



Effects of climatic change in the interaction plant-ant: a mini review on thermal tolerance

Efectos del cambio climático en la interacción planta-hormiga: una mini revisión sobre la tolerancia térmica

Florencio Luna-Castellanos¹, Mariana Cuautle³, Teresa Patricia Feria-Arroyo⁴, Citlalli Castillo-Guevara^{2*}.

¹Maestría en Biotecnología y Manejo de Recursos Naturales, Centro de Investigaciones en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Tlaxcala, San Felipe Ixtacuixtla, Tlaxcala, México. ²Centro de Investigaciones en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Tlaxcala, San Felipe Ixtacuixtla, Tlaxcala, México. ³Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), San Andrés Cholula, Puebla, México. ⁴Department of Biology, The University of Texas Rio Grande Valley.*E-mail: guevaracc@yahoo.com.mx

<https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.1.81>

ABSTRACT

There is no doubt that the climate will change in the future due to increased concentration of greenhouse gases in the atmosphere caused by human action. It seems clear that these changes will have a significant impact on some human activities such as agriculture, and can also greatly affect the geographical distribution of living organisms. Ants and plants have a long evolutionary history. The activity of ants has been for plants in recent years a growing number of studies are highlighting the beneficial role plant-ants. Predicting future changes in the geographical distribution submit the interacting species, using mathematical and computer tools such as "species distribution models" at the change in climatic conditions, from the knowledge we have about its current distribution. The study of the effects that climate change will have on species interactions is an exciting challenge for scientists and is of vital importance.

Keywords: conservation, distribution, diversity, models, mutualism, network.

RESUMEN

Sin duda alguna el clima está cambiando debido al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera provocado por la acción humana. Dichos cambios van a tener un efecto importante en algunas actividades humanas tales como la agricultura y también pueden afectar enormemente la distribución geográfica de los organismos vivos y

por tanto sus interacciones. Las hormigas y las plantas tienen una larga historia evolutiva de interacción. La actividad de las hormigas y su relación con las plantas en los últimos años ha tenido un número creciente de estudios que están poniendo de relieve su papel benéfico. Predecir los cambios en la distribución geográfica futura que presentarán las especies interactuantes, utilizando herramientas matemáticas e informáticas como los "modelos de distribución de especies" ante el cambio en las condiciones climáticas, a partir del conocimiento que tenemos acerca de su distribución actual es de suma importancia. Los efectos que el cambio climático provocará en las interacciones entre especies constituyen un reto para los científicos y es de vital importancia.

Palabras clave: conservación, distribución, diversidad, modelos, mutualismo, redes.

1. INTRODUCCIÓN

En esta mini revisión, nuestro interés es analizar cómo el cambio climático está alterando la interacción planta-hormiga, ya sea por cambios en la fenología (la sincronización en la interacción) o en la distribución de las especies. Las alteraciones climáticas debido al incremento global de la temperatura, así como el aumento en la frecuencia y la violencia con la que se muestran los fenómenos meteorológicos extremos, representan un reto para los organismos. Esto debido a que deben ajustarse y tolerar su nuevo entorno biótico y abiótico. En las plantas, un cambio en las condiciones de precipitación pluvial, disponibilidad de CO₂ en la atmósfera o de nitrógeno en el suelo, implica modificaciones en su fenología (Fig.1), así como en otros procesos importantes para adaptarse y relacionarse con otras especies (Vitousek, 1994). Por su parte, las hormigas al ser organismos ectotérmicos son altamente influenciados por la temperatura (Stuble *et al.*, 2013, Chen & Robinson 2014). Por lo que es esperable que con el aumento de la temperatura global, las actividades y distribución local y regional de las hormigas se afecten. Esto puede a su vez, alterar las funciones de los ecosistemas, dada la ubicuidad de las hormigas y su papel en la dinámica de la mayoría de los ecosistemas (Stuble *et al.*, 2013).

