

ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS SCRIPTA

AÑO 1 NÚMERO 2 julio-diciembre, 2015

ANP
Scripta
Revista Digital de Investigación Científica

Efecto de la Deforestación Sobre el Albedo en Bosques de Coníferas de México

Ramiro Pérez Miranda^{1*}, Antonio González Hernández¹,

Francisco Moreno Sánchez¹, Víctor Javier Arriola Padilla¹

Resumen

Los bosques absorben una parte de la radiación solar incidente que ingresa al planeta y otra porción la reflejan hacia el espacio exterior. La deforestación altera el balance radiativo de la Tierra al hacer que aumente el albedo. El objetivo del estudio fue estimar el albedo en bosques de coníferas y áreas deforestadas en cinco estados de México. Se estableció una parcela para cada condición forestal, de 1.13 ha (ambas fueron contiguas con una separación de 400 m) en Coahuila, Durango, Jalisco, Michoacán y Tlaxcala. Se utilizaron imágenes Landsat-8 OLI-TIRS para obtener la reflectancia. En la zona deforestada los promedios más alto de albedo fueron en Coahuila (0.232) y Michoacán (0.228) y en la zona de bosque fue en Jalisco (0.143) y Durango (0.122). La prueba de t de *Student* presenta diferencias significativas entre la zona deforestada y zona boscosa de cada sitio, lo que implica que el albedo es afectado independientemente por la cubierta vegetal y su fragmentación. La estimación del albedo mediante sensores remotos puede perfilarse como un indicador para medir la calidad de los bosques con la ventaja de obtenerse de manera económica y temporalidad, para tomar decisiones en el manejo sustentable del bosque.

Palabras clave: *Abies* sp. Deforestación. Forestal. *Pinus* sp. Radiancia.

Abstract

Forests absorb part of the solar radiation that enters the planet and the other portion is reflected into space. Deforestation alters the radiation balance of the Earth making albedo increase. The objective of the study was to estimate the albedo in coniferous forests and deforested areas in five

¹ Centro Nacional de investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Av. Progreso No. 5, Col. Barrio de Santa Catarina, Delegación Coyoacán C.P. 04010, México, D. F.

*Autor correspondencia: E:mail: perez.ramiro@inifap.gob.mx

states of Mexico. A plot for each forest condition of 1.13 ha was established (both were contiguous with a spacing of 400 m) in Coahuila, Durango, Jalisco, Michoacan and Tlaxcala. Landsat-8 OLI-TIRS was used to obtain reflectance. The highest albedo average was in Coahuila (0.232) and Michoacán (0.228) in the deforested area and in Jalisco (0.143) and Durango (0.122) in the forest area. The Student *t* test showed significant differences between deforested and forest areas of each site, which implies that albedo is affected independently by vegetation cover and fragmentation. Albedo estimation by remote sensing can profile itself as an indicator for measuring the quality of forests with the advantage of obtaining economical and temporariness data for decision making on sustainable forest management.

Key words: *Abies* sp. Deforestation. Forest. *Pinus* sp. Radiance.

Introducción

Los ecosistemas son generadores de una amplia gama de bienes (madera y leña), y servicios (pastoreo, caza, investigación, turismo, secuestro de carbono, captación) para la sociedad (Cortez, 1993). Su destrucción por deforestación constituye una de las fuentes más importantes de liberación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Martín, 2008; Masera *et al.*, 1997; IPCC, 1996). Por ello, en los últimos años se ha despertado un amplio interés de los ecosistemas forestales en el cambio climático global, y su doble contribución en las medidas de adaptación y mitigación los posicionan como reservorios y sumideros de carbono (Magaña *et al.*, 2000; IPCC, 2014).

A escala local, la deforestación modifica las condiciones microclimáticas del bosque (Segura, 1992; Fernández *et al.*, 2010; Villers y Trejo, 2000) porque desequilibra el balance energético del área (Tejeda y Rodríguez, 2007). El microclima en una zona forestal se define como el conjunto de variables de las condiciones de estado y comportamiento normal que bajo las cubiertas forestales adquiere el sistema aire-suelo, a escalas temporales y espaciales reducidas, claramente diferentes a las que se presentan en otros sistemas terrestres adjuntos (Gómez, 2004). El microclima bajo cubiertas vegetales está determinado por la ubicación geográfica, composición y estructura del bosque, condiciones climáticas locales y variación estacional; estos originan respuestas contrastadas de las variables microclimáticas entre zonas con bosque y zonas abiertas (Gómez, 2004 Bahamonde *et al.*, 2009). El microclima juega un papel ecológico muy destacado, siendo el

conductor primario de las respuestas biológicas a la necesidad con el medio físico que caracteriza a cualquier ser vivo. Las variadas condiciones micrometeorológicas de los sistemas naturales resultan importantes para comprender y predecir procesos como fotosíntesis, regeneración, crecimiento, ciclo de nutrientes y degradación de la materia orgánica (Chen *et al.*, 1999).

