



Registro y ecología de *Zadiprion howdeni* (Hymenoptera: Diprionidae) en Ixtlán de Juárez, Oaxaca

Record and ecology of *Zadiprion howdeni* (Hymenoptera: Diprionidae) in Ixtlán de Juárez, Oaxaca

Víctor Aguirre-Hidalgo¹, José Arturo Casasola-González¹, Cecilia Alfonso-Corrado¹,
Elias Santiago-García² y Ricardo Clark-Tapia^{1*}

¹ Universidad de la Sierra Juárez. Instituto de Estudios Ambientales. Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

² Dirección Técnica Forestal de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

* Autor de correspondencia. rclark@unsij.edu.mx

RESUMEN

En los bosques de Ixtlán de Juárez se detectó un brote inusual de mosca sierra (Hymenoptera: Diprionidae), por lo que este trabajo tiene como objetivo identificar taxónicamente a la especie afectante y estimar su densidad y ciclo de vida. La identificación se basó en la observación de especímenes adultos de ambos sexos, siguiendo las claves taxonómicas desarrolladas por David R. Smith y colaboradores. La densidad de capullos se evaluó en 10 sitios, dentro de los que se seleccionó al azar un árbol, a partir del cual, se establecieron tres cuadrantes de muestreo de 1 m², ubicados a 1 m, 2 m y 3 m de distancia del fuste. El ciclo de vida de la mosca se determinó con información obtenida en campo y laboratorio, dando seguimiento a los capullos recolectados. Se determinó y registró a *Zadiprion howdeni* como defoliador de pinos en la región de estudio. La densidad promedio de capullos por metro cuadrado fue de $37.92 \pm 8.63/\text{m}^2$, con diferencias significativas entre parcelas. No se encontraron diferencias significativas en la cantidad promedio de capullos por metro cuadrado respecto a la distancia del árbol, sin embargo, se observaron diferencias significativas en la cantidad de capullos por unidad de superficie entre machos y hembras. La etapa más larga del ciclo de vida de la mosca es como capullo y la etapa más sensitiva es como adulta. Se brindan estrategias de control para cada etapa de vida y se recomienda continuar con el estudio biológico y ecológico para consolidar las estrategias de manejo de *Z. howdeni*.

PALABRAS CLAVE: abundancia, ciclo de vida, densidad, defoliador, manejo forestal.

ABSTRACT

To provide strategies to control an unusual pine sawfly outbreak in Oaxaca, the objective of this study was to identify the species and estimate cocoon density and life cycle of the defoliator. For species identification, we followed the taxonomic classification developed by David R. Smith and coworkers, using adult female and male sawflies. Density was evaluated in 10 sites; on each site, one tree was selected at random. From this tree we defined 1 m² sampling units at 1 m, 2 m and 3 m from the tree stem. We also proposed a general life cycle based on field data and cocoons kept at laboratory conditions. We identified the presence of *Zadiprion howdeni* as the invasive sawfly in the region. In Ixtlán, the average density of the cocoons was 37.92 ± 8.63 per m², with significant differences between plots. No significant differences were found in the average density of the cocoons per m², regarding tree distance. However, significant differences in cocoon's numbers were observed between males and females per m². The sawfly's longest life cycle stage is as a cocoon and the most sensitive stage of life was the adult. Management strategies are provided for the different stages of sawflies. To consolidate these strategies, it is important to continue gathering basic knowledge of the biology and ecology of this defoliating species.

KEYWORDS: abundance, life cycle, density, tree defoliation, forest management.

INTRODUCCIÓN

La región Sierra Juárez (SJ), en el norte de Oaxaca, México está subdividida en tres distritos: Ixtlán de Juárez, Villa Alta y Mixe. Esta sierra está considerada dentro de las 130 regiones terrestres prioritarias para la conservación (Arriaga-Cabrera, Aguilar y Espinoza, 2009). Se caracteriza por poseer una compleja fisiografía y una amplia diversidad de microambientes y climas. En la SJ están presentes ocho de los diez tipos de vegetación que existen en el país: bosque tropical perennifolio, bosque tropical subcaducifolio, bosque mesófilo de montaña, bosque de encino, bosque de pino, bosque tropical caducifolio, bosque espinoso y pradera subalpina (Rzedowski, 2006). Lo anterior hace que la SJ sea considerada como una ecorregión de alto valor biológico por la gran cantidad de especies endémicas de plantas y animales que alberga en los 9000 km² de superficie que posee (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio], 2000). En adición a su alta biodiversidad y compleja fisiografía, la SJ es considerada como la segunda zona más importante en México en captación y escurrimiento de agua dulce para la cuenca del Papaloapan (Alfonso-Corrado *et al.*, 2016), además de ser una zona con reconocimiento internacional por el manejo forestal sustentable, a través de empresas comunitarias (Ramos-Morales y Clark-Tapia, 2018).

Un problema reciente que enfrentan los bosques, en particular los pertenecientes a Ixtlán de Juárez, es el ataque de insectos descortezadores y defoliadores (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]/Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp], 2012). En general, los insectos defoliadores de la familia Diprionidae representan una amenaza económica importante en zonas silvícolas, ya que provocan deficiencias en el crecimiento de los árboles infestados, un retraso en los procesos de regeneración forestal, una disminución del potencial productivo y una reducción del vigor en los árboles (Cibrián-Tovar *et al.*, 1995). Cada una de estas alteraciones genera una pérdida del crecimiento

acumulado y, por ende, una disminución en la productividad del bosque (Lyytikäinen y Tomppo, 2002). En México, los defoliadores de la familia Diprionidae, conocidos comúnmente como moscas sierra, son una de las plagas de mayor importancia forestal debido a los daños que ocasionan a los árboles de los géneros *Pinus* spp., *Juniperus* spp., *Abies* spp. y *Picea* spp. (Cibrián-Tovar *et al.*, 1995, Sánchez-Martínez, Alanís-Morales, Cano-Rodríguez y Olivo-Martínez, 2012, González-Gaona y Sánchez-Martínez, 2018).

Las moscas sierra se caracterizan porque el adulto carece de la constricción basal del abdomen, típica de los himenópteros y el ovipositor de la hembra tiene forma de una sierra (Smith, 2006). La familia Diprionidae agrupa tres géneros que muestran preferencia por sus hospedantes: *Monoctenus* que se alimenta exclusivamente de *Juniperus*; *Neodiprion* que prevalece en *Pinus*, *Abies* y *Picea*; y *Zadiprion* que ataca exclusivamente a *Pinus* (Smith, 1988, 2006). Todos ellos muestran una dinámica eruptiva, es decir, sus poblaciones brotan de manera numerosa y epidémica con cierta periodicidad.

