

sites produces significant differences in the said temperatures according to the forest type. This confirms what is mentioned above in the sense that the individual variance analysis for each variable shows real contrasts and that these differences are not random.

Figure 5 depicts the values of the mean, maximum and minimum temperature in five forest types; it is evident that during the day the values increase more than at night, the overall average being 3.46 °C. The average variation of day and night temperatures in the different forest types is of 3.6 °C, in relation to the mean temperature; of 3.56 °C in relation to the maximum temperature, and of 3.23 °C in relation to the minimum



a, b, c, d, e, f, g, h, i = p<0.001. Medias con diferente letra presentan diferencias altamente significativas.

a, b, c, d, e, f, g, h, i = p<0.001. Means with different letters exhibit highly significant differences.

Figura 5. Promedio de las temperaturas media, máxima y mínima que se registraron durante el día y la noche por tipos de bosques y superficies deforestadas.

Figure 5. Average maximum and minimum temperatures registered during the day and at night in forested and deforested areas.

Von Arx *et al.* (2013) utilizaron los datos meteorológicos a largo plazo de 14 ecosistemas forestales distintos, que fueron clasificados en tres tipos de bosque y dos pisos altitudinales; identificaron diferencias fundamentales en la temperatura del aire bajo el dosel y la zona abierta, además de patrones en la humedad relativa con respecto a las estaciones. Reconocieron que existen más fluctuaciones diurnas de temperatura durante el día y que son menores en la noche, asimismo las diferencias, generalmente, son más pequeñas en la temperatura media nocturna y en la temperatura mínima bajo el dosel en la zona abierta; también confirmaron el papel dominante de la radiación solar y el sombreado; por lo tanto, sus resultados son congruentes con los del presente estudio, con los de Chen y Franklin (1997) y de Renaud *et al.* (2011).

Conclusiones

Las temperaturas máxima, mínima y media fueron mayores en el área deforestada en comparación con la forestada en un intervalo de 0.43 °C a 0.63 °C.

Los tipos de bosque *Abies* y *Pinus* influyen en las diferencias de temperaturas, las más altas de las cuales se verifican en el de *Pinus michoacana* y la menor en el de *Abies vejarii*.

temperature. The forests that exhibit the highest variability of temperature between day and night are those of *Pinus durangensis*, with 5.28 °C, 5.6 °C and 4.7 °C mean, minimum and maximum temperatures, respectively, and those of *Abies vejarii*, with 4.5 °C, 4.5 °C and 4.7 °C, while those of *Abies religiosa* have less variability in day and night temperatures: 1.5 °C for the mean temperature, 1.4 °C for the maximum temperature, and 1.2 °C for the minimum temperature.

In a study in which Von Arx *et al.* (2013) used the long-term meteorological data of 14 different forest ecosystems, classified into three different types of forests and two altitude tiers, they identified basic differences in the temperature of the air under the canopy and in the open area, as well as patterns in the relative moisture in relation to the seasons. Furthermore, they recognized that there are more temperature fluctuations during the daytime and that these are smaller at night, and that the differences are generally smaller in the mean night temperature and in the minimum temperature under the canopy and in the open area. Also, they confirmed the dominant role of the solar radiation and the shading; therefore, their results agree with the current ones and with those of Chen and Franklin (1997) and of Renaud *et al.* (2011).



La temperatura diurna y nocturna desciende 3 °C en promedio por la noche en comparación con la del día y es superior en la superficie deforestada del 1.1 % a 1.9 %.

Las temperaturas nocturna y diurna por tipo de bosque son más altas en la noche, 3.4 °C en promedio y en el bosque de *Pinus durangensis* se presenta la variación más grande entre el día y la noche, con un intervalo de 4.7 °C a 5.6 °C; al de *Abies religiosa* le corresponde la menor variación con 1.2 °C a 1.5 °C.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Antonio González Hernández: análisis de la información climática, elaboración del manuscrito y aplicación de correcciones arbitrales y editoriales; Ramiro Pérez Miranda: responsable del proyecto original, elaboración y revisión del manuscrito; Francisco Moreno Sánchez: acopio de información de las estaciones meteorológicas en el estado de Michoacán y su seguimiento; Gabriela Ramírez Ojeda: acopio de información de las estaciones meteorológicas en el estado de Jalisco y su seguimiento; Sergio Rosales Mata: acopio de información de las estaciones meteorológicas en el estado de Durango y su seguimiento; Antonio Cano Pineda: acopio de información de las estaciones meteorológicas en el estado de Coahuila y su seguimiento; Vidal Guerra de la Cruz: acopio de información de las estaciones meteorológicas en el estado de Tlaxcala y su seguimiento, y revisión del manuscrito; María del Carmen Torres Esquivel: recopilación y ordenamiento de información de campo de todo el proyecto; seguimiento al análisis de datos y a la elaboración del manuscrito.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por haber otorgado el financiamiento por medio de fondos fiscales al proyecto No. 1434132002 titulado Efectos de la deforestación sobre el cambio climático local en bosques de coníferas, del que se derivó el presente trabajo.

