

CARACTERIZACIÓN DE ZONAS AFECTADAS POR EL AGENTE CAUSAL DE LA CAIDA FOLIAR DE PINO EN PUEBLA, MÉXICO

CHARACTERIZATION OF ZONES AFFECTED BY THE CAUSAL AGENT OF PINE LITTER FALL IN PUEBLA, MEXICO

Pichardo-Segura, L.A.¹; Pérez-Miranda, R.^{1*}; Ramírez-Huerta, L.¹; Arriola-Padilla, V.J.¹; Ramírez-García, A.G.²

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Ave. Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina, Coyoacán, Cd. de México. C. P.: 04010. ²Centro Regional Universitario del Noroeste, Universidad Autónoma Chapingo. Calle Colima 163 Norte, Ciudad Obregón, Sonora, México. C.P. 85000.

*Autor de correspondencia: perez.ramiro@inifap.gob.mx

RESUMEN

Puebla es un estado biodiverso ubicado en la parte central de México, se caracteriza por tener una amplia heterogeneidad de altitudes con extensa diversidad de climas y tipos de vegetación, predominando los bosques de coníferas y encino. Durante 2011 se detectaron defoliaciones en diferentes especies de pino en la región de la Sierra Norte de Puebla, por lo que se determinaron las características que presentan los sitios afectados por la caída foliar del pino con la finalidad de contribuir a la toma de decisiones en los planes de manejo. Asimismo, se caracterizaron las condiciones climáticas de los sitios afectados del 2011 al 2014, determinando que los sitios con exposición al sur, con pendientes de entre 24% y 87%, distribución altitudinal entre 1969 y 2835 m fueron los de mayor afectación, registrando a *Pinus pseudostrabus* con la de mayor caída de hojas.

Palabras clave: bosque templado, coníferas, defoliación, *Lophodermium* spp.

ABSTRACT

Puebla is a biodiverse state located in the central part of México, characterized by having broad heterogeneity of altitudes with extensive diversity in climates and types of vegetation, with predominance of conifer and red oak forests. During 2011, defoliations were detected in different pine species in the Sierra Norte region of Puebla, so that the characteristics presented by the sites affected by the pine litter fall were defined with the purpose of contributing to decision making in management plans. Likewise, the climate conditions of the sites affected from 2011 to 2014 were characterized, finding that the sites facing south, with slopes of between 24 % and 87 %, altitudinal distribution between 1969 and 2835 m, were the ones with greatest affectation, finding *Pinus pseudostrabus* as the species with highest litter fall.

Keywords: temperate forest, conifers, defoliation, *Lophodermium* spp.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 8, agosto. 2017. pp: 35-41.

Recibido: agosto, 2016. **Aceptado:** abril, 2017.



INTRODUCCIÓN

En Puebla

los bosques de pinos presentan daños debido a una gran variedad de factores bióticos, abióticos y antrópicos (Cibrián *et al.*, 2007; Conabio, 2011; Ruiz *et al.*, 1998). El principal problema biótico es el ataque por escarabajos descortezadores que son capaces de matar incluso árboles sanos (Cibrián *et al.*, 1995), seguido de las plantas parásitas, de las cuales las especies de mayor importancia son: *Arceuthobium globosum* Hawksw & Wiens subsp. *grandicaule*, *A. nigrum* Hawksw & Wiens y *A. vaginatum* (Willd) Presl. subsp. *vaginatum* (Cibrián, 2011; Hernández *et al.*, 1992). De acuerdo con Conafor, 2015, los hongos de los géneros *Lophodermium* spp., *Dothistroma* spp. y *Botryosphaeria* spp. son los causantes principales de la caída foliar del pino y su distribución abarca 18 municipios del estado de Puebla, México. A partir del año 2011 se empezó a manifestar un factor que originaba la caída foliar en los bosques de pino en la parte norte de estado en los municipios de Zautla y Xochiapulco. En el 2014 a la fecha se observaron fuertes defoliaciones sobre *Pinus patula*, *P. pseudostrobus*, *P. oaxacana*, *P. teocote*, *P. leiophylla* y *P. montezumae* y en menor grado *P. greggii* y *P. ayacahuite* en aproximadamente 14 municipios entre los que destacan: Zacatlán, Tetela de Ocampo, Aquixtla, Zautla, Xochiapulco y Zacapoaxtla pertenecientes al estado de Puebla (Carrillo com. pers.³). Durante 2015 se detectaron alrededor de 3,000 ha, por lo que se estima que de no atender este problema podría extenderse a diferentes estados de la república mexicana. De acuerdo con los signos y síntomas observados durante diversos recorridos se ha determinado la presencia de micromicetos del género *Lophodermium* sp. (Rhytismatales: Rhytismataceae), *Pestalotiopsis* spp. (Melaconiales: Melaconiaceae), y *Coleosporium* sp. (Uredinales: Coleosporiaceae) (Arriola *et al.*, 2015) e insectos del género *Ocoaxo*