Las infestaciones causadas por el género *Zadiprion* en México se han registrado desde inicios del siglo XX (Rodríguez, 1990, Cibrián-Tovar *et al.*, 1995); sin embargo, a partir de 2000, han ocurrido brotes masivos en diversas partes del país (Coria-Avalos, González-Gaona, Pulido-Herrera y Muñoz-Flores, 2014, López-Sánchez *et al.*, 2017; Olivo, 2018) que han afectado miles de hectáreas en bosque de pinos. A pesar de que el conocimiento biológico y ecológico de las especies es importante para lograr un control forestal eficiente, el interés por el género es reciente. A escala nacional, solo se tienen registradas seis especies de *Zadiprion* (Smith, Sánchez-Martínez y Ojeda-Aguilera, 2012): 1) *Zadiprion falsus* Smith (Chihuahua, Durango, Estado de México, Jalisco Michoacán y Colima), infesta a pinos de las especies: *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl, *Pinus cembriodes* Zucc., *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, *Pinus hartwegii* Lind., *Pinus leiophylla* Schlecht. & Cham., *Pinus herrerae* Martínez, *Pinus michoacana* Mart., *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus oocarpa* Schiede ex Schlechtendal, *Pinus pringlei*



Shaw. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Smith *et al.*, 2012); 2) *Zadiprion robweri* Middleton (Chihuahua), ataca a *Pinus monophylla* Torrey & Frémont; 3) *Zadiprion townsendi* Cockerell (Chihuahua), se alimenta de *Pinus ponderosa* Douglas ex C. Lawson; 4) *Zadiprion ojedae* Smith & Sánchez-Martínez (Chihuahua), sus hospedantes son *Pinus durangensis* Ehren. y *Pinus herrerae* Martínez; 5) *Zadiprion roteus* Smith (Hidalgo) se desconoce su hospedante, 6) *Zadiprion bowdeni* Smith (Chiapas) ataca a *Pinus oaxacana* Mirov y 7) una nueva especie de *Zadiprion* sp que afecta a *Pinus jeffreyi* en el estado de Baja California (Aguilera-Molina, Munguía-Ortega, López-Reyes, Martínez-Aquino y Ceccarelli, 2019).

De 2016 a la fecha, en los bosques templados de Sierra Juárez, diversas comunidades se han visto afectadas por brotes inusuales de la mosca sierra del género *Zadiprion* (Servicios Técnicos Forestales de Ixtlán de Juárez com. per.). Entre ellas: Ixtlán de Juárez, Santa Catarina Ixtepeji, Santiago Xiacuí y Santa María Jaltianguis. Diversos comunicados de la Comisión Nacional Forestal (Conafor), así como trabajos de investigación en la región (Suárez-Mota *et al.*, 2018), manifiestan que la plaga es *Z. falsus*; sin embargo, un ciclo de vida diferente sugiere a otra especie, por lo que una identificación correcta de la especie, así como aspectos básicos de su biología y ecología, son importantes para establecer una estrategia adecuada de combate (González-Gaona y Sánchez-Martínez, 2018).

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo fue identificar a la especie de mosca sierra que infesta los bosques de Ixtlán de Juárez, así como estimar su densidad y ciclo de vida con la finalidad de brindar estrategias de control forestal sobre estadios de vida vulnerables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Ixtlán de Juárez, localizado a 59 km de la capital del estado de

Oaxaca, sobre la carretera federal 175. Limita al norte con Santiago Comaltepec y Ayotzintepec; al sur con Guelatao de Juárez, Santa Catarina Ixtepeji y San Miguel Amatlán, al oeste con San Pablo Macuiltianguis, San Juan Atepec, San Juan Evangelista Analco y Santa María Jaltianguis; y al este con San Miguel Yotao, Calpulalpam de Méndez y Tanetze de Zaragoza (Fig. 1). El municipio cuenta con una superficie de 548.60 km² (0.6% de la superficie total del estado) y se ubica en los 17°19'50" de latitud Norte y 96°29'14" de longitud Oeste de acuerdo con el Plan para el Desarrollo Integral, Sustentable y Pluricultural (PDISP, 2005).

La altitud del área de estudio varía de 1500 m a 3200 m snm y la comunidad se encuentra incluida en la provincia fisiográfica denominada "Sistema Montañoso del Norte de Oaxaca", la cual se caracteriza por presentar una topografía accidentada (Técnica Informática Aplicada S. A. [Tiasa], 2003).

El clima predominante es templado-subhúmedo con lluvias en verano y templado húmedo con lluvias en verano y cálido húmedo con lluvias en todo el año (Tiasa, 2003). La precipitación oscila entre 700 mm y 4000 mm, con un promedio de 2000 mm anuales, ocurriendo principalmente entre los meses de mayo a septiembre; mientras que marzo, abril y mayo son los meses más secos (Tiasa, 2003). La temperatura oscila de 10 °C a 26 °C, con una temperatura promedio de 16 °C. La temperatura más baja se presenta entre los meses de noviembre y diciembre de acuerdo con el Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable (CMDRS, 2009).

La vegetación predominante de Ixtlán de Juárez es bosque de pino-encino y bosque de encino-pino, donde destacan 13 especies de *Pinus* (Del Castillo, Pérez de la Rosa, Vargas-Amado y Rivera-García, 2004) y 23 de *Quercus* (Valencia-Avalos y Nixon, 2004). En las partes medias se encuentra el bosque mesófilo de montaña y otros siete tipos de vegetación: selva húmeda perennifolia, selva baja caducifolia, pastizal y vegetación secundaria derivada del bosque de pino-encino (SmartWood, 2002).

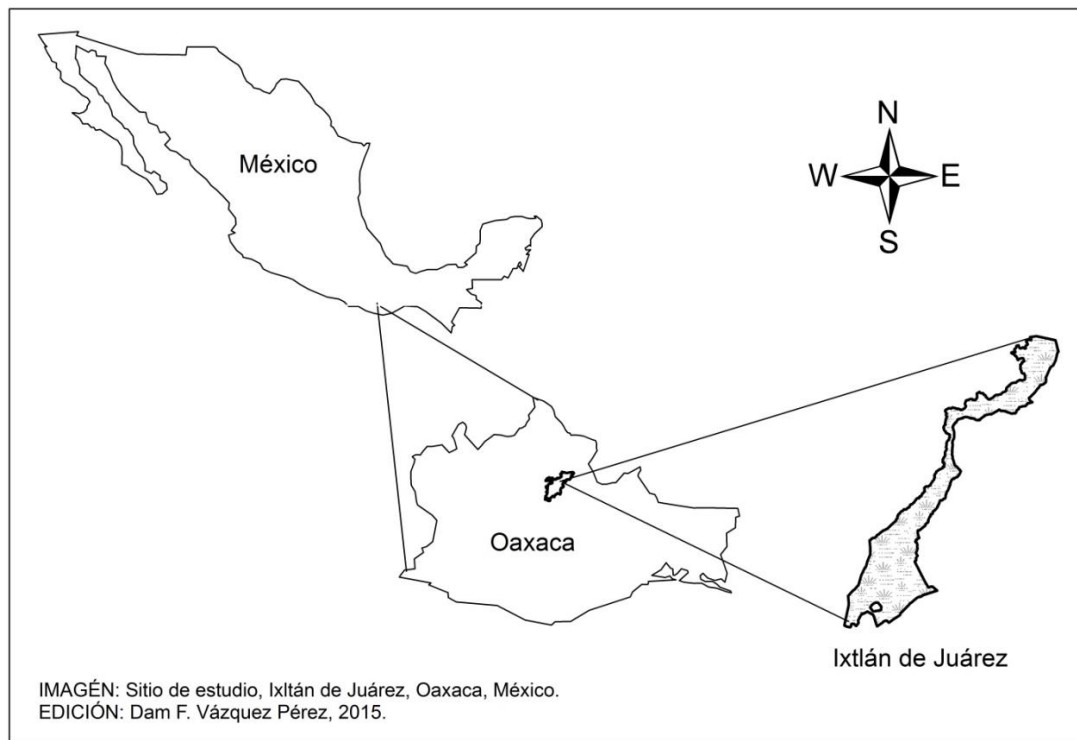


FIGURA 1. Ubicación geográfica de municipio de Ixtlán de Juárez en el distrito de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Identificación taxonómica