El balance energético del sistema climático en el planeta debe estar en equilibrio, esto implica que la energía del Sol entrante al planeta debe ser en promedio igual a la suma de la radiación solar reflejada saliente emitida por el sistema climático (Kiehl y Trenberth, 1997). El espectro de onda corta, visible y onda larga de la radiación solar que incide en el tope de la atmósfera es el 100%, de los cuales 50% es absorbido en la superficie, 30% es reflejado al espacio (albedo) y 20% restante es absorbido por la atmósfera (Reyes, 2002; Rodríguez *et al.*, 2004; Santamaria, 2010). El albedo de una superficie es la fracción reflejada de los rayos solares incidentes. La radiación solar que llega a la tierra es reflejada por cuerpos claros o blancos, como nubes, agua, nieve, hielo, desiertos y otros; mientras que cuerpos opacos u oscuros, como bosques, selvas y ciudades, la mayoría la absorben y son parcialmente reflectores de la luz (Reyes, 2002). El sistema tierra-atmósfera tiene un albedo promedio de 30%, las nubes cumulonimbos y nieve de 90%, los desiertos 25%, los bosques deciduos 17% y pino 14%, los pastos 26% y los océanos 10% (FAO, 1955; Lockwood, 1974; Rodríguez *et al.*, 2004).

El albedo tiene relación con el clima, los valores bajos de albedo en los bosques se debe a que la vegetación absorbe la mayoría de la radiación solar incidente y en menor proporción la refleja. El ángulo de incidencia de los rayos solares influye en el albedo terrestre. La reflectividad (albedo) disminuye conforme la altitud del sol se incrementa; en los polos durante el invierno donde se tiene un ángulo cercano a cero existe una máxima reflectividad; mientras que en regiones tropicales próximas a 90° se tiene una mínima reflectividad (Reyes, 2002). El albedo es uno de los factores clave en los balances energéticos de los subsistemas geofísicos. Climatológicamente de él depende el vigor de la dinámica de los geofluidos (líquidos del subsuelo: aguas subterráneas, geotérmicos, salmueras de cuenca y otros), por lo que un cambio mínimo en el albedo terrestre implica cambios significativos en las temperaturas globales, en el régimen de vientos, precipitaciones y otros factores (Pelkowski, 2007). Los efectos del albedo a otra escala como en suelos húmedos su disminución produce un cambio en el balance térmico de la capa más baja del aire, esto ocasiona un aumento en el calor latente de vaporización y origina un aumento en la radiación solar absorbida, una disminución en la radiación de onda larga, y en el calor sensible (Budyko, 1974; Ponce *et al.*, 2001).

Por el contrario una tierra seca sin protección de la vegetación ocasiona un mayor albedo lo que provoca mayor temperatura del aire y del suelo, menor humedad relativa (Casas *et al.*, 1999).

Los bosques tienen un albedo menor que otros ecosistemas porque mediante sus sistemas radicales permiten a los árboles acceder al agua del subsuelo con facilidad y absorben mayor cantidad de energía solar, esto conlleva a un calentamiento y mayor pérdida de agua por evaporación, con el consiguiente enfriamiento. Los procesos de evaporación en zonas tropicales son altos y los bosques producen enfriamiento y humidificación de la atmósfera, en tanto que en latitudes más altas el efecto albedo es más importante y produce un fenómeno de calentamiento (FAO, 2011).

La estimación de los componentes radiativos (entre los que se encuentra el albedo) permite modelar la evapotranspiración, la cual tiene aplicaciones en el manejo y conservación de los recursos naturales utilizados en la agricultura, en lo forestal, en la hidrología, en balances hídricos, en predicción de escorrentía y estudios climatológicos y meteorológicos (Reca *et al.*, 1999; Santos *et al.*, 2008). Desde hace varias décadas, el albedo se puede estimar mediante equipos dispuestos en estaciones climáticas, los cuales están colocados en forma limitada a áreas de interés y son poco representativos para regionalizar. A pesar de ello, se han generado mapas a partir de la interpolación de los valores obtenidos para escalas medianas, con una presencia importante de incertidumbre de la información (Sánchez y Chuvieco, 2000; Sánchez, 2002). En años recientes, para calcular el albedo se recurre a la aplicación de técnicas de los sensores remotos para obtener información para extensas superficies, dentro de las posibilidades que permite la resolución espacial, temporal y radiométrica del sensor empleado (Caselles *et al.*, 1993; Caselles *et al.*, 1998; Sánchez y Chuvieco, 2000). Las técnicas de sensores remotos han sido empleadas para estimar la evapotranspiración real (Allen *et al.*, 2007; Kustas y Norman, 2000; Sánchez y Chuvieco, 2000), la radiancia y el albedo (Liang, 2000; Liang *et al.*, 2002) y para generar los flujos de energía (Zhang *et al.*, 2007). El objetivo de este trabajo fue analizar el efecto del albedo en sitios deforestados y con bosques en cinco estados de la república mexicana, aplicando técnicas de sensores remotos con Landsat 8 OLI-TIRS.

