

Manejo adaptativo en bosques de alta montaña, México

Angel Rolando Endara Agramont^{1*}, Noé Antonio Aguirre González², Losé Luis López García³ y Sergio Franco Maass⁴

^{1*} Dr. en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, México. E-mail: arendaraa@uaemex.mx. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Tel/fax: 0052-722-2965552. Bugambillas 1308, Colonia las Flores, Toluca, Estado de México. CP: 50019.

² Maestro en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, México. E-mail: geog.naguirre@gmail.com. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales.

³ Licenciado en Geografía, Estudiante de maestría de la Universidad Autónoma del Estado de México, México. E-mail: geojoshe@hotmail.com. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales.

⁴ Dr. en Geografía, México. E-mail: sfrancom@uaemex.mx. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales.

Resumen

Se describe el estado actual de los bosques de alta montaña (mayor a 3500 msnm) del Estado de México, con el objetivo de evidenciar los efectos del cambio climático sobre el recurso forestal, considerando la estructura, regeneración y sanidad como variables de respuesta adaptativas ante los cambios de temperatura y precipitación de los últimos años. Para esto se realizó un análisis temporal comparativo para dos periodos 2000-2010 con imágenes de satélite LANDSAT y SPOT 5, respectivamente, buscando evidencias de cambio de uso de suelo y cambio de ocupación en estos bosques. El estudio permitió evidenciar cambios de ocupación importantes en el bosque de pino (*Pinus hartwegii*), donde la fragmentación continua parece ser una constante, producto de la extracción de madera con fines comerciales; lo que ha favorecido el incremento del ataque de plagas (*Dendroctonus adjunctus*) y plantas parásitas (*Arceuthobium globosum* y *A. vaginatum*). Finalmente, se evidenció, en campo, el establecimiento de nuevas manchas de regeneración por encima de los rangos de distribución altitudinal de *P. hartwegii*, encontrando renuevos de 10-15 años de edad a los 4400 msnm, altitud jamás reportada para esta especie de pino. Estos datos concuerdan con el incremento de la temperatura en las últimas décadas, por tanto, la investigación sugiere que, el cambio climático global está incrementando la distribución altitudinal de *P. hartwegii* y, considerando que es una especie adaptada a condiciones de frío, ésta asciende buscando esas condiciones, como una respuesta adaptativa a los cambios globales. Por lo anterior, es urgente iniciar con el manejo adaptativo de estas poblaciones, empezando por acciones silviculturales que permitan inducir la regeneración natural año tras año, para que, a corto plazo, estos nuevos individuos tengan la capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones climáticas.

Introducción

Los bosques de alta montaña en México se distribuyen a lo largo del sistema volcánico transversal, donde se encuentran los edificios volcánicos de mayor elevación del país, entre ellos se pueden mencionar: el Pico de Orizaba (5 610 msnm), el Popocatepetl (5 465 msnm), la Iztaccíhuatl (5 230 msnm), el **Nevado de Toluca** (4 690 msnm), la Sierra Negra (4 585 msnm), La Malinche (4 430 msnm), el Cofre de Perote (4 220 msnm), el **Monte Tláloc** (4 125 msnm), el Telapón (4 065 msnm), el Ajusco (3 930 msnm), y el Cerro Papayo con 3 640 msnm (Montero, 2004). Los bosques que circundan estos volcanes presentan poblaciones de *Pinus hartwegii* (el pino de las alturas), especie adaptada a condiciones de frío, además de ser la única en México que se desarrolla hasta los 4000 msnm., en un escenario de calentamiento global ésta es una especie altamente vulnerable, por las condiciones en las que se desarrolla (Arriaga y Gómez, 2004).

El Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT) es una importante área natural protegida del Estado de México, mismo que ha sufrido una tasa de deforestación promedio de 156 ha por año entre el periodo de 1972 y 2000. Este proceso ha sido acompañado por la disminución en la densidad del arbolado como resultado de procesos de extracción selectiva de madera con fines comerciales. Esto repercute directamente en la población densa del bosque de pino (*Pinus hartwegii*), que se vio reducida en más del 40% durante el periodo mencionado (Franco *et al.*, 2006).

