



Artículo / Article

Daños por factores abióticos y bióticos en bosques de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltld. et Cham.) de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca

Damages from abiotic and biotic factors in fir (*Abies religiosa* (Kunth) Schltld. et Cham.) forests of the Monarch Butterfly Biosphere Reserve

Víctor López-Gómez, Víctor Javier Arriola Padilla¹ y Ramiro Pérez Miranda¹

Resumen

El daño forestal es la reducción del vigor y supervivencia de los árboles debido a la presencia de plagas, enfermedades y a condiciones ambientales extremas. En los bosques de oyamel de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca (RBMM), los principales organismos que han causado su deterioro son los escarabajos descortezadores: *Scolytus mundus* y *Pseudohylesinus* spp. (Coleoptera: Curculionidae). El objetivo de este estudio fue determinar las relaciones entre el daño forestal y algunos componentes bióticos y abióticos en la RBMM en el estado de Michoacán, a partir de la acción de dichos insectos. Se consideraron cinco niveles progresivos de daño (0 = sin daño; 1 = resinación en el tronco; 2 = cambio de coloración del follaje; 3 = punta del árbol muerta y 4 = árbol muerto) en árboles de nueve sitios de la RBMM, de agosto de 2011 a agosto de 2013, con evaluaciones mensuales; además se registraron la temperatura, humedad, precipitación, altitud, exposición, pendiente, altura, cobertura media, edad, densidad y el diámetro a nivel del pecho de los árboles de cada sitio. No se identificó relación alguna entre el estado de salud del arbolado y las condiciones meteorológicas y fisiográficas, así como con las variables dasonómicas; lo cual evidencia su mínima influencia, y que, probablemente, existen otros factores de mayor relevancia; por ejemplo, las actividades humanas o las interacciones ecológicas con otros organismos.

Palabras clave: *Abies religiosa* (Kunth) Schltld. et Cham., humedad, plagas forestales, *Pseudohylesinus* spp., *Scolytus mundus* Wood, 1968, temperatura.

Abstract

Forest damage is the reduction of the vigor and survival of trees from biotic (pests and diseases) and abiotic (environmental extremes) factors. In the Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR) fir forests, *Scolytus mundus* and *Pseudohylesinus* spp. (both from Scolytidae) bark beetles are important pests which have caused deterioration. The goal was to determine relationships between forest damage with biotic and abiotic factors in the MBBR of Michoacán State, based on the damage caused by these bark beetles. Five progressive damage levels were monthly recorded (0 = no damage, 1 = trunk resin, 2 = foliage discoloration, 3 = dead tree tip and 4 = dead tree) from August 2011 to August 2013 in nine sites of the MBBR; also were recorded the weather conditions (temperature, humidity and precipitation), and physiographic (altitude, exposure and slope) and forestry characteristics (tree's high, foliage coverage, age, density and perimeter at the chest level) of each site. There were no relationships of the forest damage with the weather, physiographic and forestry conditions, which suggests that these factors have minimal influence on forest damage in the MBBR and probably other factors are more important, such as human activities or ecological interactions.

Key words: *Abies religiosa* (Kunth) Schltld. et Cham., humidity, forest pests, precipitation, *Pseudohylesinus* spp., *Scolytus mundus* Wood, 1968, temperature.

Fecha de recepción/date of receipt: 18 de noviembre de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 10 de octubre de 2014.

¹ Cenic-Comef, INIFAP. Correo-e: lopez.victor@inifap.gob.mx

Introducción

El deterioro o daño forestal es la reducción del vigor y de la supervivencia de los árboles debido a factores abióticos (condiciones ambientales extremas) y bióticos (presencia de plagas y enfermedades) (Ciesla, 2011).

Los daños en los árboles por elementos abióticos son considerables y pueden trascender en pérdidas económicas. Las condiciones atmosféricas con un mayor impacto sobre la salud de los árboles son la temperatura, la disponibilidad de agua, la velocidad del viento y la caída de rayos. Las que tienen más influencia en los bosques de zonas templadas son las bajas temperaturas y la escasez de agua (Alvarado *et al.*, 2007).

Las bajas temperaturas afectan principalmente a los procesos fisiológicos de los árboles (*i.e.*, fotosíntesis, la actividad enzimática, la absorción de minerales y la división y elongación celular), lo que conduce a decoloración, marchitamiento, la muerte de los tejidos jóvenes, así como a rajaduras en los troncos (Alvarado *et al.*, 2007).

La baja disponibilidad de agua puede perjudicar a los árboles de manera irreversible, ya que incide en sus funciones metabólicas y en la disponibilidad de los materiales disueltos, lo que también provoca decoloración y distorsión de las hojas (Alvarado *et al.*, 2007).

Los agentes bióticos se reducen a las enfermedades y las plagas. Las primeras incluyen hongos, bacterias, virus, nemátodos y plantas parásitas; mientras que de las segundas, los insectos son los que generalmente ocasionan los efectos negativos (Cibrián *et al.*, 1995).

En los bosques, la mayoría de los insectos residentes son poco abundantes; sin embargo, y bajo condiciones favorables, algunos aumentan su tamaño poblacional y causan importantes afectaciones en los árboles; a estos organismos se les denomina plagas (Ciesla, 2011). Los mecanismos involucrados en su surgimiento son complejos, por lo general, y dependen de factores denso-dependientes y denso-independientes. Estas relaciones son difíciles de identificar y es muy usual el desacuerdo entre los investigadores sobre el particular (Pretzsch, 2009).

En México se ha presentado una intensa degradación de los bosques debido a la influencia humana; entre las actividades más importantes están el cambio de uso de suelo, el sobrepastoreo, el avance de la mancha urbana y los incendios forestales, los últimos de los cuales, aunados a las plagas y enfermedades dañan la salud de las áreas boscosas (Cibrián y Cibrián, 2007).

La Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca (RBMM) es un área natural protegida que abarca parte de

Introduction

Forest deterioration or damage becomes evident as reduced vigor and survival of trees due to abiotic factors (presence of pests and diseases) (Ciesla, 2011).

Damage to trees by abiotic factors is significant and can transcend on economic losses. The atmospheric conditions that have a greatest impact on the health of the trees are temperature, water availability, wind speed and lightning and those that have the greatest influence on temperate forests in particular, are low temperatures and water scarcity (Alvarado *et al.*, 2007).

Low temperatures mainly affect the physiological processes of trees (*i.e.*, photosynthesis, enzyme activity, mineral absorption and cell division and elongation), leading to discoloration, wilting and death of the young tissues and to cracks in the logs (Alvarado *et al.*, 2007).

The low availability of water can harm the trees irreversibly, as it affects their metabolic functions and the availability of dissolved materials, which also causes discoloration and distortion of leaves (Alvarado *et al.*, 2007).

Biotic agents are reduced to diseases and pests. The former include fungi, bacteria, viruses, nematodes and parasitic plants; while from the second, insects are usually cause this negative effect (Cibrián *et al.*, 1995).

In forests, most resident insects are scarce; however, under favorable conditions, some increase their population size and cause significant damages on trees, thus becoming pests (Ciesla, 2011). The mechanisms involved in the emergence of pests are usually complex and depend on density-dependent and density-independent factors. These relationships are difficult to identify and disagreements in this regard are very usual among researchers (Pretzsch, 2009).

There has been a severe forest degradation in Mexico due to human influence; among the most important activities are land use change, overgrazing, the advance of the urban area and forest fires; the latter coupled to pests and diseases, damage the health of forests (Cibrián and Cibrián, 2007).

The Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR) is a protected natural area that displays over the states of Michoacán and State of Mexico. It is outstanding from the natural phenomenon of migration of the monarch butterfly (*Danaus plexippus* L., 1758), which travels from the territories in Canada and the United States. Therefore, this area is especially important in the national and international scope and has been considered as a World Heritage Site by UNESCO in 2008 from its high biological, cultural and economic value (INE, 1996).

los estados de Michoacán y del Estado de México. Sobresale por el fenómeno natural de la migración de la mariposa monarca (*Danaus plexippus* L., 1758), que viaja desde Canadá y Estados Unidos de América. Por lo tanto, la zona es de gran importancia nacional e internacional y fue destacada como Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO en 2008 por su alto valor biológico, cultural y económico (INE, 1996).

Derivado de lo anterior, la RBMM es un punto de atención por parte de organizaciones sociales, económicas y comunitarias, así como por grupos no gubernamentales, ambientalistas, académicos, medios de comunicación y ciudadanos en general. La mayor parte de la superficie arbolada de la RBMM está conformada por bosques de oyamel (*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham.) En la actualidad es necesario profundizar en el conocimiento sobre los elementos causantes del deterioro de los bosques de oyamel de la RBMM, pues con ello será posible fundamentar y definir estrategias para el control de plagas y enfermedades, a fin de promover la conservación de estos ecosistemas naturales.