Materiales y método

Área de Estudio

Las áreas de estudio se encuentran distribuidas en los estados de Coahuila, Durango, Jalisco, Michoacán y Tlaxcala, donde geográficamente se desarrollan los macizos forestales de coníferas de clima templado-frío del país (Figura 1), todas son parte de áreas de conservación y protección en diferente estatus y modalidades. En Coahuila, el sitio bajo estudio se encuentra en la Región Prioritaria para la Conservación Sierra de Arteaga (CONANP, 2015a), en Durango se localizan en el Centro de Ecoturismo Rancho El Molinillo (SEMARNAT, 2014), en Jalisco se halla en un área de uso predominante forestal bajo protección de acuerdo al ordenamiento ecológico del estado (Gob. de Jalisco, 2006), en Michoacán en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca (CONANP, 2001) y en Tlaxcala en la propiedad privada Tlacotla destinada voluntariamente a la conservación (CONANP, 2015b). Las coordenadas geográficas y municipios de los sitios bajo estudio se presentan en la Tabla I.



Figura 1. Ubicación de los sitios de bajo estudio en la república mexicana.

Los tipos de vegetación donde se encuentran los sitios son bosques de *Pinus durangensis* Ehren (Rancho Molinillos, Durango), *Abies vejarii* Martínez subsp. *vejarii* var. *vejarii* (Sierra La Marta,

Coahuila), *P. michoacana* Martínez (Sierra de Tapalpa, Jalisco), *Abies religiosa* (Kunth Schltdl. et Cham.) (Sierra de Angangueo, Michoacán) y *P. patula* Schl. et Cham. (Sierra de Tlaxco, Tlaxcala). Cada sitio estuvo compuesto por dos áreas de evaluación de una superficie aproximada de 1.13 ha, separadas una de otra, por una distancia aproximada de 400 m. Una fue establecida en zona deforestada y la otra en el bosque.

Tabla I. Coordenadas geográficas y municipios de los sitios bajo estudio.

Sitio de Monitoreo	Municipio	Predio	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
			Coordenadas Geográficas		
Coahuila	Arteaga	El Morro	25° 12.555' N	100° 22.179' O	2,969
			25° 12.398' N	100° 22.170' O	2,877
Durango	Durango	P.P. Molinillos	23° 38.039' N	105° 2.724' O	2,581
			23° 38.149' N	105° 2.939' O	2,590
Jalisco	Tapalpa	Predio Maquinitas	19° 56.694' N	103° 47.751' O	2,185
			19° 57.123' N	103° 48.172' O	2,074
Michoacán	Angangueo	Predio Las Jaras	19° 39.011' N	100° 16.956' O	3,030
			19° 38.855' N	100° 16.909' O	2,947
Tlaxcala	Tlaxco	Rancho Tlacotla	19° 42.029' N	98° 4.403' O	2,793
			19° 41.935' N	98° 4.385' O	2,761

Imágenes de satélite empleadas

Se utilizaron imágenes del satélite LANDSAT 8 OLI-TIRS de enero de 2014 del Servicio Geológico de Estados Unidos (U. S. Geological Survey, 2014). Los paths y rows de las escenas utilizadas de los sitios fueron, Coahuila: 28 - 43, Durango: 31 - 44, Jalisco: 29 - 46, Michoacán: 27 - 46 y Tlaxcala: 25 - 46. Se usó el sistema de coordenadas UTM y Datum WGS84. Los procesos y operaciones de las coberturas se realizaron en el sistema de información geográfica ArcMap 10.1™.

Obtención de valores de reflectancia de imágenes LANDSAT-8 OLI-TIRS

La reflectancia en el techo de la atmosfera con una corrección para el ángulo solar se realizó aplicando la siguiente ecuación:

$$P\lambda' = \frac{M\rho * Q_{cal} + A\rho}{\sin(\theta_{sen})} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1.}$$

Donde,

$P\lambda'$ = es el valor reflectancia planetaria o en el techo de la atmosfera (TOA), con corrección por ángulo solar.

M_p = es el factor multiplicativo de escalado específico por banda (donde x es el número de la banda) obtenido del metadato.

Q_{cal} = es el producto estándar cuantificado y calibrado para valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

A_p = es el factor aditivo de escalado específico por banda obtenido del metadato (donde x es el número de la banda).

$\sin \theta$ = es el ángulo de elevación solar. El ángulo de elevación solar del centro de la escena es provisto en el metadato de la imagen.

Estimación de albedo

El procedimiento para obtener el albedo (α) se llevó a cabo mediante el método de Liang (2000), que implica la suma ponderada de los canales del visible, infrarrojo cercano e infrarrojo medio. Se calculó el albedo para Landsat-8 OLI and TIRS.

$$\alpha = (0.356\alpha_1) + (0.130\alpha_3) + (0.373\alpha_4) + (0.085\alpha_5) + (0.072\alpha_7) - (0.0018) \dots\dots \text{Ecuación 2.}$$

Donde,

α_i : Es el número de banda de la imagen de satélite.