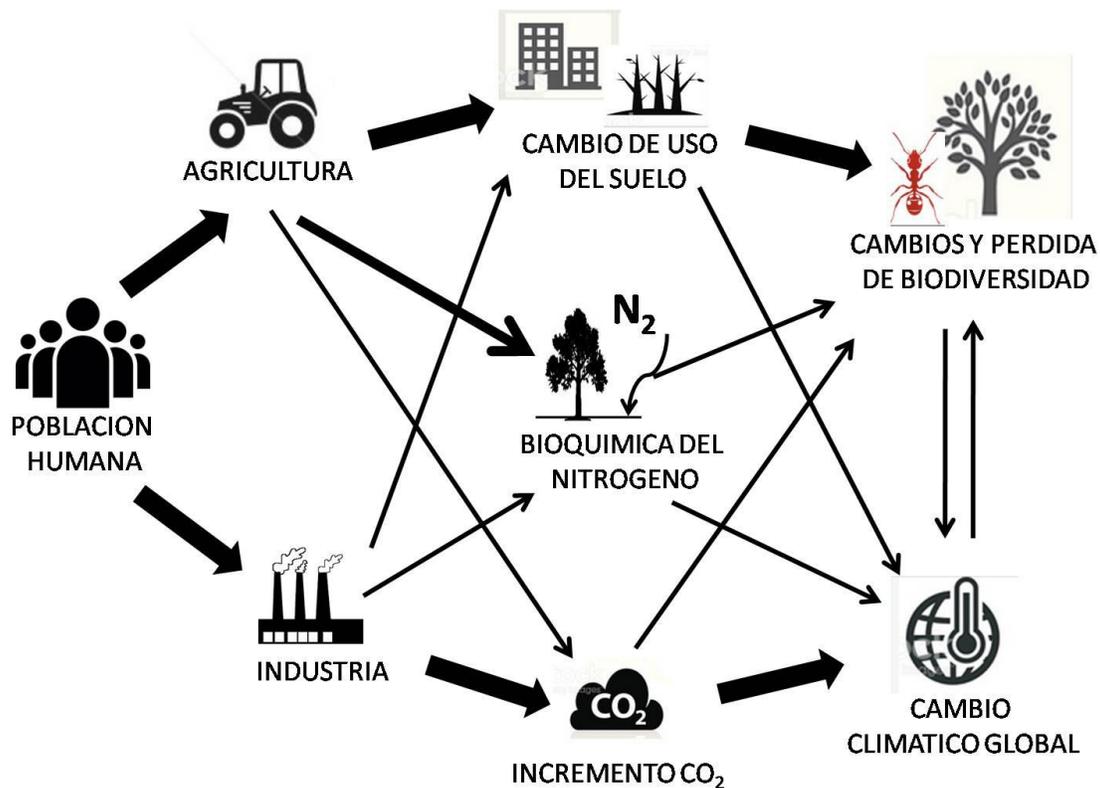


Fig. 1. El papel de la actividad humana como factor del cambio climático y de la biodiversidad, caracterizando los principales componentes que lo provoca (Modificado de Vitousek, 1994).

1.1. La sincronización en las interacciones

La sincronía que se da en ciertos eventos de la interacción planta-insecto está restringida mutuamente por la relación ecológica y evolutiva entre las especies asociadas. Esto puede verse afectado por el creciente aumento de la temperatura y el CO₂ global que afectan la química y la fenología de las plantas, cuya alteración puede producir un desequilibrio en las interacciones. Por ejemplo, en el caso de interacciones mutualistas tal como la polinización, es probable que el desequilibrio en la polinización por generalistas sea menos común (por su larga historia de adaptación a las perturbaciones), comparado con una interacción especialista planta-polinizador (DeLucia *et al.*, 2012). A nivel comunidad, se ha encontrado una tendencia similar, al parecer en las redes de interacción mutualistas como la polinización existen más generalistas que especialistas, lo que puede asegurar menor desequilibrio ligado al cambio climático. En este caso se considera que una estructura anidada de la red (es decir, generalistas en el núcleo de la red interactuando entre sí y los especialistas en la periferia interactuando con éstos) y la asimetría de la interacción (por ejemplo, el polinizador más dependiente de la planta que viceversa) son los factores que estabilizan el sistema o red, haciéndolo menos sensible a la extinción de especies, perturbaciones y pérdida de hábitat (Hegland *et al.*, 2009). Asimismo, algunos estudios enfatizan que las redes de plantas y polinizadores son muy dinámicas ya que las especies y