Las principales plagas que han causado la declinación de los oyametales son los escarabajos descortezadores *Scolytus mundus* Wood, 1968 y *Pseudohylesinus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) (Garduño, 2011).

S. mundus lesiona al árbol hospedante desde su conformación hasta la producción de semillas, y puede mermar la regeneración de los rodales. Los bosques maduros o sobremaduros han exhibido las infestaciones más severas debido a su debilitamiento por incendios o sequías extremas (Cibrián *et al.*, 1995).

Se ha registrado que el ataque de *S. mundus* en los oyameles se presenta en las puntas, ramas o fuste, aunque la mayoría de las veces se observa en los nodos donde surgen las ramas), de manera individual o agregada (*i.e.*, cuando se suma la acción de otras especies de escarabajos). Esta última se caracteriza porque acelera la muerte de la parte dañada del árbol y frecuentemente se le reconoce en la punta, lo que da como resultado un cambio en la coloración del follaje hacia los tonos rojizos y café grisáceos.

Si las poblaciones de *S. mundus* permanecen altas, las generaciones subsecuentes pueden infestar y matar a las porciones inmediatas e inferiores del fuste, lo que provoca una muerte descendente en los oyameles (Cibrián *et al.*, 1995).

Por otro lado, *Pseudohylesinus* spp. (Scolytidae) reúnen varias generaciones superpuestas al año, cuyos individuos son de color gris y café. Sus principales árboles hospedantes corresponden a las especies *Abies religiosa* y *A. vejarii* Martínez. En México, *Pseudohylesinus variegatus* Blandford,

Due to the aforementioned, the MBBR is an area with attention demands from social, economic and community organizations and non-governmental groups, environmentalists, academics, media and the general public. Most of the wooded area of the MBBR is made up by forests fir (*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham.) At present it is important to go further into the knowledge about the factors that cause the deterioration of fir forests of MBBR, as this will inform and define strategies for the control of pests and diseases, in order to promote the conservation of these natural ecosystems.

The main pests that have caused the decline of fir forests are the bark beetles *Scolytus mundus* Wood, 1968 and *Pseudohylesinus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) (Garduño, 2011).

S. mundus injures the host tree from its formation until seed production, and may impair regeneration of stands. Mature or overmature forests have exhibited the most severe infestations due to their weakening by fire or extreme drought (Cibrián *et al.*, 1995).

It has been recorded that the attack of *S. mundus* in fir trees occurs at the tips, branches or stem, although most often it is seen in the nodes (where the branches emerge), individually or aggregated (*i.e.*, when the action of other species of beetles sum). The latter accelerates the death of the damaged part of the tree and is often recognized at the tip, which results in a change in the color of the foliage of the tree to the reddish and grayish brown.

If populations of *S. mundus* remain high, subsequent generations can infest and kill the immediate and lower portions of the stem, which causes dieback in firs (Cibrián *et al.*, 1995).

Furthermore, *Pseudohylesinus* spp. (Scolytidae) meet several overlapping generations per year, and are gray and brown color. Its main host trees are *Abies religiosa* and *A. vejarii* Martínez. In Mexico, *Pseudohylesinus variegatus* Blandford, 1897 is the most important species because of its negative effect on the trees (Figure 1B), which has been recorded in the states of Hidalgo, Estado de México, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala and Distrito Federal (Cibrián *et al.*, 1995).

P. variegatus can cause foliage changing to a reddish tone, and the death of its tips, parts of the trunk or of the whole specimen. The death of the tree is generally associated with the interaction of various bark beetles (Cibrián *et al.*, 1995). This Scolytidae can successfully infect healthy organisms and cause debarking of the trunk or the infected branch. They can kill overmature trees or those weakened by fire, pollution, extreme drought or injury. Also they can raise abundant populations in felled trees or abandoned logs, which encourages the infestation of neighboring plants (Cibrián *et al.*, 1995).

1897 es el taxon con mayor importancia por su efecto negativo en el arbolado (Figura 1B), se ha registrado en los estados de Hidalgo, Estado de México, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala y el Distrito Federal (Cibrián *et al.*, 1995).

P. variegatus puede causar el cambio del follaje a un tono rojizo, así como la muerte de sus puntas, partes del tronco o del individuo. La muerte del árbol, generalmente, se asocia con la interacción de diversos escarabajos descortezadores (Cibrián *et al.*, 1995). Este escolítido infesta con éxito a organismos sanos y después ocasiona la caída de la corteza de la parte del tronco o la rama infectada; produce la muerte en arbolado sobremaduro, o bien de los individuos debilitados por incendios, contaminación del ambiente, sequía extrema o lesiones físicas. Además es posible que se desarrollen poblaciones muy abundantes en árboles derribados o trocería abandonada, lo cual fomenta que se infesten las plantas aledañas (Cibrián *et al.*, 1995)

Therefore, the objectives of this study were to determine the damage on fir forests of the Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR) caused by *Scolytus mundus* and *Pseudohylesinus* spp. bark beetles and the proportions of each. Also, to determine the relationships established between the level of damage and weather conditions (temperature, precipitation and humidity) as well as the influence of the physiographic characteristics (altitude, aspect and slope) and forestry (high, medium coverage, age, density and diameter at breast height [DBH] trees) on the damage of firs.

Materials and Methods

Study Area

The Monarch Butterfly Biosphere Reserve is distributed between 19°32'10" N and 100°15'32" W in *Ocampo*,



Fuente: a) Cindy M. López-Guzmán; b) Lidia Ramírez-Huerta.

Source: a) Cindy M. López-Guzmán; b) Lidia Ramírez-Huerta.

Figura 1. Escarabajos descortezadores (a) *Scolytus mundus* Wood, 1968 y (b) *Pseudohylesinus variegatus* Blandford, 1897.

Figure 1. Bark beetles (a) *Scolytus mundus* Wood, 1968 and (b) *Pseudohylesinus variegatus* Blandford, 1897.

Por lo anterior, los objetivos de este trabajo consistieron en determinar la afectación en los bosques de oyamel de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca (RBMM) a partir de los daños provocados por los escarabajos descortezadores *Scolytus mundus* y *Pseudohylesinus* spp. y las proporciones de cada una. Además de conocer las relaciones que se establecen entre el nivel de daño y las condiciones meteorológicas (la temperatura, la precipitación y la humedad) así como determina la influencia de las características fisiográficas (altitud, exposición y pendiente) y dasométricas (altura, cobertura media, edad, densidad y el diámetro a nivel del pecho [DAP] de los árboles) sobre la infestación de los descortezadores en los oyameles.

Anganguero, *Zitácuaro* and *Contepéc* municipalities in the state of Michoacán and *Donato Guerra*, *Villa de Allende* and *Temascalcingo* in the State of Mexico. The area of the reserve is 16 110 ha and is composed of five core areas (with a total area of 4 491 ha) and various buffers (11 619 ha). The core areas are *Sierra Chincua* (1 060 ha), *Sierra El Campanario* (900 ha), *Chivatí-Huacal* (940 ha), *Cerro Pelón* (1 344 ha) and *Cerro Altamirano* (244 ha) (INE, 1996).

The MBBR is identified with Sacred fir forests (*Abies religiosa*) although in a smaller amount there are other associations such as pine, oak forest, *Juniperus* secondary scrub, *Cupressus* forest; and mixed forests of *Abies-Pinus*, *Abies-Cupressus*, *Pinus-Abies* and

Materiales y Métodos

Área de estudio

La Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca se distribuye entre los 19°32'10"N y los 100°15'32"O en los municipios Ocampo, Angangueo, Zitácuaro y Contepec en el estado de Michoacán y Donato Guerra, Villa de Allende y Temascalcingo en el Estado de México. La superficie de la reserva es de 16 110 ha y está integrada por cinco zonas núcleo (con una superficie total de 4 491 ha) y varias zonas de amortiguamiento (con 11 619 ha). Las áreas núcleo son Sierra Chincua (1 060 ha), Sierra El Campanario (900 ha), Chivatí-Huacal (940 ha), Cerro Pelón (1 344 ha) y Cerro Altamirano (244 ha) (INE, 1996).

La RBMM se identifica con bosques de oyamel de *Abies religiosa*, aunque en menor proporción existen asociaciones como el bosque de pino, bosque de encino, matorral secundario de *Juniperus*, bosque de *Cupressus*; así como bosques mixtos de *Abies-Pinus*, *Abies-Cupressus*, *Pinus-Abies* y *Quercus-Pinus*. La fauna más notable es la mariposa monarca (*Danaus plexippus*), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus* Zimmermann, 1780) y el coyote (*Canis latrans* Say, 1823). El clima de la región es de tipo templado subhúmedo con lluvias en verano [(C_w)(w)(b'(i'))], la temperatura del mes más caliente es de 22 °C, con baja oscilación térmica, entre 5 y 7 °C (INE, 1996).