La identificación a nivel de familia y género se realizó observando seis especímenes adultos de ambos sexos recolectados en Ixtlán de Juárez, bajo un estereomicroscopio Discovery V8 y siguiendo las claves taxonómicas de Smith (1971, 1974 y 1988). Para la identificación a nivel de especie, los especímenes fueron disecados en etanol a 80% para extraer las estructuras genitales, mismas que fueron procesadas en hidróxido de potasio (KOH) a 10% durante 24 h, aclaradas en aceite de clavo y, finalmente, montadas permanentemente en laminillas de vidrio, usando bálsamo de Canadá. Genitalia de machos y hembras se analizaron bajo un microscopio óptico Axiostar Plus, siguiendo las claves de Smith (1971, 1974, 1988) y Smith *et al.* (2012). En el caso de las hembras, se observó el número de anillos y la forma de los dientes en el ovipositor, mientras que en los machos se observó la válvula peneana. Las fotografías fueron tomadas con cámaras digitales Axio Cam MRc y Canon EOS Rebel T3i, adaptadas a los microscopios. Los ejemplares se encuentran

depositados en la colección de insectos de la Universidad de la Sierra Juárez.

Densidad y ciclo de vida

Para lograr este objetivo, durante la segunda semana de noviembre de 2017 se seleccionaron diez sitios dentro de la zona de aprovechamiento forestal de pino-encino (Fig. 2), en la que se ha observado la presencia de la mosca sierra, en aproximadamente 25 ha. De acuerdo con lo propuesto en el Plan de Manejo Forestal correspondiente a las anualidades 2003-2013 propuesto por el Programa de Manejo Forestal, el tipo de técnica de extracción forestal aplicada es la de matarrasa en franjas (Fig. 2). En el sitio, la matarrasa en franjas aprovechadas (AP) cubre un área aproximada de 4.4 ha y cada una de las franjas tienen en promedio 50 metros de ancho y una longitud variable que va de 150 m a 950 m. Se encuentran alternadas con franjas de vegetación no aprovechadas (AC) de 150 metros de ancho y de longitud variable de aproximadamente 19.73 ha (Vásquez-Cortez *et al.*, 2018).

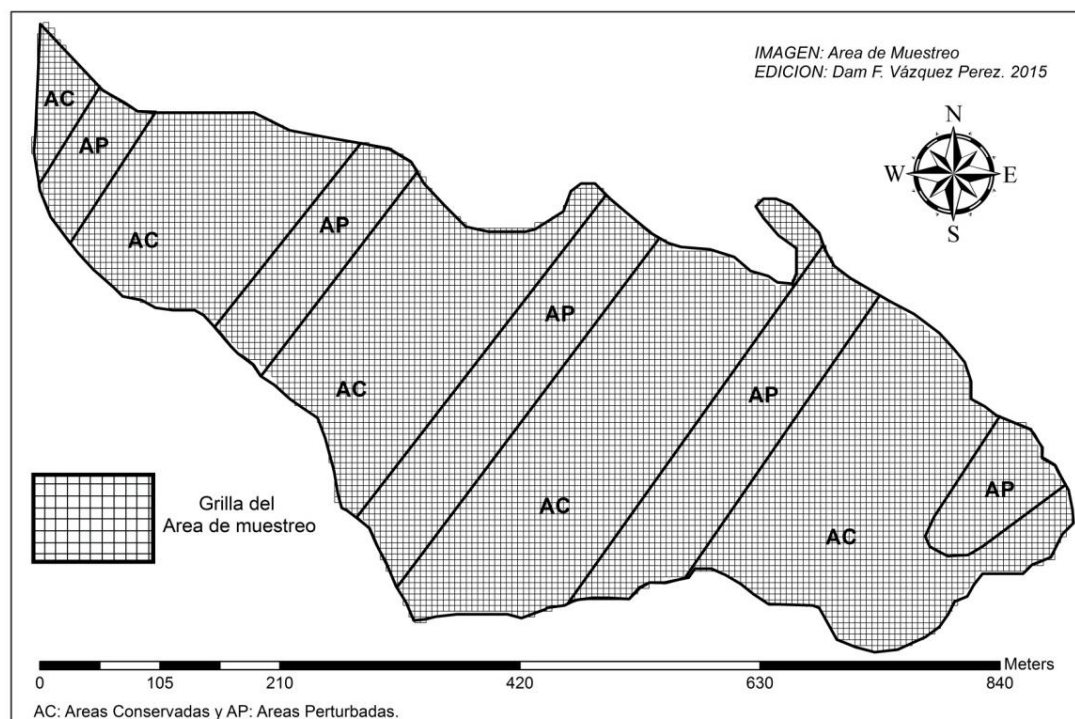


FIGURA 2. Área de estudio dividida en matarrasa en franjas (AP) y franjas de vegetación no aprovechadas (AC).

Sistema de muestreo

En las franjas de matarrasa y franjas de vegetación seleccionadas se utilizó el método adaptativo de muestreo (Smith, Conroy y Brakhage, 1995, Smith, Brown y Lo, 2004). Este método consistió en establecer en cada sitio tres cuadrantes de 1 m² ubicados cada uno a 1 m, 2 m y 3 m de distancia respectivamente del fuste de 10 árboles seleccionados al azar con presencia de larva (tres cuadrantes por árbol, en total 30 cuadrantes). En cada cuadrante se realizó una búsqueda intensiva de capullos del defoliador removiendo la hojarasca y moviendo troncos y rocas. La búsqueda finalizó cuando no se registró ningún otro ejemplar dentro del cuadrante muestreado. Los capullos fueron recolectados en la interfaz entre suelo mineral y suelo orgánico, cerca de los árboles con larvas de defoliador. Una vez finalizado el proceso de muestreo se reintegró cada componente del mantillo a su sitio.

Para cada cuadrante se registraron los siguientes datos: número de capullos presentes, clasificados en dos categorías: menos de 1 cm y más de 1 cm. Para cada capullo

se registró ancho (mm), longitud (mm) y peso (g). También se registró la profundidad a la que se encontró el capullo en el suelo. Los capullos de cada categoría de tamaño fueron pesados antes de colocarse en dos terrarios sellados hasta la emergencia de la fase adulto de la mosca sierra. En uno de los terrarios se mantuvo a los capullos mayores que 1 cm ($n = 400$); en el segundo a los capullos menores de 1 cm ($n = 312$). Cada terrario fue revisado periódicamente y se registró diariamente el inicio y fin de la emergencia de la mosca sierra.

Transcurrido un mes de la última emergencia, se abrieron manualmente los capullos que no eclosionaron para evaluar su viabilidad de acuerdo con las siguientes categorías: 1) larvas viables, 2) adultos emergidos, 3) parasitoides emergidos, 4) adultos muertos dentro del capullo, 5) individuo muerto dentro del capullo en proceso de metamorfosis, 6) individuo muerto en fase de larva, 7) parasitoides muertos, 8) capullo ocupado por larvas indeterminadas, 9) causa indefinida.

