



Artículo de Revisión

<https://doi.org/10.61767/mjte.003.1.3543>

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

Recibido: 04-02-2024

Revisado: 19-02-2024

Aceptado: 14-03-2024

Publicado: 05-05-2024

El control biológico como alternativa para una agricultura sustentable en un entorno amenazado por el cambio climático

Biological control as an alternative for sustainable agriculture in an environment threatened by climate change

G. Chávez-Escalante¹ y F. Méndez-González^{2*}

¹ Universidad Tecnológica de Tecámac. División Electromecánica Industrial, Tecámac, Estado de México, C. P. 55740, México.

² Laboratorio de Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Coordinación Delicias, C.P. 33089, Chihuahua, México.

* Corresponding author: mg.fernandomendez@gmail.com; fernando.mendez@ciad.mx

Resumen

El cambio climático es un fenómeno natural que contribuye a la aparición y proliferación de plagas y enfermedades dañinas para la agricultura. Estas plagas se han combatido con sustancias químicas que son potencialmente dañinas para el medio ambiente y para la salud humana. Por lo que, se han generado diversas alternativas, entre ellas, se encuentra el control biológico; el cual, utiliza enemigos naturales de las plagas para su supresión. La efectividad de los organismos usados como agentes de control biológico generó un creciente mercado de consumo. No obstante, aún se requiere diseñar procesos industriales que permitan la producción de bioplaguicidas con la calidad necesaria para su aplicación en campo.

Palabras clave: Cambio climático, plaguicidas, impacto ambiental, bioinsecticidas, control biológico.

Abstract

Climate change is a natural phenomenon contributing to the appearance and proliferation of pests and diseases harmful to agriculture. These pests have been combated with chemicals potentially damaging the environment and human health. Therefore, various alternatives have been generated; among them is biological control, which uses natural enemies of pests to suppress them. The effectiveness of organisms used as biological control agents generated a growing consumer market. However, it is still necessary to design industrial processes that allow the production of biopesticides with the quality needed for their application in the field.



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

Keywords: Climate change, pesticides, environmental impact, bioinsecticides, biological control.

1. Introducción

El sector agropecuario ha sufrido cambios y adaptaciones a lo largo de los años, entre ellos se engloban los ocasionados por las variaciones climáticas, fertilidad de la tierra y demandas de la sociedad. Las variaciones climáticas representan una problemática difícil de controlar, estas son ocasionadas por diversos factores que alteran la composición de la atmósfera y pueden ser relacionados de forma directa o indirecta con la actividad humana (Lewandowski et al., 2018). Entre los efectos del cambio climático se encuentran el incremento en la temperatura, reducción de la precipitación y mayor frecuencia de eventos extremos (Goula et al., 2006; Timité et al., 2022); lo cual, perjudica el desarrollo de los cultivos y provoca la proliferación de plagas endémicas (Kreß et al., 2014) y la aparición de plagas exóticas. La aparición y proliferación de plagas exóticas, se debe a que la modificación en la temperatura (calentamiento global) provoca estrés en los ecosistemas (Dudgeon et al., 2006; O. E. Sala et al., 2000) y una subsecuente modificación en la distribución de especies (Dudgeon et al., 2006; Durance & Ormerod, 2007). Algunas de estas especies son insectos, de los cuales, se han identificado algunas especies potencialmente dañinas para los cultivos. Regularmente, estas especies son tratadas con sustancias químicas que presentan diversos efectos dañinos. Por lo que, en este manuscrito se describirá el efecto del cambio climático sobre la aparición y la proliferación de insectos plaga, los efectos del uso de plaguicidas para el combate de estas plagas sobre los ecosistemas y, finalmente, se fundamentará como el uso de estrategias de control biológico pueden contribuir a una agricultura sustentable y los retos actuales para su implementación.

2. Efecto del cambio climático sobre las plagas agrícolas

Se ha reportado que la modificación en la temperatura tiene un impacto alto en la dinámica de las poblaciones de plagas, debido a que acorta los tiempos de generación, incrementa la temporada de actividad, el rango de extensión geográfica y, en caso de los insectos, incrementa la posibilidad de una hibernación exitosa (Alto & Juliano, 2001; Porter et al., 1991). Estas plagas beneficiadas por el cambio de temperatura ambiental pueden ocasionar pérdidas totales o parciales de la producción agrícola, afectando a la dinámica de conversión del carbono (Kurz et al., 2008; Kurz & Apps, 1999) y potencializando la acumulación de gases de invernadero (Raymond et al., 2015). Para combatir las plagas se han utilizado sustancias químicas (plaguicidas) que provocan efectos nocivos para el medio ambiente y la salud humana.