Los valores de albedo de las áreas deforestadas y bosques, fueron contrastados estadísticamente mediante una prueba t de *Student* para muestras independientes en el programa IBMTM SPSSTM Statistics 20.0 (SPSS, 2015), utilizando un nivel de confianza del 95%. La normalidad fue probada mediante una prueba Shapiro-Wilk ($P > 0.05$ en todos los casos) y la homoscedasticidad mediante una pruebas de Levene ($P > 0.05$ para todos los casos).

Resultados y discusión

Los valores del albedo en los cinco sitios de monitoreo se observan en la Figura 2 (en el orden de sitios con deforestado y con bosque -forestado-).

Albedo de los sitios monitoreo

De acuerdo a la Tabla II, los tres valores mínimos de albedo (más altos) de las áreas deforestadas de los cinco sitios de estudio fueron de 0.202 en Angangueo, Mich., 0.150 en Tapalpa, Jal., y

0.123 en Rancho Molillo, Dgo. En este mismo orden, los máximos quedaron en Coahuila con 0.444, Michoacán 0.167 y Jalisco 0.133. Los valores promedios estuvieron en Coahuila con 0.232, Michoacán 0.228 y Jalisco 0.161.

Con relación a los valores máximos de albedo (mayores) de las áreas de bosques de los cinco sitios de estudio fueron: 0.133 en Tapalpa, Jal., 0.118 en Rancho Molillo, Dgo. y 0.060 en Angangueo, Mich. Los máximos quedaron en Jalisco con 0.121, Durango 0.112 y Coahuila 0.071. Los promedios en Jalisco con 0.143, Durango 0.122 y Michoacán 0.069.

Tabla II. Valores de albedo de los cinco sitios bajo estudio, bajo dos condiciones de vegetación.

Sitio	Condición	Valor Mínimo	Valor Máximo	Promedio	Desviación estándar
Coahuila	Deforestado	0.092	0.444	0.232	0.122
	Bosque	0.057	0.071	0.062	0.004
Durango	Deforestado	0.130	0.103	0.146	0.016
	Bosque	0.118	0.112	0.122	0.003
Jalisco	Deforestado	0.150	0.132	0.161	0.009
	Bosque	0.133	0.121	0.143	0.008
Michoacán	Deforestado	0.202	0.167	0.228	0.022
	Bosque	0.060	0.048	0.069	0.007
Tlaxcala	Deforestado	0.110	0.101	0.125	0.008
	Bosque	0.056	0.051	0.061	0.003

De acuerdo a los registros de albedo reportados por la FAO (1955) y Lockwood (1974) fueron 0.14 para bosque de pino y 0.26 para pastizal; en este estudio se consiguieron valores promedio aproximados en Jalisco (0.143) y Durango (0.122) para los sitios con coníferas, y Coahuila (0.232) y Michoacán (0.228) para los sitios deforestados con pastizal. Cabe mencionar que los datos de albedo obtenidos de la bibliografía son usados como referencia, puesto que no se tiene información específica de la metodología usada para generarlos.

Conforme a la Figura 2, se puede observar que los valores de albedo de los sitios son variados y contrastantes entre las zonas deforestadas y áreas con bosque. El sitio Coahuila tuvo los valores más contrastantes entre la zona de bosque y la zona deforestada, presentando mayor variabilidad en la deforestada; situación parecida sucedió con Michoacán y en menor grado en Tlaxcala, con una pequeña variabilidad en sus datos. Condiciones contrarias se dieron en los sitio Durango y Jalisco. Las menores diferencias entre albedo de zona de bosque y deforestada se obtuvieron en el sitio de Durango, lo cual posiblemente se deba a la presencia de acciones recientes de

reforestación en la zona deforestada (S. Rosales, com. pers. 10 de octubre de 2013), lo cual implica una disminución de la reflectancia.