Análisis estadístico

Se utilizó estadística descriptiva (promedio y desviación estándar) para estimar el número promedio de insectos por hectárea (ha^{-1}), utilizando como base los datos de capullo por metro cuadrado. Las diferencias significativas en la abundancia de capullos entre cuadrantes muestreados, entre distancias al fuste de los árboles y entre categorías (menos de 1 cm y más de 1 cm) fue evaluada con un análisis de varianza y pruebas de contraste de Tukey. También se realizó un análisis de varianza y pruebas de contraste de Tukey para analizar diferencias biométricas (ancho, longitud y peso) de los capullos entre distancias al fuste y categorías de tamaño. Adicionalmente, se aplicó una regresión lineal para analizar la relación entre variables biométricas (ancho, longitud y peso) de los capullos y el sexo de la mosca sierra. Finalmente, para analizar diferencias en el número de individuos emergidos entre machos y hembras durante los meses de estudio se realizó un análisis de varianza y pruebas de contraste de Tukey.

RESULTADOS

Identificación taxonómica

Con base en las siguientes características diagnósticas (Smith, 1971; 1974; 1988; Smith *et al.*, 2012), se determinó que los insectos correspondían a himenópteros de la familia Diprionidae, del género *Zadiprion* y la especie *Z. howdeni*. En esta especie de avispa, denominada comúnmente mosca sierra, la hembra (Fig. 3a) es de mayor tamaño que el macho (12 mm), robusta, de color amarillento, con el abdomen blanco y franjas negras; antenas aserradas, con 23 flagelómeros; ala anterior con la vena anal 2A+3A separada de 1A por una vena transversal; ala posterior con celda anal; sutura mesosternal-pleural ausente; tibias posteriores con espolones apicales subclavados, no más largos que la mitad del ancho apical de la tibia; almohadilla pulvilar del basitarsómero posterior casi tan larga como el basitarsómero; ovipositor dividido en dos escleritos aserrados, lanceta (Fig. 3b) sin el primer annulus y con nueve serrulas. Macho (Fig. 3c) es pequeño (9 mm),

completamente negro y con manchas blancas en el abdomen; antenas bipectinadas, excepto los últimos cinco flagelómeros que son unipectinados, con 27 flagelómeros; patas amarillentas excepto la coxa, el trocánter y el fémur que son oscuros; almohadilla pulvilar del basitarsómero posterior casi un cuarto la longitud del basitarsómero; cápsula genital como en la figura 3d y válvulas del pene (Fig. 3e) con el ápice truncado o ligeramente cóncavo.

Densidad

El promedio de pupas encontradas por metro cuadrado (densidad de capullos) en el total de parcelas analizadas fue de 37.92 ± 8.63 , con diferencias significativas ($F = 23.14$; $p < 0.05$) entre parcelas (intervalo de 0 a 153 pupas). En general, no se encontraron diferencias significativas en la cantidad de capullos por metro cuadrado respecto a la distancia del árbol: 1 m (46.71 ± 13.12), 2 m (25.29 ± 5.10) y 3 m (37.92 ± 8.63).

La cantidad de capullos por metro cuadrado respecto a la distancia del árbol (1 m, 2 m y 3 m de distancia) no fue significativa en la categoría menor a 1 cm (12.71 ± 4.60 , 9.71 ± 2.61 y 11.92 ± 5.84 , respectivamente); sin embargo, en capullos mayores a 1 cm (24.86 ± 6.50 , 12.0 ± 1.56 y 19.2 ± 4.43 , respectivamente), la cantidad encontrada a 2 m de distancia fue significativamente menor ($F = 23.11$; $p < 0.05$) que en las otras distancias (Fig. 4). Se encontraron, además, diferencias significativas entre el número de capullos menores a 1 cm, con respecto al número de capullos mayores a 1 cm ($F = 31.21$; $p < 0.001$). Finalmente, el número promedio de capullos dañados (dobladitos, constreñidos, etc.) no difirió entre tamaños y distancias, por lo que fueron agrupados.

De manera general, con base en el promedio de capullos por unidad de superficie y una mortalidad en esta etapa de 57%, se estimó una densidad de $138\,820 \pm 8440$ capullos viables por hectárea (61% hembras y 39% machos). De estos capullos y con base en el ciclo de vida, se estimó que eclosionan 2025 ± 506 machos y $28\,864 \pm 6076$ hembras.

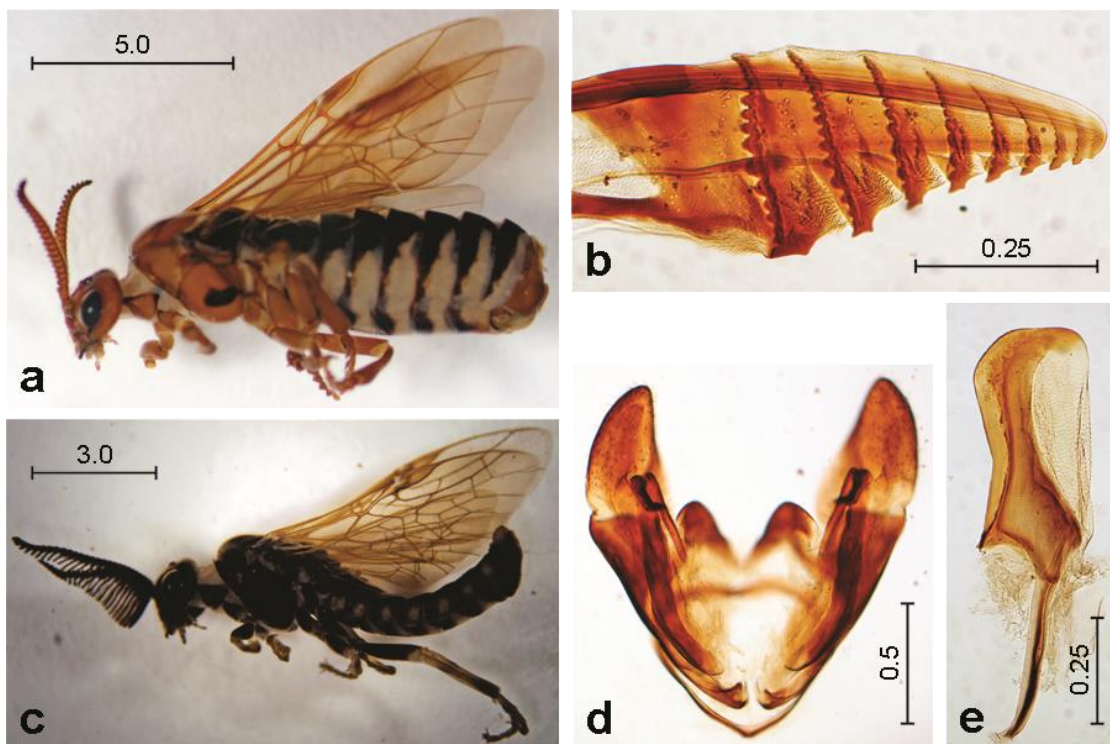


FIGURA 3. *Zadiprion bowdeni*, especie encontrada en Ixtlán de Juárez, Oax. a) Hembra en vista dorsal. b) Lanceta de la hembra. c) Macho en vista dorsal. d) Cápsula genital del macho. e) Válvula peneana del macho.

Escala en milímetros.