El monte Tláloc (MT) es parte del Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl-Zoquiapan y Anexas, donde también se manifiesta una fragmentación continua, atribuidos a la reducción en la densidad del arbolado, por efecto de la extracción selectiva del recurso forestal. Sin embargo, en ambos casos, la frecuencia de incendios inducidos es el factor que más efecto tiene sobre la dinámica de la regeneración.

La respuesta de los bosques a la extracción se manifiesta a través de la dinámica de sus poblaciones, misma que implica el comportamiento de la estructura (distribución diamétrica, estrato arbóreo), regeneración (abundancia de plántulas, brinzales y latizales), sanidad y crecimiento (incremento diamétrico intra anual). En este estudio se presenta la respuesta del bosque de pino en términos de regeneración, sobre todo considerando que en las últimas décadas se han visto pequeñas manchas de renuevo muy por encima de los límites altitudinales reportados.

Materiales y Métodos

La zona de estudio abarca dos de las montañas más importantes del centro de México, el Parque Nacional Nevado de Toluca y el Monte Tláloc (Figura 1), ambos adquieren gran importancia en términos de los servicios ambientales que brindan (abastecimiento de agua), el primero el valle de Toluca y el segundo al municipio de Texcoco, además de las innumerables comunidades de que viven de la agricultura de riego de temporal, proporcionada por ambas montañas.

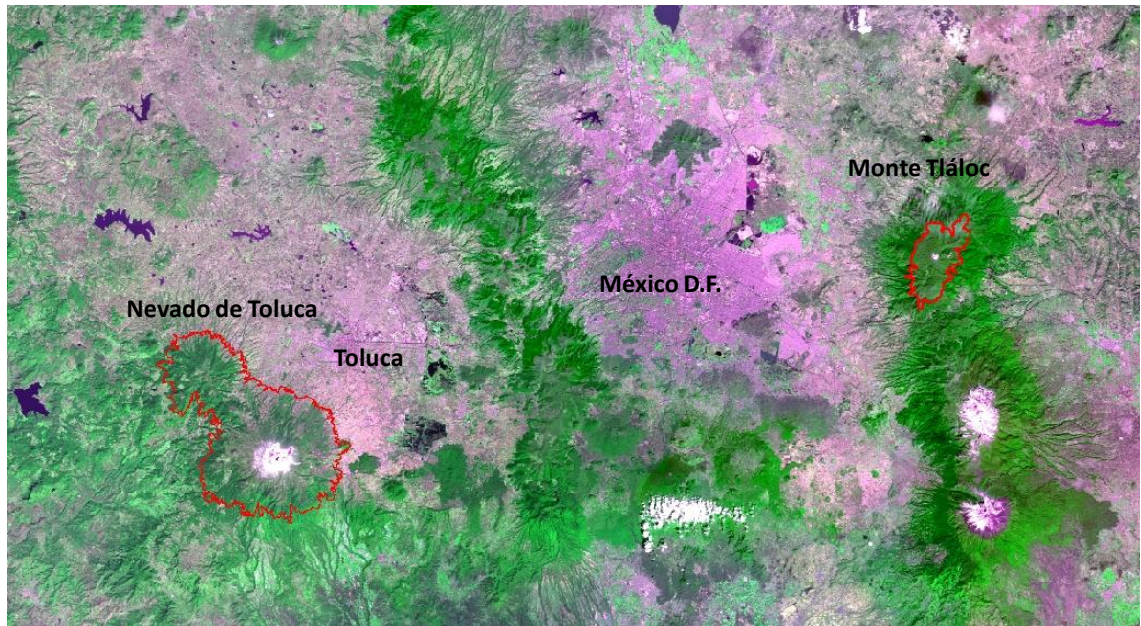


Figura 1. Área de Estudio, bosques del centro de México

El PNNT cuenta con aproximadamente 54 000 ha, está delimitado por la cota 3000 msnm. En torno al volcán Xinantécatl se pueden ubicar extensos bosques templados, los cuales desempeñan importantes funciones ambientales en la región (Vargas, 1997). El MT cuenta con una superficie total de 8 518 has, superficie calculada demarcando la cota 3500 msnm como límite inferior, por encima de esta cota se denominan en este estudio a los bosques de alta montaña, mismos que están ocupados en su mayor parte por *P. hartwegii*.