Toma de datos

Con la finalidad de registrar el nivel de daño en los árboles de oyamel en la RBMM, en julio de 2011 se establecieron nueve sitios de monitoreo. Para su selección se consideraron los siguientes criterios: 1) presencia de descortezadores (*Scolytus mundus* y *Pseudohylesinus* spp.) con base en registros de colecciones entomológicas (Colección Entomológica de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo y la Colección Nacional Entomológica Forestal "Biol. Raúl Muñoz Vélez" del Cenid Comef, INIFAP); 2) información proporcionada por parte de los prestadores de servicios técnicos profesionales, de las oficina de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) de la RBMM y de la Comisión Nacional Forestal (Conafor); y 3) a partir de recorridos de campo para detectar árboles afectados, como individuos muertos con follaje de color rojizo.

Cada sitio de monitoreo estuvo conformado por un conglomerado de cuatro parcelas circulares de 11.28 m de diámetro en las que se registró la pendiente a partir del procesamiento del Modelo de Elevación Digital (MED) con un tamaño de píxel de 30 x 30 m en el módulo SLOPE (INEGI, 2011); la altitud, se obtuvo extrayendo los valores del MED; ambos procesos se realizaron en el Sistema de Información Geográfica ARCGIS 10.2 (ESRI, 2013). La exposición se midió en grados azimutales.

Quercus-Pinus. The most notable fauna is the monarch butterfly (*Danaus plexippus*), white-tailed deer (*Odocoileus virginianus* Zimmermann, 1780) and coyotes (*Canis latrans* Say, 1823). The climate of the region is temperate humid with summer rains [(C_w)(w)(b'(i'))], the temperature of the warmest month is 22 °C, with low thermal oscillation between 5 and 7 °C (INE, 1996).

Data collection

In order to record the damage level of fir trees in the MBBR, in July 2011, nine monitoring sites were established; their selection was based upon the following criteria: 1) bark beetle (*Scolytus mundus* and *Pseudohylesinus* spp.) presence based on the records of entomological collections (Entomological Collection of the *División de Ciencias Forestales* of the *Universidad Autónoma Chapingo* and the "Biol. Raúl Muñoz Vélez" National Forest Entomological Collection of Cenid Comef, INIFAP); 2) information given by the providers of professional technical services, the office of the National Commission of Natural Protected Areas (Conanp) of the MBBR and the *Comisión Nacional Forestal* (Conafor); and 3) from field trips to detect affected trees, and dead individuals with reddish foliage.

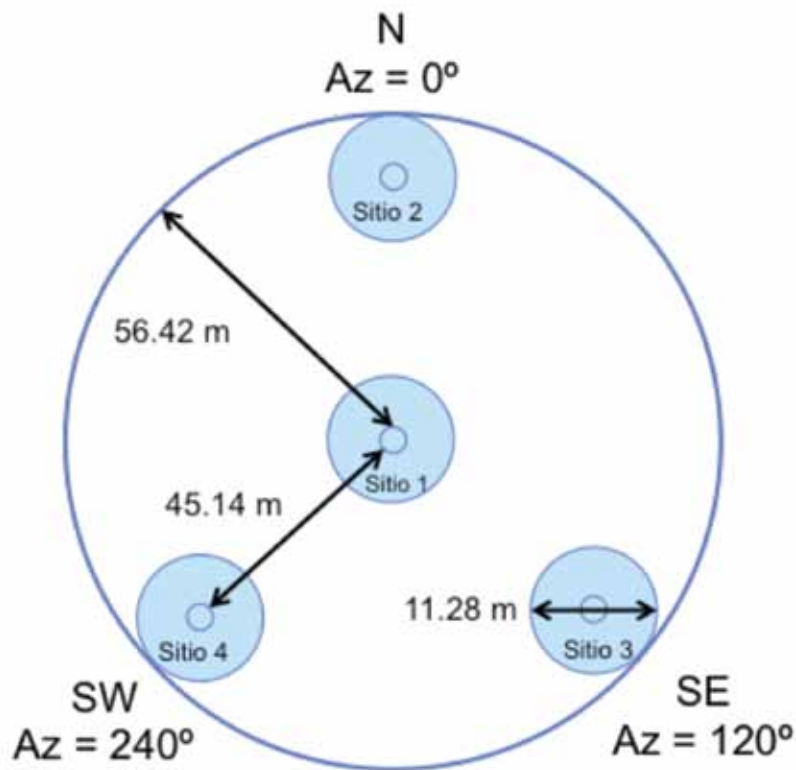
Each monitoring site consisted of a cluster of four circular plots of 11.28 m in diameter in which the slope was recorded from the Digital Elevation Model (MED, for its acronym in Spanish) with a 30 x 30 m pixel size in the SLOPE module (INEGI, 2011); altitude was determined by extracting the MED values; both processes were achieved in the Geographic Information System ARCGIS 10.2 (ESRI, 2013) and exposure or hillside was measured in azimuth degrees. Also, trees with diameter categories greater than 7.5 cm were labeled and its height was determined by a Haga altimeter (W-Germany), as well as canopy cover by a Surtek, CLX30 (30 m) flexometer, age with a 20" Presler borer and diameter at breast height (DBH) with a FO10106 (5m) Perforparts diametric tape. The spatial arrangement of plots located one at the center and the other three were directed towards the N, SE and SW, at a distance of such parcel of 45.14 m (Conafor, 2012) (Figure 2). At each site a Davis Vantage Vue weather station recorded temperature, relative humidity and precipitation was installed. The geographic coordinates were set out by a 60CSX Garmin GPS.

The damage on each tree was recorded monthly based on five progressive levels, that is, if the deterioration progressed or remained, despite the improvement showed by the tree in terms of its strength, it was considered that the problem did not decrease. The numerical assignment was based on symptoms and lesions caused on firs by *Scolytus mundus* and *Pseudohylesinus* spp. (Table 1), under the assumption that the damages are a reflection of the attack of these two species.



Se marcaron los árboles con categorías diamétricas mayores a 7.5 cm y se determinó su altura con una pistola Haga (W-Germany), la cobertura del dosel con un flexómetro Surtek, CLX30 (30 m), su edad con un taladro Presler (20") y el diámetro a nivel del pecho (DAP), con una cinta diamétrica Perfoparts, FO10106 (5m). La disposición espacial de las parcelas ubicó a una de ellas al centro y las otras tres hacia el N, SE y SO, a una distancia de dicha parcela de 45.14 m (Conafor, 2012) (Figura 2). En cada sitio se instaló una estación meteorológica Davis Vantage Vue que registró temperatura, humedad relativa y precipitación. Para obtener las coordenadas geográficas se utilizó un GPS (GARMIN, 60CSX).

Of the nine monitoring sites, six were fixed and three temporary. Fixed sites were those which were monitored from August 2011 to July 2013 (Table 2) and the temporary were monitored from August or September 2011 to April 2012 and that during that time the trees showed no remarkable changes in damage degrees. From that time the weather stations were installed in new sites where outbreaks of *Scolytus mundus* and *Pseudohylesinus* spp. were detected (Table 2).



Fuente: Conafor, 2012.

Source: Conafor, 2012.

Figura 2. Distribución de las cuatro parcelas que se establecieron en cada sitio de monitoreo en la RBMM.

Figure 2. Distribution of the four plots that were established in each monitoring site in the MBBR.

El daño sobre cada árbol se registró mensualmente con base en cinco niveles de manera progresiva, es decir que el deterioro avanzaba o se mantenía, y a pesar de que el árbol mostraba mejoría en su vigor, se consideró que el problema no disminuía. La asignación numérica se basó en los síntomas y lesiones que ocasionan *Scolytus mundus* y *Pseudohylesinus* spp. (Cuadro 1) en los oyameles, bajo el supuesto de que las afectaciones son el reflejo del ataque de estas dos especies.

Statistical analysis

To describe the changes in the levels of damage over time, the frequency distributions of the different categories of damage per site and by date of registration were developed. The records of temperature, relative humidity and precipitation were handled monthly; therefore, mean monthly temperature and humidity, and monthly rainfall of each monitoring site was calculated.

Cuadro 1. Categorías de nivel de daño asignado a cada árbol seleccionado con posible ataque de *Scolytus mundus* Wood, 1968 y *Pseudohylesinus* spp.