Referencias

- AbdLatif, Z. and G. A. Blackburn. 2010. The effects of gap size on some microclimate variables during late summer and autumn in a temperate broadleaved deciduous forest. *International Journal of Biometeorology* 54 (2): 119-129.
- Bertrand, R., J. Lenoir, C. Piedallu, G. Riofrío D., P. de Ruffray, C. Vidal, J. C. Pierrat and J. C. Gegout. 2011. Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests. *Nature* 479 (7374): 517-520.
- Constante G., V., J. Villanueva D., J. Cerano P., E. H. Cornejo O. y S. Valencia M. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el Sureste de Coahuila. *Revista Ciencia Forestal en México* 34(106): 1-39.
- Chen, J. Q., J. F. Franklin and T. A. Spies. 1993. Contrasting microclimates among clear-cut, edge, and interior of old-growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology Journal* 63(3-4): 219-237.
- Chen, J. Q. and J. F. Franklin. 1997. Growing season microclimate variability within an old-growth Douglas-fir forest. *Climate Research* 8 (1): 21-34.

Conclusions

The maximum, minimum and mean temperatures were higher in the deforested area, compared to the forested area, within a range of 0.43 °C to 0.63 °C.

The *Abies* and *Pinus* forest types influence the differences between the temperatures, the highest of which occur in the *Pinus michoacana* forests, and the lowest in the *Abies vejarii* forests.

The day and night temperatures decrease by 3 °C in average during the night, compared to the day, and is higher by 1.1 % to 1.9 % in the deforested areas.

In regard to the day and night temperatures by forest type, the temperatures are higher by an average of 3.4 °C during the night; *Pinus durangensis* forests are the ones with the highest variation between the day and night temperatures, with an interval of 4.7 °C to 5.6 °C, and the *Abies religiosa* forests are the ones with the least variation, between 1.2 °C and 1.5 °C.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contributions by author

Antonio González Hernández: analysis of the climate information, writing of the manuscript and application of arbitral and editorial corrections; Ramiro Pérez Miranda: responsible for the original project, writing and revision of the manuscript; Francisco Moreno Sánchez: gathering of information from the weather stations in the state of Michoacán and follow-up on the same; Gabriela Ramírez Ojeda: gathering of information from the weather stations in the state of Jalisco and follow-up on the same; Sergio Rosales Mata: gathering of information from the weather stations in the state of Durango and follow-up on the same; Antonio Cano Pineda: gathering of information from the weather stations in the state of Coahuila and follow-up on the same; Vidal Guerra de la Cruz: gathering of information from the weather stations in the state of Tlaxcala and follow-up on the same, and revision of the manuscript; María del Carmen Torres Esquivel: gathering and organization of the field information of the entire project; supervision of the data analysis and of the writing of the manuscript.

Acknowledgements

The authors wish to express our gratitude to the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* for having funded this study with fiscal resources for the Project No. 1434132002, titled *Efectos de la deforestación sobre el cambio climático local en bosques de coníferas* from which this study stemmed.