sp. (Hemiptera: Cercopidae) (Cibrián com. pers.4). La evolución de la enfermedad que presentan los árboles de coníferas infectados inician con la presencia de manchas cloróticas en las agujas, en estado avanzado el color de las hojas se vuelve café-rojizo con pequeñas manchas de color negro y en estado avanzado del daño el pino sufre defoliación en diferentes niveles (Conafor, 2015). Por lo anterior, se realizó la caracterización física, dasométrica y climática de las áreas afectadas por el secamiento de las acículas y caída foliar de pino en la Región de la Sierra Norte de Puebla, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó el estudio en la Sierra Norte de Puebla (19° 30' 00" a 20° 20' 00" L. N. y 97° 32' 00" a 98° 20' 00" L. O.) (Figura 1). La topografía varía de 200 a 3400 m (Conabio, 1998). El clima predominante en la parte alta son los templados: C_(w1), C_(w2), C(m)(f), C_(w0), y en la parte baja semi cálidos: C(f), A(f), Am(f) (García-Conabio, 1998). Las precipitaciones varían desde 500 mm en la parte altas hasta 1500 mm en las bajas, predominando en promedio 700 mm (Conabio, 2015). En la región se originan los ríos tributarios del Tecolutla, Cazones y Tuxpan (Maderey *et al.*, 1990). Los suelos que se desarrollan son Luvisoles, Litosol, Feozems, Andosoles, Cambisoles, Regosoles, Nitosoles (Inifap-Conabio, 1995). El tipo de vegetación que se desarrolla son los bosques de tipo templado: pino (*Pinus* spp.), encino (*Quercus* spp.), mixto, táscate (*Juniperus* spp.), mesófilo de montaña, principalmente (INEGI, 2013).

Durante noviembre y diciembre de 2015 se realizaron recorridos en zonas afectadas para localizar los pinares con señales visibles de secamiento y caída foliar. Se eligieron cinco rodales al azar distribuidos en diferentes municipios; en cada uno se trazó una circunferencia con un radio

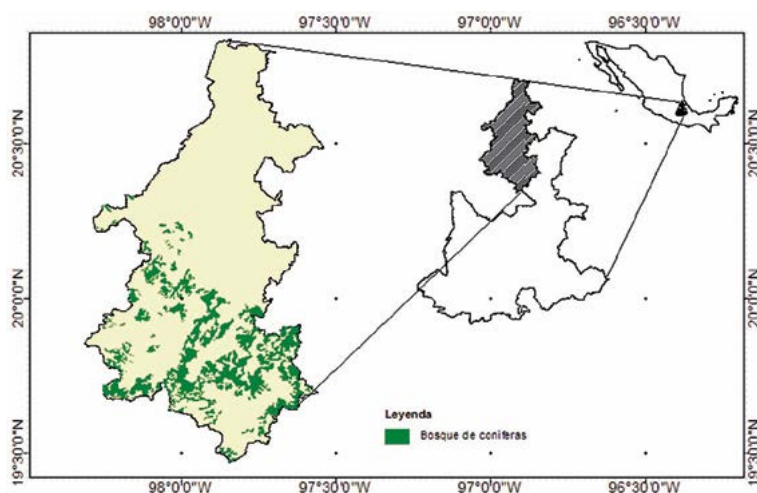


Figura 1. Localización del área de estudio: Región Sierra Norte de Puebla, México.