3. Efecto del uso de plaguicidas químicos

Entre las sustancias químicas más utilizadas para el combate de plagas se encuentran: el deltamethrin, permethrin, λ -cyhalothrin, DDT, lindano, toxafeno, dieldrin y malathion (Angelini et al., 2007; Basilua Kanza et al., 2013). Estas sustancias son plaguicidas de amplio espectro, por lo que, afectan tanto a la población de plagas como a especies benéficas (entomófagos, polinizadores, entre otros) (Carrieri et al., 2003; Lawler et al., 2007). Además, transportándose por vía difusiva (Bundschuh et al., 2014) son capaces de contaminar mantos acuíferos (Schulz, 2004) y suelo, presentando un efecto intrínseco negativo sobre los ecosistemas (Matthiessen et al., 1995) y ocasionando un desequilibrio ecológico. Además, este tipo de compuestos y sus productos de degradación son tóxicos (Bundschuh et al., 2014), capaces de persistir



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

activos por años y afectar a la salud humana (Gutiérrez-Ramírez et al., 2013). Los efectos negativos de estos compuestos se potencializan por el desconocimiento técnico de las aplicaciones, frecuencia de aplicación y manejo de grupos toxicológicos y químicos. Además, los efectos de insecticidas químicos pueden incrementarse por el calentamiento global, debido a que existe una interacción entre la temperatura y la toxicidad (Heugens et al., 2001). Para la mayoría de los insecticidas el factor de toxicidad se incrementa 4.06 cuando la temperatura aumenta 10 °C; sin embargo, la toxicidad de los organofosfatos puede aumentar en un mayor rango en función de la temperatura (Dietrich et al., 2014). La contaminación química producida por este tipo de plaguicidas y el estrés térmico contribuyen a la susceptibilidad a enfermedades en especies no diana (Dietrich et al., 2014) y pueden contribuir a la extinción de especies en peligro. Por lo que, los insecticidas químicos han ocasionado preocupación a nivel mundial y se les reconoce como un peligro latente para el medio ambiente y la salud humana y, en consecuencia, se ha tratado de disminuir su uso. Con este fin, han surgido varios modelos con un enfoque sustentable (Castillo-Minjarez, 2022). Dentro de estos modelos, se han ideado estrategias orientadas hacia el manejo integral de plagas (MIP), donde se llevan a cabo diversas acciones de carácter sustentable, no dañinas para el medio ambiente y que no representen una amenaza para la salud humana. Una de las alternativas que ofrece el MIP es el control biológico; el cual, por sus resultados, ha generado interés alrededor del mundo.

4. El control biológico como una alternativa sustentable

El uso de agentes de control biológico (ACB) de plagas ha cobrado impulso debido a su gran efectividad y bajo riesgo de afectaciones ambientales o de salud (Auld & Morin, 1995; Henry et al., 2012; Méndez-González et al., 2022). Estos organismos pueden ser parasitoides, depredadores o patógenos (Tabla 1) y presentan

diferentes mecanismos de acción (Tamayo-Mejía et al., 2020).

Los parasitoides se desarrollan sobre o dentro del hospedero, alimentándose de él hasta que perece (Bernal & España-Luna, 2020). Los depredadores son organismos que se alimentan de las plagas, algunos atacan a más de una variedad de presa. Los patógenos son entidades que ocasionan enfermedades en el huésped que pueden causar la muerte. Entre los patógenos, los nemátodos se caracterizan por buscar de forma activa a su huésped (Badii & Abreu, 2006). En el caso de hongos, bacterias, protozoarios y virus el mecanismo de infección comienza con la ingesta. No obstante, los hongos patógenos también tienen la capacidad de adherirse al huésped para comenzar el proceso de infección (Jeffs & Khachatourians, 1997; Kamp & Bidochka, 2002).

La gran efectividad de los ACB ha generado un creciente mercado internacional que asciende a más de 1.8 mil millones de dólares anuales (Muñiz-Paredes et al., 2017). Sin embargo, el control biológico presenta ciertas limitantes, entre ellas, se encuentran las asociadas a los procesos de producción, almacenamiento y aplicación; las cuales, tienen la capacidad de afectar la efectividad del producto y la rentabilidad comercial.