Nivel de daño	Síntoma
0	Sin daño, con follaje verde
1	Con resinación vieja o nueva en el fuste
2	Con cambio de coloración del follaje a un color rojizo u ocre de alguna rama o de gran parte del dosel
3	Con punta muerta
4	Árbol muerto

Table 1. Categories of level of damage assigned to each selected tree probably attacked by *Scolytus mundus* Wood, 1968 and *Pseudohylesinus* spp.

Degree of damage	Symptom
0	Without damage, with green foliage
1	With old or recent resin on the stem
2	With changes in the color of foliage towards a reddish to golden tone or of some branch or great part of the canopy
3	With a dead tip
4	Dead tree

De los nueve sitios de monitoreo, seis fueron fijos y tres temporales. Los primeros se monitorearon desde agosto de 2011 hasta julio de 2013 (Cuadro 2), y los segundos de agosto de 2011 a abril o septiembre de 2012, ya que durante ese tiempo los árboles no mostraron cambios notorios en los niveles de daño. A partir de esas fechas las estaciones meteorológicas se instalaron en nuevos sitios en los que se detectaron brotes de *S. mundus* y *Pseudohylesinus* spp. (Cuadro 2).

To determine the relationship between the meteorological parameters and forest damage of each monitoring site, Spearman nonparametric correlations and *t* tests of significance were conducted. To represent the central tendency of forest damage each date, the median of the records of the four plots was used. Statistical tests (Spearman correlation) and the parameter of central tendency (median) used are recommended when the response variable is of ordinal type in the experimental design (Siegel and Castellan, 1995; Zar, 2010). To perform these analyzes the R program was used with the "Hmisc" version 3.12-2, package (Harrel y Dupont, 2013).

To determine the influence of abiotic factors (altitude, slope and exposure) and biotic (height, coverage, age, density and DBH of trees) on the level of damage, Generalized Linear Models were performed. In these analyses, the median of forest damage from the last available record of each of the plots from each monitoring site was used. The R program was used with the "Rcmdr" package (version 1.6-3) (Fox *et al.*, 2010).



Cuadro 2. Características de los sitios de monitoreo fijos y temporales en la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca.
Table 2. Characteristics of the fixed and temporary monitoring sites in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR).

Sitio	Número de árboles	Permanencia del sitio	Coordenadas (UTM)	Altitud (m)	Municipio	Estado	Pendiente (°)	Tendencia de la exposición
Catingo	80	Fijo	-100.235 long., 19.631 lat.	3 270 a 3 304	San José del Rincón	Estado de México	14 a 20	N
Llano de Las Papas	72	Fijo	-100.264 long., 19.658 lat.	3 185 a 3 202	Ocampo	Michoacán	11 a 19	NW
El Mirador 1	46	Fijo	-100.289 long., 19.668 lat.	3 325 a 3 369	Ocampo	Michoacán	13 a 17	SE
El Potrero	47	Fijo	-100.283 long., 19.657 lat.	3 096 a 3 188	Ocampo	Michoacán	16 a 24	S
Walmart	53	Fijo	-100.282 long., 19.668 lat.	3 227 a 3 342	Ocampo	Michoacán	9 a 15	N
Zona Federal	71	Fijo	-100.280 long., 19.677 lat.	3 276 a 3 293	Ocampo	Michoacán	11 a 22	NE
El Asoleadero	94	Temporal	-100.259 long., 19.579 lat.	3 100	Ocampo	Michoacán	5 a 15	N
El Rosario	65	Temporal	-100.268 long., 19.594 lat.	3 200	Ocampo	Michoacán	15 a 35	S
La Presa	29	Temporal	-100.263 long., 19.646 lat.	3 000 a 3 100	Ocampo	Michoacán	15 a 35	NW
La Casa del Japonés	72	Temporal	-100.303 long., 19.679 lat.	3 235 a 3 267	Ocampo	Michoacán	15 a 19	NE
El Mirador 2	62	Temporal	-103.251 long., 19.371 lat.	3 340 a 3 467	Ocampo	Michoacán	18 a 26	SW
Bosque Jaras	37	Temporal	-100.16 long., 19.38 lat.	2 966 a 3 062	Angangueo	Michoacán	18 a 33	NW

Site= Sitio; Number of trees = Número de árboles; Permanence of the site = Permanencia del sitio; Coordinates = Coordenadas; Altitude = Altitud; Municipality = Municipio; State = Estado; Slope = Pendiente; Tendency of the exposure = Tendencia de la exposición.

Análisis estadístico

Para describir los cambios de los niveles de daño a lo largo del tiempo, se elaboraron las distribuciones de frecuencia de las diferentes categorías de daño por sitio y fecha de registro. Los datos de temperatura, humedad relativa y precipitación se manejaron a nivel mensual; por lo tanto, se calcularon la temperatura, la humedad media mensual y la precipitación mensual de cada sitio de monitoreo.

La relación entre los parámetros meteorológicos y el daño forestal en cada sitio se determinó mediante correlaciones no paramétricas de *Spearman* y sus pruebas de significancia de *t*. Para representar la tendencia central del daño forestal de cada fecha, se utilizó la mediana de los registros de las cuatro parcelas. Las pruebas estadísticas (correlaciones de *Spearman*) y el parámetro de tendencia central (mediana) utilizados son los recomendados cuando la variable de respuesta es de tipo ordinal en el diseño experimental (Siegel y Castellan, 1995; Zar, 2010). Los análisis



se hicieron con el programa R y la paquetería "Hmisc" Versión 3.12-2 (Harrel y Dupont, 2013).

La influencia de los factores abióticos (la altitud, la pendiente y la exposición) y bióticos (altura, cobertura, edad, densidad y DAP de los árboles) sobre el nivel de daño, se calculó a partir de Modelos Lineales Generalizados. En estos análisis se usó la mediana del daño forestal del último disponible en cada una de las parcelas establecidas en los sitios de monitoreo; para ello se empleó el programa R con la paquetería "Rcmdr" (versión 1.6-3) (Fox *et al.*, 2010).

Resultados

Proporción de los niveles de daño

En todos los sitios de monitoreo se observó que la categoría predominante fue 0 (follaje verde) al inicio de las evaluaciones; sin embargo, conforme avanzó el tiempo los síntomas subsecuentes aumentaron su frecuencia, hasta llegar a ser dominantes, excepto en La Presa y El Asoleadero (figuras 5a y 5c). Por ejemplo, al final del monitoreo en Catingo (Figuras 3a), El Mirador 1 (Figura 3c) y El Mirador 2 (Figura 6b), los árboles más abundantes fueron los que presentaron resinación.

Los sitios del Llano de Las Papas (Figura 3b), El Potrero (Figura 4a), Zona Federal (Figura 4c), El Rosario (Figura 5b) y El Bosque Jaras (Figura 6c) registraron una mayor frecuencia de individuos con cambios en la coloración de su follaje al final del monitoreo. En sitios como Walmart (Figura 4b) y Casa del Japonés (Figura 6a), los árboles con resinación y con cambios en la coloración de su follaje fueron los más abundantes en el último muestreo. Finalmente, la frecuencia total de árboles en El Asoleadero (Figura 5a) se dividió entre los ejemplares sanos, con resinación y con cambio en la coloración del follaje.

Relación del nivel de daño con respecto a la temperatura y humedad

Los análisis de correlaciones de Spearman mostraron que los niveles de daño no están relacionados significativamente con la temperatura, la humedad y la precipitación (Cuadro 3).



Results

Ratio of damage levels

In all the monitoring sites was observed that the prevailing category was 0 (green foliage) at the beginning of the records; however, as time went by, the frequency of the following symptoms increased until they became dominant, except for La Presa and Asoleadero (figures 5a and 5c). For example at the end of the monitoring in Catingo (Figures 3a), El Mirador 1 (Figure 3c) and El Mirador 2 (Figure 6b), the most abundant trees were those with resin.

In a similar way, at the sites of Llano de Las Papas (Figure 3b), El Potrero (Figure 4a), Federal zone (Figure 4c), El Rosario (Figure 5b) and El Bosque Jaras (Figure 6c) recorded higher frequency of trees with discoloration of foliage at the end of monitoring. In places like Walmart (Figure 4b) and Casa del Japonés (Figure 6a) trees with production of resin and discoloration of foliage were the most abundant in the last record. Finally, the total frequency of trees in the Asoleadero (Figure 5a) was divided between healthy trees with production of resin and change in color of the foliage.

Damage level ratio with respect to temperature and humidity

The Spearman correlation analysis showed that damage levels are not significantly related to temperature, humidity and precipitation at the monitoring sites (Table 3).