End of the English version



- Davies-Colley, R. J., G. W. Payne and M. Van Elsijk. 2000. Microclimate gradients across a forest edge. *New Zealand Journal of Ecology* 24(2): 111-121.
- Gay, C., V. Magaña, C. Conde y L. Villers. 2006. Análisis de escenarios de cambio climático y vulnerabilidad de sectores clave en México y propuestas de adaptación. Primer Informe e Informe Síntesis. INE SEMARNAT como parte de la Tercera Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México, D. F., México. 50 p.
- Geiger, R. 1965. *The climate near the ground*. Harvard University Press. Cambridge, MA, USA. 611 p.
- Geiger, R., R. H. Aron and P. Todhunter. 2009. *The climate near the ground*. Rowman & Littlefield Publishers Inc. Lanham, MD, USA. 642 p.
- Gómez M., L. and L. Arriaga. 2007. Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. *Conservation Biology* 21(6): 1545-1555.
- Greenpeace. 2010. México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación. Greenpeace México. México, D. F., México. 72 p.
- Grimmond, C. S. B., S. M. Robeson and J. T. Schoof. 2000. Spatial variability of micro-climatic conditions within a mid-latitude deciduous forest. *Climate Research* 15 (2): 137-149.
- Holst, T., H. Mayer and D. Schindler. 2004. Microclimate within beech stands—part II: thermal conditions. *European Journal of Forest Research* 123 (1): 13-28.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Climate Change 2007: The physical science basis*. Contribution of the Working Group as part of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK and Cambridge University Press. New York, NY, USA. 996 p.
- Lambin, E., H. Geist and E. Lepers. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources* 28: 2005-241.
- Lewis, T. J. and K. Wang. 1992. Influence of terrain on bedrock temperatures. *Global and Planetary Change* 6 (2-4): 87-100.
- Lewis, T. J. 1998. The effect of deforestation on ground surface temperatures. *Global and Planetary Change* 18: 1-13.
- Lindner, M., M. Maroschek, S. Netherer, A. Kremer, A. Barbati, J. García G., R. Seidl, S. Delzond, P. Corona, M. Kolström, M. J. Lexer and M. Marchetti. 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259 (4):698-709.
- Ma, S. Y., A. Concilio, B. Oakley, M. North and J. Q. Chen. 2010. Spatial variability in microclimate in a mixed-conifer forest before and after thinning and burning treatments. *Forest Ecology and Management* 259 (5):904-915.
- Martens, S. N., D. D. Breshears and C. W. Meyer. 2000. Spatial distributions of understory light along the grassland/forest continuum: effects of cover, height, and spatial pattern of tree canopies. *Ecological Modeling* 126: 79-93.
- Mas, J. F., A. Velásquez y S. Couturier. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura por uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública* 1(1):23-39.
- McCaughey, J. H., B. D. Amiro, A. W. Robertson and D. L. Spittlehouse. 1997. *Forest environments*. In: Bailey, W. G., T. R. Oke and W. R. Rouse (eds). *The surface climates of Canada*. McGill Queen's University Press. Montreal, Canada. pp. 247-276.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2003. *Ecosystem and human well-being: A framework for assessment*. Island Press Co. Washington, DC, USA. 212 p.
- Mitscherlich, G. 1981. *Waldklima und Wasserhaushalt (Forest climate and water relations)*. *Wald, Wachstum und Umwelt*, vol. 2. Sauerländer's Verlag. Frankfurt / Main, Deutschland. 402 p.
- Oke, T. R. 1987. *Boundary layer climates*. Methuen Publishing, Ltd. London, UK. 435 p.
- Rehfeldt, G. E., N. L. Crookston, C. Sáenz R. and E. Campbell. 2012. North American vegetation analysis for land use planning in a changing climate: A statistical solution to large classification problems. *Ecological Applications* 22(1): 119-141.
- Renaud, V. and M. Rebetez. 2009. Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland during the exceptionally hot summer of 2003. *Agricultural and Forest Meteorology Journal* 149 (5): 873-880.
- Renaud, V., J. L. Innes, M. Dobbertin and M. Rebetez. 2011. Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland for different types of forests over 10 years (1998-2007). *Theoretical and Applied Climatology* 105: 119-127.
- Rosete F., A., J. L. Pérez and G. Bocco. 2009. Contribución al análisis del cambio de uso de suelo y vegetación (1978-2000) en la Península de Baja California, México. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública* 1(1):70-82.
- Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. 1ra. edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Vegetacion/Mx_Cont.pdf (2 de mayo de 2014)).
- Sáenz R., C., G. E. Rehfeldt, N. L. Crookston, P. Duval, R. St. Amant, J. Beaulieu and B. A. Richardson. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climatic Change* 102: 595-623.
- Sáenz R., C., G. E. Rehfeldt, P. Duval and R. A. Lindig C. 2012. *Abies religiosa* habitat prediction in climatic change scenarios and implications for monarch butterfly conservation in Mexico. *Forest Ecology and Management* 275: 98-106.
- Sala, O., F. Chapin, J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L. Huenneke, R. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D. Lodge, H. Mooney, M. Oesterheld, N. Poff, M. Sykes, B. Walker, M. Walker and D. Wall. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287: 1770-1774.
- Sheffield, J., E. F. Wood and M. L. Roderick. 2012. Little change in global drought over the past 60 years. *Nature* 491 (7424): 435-438.
- Stahle, D. W., J. Villanueva D., D. J. Burnette, J. Cerano P., R. R. Jr. Heim, F. K. Fye, R. Acuna S., M. D. Therrell, M. K. Cleaveland and D. K. Stahle. 2011. Major Mesoamerican droughts of the past millennium. *Geophysical Research Letter* 38(5); DOI: 10.1029/2010GL046472.
- Torres R., J. M. 2014. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020. Informe Nacional México. SEMARNAT-FAO. Roma, Italia. pp. 3-4.
- Von Arx, G., M. Dobbertin and M. Rebetez. 2013. Detecting and correcting sensor drifts in long-term weather data. *Environmental Monitoring and Assessment*: 1-7. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-012-2831-6> (9 de marzo de 2014).
- Williams, A. P., C. D. Allen, A. K. Macalady, D. Griffin, C. A. Woodhouse, D. M. Meko, T. W. Swetnam, S. A. Rauscher, R. Seager, H. D. Grissino-Mayer, J. S. Dean, E. R. Cook, C. Gangodagamage, M. Cai and N. G. McDowell. 2012. Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change*. DOI: 10.1038/NCLIMATE1693.