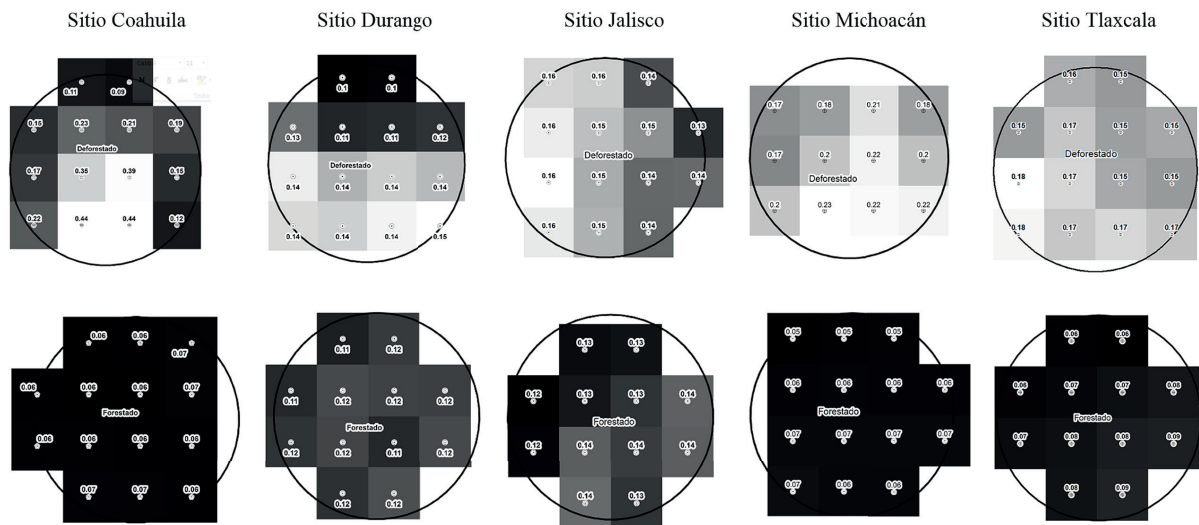


Figura 2. Distribución espacial de valores de albedo en los cinco sitios de monitoreo bajo dos condiciones de vegetación.

En Coahuila la media en la zona deforestada fue mayor (0.23) que en la zona con bosque (0.6), la prueba de normalidad de acuerdo a Shapiro-Wilk P- valor de la zona deforestado fue de 0.044, menor a $\alpha = 0.05$; el P- valor de la zona de bosque fue de 0.000, menor a $\alpha = 0.05$; lo cual significa que los datos no provienen de una distribución normal. En Durango la media en la zona deforestada fue mayor (0.128) que la zona con bosque (0.117), la prueba de normalidad de acuerdo a Shapiro-Wilk P- valor de la zona deforestado fue de 0.008, menor a $\alpha = 0.05$; el P- valor de la zona de bosque fue de 0.000, menor a $\alpha = 0.05$; lo anterior implica que los datos no provienen de una distribución normal. En Jalisco la media en la zona deforestada fue mayor (0.149) que la zona con bosque (0.132), la prueba de normalidad de acuerdo a Shapiro-Wilk P- valor de la zona deforestado fue de 0.033, menor a $\alpha = 0.05$; el P- valor de la zona de bosque fue de 0.011, menor a $\alpha = 0.05$; lo cual implica que los datos no provienen de una distribución normal.

En Michoacán la media en la zona deforestada fue mayor (0.200) que la zona con bosque (0.061), la prueba de normalidad de acuerdo a Shapiro-Wilk P- valor de la zona deforestado fue de 0.221, mayor a $\alpha = 0.05$; el P- valor de la zona de bosque fue de 0.008 menor a $\alpha = 0.05$. Los datos de la zona deforestada provienen de una distribución normal y los de la zona de bosque no provienen

de una distribución normal. En Tlaxcala la media en la zona deforestada fue mayor (0.162) que la zona con bosque (0.067), la prueba de normalidad de acuerdo a Shapiro-Wilk P- valor de la zona deforestado fue de 0.006, menor a $\alpha = 0.05$; el P- valor de la zona de bosque fue de 0.118 mayor a $\alpha = 0.05$. Los datos de la zona deforestada no provienen de una distribución normal y los de la zona de bosque provienen de una distribución normal. Las medias de los cinco sitios de monitoreo señalan que las zonas deforestadas presentaron valores más altos de albedo que las zonas con bosques, lo cual conlleva a la modificación del microclima local. En la mayoría de los casos, los datos de albedo no tuvieron una distribución normal, excepto la zona deforestada del sitio Michoacán y la zona de bosque de Tlaxcala, donde los albedo fueron más altos que $\alpha = 0.05$. Cabe mencionar, que la falta de normalidad de los datos fue debido al tamaño de muestra reducido; sin embargo, dado que se trata de una variable continua la prueba estadística queda justificada invocando al teorema central de límite (Infante *et al.*, 1988).

Pruebas de t de *student* para muestras independientes

En Coahuila la prueba Levene P-valor fue 0.000, menor $\alpha = 0.05$, lo cual indica que las prueba entre varianzas fueron significativamente diferentes. Así también, en la prueba de significancia de t de *Student* el P-valor de 0.000 fue menor que $\alpha = 0.05$, esto indican que existe una diferencia significativa entre los valores del sitio deforestado y los valores de los sitios de bosque. En Durango, en la prueba Levene, P-valor fue 0.000, menor $\alpha = 0.05$, por lo que las pruebas entre varianzas fueron significativamente diferentes. La prueba de significancia de t de *Student* el P-valor de 0.034 fue menor que $\alpha = 0.05$, los cuales indican que existe una diferencia significativa entre los valores del sitio deforestado y los valores de los sitios de bosque. En Jalisco los datos de albedo, la prueba Levene, P-valor fue 0.341, menor $\alpha = 0.05$, lo cual señala que las pruebas entre varianzas fueron significativamente diferentes. La prueba de significancia de la t de *Student* el P-valor 0.000 fue menor que $\alpha = 0.05$, por lo que se entiende que existe una diferencia significativa entre los valores del sitio deforestado y los valores de los sitios de bosque. Misma situación pasa en Michoacán, la prueba Levene P-valor fue de 0.004, menor $\alpha = 0.05$, esto indica que las prueba entre varianzas fueron significativamente diferentes. En la Prueba de t de *Student* el P-valor 0.000 fue menor que $\alpha = 0.05$, ello indica que existe una diferencia significativa entre los valores del sitio deforestado y los valores de los sitios de bosque. De igual forma en Tlaxcala, la prueba Levene P-valor fue