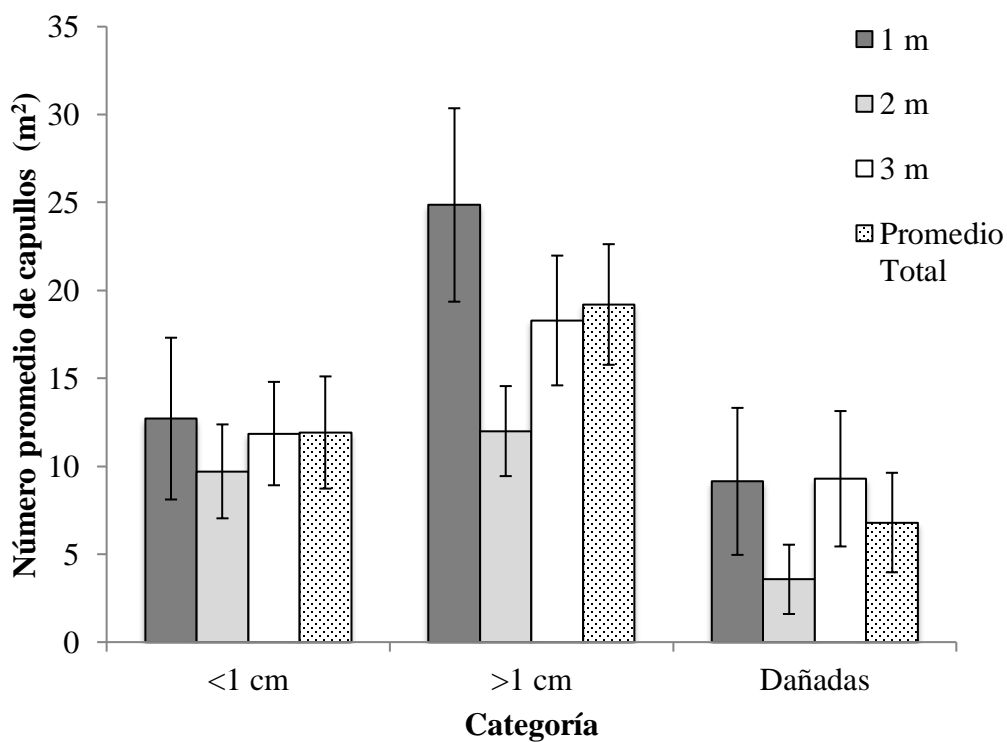


FIGURA 4. Número promedio de capullos por categoría de tamaño y de daño a 1 m, 2 m y 3 m del fuste.

Ciclo de vida

En condiciones de laboratorio, se encontró que de los capullos mayores a 1 cm emergieron exclusivamente hembras, mientras que de los capullos menores a 1 cm emergieron exclusivamente machos. Ambos sexos iniciaron su emergencia en abril extendiéndose hasta agosto en machos y hasta septiembre en hembras. El porcentaje de emergencia fue constante en machos, mientras que en hembras el mayor porcentaje de emergencia ocurrió en mayo (Fig. 5), con una diferencia significativa en la abundancia entre ambos sexos ($F = 32.0$; $p < 0.001$). El periodo de emergencia de los adultos de mosca sierra en campo inició a partir de la segunda semana de febrero de 2018 y culminó en la segunda semana de junio de 2018. A partir de la información recopilada en campo y en laboratorio se elaboró un diagrama de los períodos estacionales en los que se presentan las distintas fases de desarrollo de *Z. howdeni*, observadas en Ixtlán de Juárez (Fig 6).

Se encontraron diferencias en la biometría entre sexos para el largo ($F = 73.4$; $p < 0.001$), el ancho ($F = 50.0$; $p < 0.001$) y el peso ($F = 72.0$; $p < 0.001$) (Tabla 1).

En agosto de 2018, un mes después de la última emergencia se revisó cada uno de los capullos no eclosionados. En general, se encontró un alto porcentaje de larvas de mosca sierra sin emerger en hembras y machos (43.76% y 68.93%, respectivamente) en diversas fases de su desarrollo (Tabla 2). La fase larvaria de hembras y machos (29.41 %, y 39.27 %, respectivamente) y la fase adulta (14.11% y 28.25%, respectivamente) mostraron una mayor mortalidad que la fase metamórfica de larva a adulta (0.24% y 2.82%, respectivamente). La mortalidad de hembras y machos sumada con capullos dañados 5.88% y 6.21%, respectivamente) y parasitación total (14.59% y 21.19%, respectivamente) mostraron una alta mortalidad de mosca sierra machos (96.33%) con respecto a hembras (64.24%) (Tabla 2). En ambas categorías de tamaño, es decir en machos y hembras, emergieron tres especies de avispas parasitoides de la familia Ichneumonidae no identificadas hasta el momento, que corresponden a dos especies del género *Euceros* y una especie del género *Netelia*.

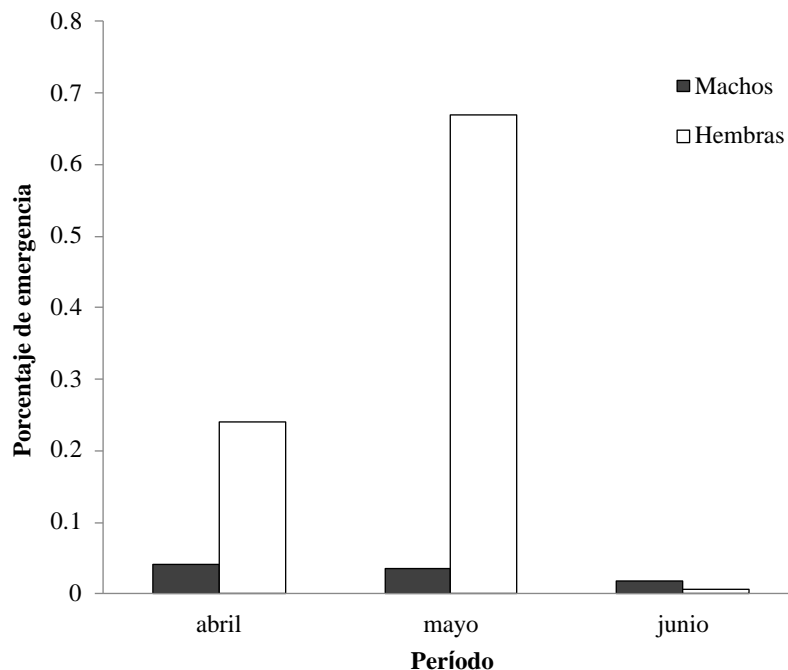


FIGURA 5. Patrón de emergencia de machos y hembras de *Zadiprion howdeni*, en condiciones de laboratorio, en Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

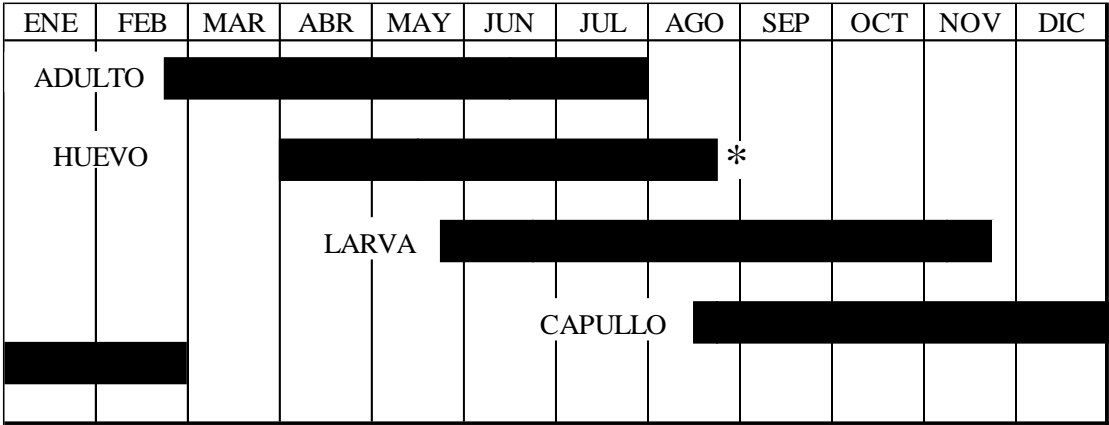


FIGURA 6. Períodos estacionales de los estados de desarrollo de *Zadiprion bowdeni* en bosques de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

*Información que requiere mayores registros en campo.