5. Retos para la producción y aplicación de agentes de control biológico

Organismos como parásitos y depredadores, por su naturaleza son complicados de producir en grandes escalas. Sin embargo, esa no es una característica de los patógenos (hongos, bacterias y virus); los cuales, representan la mayoría de los ACB producidos, comercializados y aplicados en el mundo. No obstante, muchos de los procesos de producción de ACB patógenos, carecen de monitoreo y control de proceso (Méndez-González, Loera, et al., 2018); por lo que, en algunos casos, los productos



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

finales carecen de estándares de calidad (Jenkins & Grzywacz, 2000). La variación en producción y calidad de los bioplaguicidas limita su exitosa comercialización (Méndez-González et al., 2022), ya que, puede generar la percepción de que los ACB son pobres en eficacia y de calidad cuestionable. Para solucionar esta limitante se deben desarrollar e implementar procesos de producción para la producción controlada de bioplaguicidas a nivel industrial. Estos nuevos

procesos deben de considerar tres aspectos: 1) el mantenimiento de la línea celular, 2) el monitorio y control de las condiciones de cultivo y 3) la calidad del producto final (Tabla 2). Además, en el producto final, se deben especificar las características y los procedimientos de aplicación y almacenaje, garantizando la efectividad de uso.

Tabla 1. Organismos utilizados en el control biológico.

Clase de agente de control biológico	Tipo de organismos	Organismos
Parasitoide	Koinobiontes e idiobiontes	Familias e insectos como: <i>Trichogrammatidae</i> , <i>Tachinidae</i> , <i>Phoridae</i> , <i>Cryptochetidae</i> , <i>Cecidomyiidae</i> , <i>Acroceridae</i> , <i>Nemestrinidae</i> , <i>Bombyliidae</i> , <i>Phoridae</i> , <i>Pipunculidae</i> , <i>Conopidae</i> , <i>Pyrgotidae</i> , <i>Sciomyzidae</i> , <i>Cryptochetidae</i> , <i>Calliphoridae</i> , <i>Sarcophagidae</i> , <i>Diaeretiella</i> , <i>Cotesia flavipes</i> y <i>Spalangia</i> spp (Bernal & España-Luna, 2020; Gutiérrez-Ramirez et al., 2013; van Driesche et al., 2008)
Depredadores	Insectos polífagos y monófagos	Familias de insectos como: <i>Anthocoridae</i> , <i>Nabidae</i> , <i>Reduviidae</i> , <i>Geocoridae</i> , <i>Carabidae</i> , <i>Coccinellidae</i> , <i>Nitidulidae</i> , <i>Sraphylinidae</i> , <i>Chrysopidae</i> , <i>Formicidae</i> , <i>Cecidomyiidae</i> y <i>Syrphidae</i> (van Driesche et al., 2008)
Patógenos	Virus	Virus de la poliedrosis nuclear (<i>Baculoviridae</i> y <i>Reoviridae</i>) y virus de la granulosis (<i>Poxviridae</i>) (Badii & Abreu, 2006; Gutiérrez-Ramirez et al., 2013)
	Bacterias	<i>Bacillus popilliae</i> , <i>Bacillus Sphericus</i> y <i>Bacillus thuringiensis</i> (Badii & Abreu, 2006; Gutiérrez-Ramirez et al., 2013)
	Hongos	Hyphomycetes (<i>Beauveria</i> , <i>Metarhizium</i> , <i>Verticillium</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Cordyceps</i> y <i>Penicillium</i>) Zigomicetes (<i>Entomophthora</i> , <i>Erynia</i> y <i>Entomophaga</i> y <i>Oomycetes</i> (<i>Phytium</i> y <i>Tarichum</i>) (Badii & Abreu, 2006; Gutiérrez-Ramirez et al., 2013; Méndez-González, Loera-Corral, et al., 2018; A. Sala et al., 2019; Sun et al., 2002)
	Nemátodos	Familias de nematodos como: <i>Mermithidae</i> , <i>Steinernematidae</i> y <i>Heterorhabditidae</i> (Alatorre-Rosas, 2020; Gutiérrez-Ramirez et al., 2013)
	Protozoarios	<i>Nosema</i> spp. (Alatorre-Rosas & Tamayo-Mejía, 2020; Gutiérrez-Ramirez et al., 2013)



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

Tabla 2. Parámetros de control y calidad de proceso en la producción de agentes de control biológico.

Aspecto	Parámetro
Línea celular	Estabilidad genética y fenotípica
Control de proceso	Temperatura Humedad pH Monitoreo de la contaminación Almacenamiento Nutrición Consumo de O ₂ Producción de CO ₂
Calidad del producto	Pureza biológica Concentración Viabilidad Infectividad Vida de anaquel

6. Conclusión

Entre otros efectos, el cambio climático promueve la proliferación de plagas endémicas y exóticas. Regularmente, estas plagas son tratadas con sustancias químicas que son potencialmente nocivas para el medio ambiente y la salud humana. El control biológico podría implementarse en lugar de la aplicación de sustancias químicas. Bacterias, hongos, nemátodos, protozoarios e insectos son efectivos agentes de control biológico que presentan diversos mecanismos de acción para combatir las plagas. Sin embargo, para poder usar a los agentes de control biológico en lugar de las sustancias químicas, es necesario diseñar procesos con un alto grado de industrialización que garanticen la producción de bioplaguicidas con la calidad necesaria para aplicarse en campo.