³ Juan Carlos Carrillo Fonseca. Analista técnico de sanidad. Gerencia Estatal de Puebla.

⁴ Dr. David Cibrián Tovar. Profesor-Investigador en Fitosanidad de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

de 11.28 m (400 m² de superficie) para delimitar los sitios de monitoreo. Posteriormente, se marcaron dos sitios adicionales sobre un transecto con rumbo fijo variable y con una distancia de 100 m entre sí a partir del centro (Figura 2 y Cuadro 1). Se realizó el levantamiento ecológico y dasométrico de cada sitio, donde se registraron los siguientes datos: coordenadas geográficas, tipo de vegetación, pendiente, exposición, altitud y estado fitosanitario del arbolado; diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura.

Caracterización Climática

Se utilizaron bases de datos de 2011 a 2014 de estaciones meteorológicas automatizadas cercanas al área de estudio, de los estados de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y Veracruz, proporcionadas por el Sistema Meteorológico Nacional y la Comisión Nacional del Agua. Posteriormente se depuraron y analizaron para procesarlas en valores de temperatura promedio, máxima y mínima, precipitación acumulada y humedad relativa promedio, a nivel anual. Los valores se procesaron en el software ArcMap 10.3™ con el sistema de coordenadas UTM y Datum WGS84; y con ello se efectuó la interpolación de los datos en formato raster. El método de interpolación utilizado fue el IDW recomendado por Kravchenko (2003) para bases de datos pequeñas en donde los parámetros del variograma no son conocidos, cuando la distancia de muestreo es muy grande e incluso para cuando la distancia de muestreo es mayor al rango de correlación espacial.



Figura 2. Ejemplo de transecto del muestreo del área afectada por el secamiento de las acículas y caída foliar de pino en Ayocuantla en Aquixtla, Puebla, México.

Extracción de valores climáticas

Los valores climáticos del área de estudio se extrajeron con el módulo Extract by mask del SIG ArcMap 10.3™. El polígono empleado se generó del buffer de 150 m del transecto de muestreo (200 m) de cada sitio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El bosque de pino-encino (*Pinus spp.* y *Quercus spp.*) predominó, ya que este tipo de vegetación estuvo presente en las cinco áreas afectadas por el agente causal

de la caída foliar del pino. La exposición predominante fue la sur. En San Miguel Tenango, municipio de Zacatlán, la topografía es muy abrupta, presenta declives de 48% a 85% con una variación altitudinal entre 1923 y 1969 m. En dos sitios dominó el bosque de pino y en el tercero el de pino-encino. La exposición de las áreas experimentales fue sur. En Rancho Alegre, municipio de Tetela de Ocampo, se registró asociaciones de pino-encino-*Alnus spp.*-madroño (*Arbutus sp.*) en una parcela, y en las restantes solo pino-encino. La altitud varía de los 2160 a 2328 m. La pendiente fue de 65.90%

a 79% y con exposición sur. En Ayocuantla, municipio de Aquixtla, el tipo de vegetación observada fue de encino-pino en dos sitios en los cuales la exposición fue suroeste, y en el tercero, dominó el pino-encino con exposición sur. La pendiente varía de 36.1% a 65% y la topografía tuvo un rango de 2380 a 2445 m. En Almeya, municipio de Ixtacamaxtitlán la exposición se presentó hacia el sur y el oeste con una pendiente de 24.5% y 33%.

Cuadro 1. Ubicación de los sitios de estudio en el estado de Puebla, México.

Rodal	Localidad	Municipio	Latitud	Longitud
1	San Miguel Tenango	Zacatlán	19° 54' 11.3160"	97° 55' 51.6720"
2	Rancho Alegre	Tetela de Ocampo	19° 50' 32.2560"	97° 51' 29.2440"
3	Ayocuantla	Aquixtla	19° 46' 07.3560"	97° 52' 38.6640"
4	Almeya	Ixtacamaxtitlán	19° 42' 53.0400"	97° 52' 37.3380"
5	Buenavista	Zautla	19° 44' 00.2584"	97° 44' 22.1219"



Cuadro 2. Características físicas de las áreas evaluadas en Puebla, México.

Sitio	Localidad	Municipio	Pendiente (%)	Tipo de Vegetación	Altitud (m)	Exposición
1	San Miguel Tenango	Zacatlán	60.30	Pino	1969	Sur
1.2	San Miguel Tenango	Zacatlán	48.20	Pino-Encino	1966	Sur
1.3	San Miguel Tenango	Zacatlán	87.00	Pino	1923	Sur
2	Rancho Alegre	Tetela de Ocampo	65.90	Pino-Encino	2328	Sur
2.2	Rancho Alegre	Ocampo Tetela	79.00	Pino-Encino	2210	Sur
2.2	Rancho Alegre	Ocampo Tetela	79.00	Pino-Encino	2110	Sur
2.3	Rancho Alegre	Tetela de	77.00	Pino-Encino-Alnus- Madroño	2160	Sur
3	Ayocuantla	Aquixtla	36.10	Pino-Encino	2445	Oeste
3.2	Ayocuantla	Aquixtla	40.00	Encino-Pino	2397	Suroeste
3.3	Ayocuantla	Aquixtla	65.00	Encino-Pino	2380	Suroeste
4	Almeya	Ixtacamaxitlán	24.50	Pino	2835	Oeste
4.2	Almeya	Ixtacamaxitlán	33.00	Pino-Enebro	2796	Oeste
4.3	Almeya	Ixtacamaxitlán	33.00	Pino-Enebro-Encino	2782	Sur
5	Buenavista	Zautla	72.00	Pino	2457	Oeste
5.2	Buenavista	Zautla	60.00	Pino- Encino	2405	Norte

La altitud oscilo entre 2782 a 2835 m, y la vegetación que se presentó en los sitios fue la de pino enebro-encino, pino y pino-enebro (*Juniperus spp.*). En Buenavista que pertenece al municipio de Zautla, solo se realizó el levantamiento de dos sitios experimentales debido a que en el tercero no contó con árboles de pino. Las altitudes de las parcelas consideradas fueron de 2405 y 2457 m, con pendientes de 60% y 72% y el tipo de vegetación de las zonas fue pino-encino y pino con una exposición norte y oeste, respectivamente.

La especie de coníferas más abundante fue *Pinus pseudostrabus* Lindl. (Cuadro 3), y el rango altitudinal osciló entre 1923 y 2796 m, y el de la pendiente entre 24.50% y 87% de inclinación. En cuanto a la exposición, la más común se presentó hacia el Sur.

De los 253 pinos evaluados en el estudio, algunos alcanzan alturas de alrededor de 35 m, y el grado de infestación por el agente causal, fue: para Zacatlán y Tetela de Ocampo del 100 %; en Aquixtla e Ixtacamaxitlán de aproximadamente el 50 % y en Zautla del 12.24 %, y en

la mayoría de los árboles dañados se presentó del 50 % hasta el 100 % de amarillamiento del follaje. La densidad nos indica que en la localidad de Almeya es la que menos individuos por ha tuvo en comparación con la de Buenavista (Cuadro 4).

Caracterización climática

Precipitación

Se registró un aumento en la precipitación durante el periodo evaluado en los sitios monitoreados (Cuadro 5). Los valores varían hasta un poco más de 800 mm anuales. Los sitios con menos lluvia observados en los diferentes años se presentaron en el siguiente orden: en el 2011 fue en San Miguel Tenango, en 2012 Buena vista, en 2013 San Miguel Tenango y en 2014 Almeya. Por el contrario, con mayor precipitación fueron, en el 2011 en Almeya, en 2012 San Miguel Tenango, en 2013 y 2014 Buenavista.

Temperatura máxima

Con respecto a la temperatura máxima, se observa que hubo variación en los cuatro años; no obstante,

Cuadro 3. Especies de *Pinus spp.*, identificados en los sitios de monitoreo.

Especie	Sitios													
	1	1.2	1.3	2	2.2	2.3	3	3.2	3.3	4	4.2	4.3	5	5.2
<i>P. greggii</i>				x			x							
<i>P. montezumae</i>					x									
<i>P. teocote</i>										x	x			
<i>P. pseudostrabus</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Cuadro 4. Área basal, densidad y afectación por agente causal de pinos por localidad

Localidad	Municipio	Afectación por agente causal (%)	Total de árboles	Densidad (Número de individuos ha ⁻¹)	Área basal superficie (m ²)
San Miguel Tenango	Zacatlán	100.00	68	566.66	225.14
Rancho alegre	Tetela de Ocampo	100.00	53	441.66	253.21
Ayocuantla	Aquixtla	52.38	42	350.00	672.32
Almeya	Ixtacamaxitlán	51.22	41	341.66	919.43
Buenavista	Zautla	12.24	49	612.50	1501.88

Cuadro 5. Intervalos de precipitación anual en mm del periodo evaluado.

Localidad	2011	2012	2013	2014
San Miguel Tenango	429.0 - 432.2	411.5 - 412.1	476.8 - 479.3	1142.6 - 1147.9
Rancho Alegre	481.2 - 484.4	395.1 - 395.8	528.3 - 530.5	1184.0 - 1187.4
Ayocuantla	543.9 - 546.3	390.7 - 391.2	562.2 - 563.6	1117.1 - 1121.9
Almeya	597.4 - 600.4	364.2 - 364.6	592.2 - 593.7	1081.8 - 1086.1
Buenavista	578.2 - 581.3	310.2 - 310.7	593.1 - 594.8	1242.1 - 1247.8

la tendencia fue un incremento en el periodo evaluado (Cuadro 6), los valores variaron hasta un 1.0 °C. Los sitios con menos temperaturas máximas presentes observados en los diferentes años se registraron en el siguiente orden: en 2011 fue Almeya, en 2012 y 2013 Buenavista, y en 2014 Almeya. Por el contrario, con temperatura máximas mayores fueron, en 2011 en San Miguel Tenango, en 2012 Ayocuantla, en 2013 y 2014 San Miguel Tenango.

Temperatura mínima

Las temperaturas mínimas en los sitios de monitoreo en su mayoría no presentaron intervalos en los cuatro años (Cuadro 7), sin embargo, en un panorama amplio se observaron cambios en aumento hasta de 1.8 °C. Los sitios con menos temperaturas mínimas presentes observados en los diferentes años fue el siguiente: en el 2011 y 2013 fue en San Miguel Tenango, en 2012 fue Buenavista, y en 2014

Ayocuantla. Por el contrario, con temperatura mínimas mayores fueron: en el 2011 en Almeya, en 2012 Ayocuantla, San Miguel Tenango y Rancho Alegre, en 2013 Almeya y 2014 San Miguel Tenango.

Temperatura promedio

En relación a la temperatura promedio los sitios de monitoreo, al igual que la mínima, en su mayoría no presentaron intervalos en los cuatro años (Cuadro 8), en forma

Cuadro 6. Intervalos de temperatura máxima en centígrados del periodo evaluado.

Localidad	2011	2012	2013	2014
San Miguel Tenango	18.1	15.7	17.5	18.1
Rancho Alegre	17.8	15.7	17.2 - 17.3	17.9
Ayocuantla	17.4	15.8	17.1	17.4 - 17.5
Almeya	17.1	15.7	17	17.1
Buenavista	17.3	15.1	16.9	17.4 - 17.5

Cuadro 7. Intervalos de temperatura mínima en centígrados del periodo evaluado.

Localidad	2011	2012	2013	2014
San Miguel Tenango	9.2	9.9	9.3	11.0
Rancho Alegre	9.3	9.9	9.4 - 9.5	10.8 - 10.9
Ayocuantla	9.4	9.9	10.7	9.6
Almeya	9.5	9.7	9.8	10.7
Buenavista	9.4	9.4	9.5	10.6

general se observaron cambios en aumento hasta de 1.0 °C. Los sitios con menos temperaturas promedio presentes observados en los cuatro años se presentaron en el siguiente orden: en 2011 fue en Almeya, Buenavista y Ayocuantla, en 2012 y 2013 en Buenavista y en el 2014 Almeya. Por el contrario, con temperatura máxima promedio fue en el 2011 en San Miguel Tenango, en 2012 en Ayocuantla, San Miguel Tenango y Rancho Alegre, en 2013 en San Miguel Tenango y Rancho Alegre, y 2014 en San Miguel Tenango.

Humedad relativa

La humedad relativa en los sitios de monitoreo, en forma general en los cuatro años, se observó con aumentos de hasta 12.6% (Cuadro 9). Los sitios con valores menores de humedad relativa observados en el periodo evaluado se registraron en el siguiente orden: en 2011 fue San Miguel Tenango, en 2012 y 2013 en Almeya, y en 2014 en San Miguel Tenango. Por el contrario, la humedad relativa máxima presente fue: en el 2011 y 2012 en

Rancho Alegre, en 2013 y 2014 en Buenavista.

De manera general, las variables climáticas observadas mostraron variaciones al alza de los valores de precipitación, temperaturas y humedad relativa desde el año 2011 hasta el 2014. Ello indica que los cambios de las variables climáticas se han modificado durante el periodo analizado, lo cual existe la posibilidad que el agente o agentes causales, que ocasiona la caída foliar en arboles de coníferas se halla visto favorecido por el aumento de los valores de la variables climáticas; como lo indica González (2004) quien apunta que la humedad relativa, precipitación y temperatura, fueron variables que influyeron en el desarrollo y crecimiento del hongo de desecamiento, que ocasiona la caída foliar.

En forma particular, un factor importante que incide en el desarrollo del agente o agentes causales es el microclima. Ello se observó en la localidad de San Miguel Tenango y

Rancho Alegre, lugares con árboles que presentaron 100% de afectación, el cual la exposición sur pudo ser un factor que favoreció el desarrollo o crecimiento. Lo anterior concuerda con Raven *et al.* (1992) y Azcárate y Sánchez (2013) que indican que en el hemisferio norte las vertientes sur y oeste de las montañas son más secas que el norte y es debido a que las laderas septentrionales no reciben luz directa. Contrario a las vertientes meridionales, donde la radiación favorece un ambiente con menor humedad, lo cual beneficia a patógenos de la flora, como lo que sucede específicamente en la región evaluada. Más aun en los meses de la temporada de no lluvia, cuando los pinos se exponen mayormente a las plagas y enfermedades porque se crean mejores condiciones de propagación de los agentes causales de la caída foliar del pino, debido al estrés hídrico del arbolado y viento como medio de dispersión.

CONCLUSIONES

La afectación del pino se observó principalmente en

Cuadro 8 Intervalos de temperatura promedio en centígrados del periodo evaluado.

Localidad	2011	2012	2013	2014
San Miguel Tenango	14.0	12.9	13.9	14.7
Rancho Alegre	13.9	12.9	13.8 - 13.9	14.5
Ayocuantla	13.7 - 13.8	12.9	13.8	14.2
Almeya	13.7	12.6	13.8	14.1
Buenavista	13.7	12.2	13.7	14.2

Cuadro 9 Intervalos de humedad relativa anual en porcentaje del periodo evaluado.

Nombre del sitio	2011	2012	2013	2014
San Miguel Tenango	64.9	67.8	73.7 - 73.8	74.3 - 74.4
Rancho Alegre	65.9	67.9	74.3	75.4
Ayocuantla	65.2	67.2	73.2 - 73.3	74.8 - 74.9
Almeya	65.4 - 65.5	65.8 - 65.9	72.6 - 72.7	74.5 - 74.6
Buenavista	65.4	68.4	75.5 - 75.6	77.4 - 77.5

exposiciones sur a una altitud que oscila entre 1969 y 2782 m. Los valores de las variables climáticas observadas presentaron variaciones durante el periodo analizado, la precipitación, temperaturas y humedad relativa se incrementaron desde el año 2011 al 2014.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional Forestal por el financiamiento del proyecto "Determinación, distribución y control del agente causal denominado Caída Foliar del Pino en Puebla" (Anexo 02/2015). Al Sistema Meteorológico Nacional y a la Comisión Nacional del Agua por las facilidades de proporcionar las bases de datos de las estaciones meteorológicas localizadas en la región bajo estudio.

LITERATURA CONSULTADA

- Arriola P., V. J., A. R. Gijón H., R. Pérez M. y J. F. Reséndiz M. 2015. Determinación, distribución y control del agente causal denominado Caída Foliar del Pino en Puebla. Informe Final. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Comisión Nacional Forestal. Ciudad de México. 54 p.
- Azcárate-Luxán M. V., Sánchez J. S. 2013. Geografía de Europa. Editorial Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, España. 394 p.
- Cibrián T. D., Méndez M. J., T., Campos B. R., Tates I. H. O., Flores L. J. E. 1995. Insectos forestales de México/Forest Insects of Mexico. Chapingo, Universidad Autónoma de Chapingo/Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos/Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre/ United States Department of Agriculture Forest Service. Chapingo, Estados de México, México. 453 p.
- Cibrián T. D., Alvarado R. D., García D. S. E. (Eds.) 2007. Enfermedades forestales en México/Forest diseases in Mexico. Universidad Autónoma Chapingo; CONAFOR-SEMARNAT, México; Forest Service USDA, EUA; NRCAN Forest Service, Canadá y Comisión Forestal de America del Norte, COFAN, FAO. Chapingo, México. 587 p.
- Cibrián T. D. 2011. Insectos y patógenos que afectan a las áreas arboladas de Puebla. In: Amenazas a la biodiversidad. Yanes G. G. (Coord.). La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (Comp.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. pp: 285-309.
- CONABIO. 1998. Cobertura digital de curvas de nivel para la república mexicana. Escala 1:250000. Extraído del Modelo Digital del Terreno. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEG). México, D. F. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (febrero 2016).
- CONABIO. 2011. La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado. México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Puebla, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla. 440 p.
- CONABIO. 2015. Cobertura digital de precipitación anual en México (1910-2009). Escala: 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (febrero 2016).
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2015. Enfermedad de caída Foliar de los pinos. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales. CONAFOR. Desplegable. Zapopan, Jalisco, México. 2 p.
- García E.-CONABIO. 1998. Climas (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (enero 2016).
- González S. M. L. 2004. Caracterización del complejo de patógenas causales del tizón de la acícula del pino en la finca Saquichai, Cobán, Alta Verapaz. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos Guatemala, Guatemala. 42 p.
- Hernández C. L. V., Acosta-Pérez R., Galindo-Flores G. L. 1992. Los muérdagos enanos (*Arceuthobium* spp.) en bosques de pino del volcán La Malintzi, Estados de Tlaxcala y Puebla. Folleto Divulgativo No. 15. Jardín Botánico-Gobierno del Estado de Tlaxcala. Tlaxcala, México. 58 pp.
- INIFAP (Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias)-CONABIO. 1995. Edafología. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (enero 2016).
- INEGI. 2013. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión). Formato vectorial. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/usuarios/Default.aspx> (diciembre 2015).
- Kravchenko A. 2003. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. Soil Science Society of American Journal 67:1564-1571.
- Maderey R L. E., Torres-Ruata C. 1990. Hidrografía. Extraído de Hidrografía e hidrometría, IV.6.1 (A). Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1: 4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (noviembre 2015).
- Raven P. H., Eichhorn S. E., Evert R. F. 1992. Biología de las plantas. Tomo 2. Editorial Reverté S. A. Barcelona, España. 773 p.
- Ruiz J., Tamariz V., Calderón E., Ticante J. A., Cruz A. 1998. La desertificación en el Estado de Puebla. Elementos 32:51-55.