Influence of the physiographic and mensuration characteristics over the damage level

The Generalized Linear Models pointed out that the level of damage (the last record of each site), did not depend on physiography (altitude, exposure and slope) or the characteristics of the fir trees (height, average cover, age, density and the diameter at breast height [DBH] of trees) of the monitoring sites (Table 4).



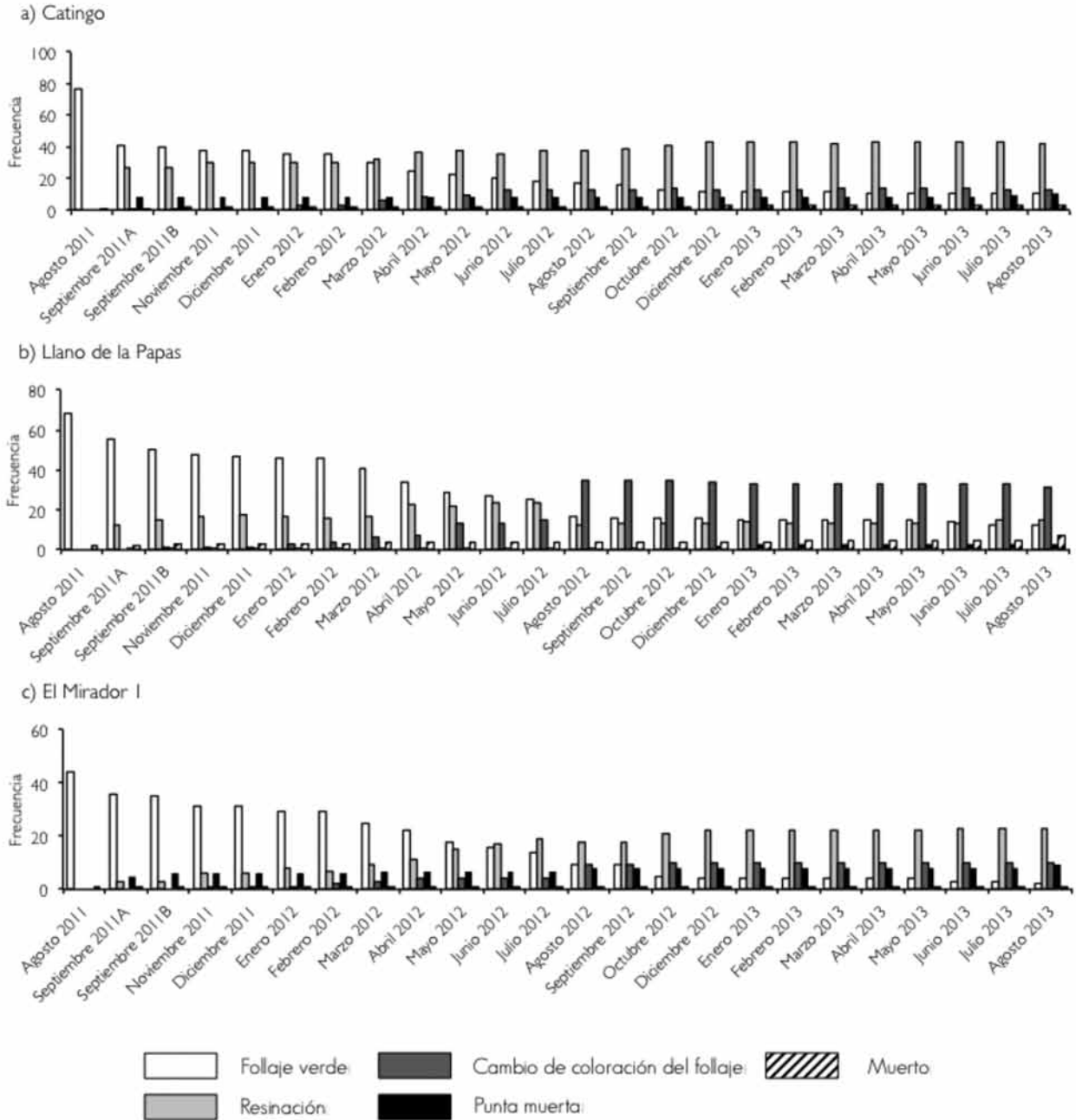


Figura 3. Frecuencias de las diferentes categorías de daño forestal en los sitios de monitoreo fijos en la RBMM (agosto del 2011 a julio de 2013).

Figure 3. Frequencies of the different forest damage categories in the fixed monitoring sites of MBBR (August 2011 to July 2013).



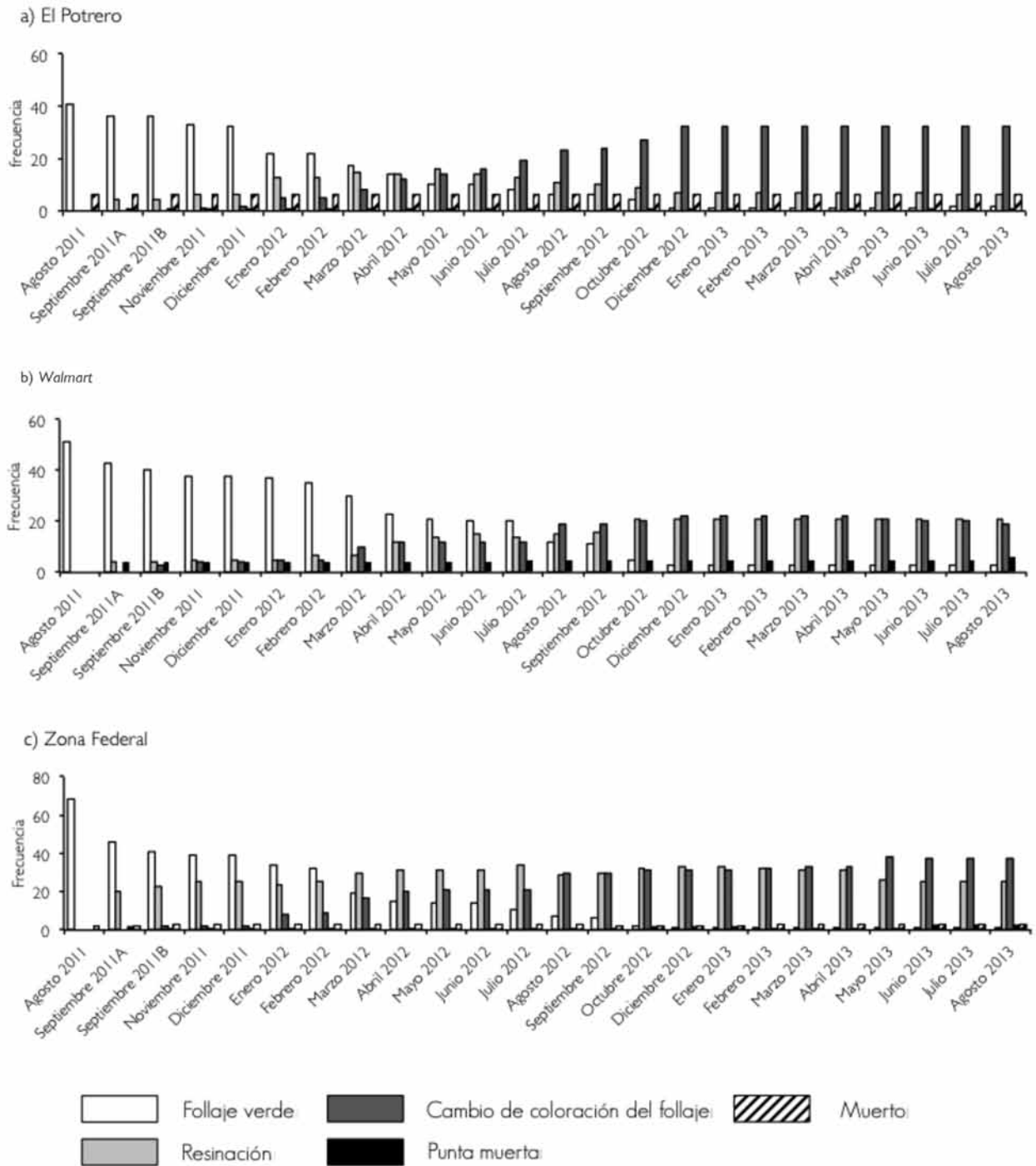


Figura 4. Número de árboles de las diferentes categorías de daño forestal en los sitios de monitoreo fijos en la RBMM (agosto del 2011 a julio de 2013).

Figure 4. Number of trees of the different forest damage categories in the fixed monitoring sites of MBBR (August 2011 to July 2013).