TABLA 1. Biometría de capullos de *Zadiprion bowdeni* agrupados por sexo.

	Ancho (cm)	Largo (cm)	Peso (g)
<1 cm (macho)	0.36 ± 0.03 ^a	0.89 ± 0.07 ^a	0.062 ± 0.01 ^a
>1 cm (hembra)	0.48 ± 0.03 ^b	1.17 ± 0.12 ^b	0.15 ± 0.03 ^b

Letras diferentes indican diferencias significativas p < 0.05.

TABLA 2. Supervivencia y mortalidad de *Zadiprion bowdeni* registrada en capullos observados en laboratorio. Categorías: > 1 cm (hembras) y < 1 cm (machos) en la mosca sierra. Z.h- *Zadiprion bowdeni*, Ps.- avispa parásita.

Sexo / Fase	Supervivencia (%)		Mortalidad (%)					Dañadas
	Eclosión Z.h.	Eclosión Ps.	Adultos Z.h.	Metamorfosis Z.h.	Larvas Z.h.	Adultos Ps.	Larvas Ps.	
Machos (< 1 cm)	3.67 a	5.64 a	26.84 a	2.25 a	39.27 a	7.06 a	8.47 a	6.21 a
Hembras (> 1 cm)	35.76 b	5.65 a	14.11 b	0.24 b	29.41 a	2.11 b	6.82 a	5.88 a

Letras diferentes indican diferencias significativas p < 0.05.

DISCUSIÓN

Desde que la mosca sierra fue observada por primera vez en junio 2017 (Cruz, 2018), fue asociada con árboles de *Pinus oaxacana*. En un principio, los comunicados en línea de Conafor e investigaciones en la región señalaban que la mosca defoliadora responsable de daños a la masa forestal en Sierra Juárez era *Z. falsus* (Suárez-Mota *et al.*, 2018), por lo que se siguieron protocolos sugeridos y aplicados para esta especie en otras áreas del país. *Zadiprion falsus* ha sido

vinculada con al menos 11 especies de pinos (Smith *et al.*, 2012). En Sierra Juárez, la mosca sierra (*Z. bowdeni*) solo se ha observado primariamente en *P. oaxacana*, aunque también se ha visto en muy baja ocurrencia en *P. patula*; *P. ayacahuite* y *P. teocote* (Eliás Santiago, Servicios Técnicos com. pers.)

El registro previo más cercano de *Z. bowdeni* en la República Mexicana data de 1975, en San Cristóbal de las Casas, Chiapas, señalando como hospedero a *Pinus oaxacana*

(Smith, 1988; Smith *et al.*, 2012). Al ser Chiapas colindante con el estado de Oaxaca es posible que la presencia de esta especie en Sierra Juárez, y de manera particular en Ixtlán de Juárez, se haya dado a partir de individuos y/o poblaciones provenientes de Chiapas, aspecto común en otras especies de plagas vía migración natural debido a cambio climático (*e.g.* Deutsch *et al.*, 2018) y/o vía antropocórica por transporte humano (*e.g.* Yela, Esteban-Durán, Jiménez y Beitia, 1997). Otra posibilidad es que su presencia haya sido inadvertida hasta que se manifestó en altos niveles de población y que la Sierra Norte de Oaxaca forme parte de su distribución natural, pues utiliza de manera natural la misma especie hospedante en la que se encontró en Chiapas años atrás (Smith 1988). Futuros estudios con marcadores moleculares enfocados en la biogeografía de la especie pueden brindar una respuesta a estas interrogantes.

En Ixtlán, la afectación de la mosca sierra es independiente de áreas bajo aprovechamiento forestal, ya que también se encuentra en áreas no manejadas, pero con dominancia de *P. oaxacana* y *Q. glaucoides* como especies arbóreas (Vásquez-Cortez *et al.*, 2018). En zonas aprovechadas con el método de matarrasa en franjas alternas de 10 años de regeneración, las larvas y capullos muestran una mayor presencia en los bordes contiguos a la vegetación, donde está la presencia de árboles de más de 30 m de *P. oaxacana*, una de las especies de mayor valor comercial y ampliamente distribuida en las áreas bajo manejo forestal, pero también es el principal hospedero de *Z. howdeni* (Smith *et al.*, 2012).

La densidad de capullos por metro cuadrado coincide con lo observado para la región por Suárez-Mota *et al.* (2018), en la que consideraban que *Z. falsus* era el defoliador presente en la Sierra Juárez. Dada la diferencia en densidad de capullos encontrada de *Z. howdeni*, se debe considerar la distancia al árbol al momento de proponer alguna estrategia de control. La presencia de capullos a diferentes distancias se debe a que las larvas de *Z. howdeni*, al igual que *Z. falsus* (*e.g.* Cibrián *et al.*, 1995a), se desplazan del dosel por el fuste o se dejan caer del dosel al suelo para con ello completar la fase de capullo y posteriormente eclosionar. Aun cuando se registraron capullos adheridos a las acículas en los pinos, el

número fue muy bajo (menos de cinco por árbol), por lo cual no se colectaron. Ya en el suelo, las larvas penetran el mantillo y se transforman en capullos, localizándose la mayoría en el horizonte 0 del suelo, comportamiento similar a otras especies de *Zidiprion* (*e.g.* Cibrián-Tovar *et al.*, 1995).

El ciclo de vida de *Z. howdeni* en el área estudiada difirió de los que presentan *Z. falsus*, *Z. rhoweri* (Cibrián-Tovar *et al.*, 1995) y *Z. ojedae* (Sánchez-Martínez *et al.*, 2012). De acuerdo con el diagrama de su ciclo de vida, los huevos en *Z. howdeni* pueden presentarse desde la primera semana de abril, sin embargo, se requieren más datos de campo para corroborar esta hipótesis. El conocimiento taxonómico y ciclo de vida de la mosca sierra permite generar estrategias de control más adecuadas tal como lo sugiere González-Gaona y Sánchez-Martínez (2018). En Ixtlán de Juárez, la mosca sierra ha sido controlada con fumigaciones aéreas con *Beauveria bassiana*, *B. thuringiensis* y *Metarhizium anisopale* a finales de octubre y principios de noviembre, obteniendo una eficiencia menor a 50% (Elias Santiago, Servicios Técnicos Forestales de Ixtlán de Juárez, com. pers.). Con base en el ciclo de vida de *Z. howdeni*, se registró que el control aéreo se aplicó a la fase larvaria final, por lo que se recomienda aplicarse de julio a septiembre para un mayor éxito. En tierra, el período puede extenderse hasta noviembre, fumigando al dosel afectado con parihuela, una mezcla de jabón líquido, limpiador de piso comercial (compuesto de aceite de pino, formol, sosa caustica y sulfato de sodio), y agua. Esta mezcla ha dado mejor resultado en la Sierra Juárez que el uso de *Beauveria bassiana*, *B. thuringiensis* y *Metarhizium anisopale* (Manuel Herrera Santiago, Servicios Técnicos Forestales, Uzachi com. Pers.) y terrestres (aspección con parihuela). Tratamientos adicionales, como la remoción y quema de capullos a través de la escarificación de suelo (Díaz-Escobedo y Alvarez-Zagoya, 2010), deben realizarse cuando hay mayor densidad, durante los meses de octubre a enero.