sus interacciones varían dramáticamente en el tiempo, lo que también les da fortaleza frente a desequilibrios temporales y espaciales entre pares de especies (Hegland *et al.*, 2009).

En cuanto a la alteración en la sincronía de las interacciones, en una revisión realizada por Yang y Rudolf (2010) se destaca que en años recientes varios estudios ecológicos indican un patrón general en la respuesta de las especies al cambio climático a nivel mundial: en promedio algunos eventos de la historia de vida de las especies ocurren antes que en el pasado histórico. Sin embargo, también hay evidencia de que las especies dentro de la misma comunidad, no presentan cambios discernibles en su fenología; mientras que otras presentan retrasos en la misma. No obstante estas diferentes respuestas, los autores indican que el cambio climático puede ir más allá, al afectar las interacciones interespecíficas al alterar su sincronía en aquellos estados ontogénicos en los que las especies se relacionan. Por ejemplo, en los Países Bajos en un estudio de largo plazo, se han encontrado diferentes respuestas fenológicas frente al cambio climático, las cuales involucran cuatro niveles tróficos (una planta, un herbívoro, una ave insectívora y un depredador de ésta), lo que ha perturbado la estructura de estas interacciones (Both *et al.*, 2009). Esto es indicativo de que algunos de los efectos más profundos del cambio climático tienen que ver más con las interacciones interespecíficas, las cuales en muchos casos determinan la estructura y la dinámica de las comunidades. Las consecuencias del cambio climático en las interacciones interespecíficas aún no son bien conocidas. En este sentido Yang y Rudolf (2010) sugieren un enfoque que integre aspectos fenológicos, ontológicos y de sincronización en estas interacciones, para conocer mejor todas las implicaciones del cambio climático.

Por otro lado, en particular en el caso de las interacciones mutualistas Kiers *et al.* (2010), sugieren complementar la perspectiva ecológica con un enfoque evolutivo para saber cómo se ha afectado la trayectoria evolutiva de los mutualismos. Esto a través de enfocarse en tres procesos 1) cambio de mutualismo a antagonismo, 2) cambio de socio en la interacción y 3) abandono del mutualismo, que son respuestas al cambio global poco comprendidas. Los estudios con hormigas ejemplifican la importancia de considerar estos tres procesos.

Por ejemplo, la pérdida de los grandes herbívoros en los ecosistemas africanos ha producido que las hormigas mutualistas que protegen los árboles de acacia se vuelvan antagonistas. El costo de los caracteres mutualistas es alto por lo que la pérdida de los enemigos puede favorecer genotipos que invierten menos en el mutualismo. Además, las diferencias en las historias de vida de las especies interactuantes, crea un desbalance en las respuestas evolutivas en un ambiente alterado antropogénicamente (Morales & Vasconcelos 2009). De tal modo que la hormiga por tener un ciclo de vida más corto puede ser forzada a abandonar el mutualismo si la planta de larga vida no mantiene el paso con los cambios (Kiers *et al.*, 2010).