0.0403, menor $\alpha = 0.05$, lo cual indica que las prueba entre varianzas fueron significativamente diferentes. En la Prueba de significancia de la t de *Student* el P-valor de 0.000 fue menor que $\alpha = 0.05$, ello indica que existe una diferencia significativa entre los valores del sitio deforestado y los valores de los sitios de bosque. De acuerdo a los resultados de la prueba de t de *Student* en los cinco sitios de monitoreo en todos los casos presentan diferencias significativas entre las zonas deforestadas y zonas con bosques.

Con base a los resultados se puede decir que el albedo está determinado en gran medida por la condición de vegetación, el cual influye importantemente en el microclima. Ello tiene sentido con lo encontrado por Promis *et al.* (2010) que hubo contrastes con la radiación solar global recibida a nivel del suelo, la cual aumenta en áreas de poca vegetación, y afecta al clima y al balance hídrico a nivel local y en consecuencia en el desarrollo de la vegetación (Pelkowski, 2007; Reyes, 2002). No se descarta que esta situación se tiene presente en los sitios bajo estudio, mismo que el desbalance energético que es el que cambian las variables del sistema microclimático (radiación, evaporación, temperatura, humedad relativa y otros) (Budyko, 1974; Casas *et al.*, 1999; Ponce *et al.*, 2001).

En general, aunque las características de los cinco sitios de monitoreo son diferentes en altitud, pendiente, orientación y tipos de coníferas, y además en el estudio no se destacó la existencia de otros factores que pudieron contribuir en el albedo como son plagas, humedad, fuego, CO₂, entre otros, sí se pudo realizar un análisis comparativo del albedo con respecto a su condición forestal. El albedo de los sitios deforestados fue más alto debido a poca existencia de cuerpos naturales, que son los que absorben la radiación solar, como la vegetación de mayor porte. Por el contrario, en los sitios con bosque se mostraron cantidades menores de albedo debido a la magnitud y densidad de árboles hallados en el lugar, que absorben la mayor parte de la energía solar (O'Halloran *et al.*, 2011), y por consiguiente se presenta un microclima menos extremo.

En resumen, el bosque es el principal regulador del balance energético y de las condiciones microclimáticas (Segura, 1992; Villers y Trejo, 2000; Tejeda y Rodríguez, 2007). Los resultados indican que el efecto de la deforestación sobre el albedo, de acuerdo a Casas *et al.* (1999), Pelkowski (2007) y Bahamonde *et al.* (2009) si modificarían a las variables microclimáticas: temperatura del aire y del suelo, dirección e intensidad del viento, precipitación, evapotranspiración, humedad relativa, radiación solar absorbida, reflejándose en el cambio climático local y regional. Las afectaciones en el sector productivo agrícola, pecuario y forestal son diversas entre las que se

encuentran por el aumento de la radiación y baja disponibilidad de humedad del suelo y en el ambiente (Casas *et al.*, 1999; FAO, 2011).

Conclusiones

Los valores promedios (más altos) de albedo resultantes en zona deforestada fueron en Coahuila 0.232, Michoacán 0.228 y Jalisco 0.161; y en zona de bosque fueron en Jalisco con 0.143, Durango con 0.122 y Michoacán 0.069.

En cuanto a la variable albedo de los dos sitios bajo estudio (deforestado y con bosque) se trata de dos poblaciones diferentes significativamente.

Las implicaciones de los sitios deforestados en el albedo son cambios en el sistema del balance energético e hídrico, y en consecuencia alteraciones en el microclima local y regional, lo cual afecta a los bienes y servicios ambientales que proporcionan los bosques, así como su disponibilidad.

El empleo de las imágenes de satélite LANDSAT-8 es factible para determinar el albedo. Su estimación mediante sensores remotos tiene amplias ventajas (económica y temporalidad) para tomar decisiones enfocadas para el manejo sustentable del bosque. Este es un indicador que puede ser utilizado para determinar de manera rápida la calidad de los bosques y estimar la disminución de las funciones de la cobertura vegetal, tanto en áreas con manejo forestal como en áreas naturales protegidas.

Agradecimientos

A los Fondos Fiscales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Asimismo agradecemos a la M. en C. Diana Dorantes la revisión del idioma Inglés del Abstract y al Lic. Gerardo Hernández el diseño editorial del manuscrito.