De acuerdo a la distribución de los bosques en ambas zonas de estudio, llamó la atención de la presencia de arbolado juvenil muy por encima de los límites marcados de la vegetación arbórea, encontrándose arbolado en la formación rocosa de ambos edificios volcánicos. Fueron estas manchas de renuevo encontradas que propiciaron el inicio de la investigación, por tanto, el método tiene una evidencia visual, como base del estudio.

Delimitación de manchas de renuevo y variables de medición

Con base en el método propuesto por Chuvieco (2002) y, mediante el procesamiento de imágenes de satélite, fue posible realizar un análisis comparativo para dos periodos 2000-2010 con imágenes LANDSAT y SPOT 5, respectivamente, buscando evidencias de cambio de uso de suelo y cambio de ocupación. Sin embargo, la diferencia en el tamaño de pixel (30 m para LANDSAT, 2000 y 5 m para SPOT, 2010) no permitió evidenciar visualmente los cambios, debido a que el establecimiento de los árboles ha venido ocurriendo continuamente los últimos 20 años en altitudes jamás reportadas antes, además de que las dimensiones de los individuos son aún muy pequeñas para verse en las imágenes de satélite (Figura 2).

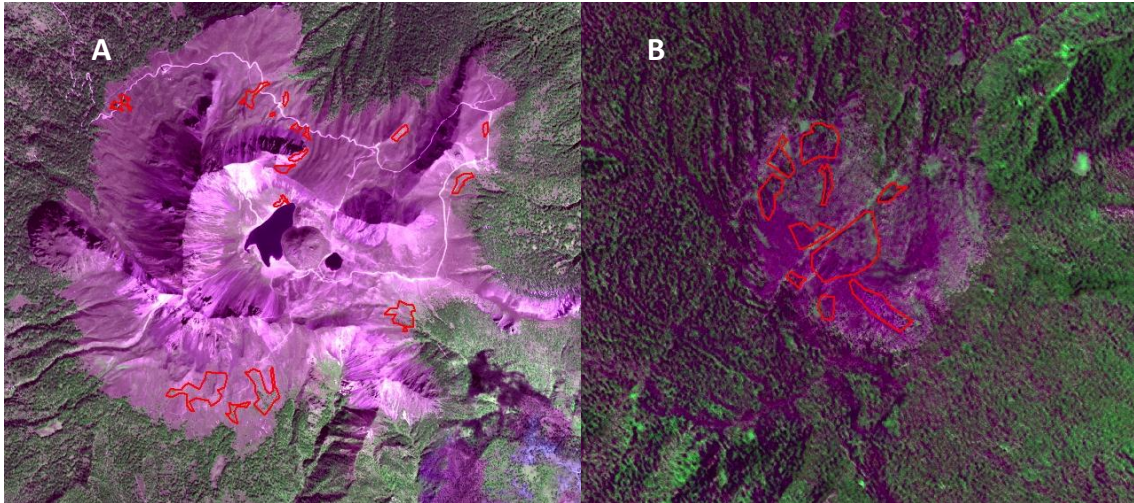


Figura 2. Manchas de regeneración A (Parque Nacional Nevado de Toluca), B (Monte Tláloc).

Por tanto, la delimitación de los polígonos se realizó en campo, con la ayuda de un equipo GPS, en cada mancha (menor a una hectárea) se contabilizaron todos los individuos, midiendo variables como: diámetro a la altura de pecho (DAP, 1.3 m sobre la base del tronco), sólo cuando el árbol fuera mayor o igual a 1.5 m de altura total; diámetro a la base del tallo (DBT, para todos aquellos individuos menores a 1.5 m de altura total); altura total, sanidad, edad estimada, coordenadas geográficas y altitud en msnm de cada uno de ellos. Además de datos del sitio como: pendiente, exposición e información de evidencia de incendios recientes u otro tipo de perturbaciones.

Para manchas iguales o mayores a una hectárea se realizó un muestreo completamente al azar, dividiendo el polígono en partes iguales de 1000 m² (20 x 50 m), donde se midieron todos los árboles con las variables mencionadas anteriormente, con excepción de las coordenadas geográficas.

Estructura forestal

La distribución de la estructura horizontal se realizó agrupando a todos los individuos mayores o iguales a 2.5 cm de DAP, de allí en adelante se agruparon en clases diamétricas de 5 cm. La estructura vertical se determinó comparando la altura de los árboles por cada categoría diamétrica y, sólo cuando presentaron diferencias significativas entre alturas se consideraron como estratos arbóreos diferentes.