En el caso de cambio de socio en una interacción, éste se puede dar por la introducción de nuevas especies más competitivas junto a las especies nativas. Por ejemplo la hormiga argentina *Linepithema humile*, que es poco efectiva como mutualista, está desplazando hormigas nativas en todo el mundo, las cuales cumplen funciones de polinización, protección y de dispersión de semillas. En este caso *Linepithema humile* tiene la habilidad de responder a las señales de alarma de las hormigas nativas que protegen a las plantas, esto ha producido novedosas asociaciones mutualistas entre las especies nativas e invasivas. Sin

embargo, la hormiga invasiva generalmente falla en proporcionar adecuados servicios mutualistas causando reducciones significativas en la producción de frutos y semillas de las plantas. En la perspectiva evolutiva estas nuevas asociaciones pueden actuar en contra de la polinización y dispersión al afectar la calidad de las recompensas (Kiers *et al.*, 2010).

Por su parte el abandono de un mutualismo puede ocurrir cuando su persistencia sea poco importante para algunas de las especies conforme el cambio en el ambiente sucede. Este es el caso de las hormigas mirmecófitas, las cuales están ausentes en las plantas de un sitio del Cerrado Brasileño, probablemente debido a la baja presión de herbívoros y la concurrente selección para incrementar las defensas constitutivas (Kiers *et al.*, 2010).

No obstante los ejemplos anteriores, el cambio global también ofrece el potencial de reforzar los mutualismos cuando en estos se presentan adaptaciones. Esto se ha reportado en el caso de un mutualismo planta-hormiga de protección, en el que dos especies de hormigas asociadas (una mutualista y la otra parásita) han ampliado su rango, esto acompañado de la evolución de características más dispersivas. A pesar de que la planta hospedera no ha hecho cambios en las características de dispersión ni ha invertido más en el mutualismo. No obstante esta asimetría, no parece haber desestabilización de la simbiosis y la colonización (Kiers *et al.*, 2010).

1.2. Alteraciones en la distribución de las especies interactuantes

1.2.1. El efecto de la temperatura en las hormigas

Considerando una especie hipotética, con el incremento de temperatura debido al cambio global, se esperaría que todos los organismos que tengan alguna interacción con dicha especie se vean afectados (mutualismo, depredación, competencia, etc.) y como consecuencia deberán hacer ajustes. En contraste, dicha especie también puede desaparecer de su nicho ecológico, debido a la falta de adaptación a las nuevas condiciones de su nuevo entorno abiótico. O bien, por no ajustarse a los cambios en la red de interacciones que se produce con aquellos organismos con quien en ese momento comparte las nuevas condiciones ambientales (Hodár *et al.*, 2004).

Actualmente los experimentos de temperatura como la prueba de tolerancia térmica puede ser una herramienta útil para el modelado y la predicción de las respuestas de las hormigas al calentamiento, los cuales a nivel de especie han confirmado los impactos negativos sobre la fisiología o comportamientos derivados del cambio climático. Otros han revelado su papel promotor sobre la expansión de la distribución de especies, especialmente para las especies invasoras (Diamond *et al.*, 2013). Stuble *et al.* (2013) demostraron que mientras el calentamiento climático puede alterar los patrones de actividad de forrajeo de las hormigas, estos cambios varían según las especies y la latitud del sitio. Los sitios más al sur y las especies con máximos térmicos críticos más bajos tienden a estar en mayor riesgo con el calentamiento climático en curso. En otro estudio de respuesta de las hormigas al aumento de la temperatura Chen & Robinson (2014), pretendieron aclarar cómo el cambio climático puede influir en este importante grupo, investigando los efectos térmicos sobre el tamaño de la colonia de hormigas, ante el fuerte vínculo entre la cubierta del dosel y las temperaturas locales en el lugar de anidación. Obteniendo como resultados que los nidos

fueron más grandes en las zonas sombreadas donde el ambiente térmico era más frío y más estable, comparado con áreas abiertas más cálidas y menos estables.