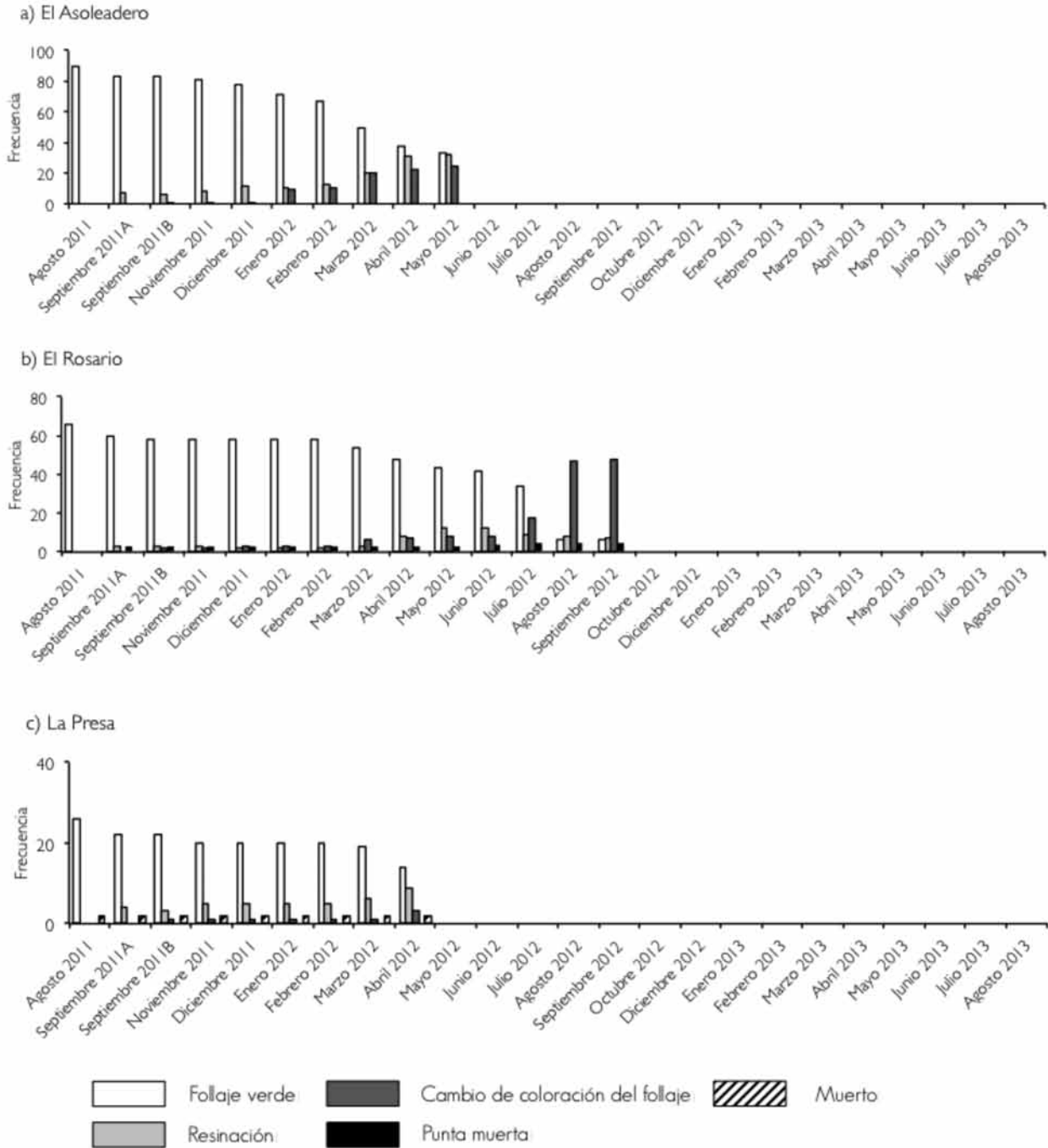


Figura 5. Abundancia de oyameles de las diferentes categorías de daño forestal en los sitios de monitoreo temporales.
 Figure 5. Fir abundance of the different forest damage categories in the temporary monitoring sites.



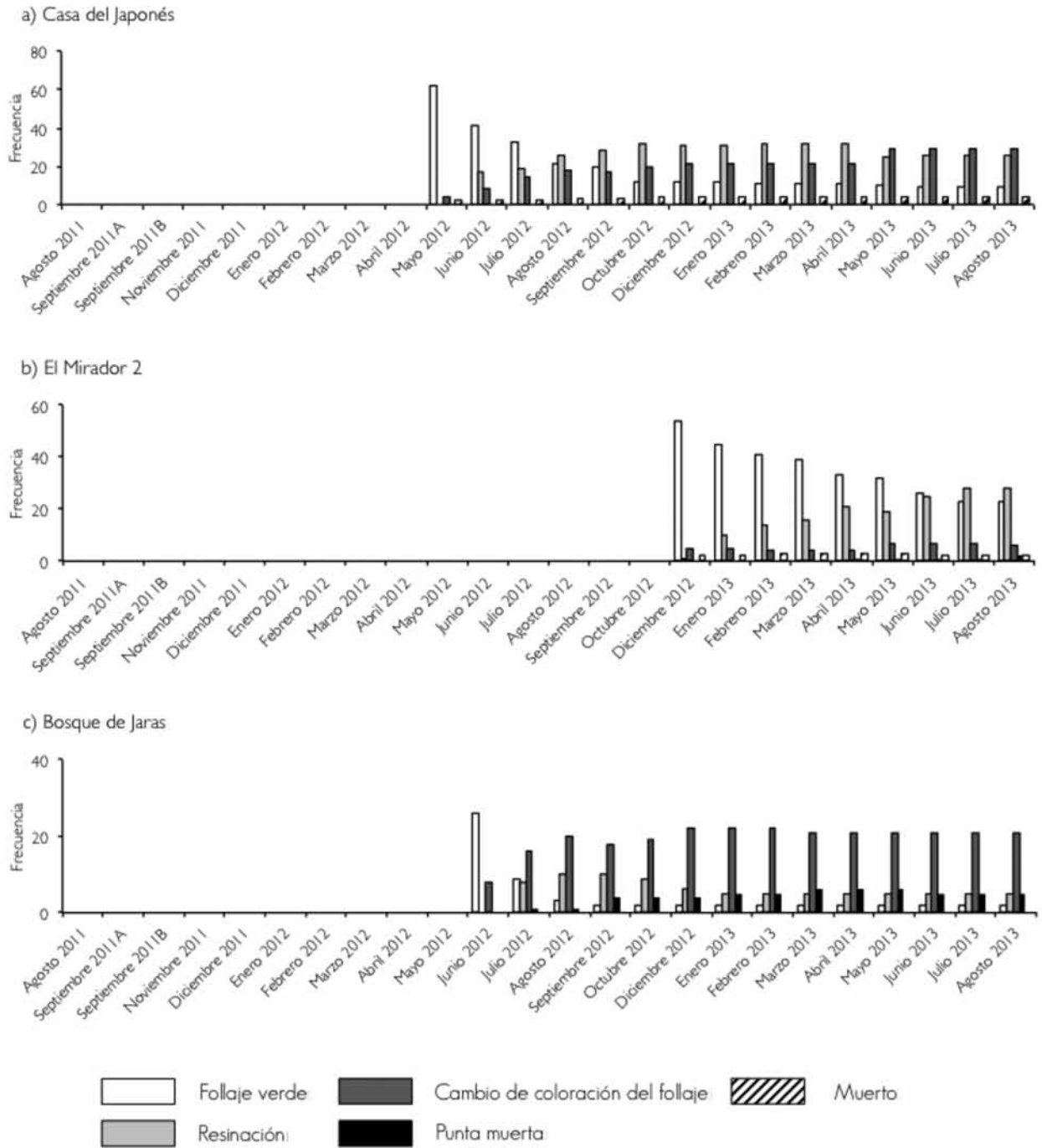


Figura 6. Cantidad de árboles registrados de las diferentes categorías de daño forestal en los sitios de monitoreo temporales.
 Figure 6. Amount of trees recorded in the different forest damage categories in the temporary monitoring sites.



Influencia de las características fisiográficas y dasométricas sobre el nivel de daño

Los Modelos Lineales Generalizados señalaron que el nivel de daño (del último registro de cada sitio) no dependió de la fisiografía (altitud, exposición y pendiente) o las características de los oyameles (altura, cobertura media, edad, densidad y el diámetro a nivel del pecho [DAP]) de los sitios de monitoreo (Cuadro 4).

Cuadro 3. Resultados de los análisis de correlaciones de Spearman para determinar la relación de las medianas de los niveles de daño con tres parámetros climatológicos en la RBMM.