Regeneración

El comportamiento de la regeneración se determinó midiendo a todos los individuos menores de 2.5 cm de DAP, bajo las siguientes categorías: plántulas (< a 30 cm de altura), brinzales (\geq 30 cm de altura pero < a 1.5 m de altura total) y latizales (\geq a 1.5 m de altura total pero < a 2.5 cm de DAP).

Estado fitosanitario

Los principales patógenos característicos de la zona son el descortezador de los pinos de montaña (*Dendroctonus adjunctus*) y el muérdago enano (*Arceuthobium vaginatum*, *A. globosum*). Sin embargo, a los 4000 msnm, no

existe presencia alguna de ambos, pero existen perturbaciones antrópicas como los incendios forestales, por tanto, el estado sanitario se refiere al daño provocado por incendios inducidos.

Edad del arbolado

Se determinó la edad a través de cortes transversales en el fuste de aquellos individuos enfermos (con la copa rojiza o amarillenta), donde se pueden apreciar los anillos de crecimiento (después del proceso de secado, lijado y pulido de las muestras). El número de anillos de crecimiento se comparó con el número de verticilos (nudos formados por la distribución de ramas laterales) para estimar la edad en individuos de porte bajo sin realizar cortes o extracción de muestras con barreno o taladro de pressler.

Clima

Para evidenciar el posible calentamiento global en zonas de alta montaña se realizó un análisis espacio-temporal de la tendencia del clima en Monte Tláloc (una de las áreas de estudio), donde se generaron dos series interanuales de 53 imágenes cada una, para precipitación y temperatura a partir de imágenes de superficie continua, considerando un total de 143 estaciones climatológicas y variables adicionales que afectan su distribución espacial, básicamente: latitud, longitud y elevación.

Resultados

Se identificaron manchas de renuevo de una a tres hectáreas de superficie entre los 4000 y 4400 msnm en el PNNT, con una distribución de edades de 10 a 15 años, concentrados entre 4300-4350 msnm (Figura 3); En el MT se identificaron manchas de una a 15 hectáreas entre 4000 y 4100 msnm en el MT, con una distribución de edades de entre 10 a 20 años (Figura 4). En ambos casos, coincide con el incremento de la temperatura y reducción de la precipitación para zonas de alta montaña.

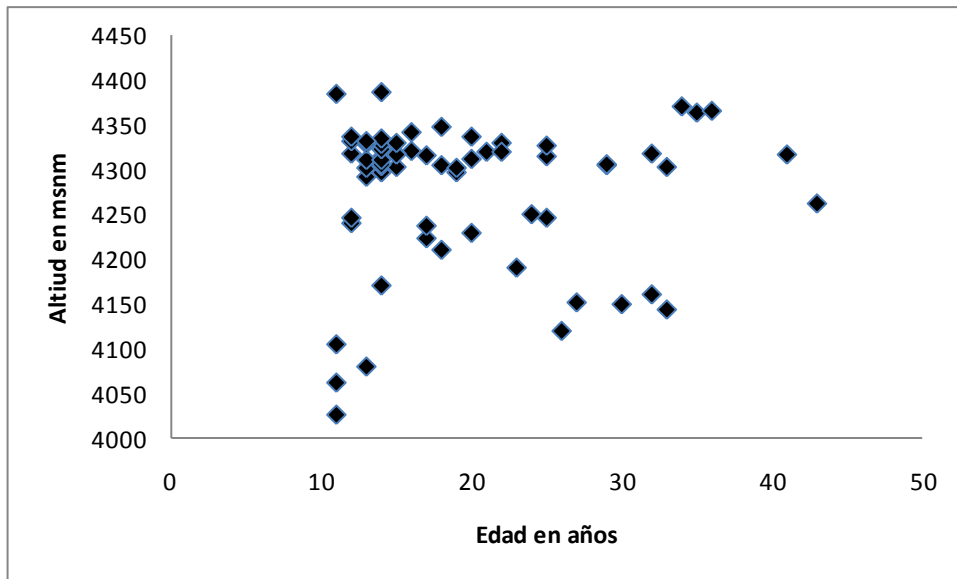


Figura 3. Distribución de edades en un gradiente altitudinal del PNNT.

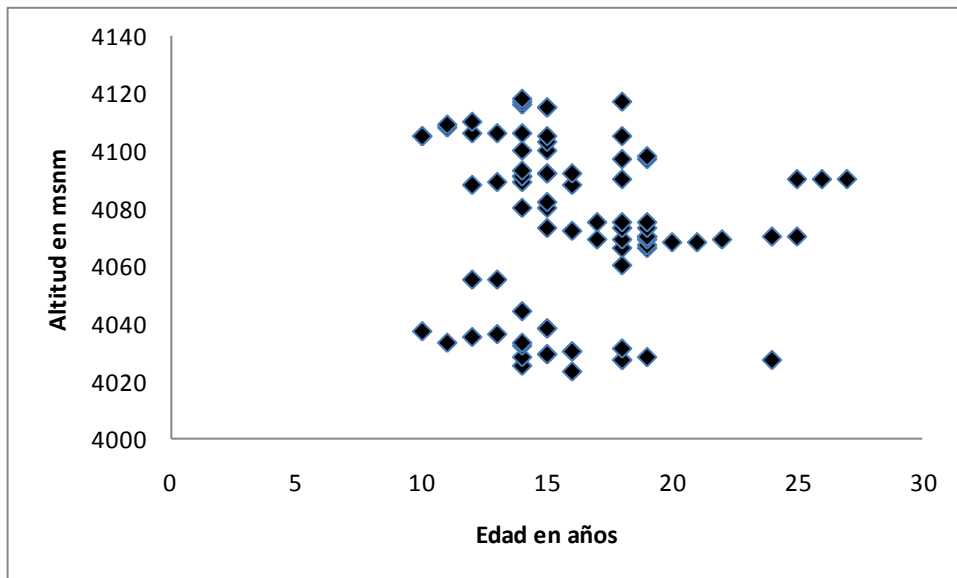


Figura 4. Distribución de edades en un gradiente altitudinal en el MT.

La distribución de edades en el PNNT y MT oscila entre los 10 y 20 años. Sin embargo, para relacionarlo con el posible efecto del cambio climático, se deberá de comparar con el comportamiento de la precipitación y temperatura. En la serie de precipitación, se presenta una tendencia interanual decreciente, pasando de 1 019 mm promedio a 845 mm, es decir, durante los últimos 54 años (1956 a 2009) la cantidad de lluvia ha disminuido en el orden de 174 mm., siendo la tasa de cambio en promedio anual de -3.5 mm al año (Figura 5).

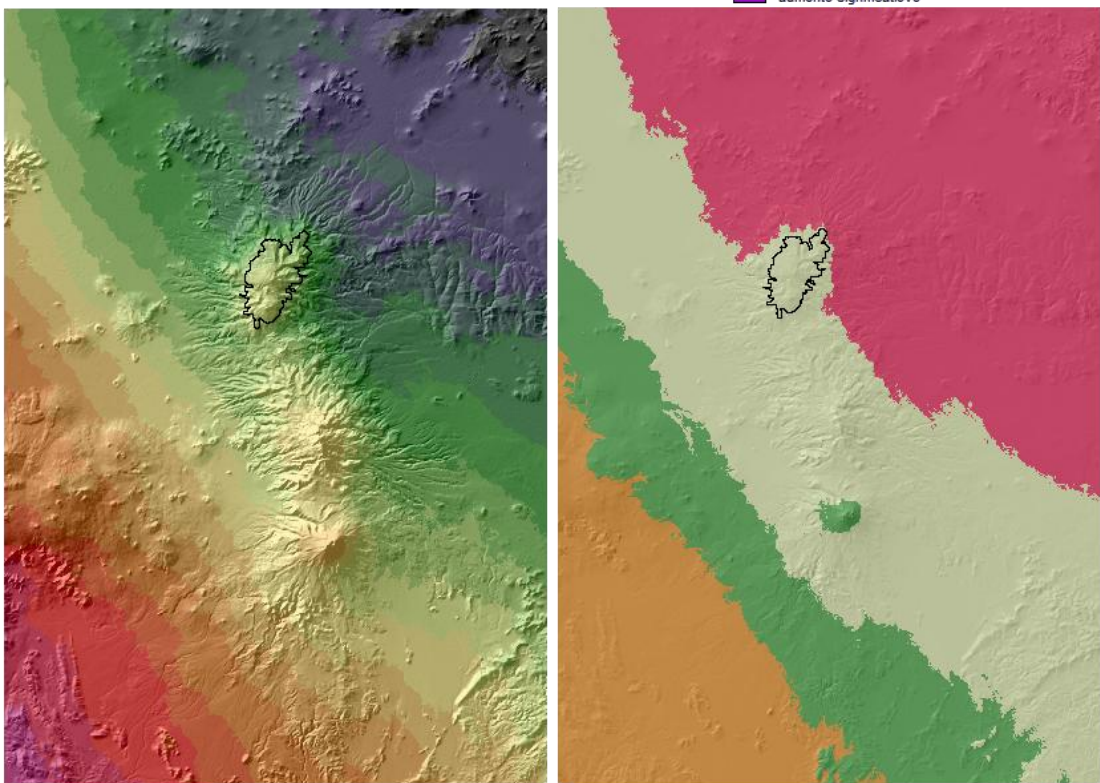
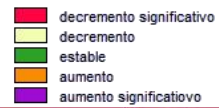
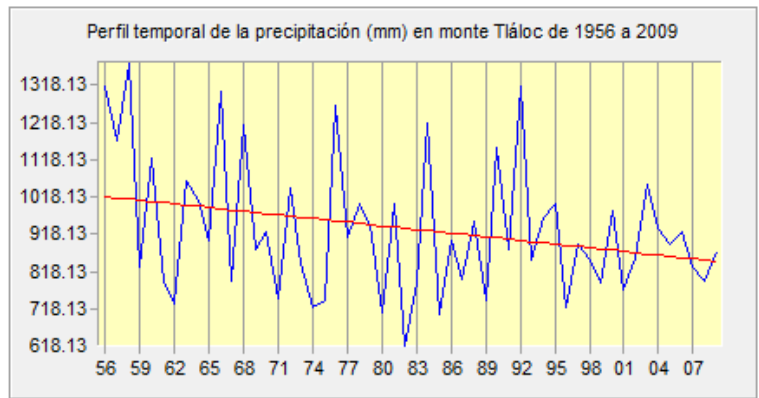


Figura 5. Comportamiento de la precipitación 1956-2009 en el MT.

Respecto a la de temperatura media, durante toda la serie de tiempo, presenta una tendencia interanual creciente, con un incremento en poco más de 50 años de 5.35 a 6.45 °C, es decir ha aumentado 1.1 °C. El resultado de la prueba estadística de Mann Kendall para la temperatura indica que los valores tienden a 1, lo que significa que en la zona analizada se presenta un aumento significativo, con una tasa de cambio anual promedio de hasta 0.025 C en la porción de Monte Tláloc (Figura 6).

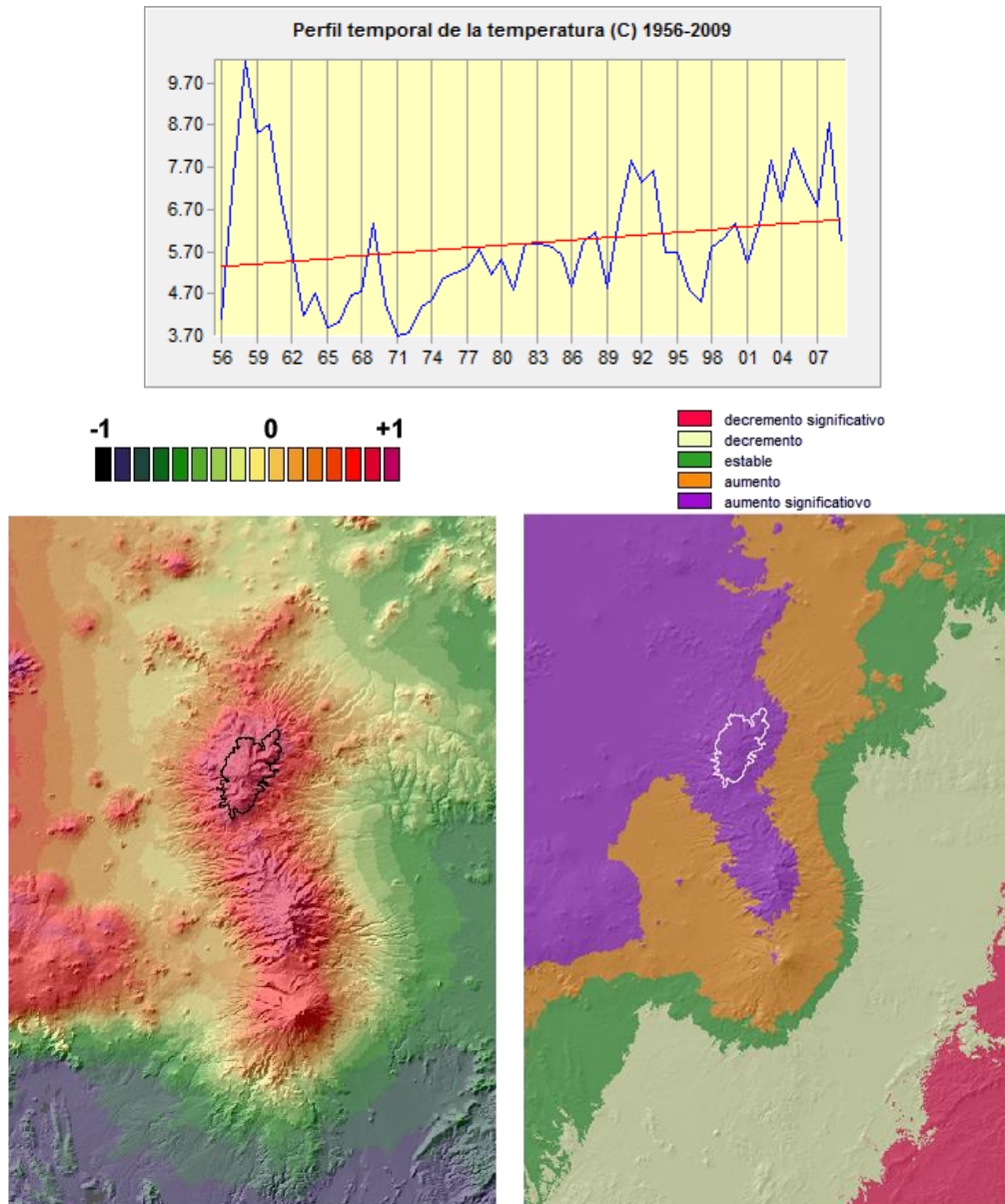


Figura 5. Comportamiento de la temperatura 1956-2009 en el MT.

Las figuras 5 y 6, muestran una tendencia de reducción de la precipitación y un incremento de la temperatura, en una de las zonas de estudio (MT), aunque cabe mencionar que, el año 1992 hubo un incremento considerable de ambas variables climáticas, año en el que muchos de los individuos se establecieron. No obstante, la relación del establecimiento de los árboles con el año más húmedo y más cálido, necesita de una mayor intensidad de muestreo de los árboles en las manchas grandes de regeneración y, así reducir la incertidumbre en relación a este fenómeno global.

En términos generales es innegable que la dinámica de los bosques de alta montaña está cambiando considerablemente, por tanto, las actividades de manejo y adaptación deberán ajustarse a las nuevas dinámicas de la regeneración; por ejemplo, en la actualidad la caída de semillas de pino ocurre en todo el segundo semestre de cada año, por lo que, la remoción de suelos para favorecer la germinación deberá hacerse en esos tiempos. Así

también, el incremento en el ataque de plagas y plantas parásitas parece estar asociada a la fragmentación constante de los bosques de *P. hartwegii*. En este sentido, el manejo forestal de estos bosques requiere insertar en sus actividades silvícolas la identificación de arbolado genéticamente resistente a estos patógenos.

Bibliografía

Arriaga, L. y Gómez, L. 2004. Posibles efectos del cambio climático en algunos componentes de la biodiversidad de México. 255-265 pp. En: J. Martínez y A. Fernández (Compiladores.) INE/SEMARNAT. México, D.F.

Chuvioco, E. 2002. Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio. Ariel. España. 586 pp.

Franco, M.S., H. H. Regil., J. A. B. Ordoñez. 2006. Dinámica de perturbación-recuperación de las zonas forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca. Madera y Bosques 12 (1): 17-28.

Montero, G.I.A. 2004. Atlas arqueológico de la alta montaña mexicana. Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional Forestal, México. 174 p.