Es importante considerar la alta mortalidad natural de *Z. howdeni* y el control que ejercen avispas parasitoides del género *Euceros* y *Netelia*, que en conjunto es superior a 60%, similar a otras especies de insectos (*e.g.* Clark-Tapia *et al.*,



2013). En general, las moscas sierra son parasitadas por insectos de los órdenes Diptera e Hymenoptera. En México, se considera a la familia Tachinidae como la principal entre los dípteros, mientras que entre los himenópteros se encuentran las familias Ichneumonidae, Braconidae, Perilampidae, Pteromalidae y Eulophidae (González Gaona y Sánchez Martínez, 2018). Sin embargo, la información sobre los parasitoides de cada género y especie de mosca sierra es escasa, sobre todo a escala regional. En el caso de *Zadiprion*, los registros señalan a las avispas de los géneros *Lamachus*, *Stylocryptus*, *Endasys* y *Exenterus* (Hymenoptera: Ichneumonidae), al igual que *Spathimeigenia mexicana* (Diptera: Tachinidae), como los principales parasitoides de *Z. falsus* (Gibrián-Tovar *et al.*, 1995, Ruíz-Cancino y Khalaim, 2015, González Gaona y Sánchez Martínez, 2018), las cuales atacan hasta 30% las larvas en etapa de capullo. En cuanto a las demás especies de *Zadiprion*, no se encontró ninguna información relacionada con sus parasitoides. En particular, durante la fase de capullo, la mosca sierra puede ser depredada por soricidos (musaraña), roedores y hormigas.

Se ha documentado que el control biológico es una alternativa viable y más amigable con el ambiente que la química, estudiada para el género *Zadiprion* por medio de parasitoides y hongos entomopatógenos (Díaz-Escobedo y Álvarez-Zagoya, 2010); sin embargo, para *Z. bowdeni* se requiere profundizar en el tema. El control sobre esta especie es prioritario en la región, debido a que el clima ha cambiado en los últimos 60 años (Clark-Tapia, Suárez-Mota, Alfonso-Corrado, Aguirre-Hidalgo y Campos-Contreras, 2016), además de que se proyecta un incremento en el área de afectación para la Sierra Juárez (Suárez-Mota *et al.*, 2018). Debido a que el cambio climático es un factor causal de incremento en el daño por plagas (Deutsch *et al.*, 2018), la presencia de *Z. bowdeni* representa un grave problema de manera particular para los bosques de Ixtlán y para la región en general.

CONCLUSIONES

Este estudio identificó a la avispa *Z. bowdeni* como el defoliador presente en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. La avispa

se encuentra asociada principalmente a *P. oaxacana* y, en menor frecuencia a *P. patula*, *P. ayacahuite* y *P. teocote*. Con base en el muestreo realizado, se estima que los estadios de mayor duración son el de pupa y el de larva, mientras que el estadio más corto es el de huevo. La mayor presencia de adultos ocurre entre los meses de abril a mayo, siendo mayo el mes con mayor eclosión de hembras. En el bosque puede haber más de 130 000 pupas en capullos viables por hectárea, siendo evidente el dimorfismo sexual desde la etapa pupa en capullo. De los capullos mayores a 1 cm solo emergen hembras, mientras que de capullos menores a 1 cm solo emergen machos. Se registró que el número de machos que salen del capullo tiende a ser menor al número de hembras (2000 y 28 000, respectivamente). Como medida de control de esta plaga se recomienda que esta se inicie en el periodo donde están presentes los estadios de adulto, huevo y larva, es decir durante los meses de abril a agosto. Se sugiere realizar estudios futuros para profundizar en el ciclo de vida de la especie, así como estrategias de control biológico para regular el crecimiento y afectación de las masas forestales en Sierra Juárez.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece a las autoridades de bienes comunales de Ixtlán de Juárez las facilidades otorgadas para la realización de este estudio. A las autoridades de la Universidad de la Sierra Juárez por el apoyo logístico al proyecto CAUP-2EA-df20.

REFERENCIAS

- Aguilera-Molina, V. M., Munguía-Ortega, K. K., López-Reyes, E., Martínez-Aquino, A., & Ceccarelli, F. S. (2019). Climate change and forest plagues: assessing current and future impacts of diprionid sawflies on the pine forests of north-western Mexico. *PeerJ*, 7, e7220. doi: 10.7717/peerj.7220
- Alfonso-Corrado, C., Pérez-Legaspi, A. J., Campos-Contreras, Gorgonio-Ramírez, M., Velasco-Hipólito, F., & Clark-Tapia, R. (2016). Región hidrológica 28, Cuenca del Papaloapan. En R. Clark-Tapia, M. F. Ramos-Morales, C. L. Alfonso-Corrado, M. M. Mendoza-Díaz, & M. E. Fuente Carrasco (Eds.). *Recursos hídricos de la Sierra Norte de Oaxaca: caracterización, diagnóstico y gestión* (pp. 3-17). D.F., México: Universidad de la Sierra Juárez, Oaxaca.