Parámetro	r_s	t	P
Temperatura media mensual	0.06	0.86	0.38
Humedad media mensual	0.01	0.14	0.88
Precipitación mensual	0.09	1.30	0.19

r_s =Coeficiente de correlación de Spearman; t = Valor de la prueba de significancia de t ; P = Nivel de significancia; gl = 207.

Table 3. Results of the analysis of Spearman correlations to determine the relation of the medians of the levels of damage with three climatological parameters in the MBBR.

Parameter	r_s	t	P
Monthly mean temperature	0.06	0.86	0.38
Monthly mean humidity	0.01	0.14	0.88
Mean precipitation	0.09	1.30	0.19

r_s = Spearman correlation coefficient; t = value of t significance test; P = level of significance; gl = 207.



Cuadro 4. Resultados de los Modelos Lineales Generalizados que prueba la influencia de factores abióticos y bióticos sobre la mediana del nivel de daño (del último registro) de cada parcela.

Efecto	Coefficiente \pm e.e.	z	P
Altitud (m)	$2.42 \cdot 10^{-3} \pm 2.43 \cdot 10^{-3}$	0.999	0.318
Exposición (°)	$-1.38 \cdot 10^{-3} \pm 2.09 \cdot 10^{-2}$	0.660	0.509
Pendiente (°)	$1.35 \cdot 10^{-2} \pm 4.46 \cdot 10^{-2}$	0.303	0.762
Altura de los árboles (m)	$-3.08 \cdot 10^{-2} \pm 4.65 \cdot 10^{-2}$	0.663	0.507
Cobertura del dosel (m ²)	$2.14 \cdot 10^{-3} \pm 3.79 \cdot 10^{-2}$	0.057	0.955
Edad de los árboles (años)	$-1.67 \cdot 10^{-2} \pm 1.36 \cdot 10^{-2}$	1.225	0.221
Densidad de árboles (individuos m ⁻²)	$4.57 \cdot 10^{-2} \pm 4.14 \cdot 10^{-2}$	1.102	0.270
DAP (cm)	$6.18 \cdot 10^{-2} \pm 4.38 \cdot 10^{-2}$	1.410	0.158



Table 4. Results of the Generalized Linear Models that proves the influence of abiotic and biotic factors upon the median of the level of damage (of the last record) of each plot.

Effect	Coefficient ± e.e.	z	P
Altitude (m)	2.42´ 10 ⁻³ ± 2.43´ 10 ⁻³	0.999	0.318
Exposure exposition (°)	- 1.38´ 10 ⁻³ ± 2.09´ 10 ⁻²	0.660	0.509
Slope (°)	1.35´ 10 ⁻² ± 4.46´ 10 ⁻²	0.303	0.762
Tree height (m)	- 3.08´ 10 ⁻² ± 4.65´ 10 ⁻²	0.663	0.507
Canopy cover (m ²)	2.14´ 10 ⁻³ ± 3.79´ 10 ⁻²	0.057	0.955
Tree age (years)	- 1.67´ 10 ⁻² ± 1.36´ 10 ⁻²	1.225	0.221
Tree density (ind m ²)	4.57´ 10 ⁻² ± 4.14´ 10 ⁻²	1.102	0.270
DBH (cm)	6.18´ 10 ⁻² ± 4.38v 10 ⁻²	1.410	0.158

Discusión

Los datos de los cuadros 3 y 4 expresan que las condiciones meteorológicas y las características fisiográficas y dasométricas de los sitios de monitoreo no tuvieron una influencia significativa en el daño de los bosques de oyamel de la RBMM. Esto sugiere que los parámetros ambientales que se midieron tienen una baja influencia en los niveles de daño por *S. mundus* y *Pseudohylesinus* spp. y probablemente existen otros factores con mayor peso sobre dicha variable, como las actividades humanas o la presencia de algún depredador de los escarabajos.

Los ambientes cálidos y con baja humedad aumentan la probabilidad de infestación y el avance de los insectos en los bosques, al favorecer la actividad, el desarrollo y la supervivencia de estos organismos, sobre todo de los que se alimentan del follaje de las plantas (Figueroa y Cano, 2004; Ciesla, 2011; Schowalter, 2011). Así, por lo general en la época de sequía es cuando los árboles son más propensos al ataque de cualquier enfermedad o plaga (Manion y Lachance, 1992), debido al estrés hídrico al que están sujetos y que influye en su crecimiento y fisiología (Alvarado *et al.*, 2007; Pretzsch, 2009); lo anterior propicia que inviertan más recursos energéticos en su supervivencia y aclimatación a un ámbito adverso (Gurevitch *et al.*, 2006). Allen *et al.* (2010) lo confirman con base en 88 estudios distribuidos en todo el mundo y en un lapso de 30 años.

Actualmente, el mecanismo fundamental que determina la supervivencia y la mortalidad de los árboles bajo condiciones de sequía es poco entendido. La falta de conocimiento se ha adjudicado a la complejidad de estos sistemas, ya que la segunda condición depende de múltiples factores interactuantes; de intervalos de tolerancia particulares al estrés climático, y de balances costo-beneficio de las plagas y enfermedades (Miao *et al.*, 2009).

La altitud, la pendiente y la exposición no tuvieron una influencia sobre los niveles de daño de los árboles, lo que

Discussion

The data in tables 3 and 4 state that the weather, physiographic and mensuration features of the monitoring sites had no significant influence on the damage of fir forests of the MBBR. This suggests that the environmental parameters that were measured have low influence on levels of damage from *S. mundus* and *Pseudohylesinus* spp. and probably other factors may have a greater weight on this variable, such as human activity or the presence of beetle predators.

The warm, low humidity environments increase the likelihood of infestation and advance of insects in forests, to promote the activity, development and survival of these organisms, mainly of those who feed on the foliage of plants (Figueroa and Cano, 2004; Ciesla, 2011; Schowalter, 2011). So, usually in the dry season the trees become more prone to attack from any disease or pest (Manion and Lachance, 1992) because they enter into a state of stress that affects their growth and physiology (Alvarado *et al.*, 2007; Pretzsch, 2009), which promotes to invest more energy resources in their survival and acclimatization to an adverse environment (Gurevitch *et al.*, 2006). Allen *et al.* (2010) confirm this, based on 88 surveys distributed worldwide and within a period of 30 years.

At present, the fundamental mechanism that determines survival and mortality of trees under drought conditions is poorly understood. This lack of knowledge has been awarded to the complexity of these systems, since the second condition depends on multiple interacting factors on particular intervals of climatic stress tolerance, and cost-benefit balance of pests and diseases (Miao *et al.*, 2009).



sugiere que esas variables ambientales no inciden sobre la vulnerabilidad de los árboles o el éxito del establecimiento de las plagas. Probablemente, no se observó una relación del daño con la altitud y la pendiente porque los intervalos fueron muy estrechos, ya que en el diseño experimental utilizado se le asigna un mayor peso a la influencia de los parámetros que registraron las estaciones meteorológicas (*i.e.*, temperatura, humedad y precipitación). En el mismo sentido, la exposición de la mayoría de los sitios fue hacia el N (Cuadro 2), y un diseño más robusto para probar su efecto estaría conformado por una equidad de réplicas con tendencias hacia el N y S, ya que estas son las exposiciones que muestran condiciones contrastantes (Pretzsch, 2009).

La altura, cobertura, edad, densidad y el DAP de los árboles presentes en las parcelas no influyeron sobre el nivel de daño. Por un lado, esto sugiere que la magnitud o cantidad de los sitios disponibles para los escarabajos (medido a partir del tamaño de las plantas hospedantes) no afectan el éxito de establecimiento o el avance de los descortezadores; que puede deberse a las señales químicas que exhiben algunos de estos insectos (como las feromonas antiagregantes) que evitan el traslape de sus galerías, lo que permite una distribución más homogénea de sus poblaciones. A su vez, la densidad de los árboles representa la lejanía a nuevas fuentes de colonización para los escarabajos descortezadores; es decir, en sitios con alta densidad se facilita su propagación (Schowalter, 2011). Sin embargo, los datos no confirmaron una relación con el daño, lo que posiblemente responda a la necesidad de contar con sitios donde las abundancias sean más contrastantes para observar la influencia de la densidad de los árboles.

En un panorama general, se debe considerar que los bosques son sistemas complejos y que están bajo la influencia de una gran cantidad de factores como son las condiciones ambientales, los recursos, las interacciones bióticas, los disturbios naturales y las actividades humanas. Por lo tanto, este trabajo solo muestra una parte de los elementos que determinan el daño forestal en la RBMM, y para obtener un patrón robusto se requiere de una mayor cantidad de evidencias que permitan identificar los factores que tiene un mayor peso sobre el deterioro de los árboles.