Literatura citada

- Allen, R. G., M. Tasumi y R. Trezza. 2007. *Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Model*. Journal of Irrigation and Drainage Systems 19:251-268.
- Bahamonde, H. A.; P. L. Peri; G. Martínez P. y V. Lencinas M. 2009. Variaciones microclimáticas en bosques primarios y bajo uso silvopastoril de *Nothofagus antarctica* en dos Clases de Sitio en

- Patagonia Sur. En: 1er. Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles. Aspectos relacionados al componente forestal arbóreo, forestales. Consultado: 05-06-2015. En: http://inta.gob.ar/documentos/variaciones-microclimaticas-en-bosques-rimarios-y-bajo-uso-silvopastoril-de-nothofagus-antarctica-en-dos-clases-de-sitio-en-patagonia-sur/at_multi_download/file/Variaciones_microclimaticas_en_bosques_primeros.pdf
- Budyko, M. I. 1974. *Man and climate, climate and life*. Academic Press. New York, U. S. A. pp. 463-467.
- Casas, C., M. C. y M. Alarcón J. 1999. *Meteorología y clima*. Ediciones UPC. Barcelona, España. 162 p.
- Caselles, M., Delegido G. y Hurtado S. 1993. *Teledetección: Aplicación a la determinación de la evapotranspiración*. En: M. de S. Olalla, F. J. y J. A. de Juan (Coords.). *Agronomía del Riego*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 732 p.
- Caselles, M., M. Arthiagao, E. Hurtado S., C. Coll y A. Brasa. 1998. *Mapping actual evapotranspiration by combining Landsat TM and NOAA-AVHRR images: application to the Barrax area, Albacete, Spain*. *Remote Sensing of Environment* 63:1-10.
- Chen J., S. C. Saunders, T. R. Crow, R. J. Naiman, K. D. Broszofski, G. D. Mroz, B. L. Brookshire, J. F. Franklin. 1999. *Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology*. *BioScience* 49 (4): 288-297.
- Cortez R., C. 1993. *El Sector forestal mexicano: ¿entre la economía y la ecología?* *Comercio Exterior* 43:370-377.
- Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP). 2001. *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca*. SEMARNAT. México, D. F. 138 p.
- Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP). 2015a. *Cuenca alimentadora de los distritos nacionales de riego 026 b Bajo Río San Juan y 031 Las Lajas, en lo respectivo a la Sierra de Arteaga*. SEMARNAT. Consultado: 09-07-2015. En: <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=173&=11>
- Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP). 2015b. *Listado de áreas destinadas voluntariamente a la conservación*. SEMARNAT. Consultado: 10-03-2015. En: http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/listado_areas.php

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1955. La clasificación climatológica en dasonomía. *Unasyuva* 9(2): Consultado: 25 de junio de 2015. En: <http://www.fao.org/docrep/x5375s/x5375s02.htm>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2011. *Situación de los bosques del mundo 2011*. Roma, Italia. 176 p.
- Fernández, I., N. Morales, L. Olivares, J. Salvatierra, M. Gómez, G. Montenegro. 2010. *Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Fundación ECOMABI. Santiago, Chile. 162 p.
- Gómez S, V. 2004. *Cubiertas forestales y respuesta microclimática*. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, Fuera de Serie, 84-100.
- Gobierno del Jalisco. 2006. *Ordenamiento ecológico territorial del estado de Jalisco*. Secretaría del Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable. Guadalajara, Jalisco, México. Consultado: 09-07-2015. En: http://siga.jalisco.gob.mx/moet/assets/pdf/Acuerdo_MOETJ_27-07-2006.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. *Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático*. OMM-PNUMA. Documento técnico I del IPCC 92 p. Consultado: 25-01-2015. En: <https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/paper-I-sp.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. *Summary for policymakers*. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, N. Y., USA. pp. 1-32.
- Kiehl, J. T. and K. E. Trenberth. 1997. *Global average energy budget of the earth*. En: IPCC, R. T. Watson, M. C. Zinyowera y R. H. Moss (Eds). Cambridge University Press, UK. 517 p.
- Kustas, W. P. y J. M. Norman. 2000. *A two-source energy balance approach using directional radiometric temperature observations for sparse canopy covered surfaces*. *Agronomy Journal* 23:77-84.
- Liang, S. 2000. *Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms*. *Remote Sensing of Environment* 76: 213 – 238.