- Allen, C. D. (2009). Muerte regresiva del bosque inducida por el clima: ¿un fenómeno mundial en aumento?. *Unasylva* 231/232, 60, 43-49.
- Arriaga-Cabrera, L., Aguilar, V., & Espinoza, J. M. (2009). Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. En Conabio. *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio* (pp. 433-457). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Cibrián-Tovar, D., Méndez-Montiel, J. T., Campos-Bolaños, R., Yates III, H. O., & Flores-Lara, J. (1995). *Insectos forestales de México*. Publicación No. 6. Chapingo, Estado de México, México: Universidad Autónoma de Chapingo – SARH – SFFS – USDA – NRC – CFAN - FAO.
- Clark-Tapia, R., Suárez-Mota, M. E., Alfonso-Corrado, C., Aguirre-Hidalgo, V., & Campos-Contreras J. E. (2016). Clima. En Clark-Tapia, R., Ramos-Morales, M. F., Alfonso-Corrado, C., Mendoza-Díaz, M. M., & Fuente-Carrasco, M. (Eds.), *Recursos hídricos de la Sierra Norte de Oaxaca. Caracterización, diagnóstico y gestión* (pp. 43-47). D.F., México: Universidad de la Sierra Juárez Oaxaca.
- Clark-Tapia, R., Alfonso-Corrado, C., Campos, J., González-Adame, G., Briano-Silva, M., Aguirre-Hidalgo, V., & Casasola-González, A. (2013). Abundancia y distribución de agallas foliosas en *Quercus resinosa* Liemb. (Fagaceae) en Aguascalientes, México. *Polibotánica*, 36, 129-145.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio]. (2000). *Estrategia nacional sobre biodiversidad de México*. D.F. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Coria-Avalos, V. M., González-Gaona, E., Pulido-Herrera, A., & Muñoz-Flores, H. J. (2014). Detección y descripción morfológica de “mosca sierra” en bosques de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México *Entomología Mexicana*, 1, 426-430.
- Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable [CMDRS]. (2009). Diagnóstico y plan de desarrollo municipal de Ixtlán de Juárez.
- Cruz, A. (2018). Detectan plaga que destruye bosques de Oaxaca; consume follaje de árboles. Crónica.
- Recuperado de <https://www.cronica.com.mx/notas/2018/1062939.html>
- Del Castillo, R. F., Pérez de la Rosa, J. A. Vargas Amado, G., & Rivera-García, R. (2004). Coníferas. En A. J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez y M. Briones-Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca*. D. F. México: Instituto de Biología-UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund, México.
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361, 916-919. doi: 10.1126/science.aat3466
- Díaz-Escobedo, V. M. & Alvarez-Zagoya, R. (2010). Enemigos naturales de la mosca sierra *Zadiprion falsus* Smith (Hymenoptera: Diprionidae) en Durango. *Vidsupra*, 28(1), 1-5
- Gasca-Zamora, J. (2014). Gobernanza y gestión comunitaria de recursos naturales en la Sierra Norte de Oaxaca. *Región y sociedad*, 26(60), 89-120.
- González-Gaona, E. & Sánchez-Martínez, E. G. (2018). *Identificación y manejo de moscas sierra de la familia Diprionidae presentes en el centro norte de México*. Folleto Técnico. México: Conacyt-Conafor.
- López-Sánchez, I. V., Ordaz-Silva, S., Delgadillo-Ángeles, J. L., Pedro-Méndez, J. P., Carrasco-Peña, L. D., & De León-Girón, G. (2017). Mosca sierra, un problema creciente en el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir, Baja California Norte. *Entomología Mexicana*, 4, 509-512.
- Lyytikäinen, S. P. & Tomppo, E. (2002). Impact of sawfly defoliation on growth scot pine *Pinus sylvestris* (Pinaceae) and associated economic losses. *Bulletin of Entomological Research*, 92, 137-140. doi: 10.1079/BER2002154
- Olivo, M. J. A. (2018). Proyecto de Diagnostico fitosanitario y de Combate y Control de Plagas y Enfermedades Forestales. Conafor-Semarnat. Recuperado de <http://sivicooff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/04%20Diagnósticos%20Estatales/Programas%20de%20trabajo%20anuales/Chihuahua.pdf>, p 24.
- Plan para el Desarrollo Integral, Sustentable y Pluricultural [PDISP]. (2005). Ixtlán de Juárez. Recuperado de <https://docplayer.es/37148856-Ixtlan-de-juarez-laa-yetzi-laa-plan-para-el-desarrollo-integral-sustentable-y-pluricultural.html>
- Ramos-Morales, M. F. & Clark-Tapia, R. (2018). La forestería comunitaria en la Sierra Juárez. En Clark-Tapia, R., M. E. Fuente Carrasco, C. L. Alfonso-Corrado, M. F. Ramos-Morales y V. Aguirre-Hidalgo (Coord.). *Manejo Forestal Comunitario y Sustentabilidad en Sierra Juárez* (pp 37-51). Ciudad de México, México: Fontamara.
- Rodríguez L. R. (1990). *Plagas Forestales y su control en México*. Chapingo, Estado de México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Ruiz-Cancino, E. & Khalaim, A. I. (2015). Mexican species of the genus *Exenterus* Hartig (Hymenoptera: Ichneumonidae: Tryphoninae) reared from diprionid hosts. *Zootaxa*, 4048(1), 140-150.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital. D.F. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.



- Sánchez-Martínez, G., Alanís-Morales, H. E., Cano-Rodríguez, M., & Olivo-Martínez, J. A. (2012). *Biología y aspectos taxonómicos de dos especies de mosca sierra de los pinos en Chihuahua*. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México: Inifap.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]/Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [Conanp]. (2012). *Sanidad Forestal*. Recuperado de http://www.conanp.gob.mx/contenido/pdf/Cartel_Sanidad_Forestal.pdf.
- SmartWood (2002). Resumen Público de Certificación de Unión de Productores Forestales Zapotecas-Chinantecas de la Sierra de Juárez de R.I. (UZACHI).
- Smith, D. R. (1971). The genus *Zadiprion* Rohwer (Hymenoptera: Diprionidae). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 73(2), 187-197.
- Smith, D. R. (1974). Conifer sawflies, Diprionidae: Key to North American genera, checklist of world species, and new species from Mexico (Hymenoptera). *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 76(4), 409-418.
- Smith, D. R. (1988). A synopsis of the sawflies (Hymenoptera: Symphyta) of America south of the United States: Introduction, Xyelidae, Pamphiliidae, Cimbicidae, Diprionidae, Xiphydriidae, Siricidae, Orussidae, Cephidae. *Systematic Entomology*, 13, 205-261. doi: 10.1111/j.1365-3113.1988.tb00242.x
- Smith, D. R., Conroy, M. J., & Brakhage, D. H. (1995). Efficiency of adaptive cluster sampling for estimating density of wintering waterfowl. *Biometrics*, 51(2), 777-787. doi: 10.2307/2532964
- Smith, D. R., Brown, J. A. B., & Lo, N. C. H. (2004). Application of adaptive sampling to biological populations. En Thompson, W. L. (Ed.), *Sampling rare or elusive species*. (pp 93-152). USA: Island press.
- Smith, D. R. (2006). Familia Diprionidae. En Fernández, F., & Sharkey, M. J. (Eds.), *Introducción a los Hymenoptera de la Región Neotropical*. (pp. 231-232). Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de Entomología y Universidad Nacional de Colombia.
- Smith, D. R., Sanchez-Martínez, G., & Ojeda-Aguilera, A. (2012). A new species of *Zadiprion* (Hymenoptera: Diprionidae) on *Pinus durangensis* from Chihuahua, México, and a review of other species of the Genus. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 114(2), 224-237. doi: 10.4289/0013-8797.114.2.224
- Suárez-Mota, M. E., Pacheco-García, M. M., Cristóbal-Angulo, O. P., Antúnez, P., Santiago-García, W., & Bautista-Juárez, I. (2018). La plaga defoliadora *Zadiprion falsus* Smith en la Sierra Norte de Oaxaca, México: estado actual y perspectivas. *Agro productividad*, 11(7), 35-41.
- Técnica Informática Aplicada S.A. [TIASA]. (2003). Programa de manejo forestal para el aprovechamiento persistente de los recursos naturales forestales maderables ciclo 2003-2013. Oaxaca, México: comunidad de Ixtlán de Juárez.
- Valencia-Avalos, S. & Nixon K. C. (2004). Encinos. En García-Mendoza, A. J., Ordóñez, M. J y Briones-Salas, M. (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología-UNAM*. D. F., México: Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza, World Wildlife Fund.
- Vásquez-Cortez, V. F., Clark-Tapia, R., Manzano-Méndez, F., González-Adame, G., & Aguirre-Hidalgo, V. (2018). Estructura, composición y diversidad arbórea y arbustiva en tres condiciones de manejo forestal de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Madera y Bosques*, 24(3), 1-13. doi: 10.21829/myb.2018.2431649
- Yela, J. L., Esteban-Durán, J. R., Jimenez, A., & Beitia, F. (1997). La dispersión en insectos (Arthropoda: Insecta): invasión por especies introducidas por la acción humana frente a ampliación natural del área de distribución. *Sociedad Entomológica Aragonesa*, 20, 301-309.
- Manuscrito recibido el 26 de marzo de 2019
- Aceptado el 25 de febrero de 2020
- Publicado el 13 de noviembre de 2020
- Este documento se debe citar como:
- Aguirre-Hidalgo, V., Casasola-González, J. A., Alfonso-Corrado, C., Santiago-García, E., & Clark-Tapia, R. (2020). Registro y ecología de *Zadiprion howdeni* (Hymenoptera: Diprionidae) en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Madera y Bosques*, 26(3), e2631943. doi: 10.21829/myb.2020.2631943



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.