Conclusiones

Después de dos años de monitoreo, no hubo una categoría de daño que dominara en todos los sitios seleccionados. Además, el "Cambio de la coloración del follaje" fue la categoría que dominó en algunos sitios de monitoreo.

Los niveles de daño en los bosques de oyamel de la RBMM no se relacionaron con la temperatura, la precipitación y la humedad de los sitios de monitoreo, probablemente porque existen otros factores que tienen más peso sobre esta variable de respuesta,

Altitude, slope and exposure had no influence on levels of damage to trees, suggesting that these environmental variables do not affect the vulnerability of trees or the successful establishment of pests. A relationship of damage with altitude and slope was not observed probably because the intervals were very narrow, since in the experimental design a greater weight is assigned to the influence of the parameters recorded by the weather stations (*i.e.*, temperature, humidity and precipitation). In a similar way, exposure of most places went to the N (Table 2), and a more robust design to test the effect of this factor would consist of one equity of replications with tendencies towards N and S, and these are the hill sides that show contrasting conditions (Pretzsch, 2009).

Height, coverage, age, density and DBH of trees present in the plots did not influence the level of damage. On the one hand, this suggests that the magnitude or amount of available sites for beetles (measured from the size of host plants) did not affect the success of establishment or progression of these insects. This could be due to chemical signals some of them have (such as anti-aggregation pheromones) that prevent galleries overlap, allowing a more homogeneous distribution of their populations. On the other hand, the density of trees represents the distance to new sources of colonization for bark beetles, which would facilitate its spread in places with high density of trees (Schowalter, 2011); however, the data did not confirm a relationship with the damage, which would possibly respond to the need for sites with more contrasting abundances to observe the influence of the density of trees.

In an overview, it must be considered that forests are complex systems that are under the influence of a lot of factors such as environmental conditions, resources, biotic interactions, natural disturbances and human activities. Therefore, this study only shows a portion of the determinants of forest damage in the MBBR, and to obtain a robust pattern it is required a greater amount of evidence to show the factors that have a greater weight on impairment trees.

Conclusions

After two years of monitoring, there was no category of damage to dominate in all the selected sites. In addition, the "change of color foliage" was the category that dominated in some of them.

The levels of damage fir forests of the MBBR not related to temperature, precipitation and humidity monitoring sites, probably because other factors outweigh this response variable, such as the human activities or ecological interactions with other organisms.

como pueden ser las actividades humanas o las interacciones ecológicas con otros organismos.

Las características fisiográficas (altitud, exposición y pendiente) y dasométricas (altura, cobertura media, edad, densidad y el DAP) de los sitios de monitoreo no influyeron sobre los niveles de daño de los bosques de la RBMM, lo que puede estar relacionado con el diseño experimental utilizado, que le da mayor peso a probar la influencia de los parámetros meteorológicos medidos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Víctor López-Gómez: elaboración del escrito, cálculo de los análisis estadísticos y trabajo en campo; Víctor Javier Arriola Padilla: selección de unidades de estudio, trabajo en campo, definición del diseño experimental, y revisión del manuscrito; Ramiro Pérez/Miranda: selección de unidades de estudio y muestreo en campo, definición del diseño experimental, y revisión del manuscrito.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Fondo Sectorial Conacyt-Conafor por el financiamiento otorgado para la realización de este estudio derivado del proyecto Conafor-2010-C02-148358. Al M. en C. Francisco Moreno y al M. en C. Antonio González del Cenid-Comef (INIFAP) por su apoyo técnico en el campo y en el laboratorio y al M. en C. Efraín Velasco Bautista de esta misma institución, por sus acertadas sugerencias en la elaboración de los análisis estadísticos.

Referencias

- Allen, C. D., A. K. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, M. Vennetier, T. Kitzberger, A. Rigling, D. D. Breshears, E. H. Hogg, P. González, R. Fensham, Z. Zhang, J. Castro, N. Demidova, L. Jong-Hwan, G. Allard, S. W. Running, A. Semerci and N. Cobb. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259: 660-684.
- Alvarado R., D., R. L. L. Saavedra, M. F. T. Hernández y D. Cibrián T. 2007. Agentes abióticos, causantes de estrés y muerte. In: Cibrián T., D., D. Alvarado R. y S. E. García D. (eds.) *Enfermedades forestales de México*. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de Méx., México. pp. 10-61.
- Cibrián T., D. y J. Cibrián T. 2007. Escenarios forestales y enfermedades. In: Cibrián T., D., D. Alvarado R. y S. E. García D. (eds.) *Enfermedades forestales de México*. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de Méx., México. pp. 4-9.
- Cibrián T., D., J. T. Méndez M., R. Campos B., H. O. Yates y J. E. L. Flores. 1995. *Insectos forestales de México*. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de Méx., México. 453 p.
- Giesla, W. M. 2011. *Forest entomology. A global perspective*. Wiley-Blackwell Publishing Inc. West Sussex, UK. 400 p.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2012. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Manual y procedimientos para el muestreo de campo (Re-muestreo 2012)*. Conafor. (<http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/component/phocadownload/category/153-2012?download=781:manual-del-remuestreo-infys-2012>) (15 de agosto de 2013).

The physiographic characteristics (altitude, exposure and slope) and mesuration data (height, medium coverage, age, density and DBH of trees) of the monitoring sites had no effect on the levels of damage of the forests of the MBBR, which can be related to the experimental design, which gives greater weight to test the influence of the meteorological parameters that were measured.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

Víctor López-Gómez: writing of the manuscript, calculation of the statistical analysis and field work; Víctor Javier Arriola Padilla: selection of the study units, field work, experimental design and review of the manuscript; Ramiro Pérez Miranda: selection of the study units, and field sampling, experimental design and review of the manuscript.

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to the Conacyt-Conafor Sectorial Fund for the financial support provided for the execution of this study that came from the Conafor Project Number 2010-C02-148358. To M. Sc. Francisco Moreno and Antonio González of CENID-COMEF (INIFAP) for their technical support in the field and in the laboratory and to M. Sc. Efraín Velasco Bautista of the same institution, for their appropriate suggestions in the statistical analyses.

End of the English version

- Environmental Systems Research Institute (ESRI). ARCGIS Ver. 10.2. ESRI GIS. Redlands, CA, USA. s/p.
- Figueroa C., D. M. and Z. Cano S. 2004. Floral visitor guides of five allochronic flowering asteraceous species in a xeric community in Central Mexico. *Environmental Entomology* 33: 297-309.
- Fox, J., L. Andronic, M. Bouchet-Valat, A. Liviu, A. Michael, B. Theophilus, C. Stefano, C. Andy, G. Philippe, H. Richard, K. Kosar, K. Jay, L. Renaud, L. Matthieu, L. Uwe, M. Samir, M. Martin, M. Robert, M. Duncan, N. Erich, P. Dan, R. Brian, R. Miroslav, W. Peter and W. Kevin. 2010. Rcmdr: R commander, R package version 1.6-3. <http://cran.ms.unimelb.edu.au/web/packages/Rcmdr> (25 de octubre de 2013).
- Garduño B., N. 2011. *Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca en el Estado de México. Diagnóstico Fitosanitario Forestal*. Gobierno del Estado de México. Toluca, Edo. de Méx., México. 91 p.
- Gurevitch J., S. M. Scheiner and G. A. Fox. *The ecology of plants*. Sinauer Associates. Sunderland, MA, USA. 574 p.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 1996. *Reserva Especial de la Biosfera Mariposa Monarca*. Semarnat. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/2/monarca.html>. (18 de julio de 2013).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2011. *Datos de Relieve Continental*. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/default.aspx> (23 de agosto de 2011).
- Harrell, F. E. and C. Dupont. 2013. Hmisc: Harrell miscellaneous. R package version 3.12-2. <http://cran.r-project.org/web/packages/Hmisc/index.html> (18 de octubre de 2013).
- Manion, P. D. and D. Lachance. 1992. *Forest decline concepts*. APS Press. St Paul, MN, USA. 249 p.

Miao, S. L., C. B. Zou and D. D. Breshears. 2009. Vegetation responses to extreme hydrological events: sequence matters. *American Naturalist* 173: 113–118.

Pretzsch, H. 2009. *Forest dynamics, growth and yield. From measurement to model.* Springer-Verlag, Freising, Germany. 664 p.

Schowalter, T. D. 2011. *Insect ecology. An ecosystem approach.* Elsevier, Boston, MA USA. 572 p.

Siegel, S. y N. J. Castellan. 1995. *Estadística no paramétrica: aplicada a las ciencias de la conducta.* Trillas, México, D. F., México. 437 p.

Zar, J. H. 2010. *Biostatistical analysis.* Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA. 944 p.