- Liang, S., H. Fang, J. T. Morisette, M. Chen, CH. J. Shuey, CH. L. Walthall, and C. S. T. Daughtry. 2002. *Atmospheric correction of Landsat ETM+ land surface imagery. II. Validation and applications*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40(12): 2736 – 2746.
- Lockwood, J. G. 1974. *World Climatology: An Environmental Approach*. Ed. Edward Arnold. London, England. 330 p.
- Magaña, V., C. Conde, Ó. Sánchez y C. Gay. 2000. *Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México*. En: Gay García Carlos (Comp.). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. México, D. F. pp. 9-26.
- Martín, R. M. 2008. *Deforestación, cambio de uso de la tierra y REDD*. En: *Uso de la tierra: Unasylva* 230 (59): 3-11
- Masera, O. R., M. J. Ordoñez y R. Dirzo. 1997. *Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios*. Climatic Change 35: 265-295.
- O'Halloran, T. L., B. E. Law, M. L. Goulden, Z. Wang , J. G. Barr , C. Schaaf , M. Brown, J. D. Fuentes, M. Göckede, A. Black y V. Engel. 2011. *Radiative forcing of natural forest disturbances*. Global Change Biology 18(2):555-565.
- Pelkowski, J. 2007. *El albedo terrestre*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias 31(121):499-520.
- Ponce, V. M., O. R. García C. y S. Ercan. 2001. *Posible cambio climático debido a la explotación de agua subterránea en el Valle de Ojos Negros, Baja California*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía 44: 6-17.
- Promis, A., J. Caldentey y M. Ibarra. 2010. *Microclima en el interior de un bosque de Nothofagus pumilio y el efecto de una corta de regeneración*. Bosque 31(2): 129-139.
- Reca, J., J. L. Medina, E. Camacho, R. López y J. Roldán. 1999. *Aplicación de las técnicas de teledetección y SIG a la determinación y análisis de mapas de evapotranspiración*. Ingeniería del Agua 6(1): 63-68.
- Reyes C., S. 2002. *Introducción a la meteorología*. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, Baja California, México. 468 p.
- Rodríguez J., R. M., Á. Benito C. y A. Portela L. 2004. *Meteorología y Climatología*. FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología). Consultado: 18/03/2014. En: <http://cab.inta-csic>.

es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf

- Rosales M., Sergio. 2013. Informe anual del proyecto “Efecto de la deforestación sobre el cambio climático local en bosques de coníferas”. Financiado con recursos fiscales 2013. México, D. F. Investigador del Campo Experimental Valle de Guadiana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias. (Comunicación Personal).
- Said I., G., G. P. Zárate de L. 1988. *Métodos Estadísticos: Un Enfoque Interdisciplinario*. Editorial Trillas. Tercera reimpresión. México, D. F. 643 p.
- Sánchez, M. y E. Chuvieco, 2000. *Estimación de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET₀, a partir de imágenes NOAA-AVHRR*. Revista de Teledetección. 14:11-21.
- Sánchez M., M. 2002. *Modelos y aproximaciones para la estimación de la evapotranspiración con información satelital*. Revista de Geografía Norte Grande 29:107-120.
- Santamaria A., J. 2010. *Forzamiento radiativo y cambio químico en la atmósfera*. Revista Real Academia de Ciencias Exactas, Física y Naturales 104 (1): 149-173.
- Santos R., C., I. J. Lorite, R. G. Allen, M. Tasumi, P. Gavilan Z. y E. Fereres C. 2008. *Mejora de la gestión de los recursos hídricos por medio de la integración de técnicas de teledetección y modelos de simulación*. Accésit del IX Premio Unicaja de Investigación Agraria. Edición Analistas Económicos de Andalucía. Málaga, España. 75 p.
- Segura G. 1992. *Deforestación y cambio climático*. En: Memorias de la Reunión Anual del Programa Universitario de Medio Ambiente. Vol. 1, Área: Cambio Global, Sección 36. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 21 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2014. *Gaceta Ecológica*. Dirección de Impacto y Riesgo Ambiental. México, D. F. 046/14. 7 p.
- Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). 2015. SPSS para Windows versión 11.5. Chicago: SPSS Inc. Consultado: 03 de junio de 2015. En: <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/>
- U. S. Geological Survey. 2014. *LandsatLook Viewer*. Consultado: 26 de noviembre de 2013. En: <http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html>.
- Villers, R., L. y I. Trejo, V. 2000. *El cambio climático y la vegetación en México*. En: Gay García C. (Comp.). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies

Program. México. pp. 57-72.

Tejeda, M. A. y V. L. Rodríguez. 2007. *Estado de la investigación de los aspectos físicos del cambio climático de México*. Investigaciones Geográficas 62:31-43.

Zhang, Y., W. B. Rossow and P. W. Stackhouse. 2007. *Comparison of different global information sources used in surface radiative flux calculation: Radiative properties of the surface*. Journal of Geophysical Research 112:1-20.

Cita

Pérez Miranda, R., A. González Hernández, F. Moreno Sánchez y V. J. Arriola Padilla. 2015. *Efecto de la deforestación sobre el albedo en bosques de coníferas de México*. Áreas Naturales Protegidas Scripta. Vol. I (2): 33-50. DOI:10.18242/ANPScripta.2015.01.01.02.0002

Sometido: 31 de julio de 2014

Revisado: 27 de agosto de 2014

Aceptado: 4 de octubre de 2014

Editor asociado: Dr. Joaquín Sosa Ramírez

Idioma Inglés Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández