

DETERMINATION OF THE CONSERVATION STATUS OF THE “*ESCAMOLERA*” ANT (*Liometopum apiculatum* MAYR) IN MEXICO BY THE SPECIES RISK ASSESSEMENT METHODOLOGY – MER

DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA HORMIGA “*ESCAMOLERA*” (*Liometopum apiculatum* MAYR) EN MÉXICO POR EL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE RIESGO – MER

Mauricio Berumen-Jiménez¹, Ricardo David Valdez-Cepeda², Santiago de Jesús Méndez-Gallegos¹, Jorge Cadena-Íñiguez¹, Alfredo Esparza-Orozco¹, Luis Antonio Tarango-Arámbula^{1*}

¹Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. Campus San Luis Potosí. Iturbide No. 73, Colonia Centro, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, 78620 México. (ltarango@colpos.mx). ²Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Centro Norte, km 5.5 Carretera Zacatecas-Guadalajara, El Orito, Zacatecas, Zacatecas. 98060 México.

ABSTRACT

The larvae and pupae of *Liometopum apiculatum*, an ant species known as “escamolera” (*Lap*), are valued for their flavour and nutritional value. Currently demand at restaurants trade, high price and other factors have threatened their populations. However, in Mexico there is no risk assessment for this species. Therefore, information was compiled to evaluate the conservation status of *L. apiculatum*. The species Risk Assessment Methodology (MER) of Appendix I in the Mexican Standard NOM-059-SEMARNAT-2010 determines the risk category of a species based on scores of four criteria and places a species as “Extinct in the wild, subject to special protection, threatened or in danger of extinction”. In this study, the related scores were, for Criterion A (taxon distributional area), 3 points (restricted distribution); Criterion B (habitat status regarding its natural development), 1 point (apt, or not limiting); Criterion C (biological vulnerability), 1 point (low vulnerability); and criterion D (impact of human activity on the taxon) scored 3 points (medium impact). The sum of the scores of the four MER criteria indicated that *Lap* (the *escamolera* ant) should be placed in the category of Subject to special protection (SSP). This information shall be used to design management and conservation policies for edible insects in Mexico.

RESUMEN

Las larvas y pupas de *Liometopum apiculatum*, una especie de hormiga conocida como escamolera (*Lap*), se valoran por su sabor y valor nutricional. En la actualidad, la demanda en restaurantes, precios altos y otros factores han amenazado a sus poblaciones; sin embargo, en México no existe una evaluación de riesgo para *Lap*. Por lo tanto, se recopiló información para evaluar el estado de conservación de *L. apiculatum*. El Método de Evaluación de Riesgo (MER) del Apéndice I en la Norma Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 determina la categoría de riesgo de una especie con base en puntajes de cuatro criterios y la coloca como “Extinta en el medio silvestre, Sujeta a protección especial, Amenazada o en peligro de extinción”. En este estudio los puntajes fueron para el Criterio A (área de distribución del taxón), 3 puntos (distribución restringida); Criterio B (estado del hábitat respecto a su desarrollo natural), 1 punto (apto o no limitante); Criterio C (vulnerabilidad biológica), 1 punto (vulnerabilidad baja); y el criterio D (impacto de la actividad humana en el taxón) 3 puntos (impacto medio). La suma de los puntajes de los cuatro criterios del MER indicó que *Lap* (la hormiga escamolera) debería incluirse en la categoría de Sujeta a protección especial (SSP). Esta información se puede utilizar para diseñar políticas de manejo y conservación de insectos comestibles en México.

Palabras clave: *Liometopum apiculatum*; conservación; *Formicidae*; insectos comestibles; Método de Evaluación de Riesgo (MER); vulnerabilidad biológica.

* Author for correspondence ♦ Autor para correspondencia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7662-1319>

Received: September, 2020. Approved: September, 2021.

Published in *Agrociencia* 55: 539-555. 2021.

Key words: *Liometopum apiculatum*; conservation; *Formicidae*; edible insects; Mexican Species Risk Assessment Methodology (MER); biological vulnerability.

INTRODUCTION

The environment is being threatened by anthropogenic activities. The continuous loss of biodiversity, ecosystem fragmentation and species extinction are the greatest threats to the world's biota (Martínez-Meyer *et al.*, 2014). Edible insects are rich in protein and seasonally harvested and consumed. In Mexico, eight species of ants are consumed, among them *Myrmecocystus* spp., *Pogonomyrmes* spp., *Atta cephalotes*, *Atta mexicana*, *Atta texana* (Lara-Juarez *et al.*, 2015) and the escamolera ant *Liometopum apiculatum* (*Lap*). Larvae and pupae of the breeding caste (called "escamoles") of *Lap* are used as food source since pre-Columbian times.

During March and April, they are gathered and provide income for families in the rural arid and semi-arid regions of Mexico (Tarango-Arámbula, 2012). However, the current high demand of escamoles have increased and in many regions of Mexico *Lap* is overexploited (Tarango-Arámbula, 2012). Likewise, continue use conversion of the *Lap* habitat for livestock and agricultural activities (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Lara-Juárez *et al.*, 2015), poor management of the colonies and their nests, the lack of norms for the sustainable use of edible insects, and their increasing demand, cause a cumulative negative impact on their populations and habitats (Tarango-Arámbula, 2012).

Species loss has initiated efforts to conduct species risk assessments in order to design conservation strategies (Sánchez *et al.*, 2007). As an example, the International Union for Conservation of Nature (IUCN) collects information to assess the conservation status of species based on various criteria and categories (IUCN, 2012). Although criteria used to assess the risk level of a species by the IUCN are internationally recognized, their application to assess conservation status of many species of Mexican wildlife is difficult; particularly for insects. Due to the aforementioned, the Species Risk Assessment Methodology called Método de Evaluación del Riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER) was developed by Sánchez *et al.* (2007) and

INTRODUCCIÓN

Las actividades antropogénicas amenazan al ambiente. La pérdida continua de biodiversidad, la fragmentación de los ecosistemas y la extinción de especies son las mayores amenazas para la biota mundial (Martínez-Meyer *et al.*, 2014).

Los insectos comestibles son ricos en proteínas, se cosechan y consumen estacionalmente. En México se consumen ocho especies de hormigas, entre ellas *Myrmecocystus* spp., *Pogonomyrmes* spp., *Atta cephalotes*, *Atta mexicana*, *Atta texana* (Lara-Juarez *et al.*, 2015) y la hormiga escamolera *Liometopum apiculatum* (*Lap*).

Las larvas y pupas de la casta reproductora (llamadas escamoles) de *Lap* se utilizan como fuente de alimento desde la época precolombina. Durante marzo y abril se recolectan, comercializan y dan ingresos a las familias de las regiones rurales áridas y semiáridas de México (Tarango-Arámbula, 2012). Sin embargo, la demanda actual de escamoles ha aumentado y en muchas regiones de México *Lap* está sobreexplotada (Tarango-Arámbula, 2012). Asimismo, la conversión continua del hábitat de *Lap* para actividades ganaderas y agrícolas (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Lara-Juárez *et al.*, 2015), el mal manejo de las colonias de *Lap* y sus nidos, la falta de normas para el uso sostenible de insectos comestibles y su demanda creciente provocan un impacto negativo acumulativo en sus poblaciones y hábitats (Tarango-Arámbula, 2012).

La pérdida de especies ha llevado a realizar evaluaciones de riesgo para especies con el fin de diseñar estrategias de conservación (Sánchez *et al.*, 2007). Por ejemplo, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) recopila información para evaluar el estado de conservación de las especies en función de varios criterios y categorías (UICN, 2012). Aunque los criterios utilizados para evaluar el nivel de riesgo de una especie por la UICN se reconocen en escala internacional, su aplicación para evaluar el estado de conservación de muchas especies de la vida silvestre mexicana es difícil; en particular para los insectos. Por lo anterior, Sánchez *et al.* (2007) y SEMARNAT (2010) desarrollaron el Método de Evaluación de Riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER). Este método aporta una evaluación de riesgo específica para cada especie investigada.

MER es parte de la Norma mexicana conocida como Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SE-

SEMARNAT (2010). This method renders a specific risk assessment for each target species.

MER is part of the Mexican Standard known as Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) and defines several elements that affect a taxon (species) and its vulnerability (Sánchez-Salas *et al.*, 2013). To evaluate the conservation status of a species, MER takes four criteria into account: Criterion A, taxon distributional area; Criterion B, habitat status regarding its natural development; Criterion C, biological vulnerability; and Criterion D, impact of human activity on the taxon. This assessment places a species in one of the following risk categories: extinct in the wild, subject to special protection, threatened or in danger of extinction (SEMARNAT, 2010).

Nowadays, human impact on populations and habitats of *L. apiculatum* is unknown. Based on the available information on this species, the assumption was that a site-specific application of MER would place this species at least in the category of Subject to special protection (SSP). Thus, the objective of this study was to determine the conservation status of *L. apiculatum* using the species Risk Assessment Methodology MER based on the analysis of geographical and biodiversity databases.

MATERIALS AND METHODS

The conservation status of *L. apiculatum* was determined by revising all information available gathered during August - December 2017 and using the criteria in MER (Table 1).

Criterion A. Taxon distributional area in Mexico

The information regarding the geographic distribution of *L. apiculatum* was obtained from research reports, published articles, and databases available in GBIF (the Global Biodiversity Information Facility, <https://www.gbif.org/>); the UNIBIO (Unidad de Informática para la Biodiversidad (2017), <http://unibio.unam.mx/>); Antmaps (<http://antmaps.org/>); and the REMIB (Red Mundial de Información sobre Biodiversidad, <http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remibnodosdb.html>).

The distributional area of *L. apiculatum* was calculated by modelling their ecological niche. First, the model was calibrated by delimiting a polygon of the accessible area. That is, the area where the species was assumed to be found or would be found according to current knowledge, the species capacity for

MARNAT-2010) y define elementos diversos que afectan a un taxón (especie) y su vulnerabilidad (Sánchez-Salas *et al.*, 2013). Para evaluar el estado de conservación de una especie, el MER toma en cuenta cuatro criterios: Criterio A, área de distribución del taxón; Criterio B, estado del hábitat respecto a su desarrollo natural; Criterio C, vulnerabilidad biológica; y Criterio D, impacto de la actividad humana en el taxón. Esta evaluación ubica a la especie en una de las siguientes categorías de riesgo: Extinta en estado silvestre, Sujeta a protección especial, Amenazada o En peligro de extinción (SEMARNAT, 2010).

En la actualidad se desconoce el impacto humano sobre las poblaciones y hábitats de *L. apiculatum*. Con base en la información disponible sobre la hormiga escamolera se asumió que la aplicación de MER en un sitio específico colocaría a esta especie, al menos en la categoría de Sujeta a protección especial (SSP). Por ello, el objetivo de este estudio fue determinar el estado de conservación de *L. apiculatum* a través del Método de Evaluación de Riesgo (MER), con en el análisis de bases de datos geográficas y de biodiversidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estado de conservación de *L. apiculatum* se determinó con la revisión de toda la información disponible recopilada durante agosto - diciembre de 2017 y los criterios del MER (Cuadro 1).

Criterio A. Área de distribución del taxón en México

La información sobre la distribución geográfica de *L. apiculatum* se obtuvo de informes de investigación, artículos publicados y bases de datos disponibles en GBIF (Global Biodiversity Information Facility, <https://www.gbif.org/>); de UNIBIO (Unidad de Informática para la Biodiversidad (2017), <http://unibio.unam.mx/>); Antmaps (<http://antmaps.org/>); y de la REMIB (Red Mundial de Información sobre Biodiversidad, <http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remibnodosdb.html>).

El área de distribución de *L. apiculatum* se calculó a través de la modelación de su nicho ecológico. Primero, el modelo se calibró con la delimitación de un polígono del área accesible. Esto es, el área donde se suponía que se encontraba o se encontraría la especie de acuerdo con el conocimiento actual, la capacidad de dispersión de la especie y aquellas barreras o discontinuidades ambientales que limitan la distribución de la especie. Las áreas en las ecorregiones terrestres del mundo (Peterson, 2001) que

Table 1. Criteria and categories used by the Species Risk Assessment Methodology (MER) to define the conservation status of a species in Mexico (SEMARNAT, 2010).**Cuadro 1. Criterios y categorías utilizadas por el Método de Evaluación de Riesgo (MER) para definir el estado de conservación de especies en México (SEMARNAT, 2010).**

Criterion	Category	Score (points [†])
A. Taxon distributional area in Mexico. The criterion refers to the relative size of the natural area where the taxon is geospatially distributed.	a) Very restricted taxon distribution if it occupies <5%.	4
	b) Restricted taxon distribution, if it occurs over 5 to 15%.	3
	c) Taxon with a medium distribution if it is present over 15 to 40%.	2
	d) Taxon with a wide distribution if it is present in an extension >40%.	1
B. Habitat status of the taxon regarding its natural development. This refers to the present condition of the habitat regarding biotic and abiotic requirements for the development of the taxon.	a) Hostile or highly limiting	3
	b) Intermediate or limiting	2
	c) Apt or little limitation	1
C. Biological vulnerability of the taxon. This criterion refers to the set of factors related to the history or life behaviour of a species that makes it vulnerable (reproductive strategy, demographic parameters, phenology, tolerance intervals, feeding behaviour, genetic variability, rate of recruitment and nursing).	a) High vulnerability	3
	b) Medium vulnerability	2
	c) Low vulnerability	1
D. Impact of human activity on the taxon. This criterion refers to the magnitude of the impact and the trend generated by different activities on the taxon (proximity of human settlements, habitat fragmentation, commercial use, traffic and introduction of exotic species).	a) High impact	4
	b) Medium impact	3
	c) Low impact	2

[†]The sum of the category selected in each criterion, defines the risk level of the species under study: Species subject to special protection (SSP) <10 points; Threatened species (Th) 10-11 points; in danger of extinction (E) 12-14 points. ❖ [†]La suma de la categoría seleccionada en cada criterio define el nivel de riesgo de la especie bajo estudio: especie Sujeta a protección especial (SSP) <10 puntos; especie Amenazada (Th) 10-11 puntos; En peligro de extinción (E) 12-14 puntos.

dispersion, and those barriers or environmental discontinuities that limit species distribution. Areas out of the terrestrial ecoregions of the world (Peterson, 2001) that coincided with records of location and the biological conditions for species distribution as reported for *L. apiculatum* were classified and cropped.

In addition, 19 bioclimatic variables were obtained from Worldclime (Hijmans *et al.*, 2005). To avoid multicollinearity and prediction errors from overfitting the models, the number of variables was reduced with an inflexion factor analysis on the variance with the opensource statistical software R v. 3.6.0 (The R Core Team, 2019). Out of the 19 variables 13 were eliminated and six variables were selected, BI02 (average daily heat range), BI08 (mean temperature of the most humid quarter), BI09

coincidieron con los registros de ubicación y las condiciones biológicas para la distribución de la especie, según lo reportado para *L. apiculatum*, se clasificaron y se obtuvieron polígonos.

Además, se obtuvieron 19 variables bioclimáticas de Worldclime (Hijmans *et al.*, 2005). Para evitar multicolinealidad y errores de predicción por sobreajuste de los modelos, el número de variables se redujo con un análisis del factor de inflexión sobre la varianza con el programa estadístico de código abierto R v. 3.6.0 (The R Core Team, 2019).

De las 19 variables se eliminaron 13 y se seleccionaron seis variables, BI02 (amplitud de calor diario promedio), BI08 (temperatura media del trimestre más húmedo), BI09 (temperatura media del trimestre más seco), BI15 (estacionalidad de la precipitación), BI18 (precipitación en el trimestre más cálido) y BI19 (precipitación en el trimestre más frío).

(mean temperature of the driest quarter), BI15 (precipitation seasonality), BI18 (precipitation in the hottest quarter) and BI19 (precipitation in the coldest quarter). Overfitting of the model due to spatial autocorrelation was reduced by selecting only the presence records of *L. apiculatum* that were separated among them by at least 20 km.

Potential distribution was analysed with the maximum entropy algorithm of the software Maxent v. 3.3.3k (Phillips *et al.*, 2006). A logistic-type output was obtained using a threshold of minimum training presence including the ant records separated by at least 20 km; the remaining records were used to validate the model. The parameters used in the construction were those of the linear, quadratic and threshold functions; 25 replicates were carried out, and the result was set as an average model.

The final model was validated by the ROC (receiver operating characteristic) analysis in the Niche program toolbox. For validation, the points excluded from the analysis of maximum entropy in 500 replicates were used at a confidence interval of 95%. The final map and the distribution area were calculated using QGIS v. 2.18.13 (QGIS Development Team, 2017).

Criterion B. Habitat status of the taxon regarding natural development

To assess this criterion, an analysis of the main physical and biotic factors that affect *L. apiculatum* was included. The following maps were used: I, potential vegetation type; II, climate classification; III, Soil type; IV, land use vegetation change; V, soil degradation (CONABIO, 2017); and VI, areas in the forest restoration map (CONAFOR, 2017). These six thematic maps were overlapped with the potential distributional map defined for the species in Criterion A, and the habitat conditions for the species were evaluated with map algebra, overlaying and reclassifying all the maps under comparison.

Criterion C. Biological vulnerability of the taxon

To evaluate this criterion, *L. apiculatum* population density was considered; along with reproductive habits and reproductive success, feeding, nesting sites, foraging scope, effects of temperature on their activity, symbiosis and predators.

Criterion D. Impact of human activity on the taxon

In order to determine the human demographic impact on *L. apiculatum*, a set of questions was used regarding direct and indirect factors that affect the loss of biodiversity and extinction of species (IUCN, 2012). For determining scores true-false questions were created asking whether 1) *L. apiculatum* has

El sobreajuste del modelo por autocorrelación espacial se redujo con la selección de solo aquellos registros de presencia de *L. apiculatum* que estaban separados entre ellos por al menos 20 km.

La distribución potencial se analizó con el algoritmo de entropía máxima del programa Maxent v. 3.3.3k (Phillips *et al.*, 2006). Una salida de tipo logístico se obtuvo con el uso de un umbral de entrenamiento de presencia mínima que incluyó los registros de la hormiga separados por al menos 20 km; el resto de los registros se utilizó para validar el modelo. Los parámetros utilizados en la construcción fueron los de las funciones lineal, cuadrática y umbral; se realizaron 25 réplicas y el resultado se estableció como un modelo promedio.

El modelo final se validó por análisis ROC (característica operativa del receptor) en la caja de herramientas del programa Niche. Para la validación, los puntos excluidos en 500 repeticiones del análisis de entropía máxima se utilizaron con intervalo de confianza del 95%. El mapa final y el área de distribución se calcularon con QGIS v. 2.18.13 (QGIS Development Team, 2017).

Criterio B. Estado del hábitat del taxón respecto al desarrollo natural

Para evaluar este criterio, se incluyó un análisis de los factores físicos y bióticos principales que afectan a *L. apiculatum*. Los mapas siguientes se utilizaron: I, tipo de vegetación potencial; II, clasificación climática; III, tipo de suelo; IV, cambio de vegetación en el uso de la tierra; V, degradación del suelo (CONABIO, 2017); y VI, áreas en el mapa de restauración forestal (CONAFOR, 2017). Estos seis mapas temáticos se superpusieron con el mapa de distribución potencial definido para la especie en el Criterio A, y las condiciones de hábitat de la especie se evaluaron con álgebra de mapas, con la superposición y reclasificación de todos los mapas comparados.

Criterio C. Vulnerabilidad biológica del taxón

Para evaluar este criterio, se consideró la densidad poblacional de *L. apiculatum*; junto con hábitos reproductivos, éxito reproductivo, alimentación, sitios de anidación, potencial forrajero, efectos de la temperatura en su actividad, simbiosis y depredadores.

Criterio D. Impacto de la actividad humana sobre el taxón

Para determinar el impacto humano sobre *L. apiculatum*, se utilizó una serie de preguntas sobre factores directos e indirectos que inciden en la pérdida de la biodiversidad y extinción de las

lost more than 50% of habitat? 2) *L. apiculatum* is displaced by exotic species? 3) *L. apiculatum* is affected by climate change? 4) *L. apiculatum* is overexploited? 5) *L. apiculatum* has any commercial value? 6) There is any standardized method for raising, managing or exploiting *L. apiculatum* populations? 7) There is any agreement or public policy regulating use or trade? and 8) *L. apiculatum* is a protected species? Scores were assigned as 0 (when there is not any negative effect on the species) or 1 (when there is a negative effect on the species). The sum of the relative scores was then used to determine whether the species was facing a low (1-3), medium (4-6) or high (7-8 points) risk for extinction.

RESULTS AND DISCUSSION

Criterion A. Taxon distributional area in Mexico

The 190 ant record extracted from literature showed that *L. apiculatum* occurs in 24 Mexican states: Aguascalientes, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Colima, Durango, México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Zacatecas, and Mexico City: (Figure 1). A clear concentration in central Mexico was evident (Figure 2). The number of ant records used to model the potential distribution of *Lap* was adequate, since at least only 20-40 records (Peterson, 2001) are needed to make a good prediction of any species distribution.

especies (UICN, 2012). Para determinar los puntajes se crearon, a través de opción de respuesta verdadero-falso, preguntas acerca de *L. apiculatum* 1) ¿ha perdido más del 50% de su hábitat? 2) ¿sufre desplazo por parte de especies exóticas? 3) ¿la afecta el cambio climático? 4) ¿está sobreexplotada? 5) ¿tiene algún valor comercial? 6) ¿existe algún método estandarizado para criar, manejar o explotar sus poblaciones? 7) ¿existe algún acuerdo o política pública que regule su uso o comercio? y 8) ¿es una especie protegida? El valor para puntaje se asignó como 0 (cuando no existe efecto negativo sobre la especie) o 1 (cuando hay un efecto negativo sobre la especie). La suma de los puntajes relativos se utilizó después para determinar si la especie se enfrentaba a un riesgo de extinción bajo (1-3), medio (4-6) o alto (7-8 puntos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Criterio A. Área de distribución del taxón en México

Los 190 registros de la hormiga, obtenidos a partir de revisión documental, mostraron que *L. apiculatum* se encuentra en 24 entidades federativas mexicanas: Aguascalientes, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Colima, Durango, México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Zacatecas y Ciudad de México: (Figura 1). Una concentración clara fue evidente en el centro de México (Figura 2). El número de registros de la hormiga utilizados para modelar la distribución potencial de *Lap*

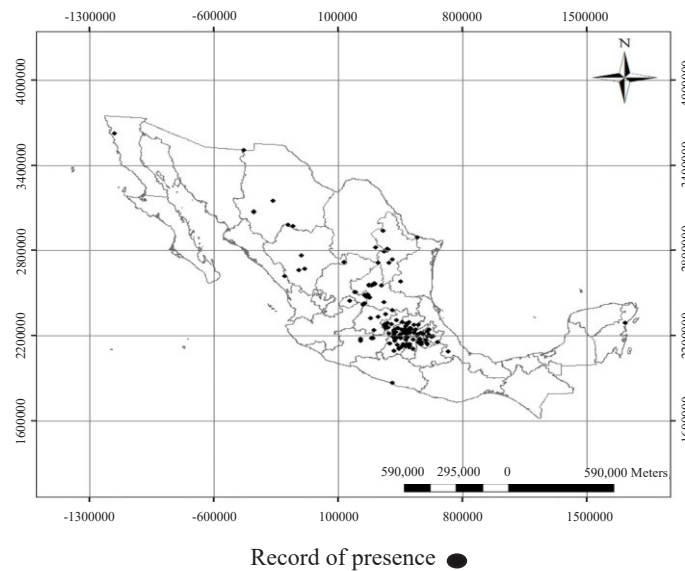


Figure 1. Records of presence for *Liometopum apiculatum* Mayr in Mexico.
Figura 1. Registros de presencia de *Liometopum apiculatum* Mayr en México.

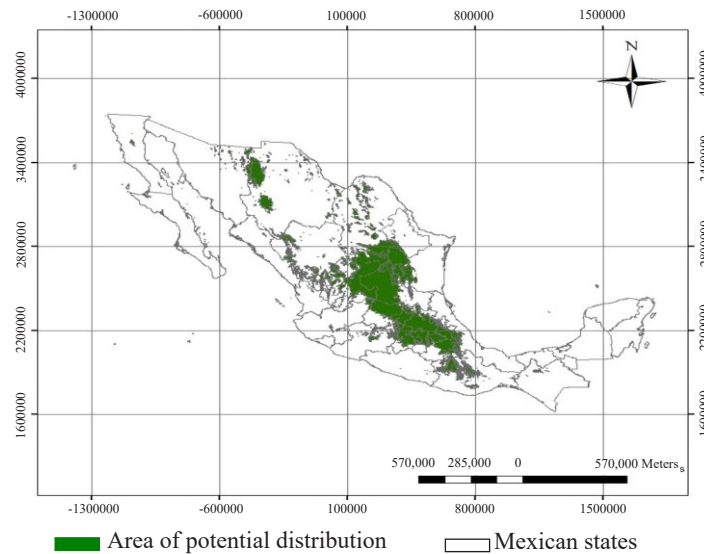


Figure 2. Area of potential distribution of *Liometopum apiculatum* in Mexico calculated through predictive ecological modelling analysis.

Figura 2. Área de distribución potencial de *Liometopum apiculatum* en México calculada por análisis de modelación ecológica predictiva.

The potential distribution generated by the Maxent software produced an (AUC) value of 1.215303 with a standard deviation of 0.13, which indicates the area under the receiver operating characteristic curve, and therefore, a good fit of the model. The potential distributional area delimited by this analysis for *L. apiculatum* (Figure 2) covered an area of 284 518.208 km², 14.5% of the 1 960 189 km² of the national territory (INEGI, 2017). Because *L. apiculatum* actually covers an area between 5-15%, we assigned a score of 3 points to this criterion (restricted taxon distribution) (Table 1).

Criterion B. Habitat status of the taxon regarding its natural development

The overlap of the potential distributional map obtained for the species and the potential vegetation map showed that *L. apiculatum* occurs in xerophilous scrub vegetation communities (Desert Microphyllous scrub, Desert Rosetophyllous scrub, Crasicaulescent scrub), grasslands, pine-oak forest, pinyon forest, tropical evergreen forest and tropical sub-deciduous forest. Also, *L. apiculatum* occurs in elevations from 30 m (UNIBIO, 2017) to 2900 m (Lara-Juárez *et al.*, 2015).

fue adecuado, ya que se necesitan al menos 20-40 registros (Peterson, 2001) para hacer una buena predicción de la distribución de cualquier especie.

La distribución potencial generada por el programa Maxent produjo un valor (AUC) de 1.215303 con una desviación estándar de 0.13, que indica el área bajo la curva de la característica operativa del receptor y, por lo tanto, un buen ajuste del modelo. El área de distribución potencial delimitada por este análisis para *L. apiculatum* (Figura 2) cubrió un área de 284 518.208 km², 14.5% de los 1 960 189 km² del territorio nacional (INEGI, 2017). Debido a que en la realidad *L. apiculatum* cubre un área entre 5-15%, se asignó 3 puntos a este criterio (distribución restringida para el taxón) (Cuadro 1).

Criterio B. Estado del hábitat del taxón respecto a su desarrollo natural

La superposición del mapa de distribución potencial obtenido para la especie y el mapa de vegetación potencial mostró que *L. apiculatum* se encuentra en comunidades de vegetación de matorrales xerófilos (matorral micrófilo desértico, rosetófilo desértico, o crasicaulescente), pastizales, bosques de pino-encino, bosque de piñonero, bosque tropical perenne y bosque

Likewise the overlap of the potential distributional map of *L. apiculatum* and climate classification map showed that *L. apiculatum* is present in diverse climates: BS₀k(x') (arid temperate), BS1kw (semiarid temperate), BS₀hw (arid warm), C(w1) (subhumid temperate), Cb(w₂) (subhumid cool with long cool summer), BS₁hw (semiarid warm), BS₀(h')(x') (arid hot), BWhw (very arid warm), (A)C(w1) (subhumid warm of group C), A(C)w2(w) (subhumid warm), Aw₁(x') (subhumid hot), and C(f) (humid temperate).

Also *L. apiculatum* occupies diverse soil types: feozem, leptosol, regosol, yermosol and xerosol (Lara-Juárez *et al.*, 2015). Based on the overlap of the potential distributional map and the soil type map of Mexico (CONABIO, 2017), the species occurs in 25 soil sub-types: calcareous feozem, calcareous regosol, calcic xerosol, chromic luvisol, distric regosol, eutric cambisol, eutric fluvisol, eutric hitosol, eutric regosol, gypsic xerosol, haplic castañozem, haplic feozem, haplic xerosol, humic acrisol, humic andosol, lithosol, luvisol, luvisol feozem, luvisol xerosol, mollic planosol, ortic luvisol, ortic solonchak, pelic vertisol, rendzina and vertic luvisol.

The analysis of the land use change and vegetation map, Series V (CONABIO, 2017) showed that dryland and irrigated farming, and cultivated grasslands have caused from low to medium levels of land use change in Aguascalientes, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Zacatecas, Colima, Guerrero, Jalisco, Veracruz and Quintana Roo. In contrast, in the states of Hidalgo, Mexico, Puebla and Tlaxcala, 30 of the 190 ant locations were found near or within sites of high-level transformation caused by human settlement and urban development.

Regarding the soil degradation map (CONABIO, 2017) in most of the areas where *Lap* distributes, the soils are moderately or slightly degraded by agricultural activities or overgrazing. However, in some locations of the states of Hidalgo, Mexico and Nuevo Leon, the soil had been extremely degraded (CONABIO, 2017). The forest restoration map (CONAFOR, 2017) indicated only at three ant locations in the states of Nuevo León, San Luis Potosí and Hidalgo in forest ecosystem there were low and medium degradation. *L. apiculatum* has wide habitat preferences since it is present in diverse types of vegetation, climates and soils. In general, *Lap* occupies areas that have low to medium levels of degradation.

tropical subcaducifolio. Además, *L. apiculatum* se presenta en altitudes desde 30 m (UNIBIO, 2017) hasta 2900 m (Lara-Juárez *et al.*, 2015).

Asimismo, la superposición del mapa de distribución potencial de *L. apiculatum* y el mapa de clasificación climática mostró que *L. apiculatum* está presente en climas diversos: BS₀k (x') (templado árido), BS1kw (templado semiárido), BS₀hw (cálido árido), C (w1) (templado subhúmedo), Cb (w₂) (fresco subhúmedo, con verano largo y fresco), BS₁hw (cálido semiárido), BS₀ (h') (x') (cálido árido) BWhw (cálido muy árido), (A)C(w1) (cálido subhúmedo del grupo C), A(C)w2(w) (cálido subhúmedo), Aw₁ (x') (caliente subhúmedo) y C(f) (templado húmedo).

También *L. apiculatum* ocupa diversos tipos de suelo: feozem, leptosol, regosol, yermosol y xerosol (Lara-Juárez *et al.*, 2015). Con base en la superposición del mapa de distribución potencial y el mapa de tipos de suelo de México (CONABIO, 2017), la especie se presenta en 25 subtipos de suelo: feozem calcáreo, regosol calcáreo, xerosol calcáreo, luvisol crómico, regosol dístico, cambisol eútrico, fluvisol eútrico, hitosol eútrico, regosol eútrico, xerosol gípico, castañozem hápico, feozem hápico, xerosol hápico, acrisol húmico, andosol húmico, litosol, feozem lúvico, xerosol lúvico, planosol mólico, luvisol órtico, solonchak órtico, vertisol pélico, rendzina y luvisol vértico.

El análisis del mapa de cambio de uso de suelo y de vegetación, Serie V (CONABIO, 2017) mostró que la agricultura en secano y regadío, y los pastizales cultivados han provocado cambios de uso de suelo de nivel bajo a medio en Aguascalientes, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Zacatecas, Colima, Guerrero, Jalisco, Veracruz y Quintana Roo. En contraste, en los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala, 30 de las 190 locaciones de hormigas se encontraron cerca o dentro de sitios con transformación alta causada por asentamientos humanos y desarrollo urbano.

En relación con el mapa de degradación de suelos (CONABIO, 2017) se observó que en la mayoría de las áreas donde *Lap* se distribuye los suelos se encuentran ligera o moderadamente degradados por actividades agrícolas o sobrepastoreo. Sin embargo, en algunas localidades de los estados de Hidalgo, México y Nuevo León, el suelo ha sido degradado en extremo (CONABIO, 2017). El mapa de restauración forestal (CONAFOR, 2017) indicó que solo

Ultimately, the Land use change and vegetation map, Series V (CONABIO, 2017) showed that 15.8% of *L. apiculatum* locations were near or within areas that have high levels of habitat disturbance. The Soil degradation map (CONABIO, 2017) indicated that only 1.57% of *Lap* locations were found in extreme soil degradation conditions, and the map of Forest restoration zoning (CONAFOR, 2017) showed that also 1.57 % of the ant records were likewise located in areas containing a low or medium forest degradation. For those reasons, the habitat status of *L. apiculatum* (Criterion B) received a score of 1 (apt or little limitation; Table 1).

Criterion C. Biological vulnerability of the taxon

Lap builds colonies and nests in diverse substrates. It occurs under rocks or dead tree trunks and at the base of variety of tree species, such as *Quercus* spp., *Pinus ponderosa*, *Pinus cembroides* (Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013), *Agave* sp., *Opuntia* sp., *Yucca* sp., *Prosopis* sp. and *Cylindropuntia* sp. (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Lara-Juárez *et al.*, 2015; Rafael-Valdez *et al.*, 2019). It can also nest in glass containers and rubber tires (Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013). In xerophytic environments the number of *L. apiculatum* nests per hectare regularly oscillates between 3.8 and 6.67 (Rafael-Valdez *et al.*, 2019).

The density of nests, the abundance of *L. apiculatum* colonies, foraging activity, resting and reproduction are linked to the vegetation cover that provides protection from sunlight. In overgrazed or unfavourable grasslands, *Lap* is not present (Lara-Juárez *et al.*, 2015) or population density is low (1.19 ha⁻¹) (Cruz-Labana *et al.*, 2014). In contrast, in sites with more appropriate plant cover or with moderate levels of disturbance, *Lap* nests increase (11.9-14 ha⁻¹) (Cruz-Labana *et al.*, 2014). Likewise, there is a positive relationship between *Lap* and the density of *Agave salmiana*, *A. crassispina* and the presence of hemipterans. *L. apiculatum* colonies can be monodomic (one nest) (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Lara-Juárez *et al.*, 2015) or polydomic (several nests) (Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013). The *L. apiculatum* flying female ants, during nuptial flights mate with several males, a process known as polyandric fecundation, which allows greater genetic heterogeneity (Lara-Juárez *et al.*, 2015).

The foraging activity of *Lap* occurs in a wide range of temperatures, from 8 up to 38 °C. However,

en tres ubicaciones de la hormiga en los estados de Nuevo León, San Luis Potosí e Hidalgo, en ecosistema forestal hubo degradación baja y media. *L. apiculatum* tiene preferencias de hábitat amplias ya que está presente en tipos de vegetación, climas y suelos diversos. En general, *Lap* ocupa áreas que tienen niveles de degradación de bajos a medios.

En definitiva, el mapa de Cambio de uso del suelo y vegetación, Serie V (CONABIO, 2017) mostró que el 15.8% de las ubicaciones de *L. apiculatum* estaban cerca o dentro de áreas que tienen niveles de alteración del hábitat altos. El mapa de Degradación del suelo (CONABIO, 2017) indicó que solo el 1.57% de las ubicaciones de *Lap* se encontraron en condiciones extremas de degradación del suelo, y el mapa de Zonificación de restauración forestal (CONAFOR, 2017) mostró que también 1.57% de los registros de hormigas se ubicaron en áreas con una degradación forestal baja o media. Por esas razones, el estado del hábitat de *L. apiculatum* (Criterio B) recibió el puntaje de 1 (apto o con poca limitación; Cuadro 1).

Criterio C. Vulnerabilidad biológica del taxón

Lap construye colonias y anida en sustratos diversos; se encuentra debajo de rocas o troncos de árboles muertos y en la base de una variedad de especies de árboles, como *Quercus* spp., *Pinus ponderosa*, *Pinus cembroides* (Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013), *Agave* sp., *Opuntia* sp., *Yucca* sp., *Prosopis* sp. y *Cylindropuntia* sp. (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Lara-Juárez *et al.*, 2015; Rafael-Valdez *et al.*, 2019). También puede anidar en recipientes de vidrio y neumáticos de caucho (Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013). En ambientes xerofíticos, el número de nidos de *L. apiculatum* por hectárea oscila por lo general entre 3.8 y 6.67 (Rafael-Valdez *et al.*, 2019).

La densidad de los nidos, la abundancia de colonias de *L. apiculatum*, la actividad forrajera, el reposo y la reproducción se relacionan con la cubierta vegetal que las protege de la luz solar. En pastizales sobrepastoreados o en condiciones desfavorables, *Lap* no está presente (Lara-Juárez *et al.*, 2015) o su densidad de población es baja (1.19 ha⁻¹) (Cruz-Labana *et al.*, 2014). Por el contrario, en sitios con una cobertura vegetal mejor o con niveles de perturbación moderados, hay más nidos de hormigas *Lap* (11.9-14 ha⁻¹) (Cruz-Labana *et al.*, 2014). Asimismo, existe una relación positiva entre *Lap* y la densidad del *Agave salmiana*, *A. crassispina* y la presencia de

it could be active at very low temperature. At midday (time of highest temperature and UV radiation), ants of the workers caste cease foraging and they seek refuge under rocks or vegetation (Lara-Juárez *et al.*, 2015). The foraging range of *L. apiculatum* varies between 468 and 709 m², in north-central Mexico and average foraging range is 565.65 m². The longest foraging path recorded is 100 m (Rafael-Valdez *et al.*, 2019). This is relevant since foraging distance and effort depend on the number of paths; when foraging paths increase, foraging distance decreases. For example, colonies with two and six foraging paths have respective average foraging distances of 50.7 and 31.5 m (Rafael-Valdez *et al.*, 2019).

L. apiculatum is omnivorous. Individuals feed on grains, dead insects, crustaceans, molluscs, annelids, carrion and extrafloral nectar (Velasco *et al.*, 2007). *Lap* also feeds on waste from other ants, such as *Pogonomyrmex babatus*, *Camponatus sayi* and *Solenopsis xyloni*. However, their main energy source is the honeydew exuded by hemipterans (Velasco, 2007; Lara-Juárez *et al.*, 2015): coccids (*Saissetia oleae* and *Saissetia* spp.), aphids (*Anoecia cornicola*, *Aphis helianthi*, *Aphis lugentis*, *Aphis solitaria* and *Cinara* sp.), pseudococcid scales (*Dysmicoccus brevipes* and *Dysmicoccus* sp.) or dactylopiid scales (*Crassiococcus* sp. and *Eriococcus* sp.) (Velasco *et al.*, 2007; Lara-Juárez *et al.*, 2015; Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013). In arid regions, *Lap* nesting sites are highly correlated with the presence of trees (*Yucca* sp.) and magueyes (*Agave salmiana*) infested by hemipterans (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Rafael-Valdez *et al.*, 2019).

Potential predators of *L. apiculatum* are arthropods, such as staphyloid beetles (*Dinardilla liometopi*, *Dinardilla mexicana* and *Sceptobius dispar*) and the cricket *Myrmecophilus* sp. (Lara Juárez *et al.*, 2015). Nevertheless, there are no reports that indicate any significant impact of predators on the colonies of *L. apiculatum*. Human predation, however, when gathering *Lap* breeding caste (the edible *escamol*), causes deterioration to the nest and death of many ants among the workers. But because the nest is large and intricate, the queen ant is kept safe in most cases, or it escapes to another chamber during *escamol* gathering (Lara Juárez *et al.*, 2015). The trabecula (structure where the breeding castes are found and extracted) is the most external and exposed part of the nest. In contrast, the royal chamber is isolated and it is difficult to locate or access. Therefore,

hemípteros. Las colonias de *L. apiculatum* pueden ser monodómicas (un nido) (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Lara-Juárez *et al.*, 2015) o polidómicas (varios nidos) (Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013). Las hembras de *L. apiculatum* se aparean durante los vuelos nupciales con varios machos, proceso conocido como fecundación poliándrica, la cual permite una heterogeneidad genética mayor (Lara-Juárez *et al.*, 2015).

La actividad forrajera de *Lap* se produce en gran amplitud de temperaturas, desde 8 hasta 38 °C. Sin embargo, podrían estar activas en temperatura muy baja. Al mediodía (hora de mayor temperatura y radiación ultravioleta), las hormigas obreras dejan de consumir alimento y buscan refugio bajo rocas o vegetación (Lara-Juárez *et al.*, 2015). El potencial forrajero de *L. apiculatum* varía entre 468 y 709 m²; en el centro-norte de México el potencial forrajero promedio es 565.65 m². La ruta de consumo más larga registrada es 100 m (Rafael-Valdez *et al.*, 2019). Esto es relevante ya que la distancia y el esfuerzo de alimentación dependen del número de rutas; cuando las rutas de consumo de alimento aumentan, las distancias se reducen. Por ejemplo, las colonias con dos y seis rutas de consumo tienen distancias de consumo promedio respectivas de 50.7 y 31.5 m (Rafael-Valdez *et al.*, 2019).

L. apiculatum es omnívora. Los individuos se alimentan de granos, insectos muertos, crustáceos, moluscos, anélidos, carroña y néctar extra floral (Velasco *et al.*, 2007). *Lap* también se alimenta de los desechos de otras hormigas, como *Pogonomyrmex babatus*, *Camponatus sayi* y *Solenopsis xyloni*. Sin embargo, su fuente de energía principal es la miel exudada por hemípteros (Velasco, 2007; Lara-Juárez *et al.*, 2015): cóccidos (*Saissetia oleae* y *Saissetia* spp.), áfidos (*Anoecia cornicola*, *Aphis helianthi*, *Aphis lugentis*, *Aphis solitaria* y *Cinara* sp.), pseudo cóccidos escamosos (*Dysmicoccus brevipes* y *Dysmicoccus* sp.) o dactilópodos escamosos (*Crassiococcus* sp. y *Eriococcus* sp.) (Velasco *et al.*, 2007; Lara-Juárez *et al.*, 2015; Hoey-Chamberlain *et al.*, 2013). En regiones áridas, los sitios de anidación de *Lap* tienen correlación alta con la presencia de árboles (*Yucca* sp.) y magueyes (*Agave salmiana*) infestados por hemípteros (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Rafael-Valdez *et al.*, 2019).

Los depredadores potenciales de *L. apiculatum* son los artrópodos, como los escarabajos estafiloides (*Dinardilla liometopi*, *Dinardilla mexicana* y *Sceptobius dispar*) y el grillo *Myrmecophilus* sp. (Lara Juárez

during the process of gathering only a portion of the nest is affected and the other chambers remain intact, making it easier for the colony to recover (Lara Juárez *et al.*, 2015).

L. apiculatum foraging activities are carried out in a broad temperature range, as they are omnivorous. Main energy source (honeydew) comes from diverse species of hemipterans. It was reported that predators do not have a negative impact on *Lap* populations; nest structure makes it difficult to locate and extract the queen ant during gathering, and thus the colony has greater possibilities of survival. For those reasons, a value of 1 (low biological vulnerability) was assigned to Criterion C (Table 1).

Criterion D. Impact of human activity on the taxon

Nowadays, fragmentation and degradation of habitats by human activities are the main causes of biodiversity loss. Probably no wild species is exempt from the negative impact that humans cause to ecosystems (IUCN, 2012). The evaluation of the human impact on the taxon (Criterion D) placed *L. apiculatum* at a medium impact (4-6 points) (Table 2) and thus the criterion D received a score of 3 points (Table 1).

The sum of the estimated scores assigned to each species Risk Assessment Methodology (MER) criterion was 8: A. Taxon distributional area in Mexico, 3 points; B. Habitat status of the taxon regarding its natural development, 1 point; C. Biological vulnerability, 1 point; and D. Impact of human activity on the taxon (3 points). NOM-059-SEMARNAT-2010 states that when a species obtains a score between 5 and 9, the species should be included in the category Subject to special protection (SSP) (Sánchez *et al.*, 2007). For that reason, we propose that *L. apiculatum* should be included in that category (Table 2).

Although *L. apiculatum* inhabits a wide variety of vegetation types, climates and soils, is thermophilic, reproductively monogynic, and polyandric. The ant is omnivorous and has low biological vulnerability. It is worth to emphasize, though, that this species continuously faces specific habitat threats. For example, the overexploitation of *magueyes* (*Agave* spp.), prickly-pear cactus (*Opuntia* spp.), and yuccas (*Yucca* spp.). Damages to the main nesting structure

et al., 2015). No obstante, no hay reportes que indiquen un impacto significativo de los depredadores sobre las colonias de *L. apiculatum*. Pero la depredación humana, cuando se recolecta la casta reproductora de *Lap* (los escamoles comestibles), provoca el deterioro del nido y la muerte de muchas hormigas obreras. Debido a que el nido es grande e intrincado, la hormiga reina se mantiene a salvo en la mayoría de los casos, o se escapa a otra cámara durante la recolección de escamoles (Lara Juárez *et al.*, 2015). La trabécula (estructura donde se localizan y extraen las castas reproductoras) es la parte más externa y expuesta del nido; en cambio, la cámara real está aislada, y resulta difícil su ubicación o acceso. Por ello, durante el proceso de recolección solo se afecta una porción del nido y las demás cámaras permanecen intactas, lo cual facilita la recuperación de la colonia (Lara Juárez *et al.*, 2015).

Las actividades de consumo de *L. apiculatum* se llevan a cabo en un intervalo de temperaturas amplio, ya que son omnívoras. La fuente de energía principal (miel exudada) proviene de diversas especies de hemípteros. Reportes existen acerca de que los depredadores no tienen un impacto negativo en las poblaciones de *Lap*; la estructura del nido dificulta la localización y extracción de la hormiga reina durante la recolección; por lo tanto, la colonia tiene posibilidades de supervivencia mayores. Por esas razones, se asignó el valor de 1 (baja vulnerabilidad biológica) al Criterio C (Cuadro 1).

Criterio D. Impacto de la actividad humana en el taxón

En la actualidad, la fragmentación y degradación de los hábitats por las actividades humanas son las causas principales de la pérdida de biodiversidad. Probablemente ninguna especie silvestre está exenta del impacto negativo que los humanos causan en los ecosistemas (IUCN, 2012). La evaluación del impacto humano sobre el taxón (Criterio D) colocó a *L. apiculatum* en un impacto medio (4-6 puntos) (Cuadro 2) y, por lo tanto, al criterio D se le asignaron 3 puntos (Cuadro 1).

La suma de los puntajes estimados y asignados a cada criterio del Método de Evaluación de Riesgo (MER) fue 8: A. Área de distribución de taxón en México, 3 puntos; B. Estado de hábitat del taxón respecto a su desarrollo natural, 1 punto; C. Vulnera-

Table 2. Score to determine the demographic impact on *Liometopum apiculatum* in Mexico.
Cuadro 2. Puntaje para determinar el impacto demográfico sobre *Liometopum apiculatum* en México.

Question whether...?	Yes	Not	Evidence	Value
<i>L. apiculatum</i> has lost more than 50% of their habitat		X	Results of this study showed that <i>L. apiculatum</i> (<i>Lap</i>) can inhabit a variety of ecosystems. It locates in areas of low to medium disturbance and has not lost more than 50% of the species habitats.	0
<i>L. apiculatum</i> has been displaced by exotic species		X	There are no scientific reports of <i>L. apiculatum</i> displacement by any other exotic species.	0
<i>L. apiculatum</i> has been affected by climate change	X		The amount of rain and the temperature affect <i>escamoles</i> production. Rain is related to the start of the mating flights and the beginning of new <i>L. apiculatum</i> colonies (Lara-Juárez <i>et al.</i> , 2015).	1
<i>L. apiculatum</i> is overexploited	X		In the state of Hidalgo intermediaries of a Japanese company offered \$250.00 USD (\$5000 MXN) per kg. However, the main problem is the way in which the collectors currently manage the gathering of <i>escamoles</i> . There is a lack of organization, poaching, and clandestine sales; extraction at inappropriate times, collection by inexperienced personnel and poorly covered nests (Tarango-Arámbula and Méndez-Gallegos, 2018). All of which cause excessive gathering and pressure on <i>Lap</i> ant colonies (Lara-Juárez <i>et al.</i> , 2015).	1
<i>L. apiculatum</i> has any commercial value	X		<i>Escamoles</i> since pre-Columbian times have served as food (Ramos-Elorduy and Viejo Montesinos, 2007). Nowadays, due to their flavour, they are sold as a gourmet option in restaurants at Mexico City (Ramos-Elorduy and Viejo Montesinos, 2007; Tarango-Arámbula, 2012).	1
There is any standardized method for raising, managing or exploiting <i>L. apiculatum</i> populations	X		There is a traditional management for the collection of <i>escamoles</i> ; However, such management does not include maintaining the proper nest, let the nests to rest, knowledge of the ant biology, adequate equipment for collection, among other factors (Ramos-Elorduy and Viejo Montesinos, 2007; Tarango-Arámbula, 2012).	1
There is any agreement or public policy regulating ant use or trade	X		Mexico does not have yet any regulation, norm or law on the harvesting of edible insects (Lara Juárez <i>et al.</i> , 2015).	1
<i>L. apiculatum</i> is a protected species	X		<i>Liometopum apiculatum</i> is not included in the Red List (IUCN, 2012) nor in the endangered species list in NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).	1

and foraging substrates of *L. apiculatum* affects the establishment of ant colonies. Besides, *magueyes* are used for mezcal production, as livestock forage, or for gathering red (*Comadia redtenbacheri* (H.) and white worms (*Aegiale hesperiaris* W.). On this regard,

bilidad biológica, 1 punto; y D. Impacto de la actividad humana en el taxón (3 puntos). La NOM-059-SEMARNAT-2010 establece que cuando una especie obtiene un puntaje entre 5 y 9, la especie debe incluirse en la categoría Sujeta a protección especial

Tarango-Arámbula and Méndez-Gallegos (2018) pointed out that during the extraction of red and white worms at least 50 maguey plants are utilized (extracted from the soil) per gatherer a day. These activities among others have ultimately deteriorated *Lap* habitat (Rafael-Valdez *et al.*, 2019).

Also, nest density for the species depends on vegetation type, grassland condition and ground cover (Lara-Juárez *et al.*, 2015). A site with better environmental conditions has higher probability for the establishment of ant colonies. Cruz-Labana *et al.* (2014) reported that the production of *escamoles* and the establishment of ant colonies were negative affected by overgrazing. Also, that the availability of ground cover is important for *Lap* foraging workers during high temperatures. Specifically, the presence of grasses (*Poaceae*) shrubs, herbaceous, and cactus plants in the ant habitat is important (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Lara-Juárez *et al.*, 2015).

Overgrazing in north-central areas of Mexico has affected not only grasslands composition, but their capacity to support livestock and has also affected native vertebrates and invertebrate species (Lara-Juárez *et al.*, 2015). Tarango-Arámbula and Méndez-Gallegos (2018) reported that *Lap* nests are overexploited (2 or 3 harvests per season) or they are opened before the eggs reach their larval stage. These authors also mentioned that in some cases experienced collectors do not share their traditional knowledge with young or new collectors on how to harvest the *escamoles* sustainably.

In Mexico, only 49 species of invertebrates were evaluated; three are insects: 1) the dune gadfly (*Brenmania belkini* Phillip, 1966); 2) the monarch butterfly (*Danaus plexippus* Linneo, 1758) and 3) the Esperanza swallowtail butterfly (*Papilio esperanza* Beutelspacher, 1975) (SEMARNAT, 2010). These three species represent only 0.14% of the species included in the NOM-059-SEMARNAT-2010. In contrast, 51.03% of vertebrates (n=1330 species) and 37.8% of plants (n=984) have received more attention and protection (SEMARNAT, 2010).

Ants contribute a significant amount of the terrestrial biomass, play important ecological roles, are soil engineers, act as predators, participate in nutrient cycles and regulate plant growth and reproduction. In addition, they are bio-indicators of the ecological impacts of land management (Underwood and Fisher, 2006). This study focused on

(SSP) (Sánchez *et al.*, 2007). Por esta razón este estudio propone que *L. apiculatum* se incluya en esa categoría (Cuadro 2).

Aunque *L. apiculatum* habita en una variedad amplia de tipos de vegetación, climas y suelos; es termófila, monogámica y poliándrica en su reproducción, es omnívora y tiene vulnerabilidad biológica baja; es necesario enfatizar que esta especie enfrenta amenazas específicas continuas en su hábitat. Por ejemplo, la sobreexplotación de magueyes (*Agave* spp.), nopales (*Opuntia* spp.), y yucas (o izotes, *Yucca* spp.). Los daños a la estructura principal de anidación y sustratos para el consumo por parte de *L. apiculatum* afectan el establecimiento de sus colonias. Además, los magueyes se utilizan para la producción de mezcal, como forraje para el ganado o para la recolección de gusano rojo (*Comadia redtenbacheri* (H.) y gusano blanco (*Aegiale hesperiaris* W.). Al respecto, Tarango-Arámbula y Méndez-Gallegos (2018) señalaron que durante la extracción de gusanos rojos y blancos se utilizan al menos 50 plantas de maguey (extraídas del suelo) por recolector al día. Estas actividades entre otras han sin duda deteriorado el hábitat de *Lap* (Rafael-Valdez *et al.*, 2019).

Además, la densidad de nidos de la especie depende del tipo de vegetación, de las condiciones del pastizal y de la cobertura del suelo (Lara-Juárez *et al.*, 2015). Un sitio con condiciones ambientales mejores ofrece más probabilidades de que se establezcan colonias de hormigas. Cruz-Labana *et al.* (2014) documentaron que el sobrepastoreo afecta en forma negativa la producción de *escamoles* y el establecimiento de colonias de hormigas. Además, que la disponibilidad de cobertura del suelo es importante para las hormigas obreras forrajeras durante las temperaturas altas. En específico, la presencia de gramíneas (*Poaceae*), arbustos, herbáceas y cactus en el hábitat de la hormiga es importante (Cruz-Labana *et al.*, 2014; Lara-Juárez *et al.*, 2015).

El sobrepastoreo en las áreas del centro-norte de México ha afectado no solo la composición de los pastizales, sino su capacidad para sustentar el ganado; y también ha afectado a vertebrados e invertebrados nativos (Lara-Juárez *et al.*, 2015). Tarango-Arámbula y Méndez-Gallegos (2018) observaron que los nidos de *Lap* están sobreexplotados (2 o 3 cosechas por temporada) o que éstos se abren antes de que los huevos alcancen su etapa larvaria. Estos autores también mencionaron que en algunos casos los re-

determining the conservation status of *L. apiculatum* and it represents the first evaluation in Mexico of an edible ant species analysed through the species Risk Assessment Methodology (MER). In addition, *Lap* is economically important (Tarango-Arámbula and Mendez-Gallegos, 2018) for inhabitants of arid and semi-arid zones of north-central Mexico.

At present, the management and exploitation of wildlife species in Mexico is managed through wildlife management and conservation units (Unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre, UMAS) (Sánchez *et al.*, 2007). This management and extraction are made through management plans where monitoring of habitat and populations is mandatory. The addition of *L. apiculatum* to the NOM-059-SEMARNAT-2010 in the category Subject to special protection shall benefit the species and *escamol*-collectors in the long term. Placing a species into this category does not imply that its use is prohibited. On the contrary, its addition sets a guideline for the conservation and sustainable management of *Lap* colonies and nests.

An example of a species in this category and economically important is the bighorn sheep (*Ovis canadensis mexicana*), this subspecies is currently in the category Subject to special protection. But its use has persisted for at least 15 years through adequate monitoring and harvesting rates. The creation of a management system as the one established for the UMAS, based on the issuance of norms and laws, shall protect habitats and colonies of the *escamolera* ant. It will also allow *escamol* collectors to undergo surveillance, monitoring and improving their extraction techniques. However, it should not be forgotten that human population growth is constant. That it demands to produce food more efficiently.

The massive production of edible insects, an alternative protein source, can be carried out with a low ecological impact, high sanitary quality and technological efficiency (Tarango-Arámbula and Mendez-Gallegos, 2018). Some proposals from those authors for *L. apiculatum*, along with the organization of *escamol* collectors, are in the first place, the creation of rural companies to collect, process, conserve and sell *escamol* with added value. These companies would sign purchase agreements with the collectors, in order to pay them fair prices, thus contributing to the protection of the species and habitats through implementing technological

colectores experimentados no comparten sus conocimientos tradicionales con los recolectores nuevos o jóvenes sobre cómo cosechar los escamoles de forma sustentable.

En México, solo 49 especies de invertebrados han sido evaluadas; tres son especies de insectos: 1) el tábano de las dunas (*Brennania belkini* Phillip, 1966); 2) la mariposa monarca (*Danaus plexippus* Linneo, 1758) y 3) la mariposa cola de golondrina esperanza (*Papilio esperanza* Beutelspacher, 1975) (SEMARNAT, 2010). Estas tres especies representan sólo 0.14% de las especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. En contraste, 51.03% de los vertebrados (n=1330 especies) y 37.8% de las plantas (n=984) han recibido mayor atención y protección (SEMARNAT, 2010).

Las hormigas aportan una cantidad significativa de la biomasa terrestre, desempeñan roles ecológicos importantes, son ingenieras del suelo, actúan como depredadoras, participan en los ciclos de nutrientes y regulan el crecimiento y la reproducción de las plantas. Además, son bioindicadores de los impactos ecológicos del manejo de la tierra (Underwood y Fisher, 2006). Este estudio se centró en determinar el estado de conservación de *L. apiculatum* y representa la primera evaluación en México de una especie de hormiga comestible analizada por medio del Método de Evaluación de Riesgo (MER). Además, *Lap* tiene importancia económica (Tarango-Arámbula y Méndez-Gallegos, 2018) para habitantes de zonas áridas y semiáridas del centro-norte de México.

En la actualidad, el manejo y explotación de especies silvestres en México se gestiona a través de Unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMAS) (Sánchez *et al.*, 2007). Manejo y extracción se realizan a través de planes de manejo donde es obligatorio el seguimiento sistemático del hábitat y las poblaciones. La incorporación de *L. apiculatum* a la NOM-059-SEMARNAT-2010 en la categoría Sujeta a protección especial beneficiará a la especie y a los recolectores de escamoles en el largo plazo. El colocar una especie en esta categoría no implica que su uso esté prohibido. Por el contrario, su adición establece un llamado para la conservación y manejo sustentable de las colonias y nidos de *Lap*.

Un ejemplo de especie en esta categoría y económicamente importante es el borrego cimarrón (*Ovis canadensis mexicana*); esta subespecie se encuentra actualmente en la categoría de Sujeta a protección

management programs in the collection areas. Second, to begin and promote joint work among educational institutions, researchers, and *escamol* collectors. And third, to promote ecotourism and *in situ* consumption of *escamol* to offer collectors an extra income (Tarango-Arámula and Mendez-Gallegos, 2018).

In addition, to conserve edible insects for future generations, Tarango-Arámula and Mendez-Gallegos (2018) recommended to generate knowledge on genetic diversity, life cycles, on potential distribution of insects, and to determine the conservation status of their habitats. It is also necessary to identify more precisely the relationship between the state of their habitats with larval and pupae production, and nest density to construct semi-artificial nests and prepare alternative food substrates for ants, among others (Tarango-Arámula and Mendez-Gallegos, 2018).

It is worth to emphasize that conservation status for *L. apiculatum* may vary with new information for the MER criteria, and by improvements on the accuracy of its application. For example, the estimate of the potential distribution of the species depends on the accuracy of field records, on the validity of the taxonomic classifications and their methods of estimation. Some methods overestimate and others underestimate the distributional range of a species; besides, MER does not describe a specific method to calculate the distributional range of a species (Sánchez *et al.*, 2007). In our study, the potential distributional map was determined with the maximum entropy algorithm, because this algorithm was used in other conservation strategies (Phillips *et al.*, 2006). That model bases its estimations on the coincidence of presence-absence records of a species at a given site, with associated climatic or environmental variables (Peterson, 2001).

Finally, the results of the study on *L. apiculatum* risk assessment may be a national reference to conserve edible insects, the *escamolera* ant in particular. Since it is nutritionally and economically important for inhabitants of many rural communities in arid and semiarid regions of Mexico.

CONCLUSIONS

This is to our knowledge the first report in Mexico determining the conservation status of an edible species of economic importance for rural people of

especial, pero su uso ha persistido durante al menos 15 años a través de seguimiento sistemático y tasas de recolección adecuadas. La creación de un sistema de manejo como el establecido para la UMAS, basado en la emisión de normas y leyes, protegerá los hábitats y colonias de la hormiga escamolera. También permitirá que los recolectores de escamoles sean supervisados y sujetos a seguimiento, con el objeto de mejorar sus técnicas de extracción. Sin embargo, no se debe olvidar que el crecimiento de la población humana es constante y requiere producir alimentos de manera más eficiente.

La producción masiva de insectos comestibles, fuente alternativa de proteínas, se puede realizar con un impacto ecológico bajo, calidad sanitaria alta y eficiencia tecnológica (Tarango-Arámula y Méndez-Gallegos, 2018). Los autores de ese estudio, junto con la organización de recolectores de escamoles, proponen para *L. apiculatum* en primer lugar, la creación de empresas rurales para recolectar, procesar, conservar y comercializar escamoles con valor agregado. Estas empresas firmarían acuerdos de compra con los recolectores, con el fin de pagarles precios justos, y contribuir así con la protección de las especies y hábitats a través de la implementación de programas de manejo tecnológico en las áreas de recolección. En segundo lugar, iniciar y promover el trabajo conjunto entre instituciones educativas, investigadores y recolectores de escamoles. Y tercero, promover el ecoturismo y el consumo *in situ* de escamoles para ofrecer un ingreso extra a los recolectores (Tarango-Arámula y Méndez-Gallegos, 2018).

Además, para conservar insectos comestibles para las generaciones futuras, Tarango-Arámula y Méndez-Gallegos (2018) recomendaron generar conocimientos sobre la diversidad genética, ciclos de vida, distribución potencial de insectos, y determinar el estado de conservación de sus hábitats. También es necesario identificar con precisión mayor la relación entre el estado de sus hábitats y la producción de larvas y pupas; como también la densidad de nidos para construir nidos semi artificiales y preparar sustratos alimenticios alternativos para hormigas, entre otras recomendaciones (Tarango-Arámula y Méndez-Gallegos, 2018).

Cabe destacar que el estado de conservación de *L. apiculatum* puede variar con información nueva para los criterios MER y con mejoras en la precisión en su aplicación. Por ejemplo, la estimación de la distribución

arid and semiarid zones through the species Risk Assessment Methodology (MER) described in the NOM-059-SEMARNAT-2010.

The *escamolera* ant (*Liometopum apiculatum*) is the most widely distributed ant in the country. *L. apiculatum* is found in 24 states, including the rural areas of Mexico City. This species inhabits a wide variety of climates and soils. *L. apiculatum* is thermophilic, reproductively monogynic, and polyandric; omnivorous, with low biological vulnerability.

However, economic and nutritional values of immature stages of the breeding caste (the Mexican *escamoles*), and inadequate collection techniques have caused among other factors, a mismanagement of ant colonies and habitats, mainly in north-central Mexico. The sum of scores for the evaluated criteria was eight (S=8), which indicates that *L. apiculatum* should be included in the category of Species subject to special protection (SSP).

ACKNOWLEDGEMENTS

To the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for funding this research. To D. Cruz Labana, Ph.D. student at Colegio de Postgraduados for providing *L. apiculatum* presence records. To Ph.D. Raul Valdez, New Mexico State University for providing inputs that significantly improved this manuscript.

LITERATURE CITED

- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2017. Portal de Geoinformación. Sistema Nacional de Información Sobre Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (Retrieved: May 2019).
- CONABIO (Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2017. Red Mundial de Información sobre Biodiversidad. CONABIO-REMIB. http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html. (Retrieved: May 2017)
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2017. Zonificación Forestal. <http://www.cnf.gob.mx:8090/snif/portal/zonificacion> (Retrieved: May 2019)
- Cruz-Labana, J. D., L. A. Tarango-Arámbula, J. L. Alcántara-Carbajal, J. Pimentel-López, S. Ugalde-Lezama, G. Ramírez-Valverde, y S. J. Méndez-Gallegos. 2014. Uso de hábitat por la hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum* Mayr) en el centro de México. *Agrociencia* 48: 569-582. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v48n6/v48n6a1.pdf>.
- GBFI (The Global Biodiversity Information Facility). 2017. *Liometopum apiculatum* <https://www.gbif.org/es/search?q=liometopum%20apiculatum> (Retrieved: April

potencial de la especie depende de la precisión de los registros de campo, de la validez de las clasificaciones taxonómicas y de sus métodos de estimación. Algunos métodos sobreestiman y otros subestiman la amplitud de distribución de una especie; además, MER no describe un método específico para calcular esa amplitud (Sánchez *et al.*, 2007). En nuestro estudio, el mapa de distribución potencial se determinó con el algoritmo de entropía máxima, debido a que este algoritmo se utilizó en otras estrategias de conservación (Phillips *et al.*, 2006). Ese modelo basa sus estimaciones en la coincidencia de registros de presencia-ausencia de una especie en un sitio determinado, con variables climáticas o ambientales asociadas (Peterson, 2001).

Por último, los resultados del estudio sobre la evaluación del riesgo de *L. apiculatum* pueden ser una referencia nacional para conservar insectos comestibles, en particular la hormiga escamolera. Ya que se trata de una opción nutricional y económica importante para los habitantes de muchas comunidades rurales de las regiones áridas y semiáridas de México.

CONCLUSIONES

Éste es hasta donde sabemos, el primer reporte en México que determina el estado de conservación de una especie de insecto comestible de importancia económica para la población rural de zonas áridas y semiáridas, a través del Método de Evaluación de Riesgo de extinción de especies silvestres en México (MER), descrito en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

La hormiga escamolera (*Liometopum apiculatum*) es la hormiga con distribución mayor en el país. *L. apiculatum* se encuentra en 24 estados, la Ciudad de México incluida con sus zonas rurales. Esta especie habita en una variedad amplia de climas y suelos. *L. apiculatum* es termófila, monogínica y poliandrica en su reproducción; omnívora y con vulnerabilidad biológica baja.

Sin embargo, los valores económicos y nutricionales de los estados inmaduros de la casta reproductora (los escamoles mexicanos) y las técnicas de recolección inadecuadas han provocado, entre otros factores, un manejo inadecuado de las colonias y hábitats de hormigas, en especial en la zona centro-norte de México. La suma de puntos de los criterios evaluados fue ocho (S=8), valor que indica que *L. apiculatum*

2017).

Hijmans R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones, and A. Jarvis. 2005. Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25: 1965-1978. https://www.researchgate.net/publication/224839897_Very_high_resolution_interpolated_climate_surfaces_of_global_land_areas. (Retrieved: April 2017).

Hoey-Chamberlain, R., M. K. Rust, and J. H. Klotz. 2013. A review of the biology, ecology and behavior of velvety tree ants of North America. *Sociobiology* 60: 1-10. <https://dx.doi.org/10.13102/sociobiology.v60i1.1-10>.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2017. Extensión territorial de México. <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/extension/default.aspx?tema=T> (Retrieved: May 2019).

IUCN. 2012. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Segunda edición. Gland, Suiza. 34 p.

Lara-Juárez, P., J. R. Aguirre-Rivera, P. Castillo-Lara, y J. A. Reyes-Agüero. 2015. Biología y aprovechamiento de la hormiga de escamoles, *Liometopum apiculatum* Mayr (Hymenoptera: Formicidae). *Acta Zool. Mex.* 31: 251-264. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372015000200012.

Martínez-Meyer, E., J. E. Sosa-Escalante, y F. Álvarez. 2014. El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Rev. Mex. Biodiversidad* 85: 1-9. <https://dx.doi.org/10.7550/rmb.43248>.

Peterson, A. T., 2001. Predicting species geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor* 103: 599-605. <https://dx.doi.org/10.1093/condor/103.3.599>.

Phillips, S. J., R. P. Anderson, and R. E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190: 231-259. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.

QGIS Development Team. 2017. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>. (Retrieved: April 2017)

R Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>. (Retrieved: May 2019).

Rafael-Valdez, J., L. A. Tarango-Arambula, S. Ugalde-Lezama, J. D. Cruz-Labana, F. Clemente-Sánchez, and J. Cadena-Íñiguez. 2019. Foraging amplitude of the escamolera ant (*Liometopum apiculatum* Mayr, Hymenoptera: Formicidae) in a semi-arid area of the Zacatecan highlands. *Rev. Chapingo (Ser. Z. Áridas)* 18: 5-19. https://www.researchgate.net/publication/334497508_Foraging_amplitude_of_the_escamolera_ant_Liometopum_apiculatum_Mayr_Hymenoptera_Formicidae_in_a_semi-arid_area_of_the_Zacatecan_highlands. (Retrieved: June 2017).

Ramos-Elorduy, J., y J. L. Viejo-Montesinos. 2007. Los insectos como alimento humano: Breve ensayo sobre la entomofagia, con especial referencia a México. *Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Biol.* 102: 61-84. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=4060>

Sánchez, O., R. A. Medellín, A. Aldama, B. Goetsch, J. Soberón, M. Tambutti. 2007. Método de evaluación del riesgo de extinción de las especies silvestres en México (MER). México D.F. 170 p.

debe incluirse en la categoría Sujeta a protección especial (SSP).

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por financiar esta investigación. Al Dr. D. Cruz Labana, estudiante de doctorado en el Colegio de Postgraduados, por proporcionar registros de la presencia de *L. apiculatum*. Al Dr. Raúl Valdez, de la Universidad Estatal de Nuevo México, por la adición de términos significativos para mejorar este manuscrito.

—End of the English version—



Sánchez-Salas, J., G. Muro, E. Estrada-Castillón, y J. A. Alba-Ávila. 2013. El MER: Un instrumento para evaluar el riesgo de extinción de especies en México. *Rev. Chapingo (Ser. Z. Áridas)* 12: 30-35. <https://www.redalyc.org/pdf/4555/455545056006.pdf>.

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010: Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 30 diciembre 2010. Sección II. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091 (Retrieved: May 2017).

Tarango-Arambula, L., 2012. Los escamoles y su producción en el Altiplano Potosino-Zacatecano. *RESPYN* 4: 139-144. <https://docplayer.es/31164594-Los-escamoles-y-su-produccion-en-el-altiplano-potosino-zacatecano-introduccion.html> (Retrieved: June 2017).

Tarango-Arambula, L. A., y S. J. Méndez-Gallegos. 2018. Insectos comestibles en el centro-norte de México. *In: Quiroz, E., y H. Pradilla R. (Coords.) El Pasado del Futuro Alimentario: Los Alimentos Ancestrales Americanos. Inst. Invest. Dr. José María Luis Mora. Serie: Col. Historia Económica. ISBN 978-607-8611-24-9. pp: 358-380.*

UNIBIO (Unidad de información para la Biodiversidad.) 2017. Colecciones biológicas. <http://unibio.unam.mx/collections/specimens/urn/IBUNAM:CNIN?f=Formicidae&cs=Liometopum+apiculatum>. (Retrieved: May 2017).

Underwood, E. C., and B. L. Fisher. 2006. The role of ants in conservation monitoring: if, when, and how. *Biol. Conserv.* 132: 166-182. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.03.022>

Velasco, C., C., M. C. Corona, V. y R. Peña, M. 2007. *Liometopum apiculatum* (Formicidae: Dolichoderinae) y su relación trofobiótica con Hemiptera: Sternorrhyncha en Tlaxco, Tlaxcala, Mexico. *Acta Zool. Mex.* 23: 31-42. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S006517372007000200003&lng=es&nrm=iso.