Por otra parte, la fragmentación y la pérdida del hábitat afectan la respuesta de diferentes especies de hormigas, alterando la composición de los grupos funcionales de las mismas. Por ejemplo, el aumento de la insolación en los bordes de los fragmentos y en las tierras manejadas favorecen especies dominantes como las dolícoderinas; mientras que las mirmicinas generalistas y oportunistas se ven afectadas negativamente por la pérdida de cobertura y el incremento de la radiación solar, esto altera los encuentros interespecíficos de las hormigas. Las consecuencias de este tipo de respuestas de las especies de hormigas son muy amplias a nivel comunitario, según el papel que juegan en la dinámica de los ecosistemas (Crist, 2009). Por ejemplo, Diamond *et al.* (2016) enfatizan el pobre conocimiento de los efectos del cambio climático, particularmente el aumento de la temperatura, en la dinámica de las comunidades. En su estudio realizado con hormigas de bosques templados de Estados Unidos, hallaron que en temperaturas más cálidas un grupo de especies termófilas persistieron en sus nidos por más tiempo, el recambio de nidos disminuyó y las interacciones entre las especies probablemente se alteraron. Los autores concluyen que la estabilidad de la comunidad disminuyó con el aumento de temperatura, lo que contrasta con otros estudios que reportan resiliencia en las interacciones entre especies.

1.2.2 Invasión de hormigas

La gran variedad de interacciones que presentan las hormigas con las plantas y otros insectos pueden ser obligadas o facultativas y no siempre pueden ser mutuamente positivas. Cómo se ven modificadas estas interacciones ante la invasión de hormigas, es una línea de investigación poco explorada sobre las cuestiones que tienen importancia evolutiva, de conducta y ecológica (Holway *et al.*, 2002). Debido a que las hormigas son sensibles a los cambios de temperatura y la humedad, ya que afectan su supervivencia, la actividad de redes de forrajeo y jerarquías de dominancia. En general, se acepta que, con el cambio climático, las especies de hormigas invasoras colonizarán progresivamente las latitudes y altitudes donde las condiciones climáticas actualmente son más frías y son las que se espera que sean las más adecuadas para estas (Hellmann *et al.*, 2008; Folgarait, 1998).

Otra de las causas de la invasión de las especies de hormigas se debe al transporte humano vía el turismo y el comercio internacional. La tendencia es que va en aumento, aunque solo un pequeño grupo de estas especies llegarán a ser invasivas, logrando tener impacto en la biodiversidad al ser verdaderos competidores y depredadores desplazando a las especies nativas y una variedad de otros taxa. Los cuales pueden ir desde microorganismos del suelo hasta pequeños mamíferos, además de los disturbios en las redes ecológicas, tales como mutualismos de dispersión de semillas (Bertelsmeier *et al.*, 2013). Bertelsmeier *et al.* (2013) evidencian que las especies de hormigas como *Pachycondyla chinensis* introducida de Estados Unidos en Asia, tienen efectos ecológicos negativos en las especies de hormigas locales afectando sus redes de interacciones. En este caso el cambio climático exacerba la invasión de esta especie, al extender su distribución e invadir regiones completamente nuevas.

2. CONCLUSIONES

El incremento de la temperatura representa en la actualidad un factor de cambio climático a nivel global. Los sistemas biológicos en el planeta responden a este cambio en diversos niveles de organización y en el ensamble de las especies. En el caso de las interacciones biológicas estos cambios pueden derivar en la pérdida de especies y alteración de ecosistemas. Poder responder cual es la dirección y las estrategias que surgen para lograr adaptarse a estos cambios, es de vital relevancia para las especies, los ecosistemas y su persistencia en este planeta.

La relación planta-hormiga analizada en esta breve revisión, nos expone alteraciones en la distribución de las poblaciones de hormigas así como en la misma interacción. No obstante, también es relevante el caso en el que las hormigas han mostrado cierta resiliencia y demuestran ser un sistema capaz de una adaptación ante esta situación de cambio. Por lo que se manifiesta el potencial de las hormigas y sus interacciones con otras especies como bioindicadores de los efectos del cambio climático en los sistemas biológicos, para generar mayor conocimiento al respecto.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Bertelsmeier C., Guénard B. & Courchamp F. 2013. Climate Change May Boost the Invasion of the Asian Needle Ant. PLoS ONE, 8(10): e75438. doi:10.1371/journal.pone.0075438
- Both C., Van Asch M., Bijlsma R.G., Burg-Van Den A.B. & Visser M.E. 2009. Climate change and unequal phenological changes across four trophic levels: constraints or adaptations?. Journal of Animal Ecology. 78: 73-83. doi: 10.1111/j.1365-2656.2008.01458.x
- Chen Y.H. & Robinson E. J. H. 2014. The Relationship between Canopy Cover and Colony Size of the Wood Ant *Formica lugubris* Implications for the Thermal Effects on a Keystone Ant Species. PLoS ONE 9(12): e116113. doi:10.1371/journal.pone.0116113
- Crist T. O. 2009. Biodiversity, species interactions, and functional roles of ants (Hymenoptera: Formicidae) in fragmented landscapes: a review. Myrmecological News. 12: 3-13.
- DeLucia E. H., Nability P. D., Zavala J. A. & Berenbaum M. R. 2012. Climate Change: Resetting Plant-Insect Interactions. Plant Physiology. 160(4): 1677-1685. doi.org/10.1104/pp.112.204750

Diamond S. E., Penick C., Pelini S. L., Ellison A. M., Gotelli N. J., Sanders N. J. & Dunn R. R. 2013. Using physiology to predict the responses of ants to climatic warming. *Integrative and Comparative Biology*. (53): 965-974.

Diamond S. E., Nichols L. M., Pelini S. L., Penick C. A., Barber G. W., Cahan S. H. & Gotelli N. J. 2016. Climatic warming destabilizes forest ant communities. *Science Advances*. 2(10), e1600842.

Folgarait P. J. 1998. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity & Conservation*. 7(9): 1221-1244.

Hegland S. J., Nielsen A., Lázaro A., Bjercknes A.L. & Totland O. 2009. How does climate warming affect plant-pollinator interactions?. *Ecology Letters*. 12: 184-95. doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01269.x PMID:19049509

Hellmann J.J., Byers J.E., Bierwagen B.G. & Dukes J.S. 2008. Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*. (22): 534-543.

Hódar J. A., Zamora R. & Peñuelas, J. 2004. El efecto del cambio global en las interacciones planta-animal. En: Valladares F. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF S. A., Madrid. pp. 248.

Holway D. A., Lach L., Suarez A. V., Tsutsui N. D. & Case T. J. 2002. The Causes and Consequences of Ant Invasions. *Annual Review of Ecology and Systematics*. (33): 181-233. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150444

Kiers E. T., Palmer M. T., Ives R.A Bruno F. J. & Bronstein L. J. 2010. Mutualisms in a changing world: an evolutionary perspective. *Ecology Letters*. 13(12): 1459-1474. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01538.x

Léotard G., Debout G., Dalecky A., Guillot S., Gaume L., McKey D. & Kjellberg F. 2009. Range expansion drives dispersal evolution in an equatorial three-species symbiosis. *PLoS ONE* 4(4): e5377. doi:10.1371/journal.pone.0005377

Moraes S.C. & Vasconcelos H.L. 2009. Long-term persistence of a Neotropical ant-plant population in the absence of obligate plant-ants. *Ecology* 90: 2375-2383.

Stuble K. L., Pelini S. L., Diamond S. E., Fowler D. A., Dunn R. R. & Sanders N. J. 2013. Foraging by forest ant under experimental climatic warming: a test at two sites. *Ecology and Evolution*. 3(3): 482–491. doi.org/10.1002/ece3.473

Vitousek, M. P. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology*. 75(7): 1861-1876.

Yang H. L. & Rudolf V. H. W. 2010. Phenology, ontogeny and the effects of climate change on the timing of species interactions. *Ecology Letters*. (13): 1-10. doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01402.x