7. Referencias

- Alatorre-Rosas, R. (2020). Nematodos parásitos de insectos. In H. C. Arredondo-Bernal, F. Tamayo-Mejía, & L. A. Rodríguez-del-Bosque (Eds.), *Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades* (1st ed., pp. 271–310). Colegio de Posgraduados.
- Alatorre-Rosas, R., & Tamayo-Mejía, F. (2020). Protozoarios-microporidia y hongos entomopatógenos. In H. C. Arredondo-Bernal, F. Tamayo-Mejía, & L. A. Rodríguez-del-Bosque (Eds.), *Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades* (1st ed., pp. 187–238). Colegio de Posgraduados.
- Alto, B. W., & Juliano, S. A. (2001). Precipitation and Temperature Effects on Populations of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): Implications for Range Expansion. *Journal of Medical Entomology*, 38(5), 646–656. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-38.5.646>
- Angelini, R., Finarelli, A. C., Angelini, P., Po, C., Petropulacos, K., Macini, P., Fiorentini, C., Fortuna, C., Venturi, G., Romi, R., Majori, G., Nicoletti, L., Rezza, G., & Cassone, A. (2007). An outbreak of chikungunya fever in the province of Ravenna, Italy. *Weekly Releases (1997–2007)*, 12(36). <https://doi.org/10.2807/esw.12.36.03260-en>



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

5. Auld, B. A., & Morin, L. (1995). Constraints in the Development of Bioherbicides. *Weed Technology*, 9(3), 638–652. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00023964>
6. Badii, M. H., & Abreu, J. L. (2006). Control biológico una forma sustentable de control de plagas. *International Journal of Good Conscience*, 1(1), 82–89.
7. Basilua Kanza, J. P., El Fahime, E., Alaoui, S., Essassi, E. M., Brooke, B., Nkebolo Malafu, A., & Watsenga Tezzo, F. (2013). Pyrethroid, DDT and malathion resistance in the malaria vector *Anopheles gambiae* from the Democratic Republic of Congo. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 107(1), 8–14. <https://doi.org/10.1093/trstmh/trs002>
8. Bernal, J. S., & España-Luna, M. P. (2020). Biología, ecología y etología de parasitoides. In H. C. Arredondo-Bernal, F. Tamayo-Mejía, & L. A. Rodríguez-del-Bosque (Eds.), *Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades* (1st ed., pp. 139–154). Colegio de Posgraduados.
9. Bundschuh, M., Goedkoop, W., & Kreuger, J. (2014). Evaluation of pesticide monitoring strategies in agricultural streams based on the toxic-unit concept — Experiences from long-term measurements. *Science of The Total Environment*, 484, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.015>
10. Carrieri, M., Bacchi, M., Bellini, R., & Maini, S. (2003). On the Competition Occurring Between *Aedes albopictus* and *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) in Italy. *Environmental Entomology*, 32(6), 1313–1321. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-32.6.1313>
11. Castillo-Minjarez, J. M. (2022). Contexto de los bioplaguicidas comerciales de base fúngica en México. *Mexican Journal of Technology and Engineering*, 1(1), 15–27. <https://doi.org/10.61767/mjte.001.1.1527>
12. Dietrich, J. P., Van Gaest, A. L., Strickland, S. A., & Arkoosh, M. R. (2014). The impact of temperature stress and pesticide exposure on mortality and disease susceptibility of endangered Pacific salmon. *Chemosphere*, 108, 353–359. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.01.079>
13. Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A., Soto, D., Stiassny, M. L. J., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
14. Durance, I., & Ormerod, S. J. (2007). Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global Change Biology*, 13(5), 942–957. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01340.x>
15. Goula, B. T. A., Savane, I., Konan, B., Fadika, V., & Kouadio, G. B. (2006). Impact de la variabilité climatique sur les ressources hydriques des bassins de N'Zo et N'Zi en Côte d'Ivoire (Afrique tropicale humide). *Vertigo*, Volume 7 Numéro 1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.2038>
16. Gutiérrez-Ramirez, A., Robles-Bermúdez, A., Santillan-Ortega, C., Ortiz-Catón, M., & Cambero-Campos, O. J. (2013). Control biológico como herramienta sustentable en el manejo de plagas y su uso en el estado de



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

- Nayarit, México. *Revista Biociencias*, 2(3), 102–112.
17. Henry, M., Béguin, M., Requier, F., Rollin, O., Odoux, J.-F., Aupinel, P., Aptel, J., Tchamitchian, S., & Decourtye, A. (2012). A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. *Science*, 336(6079), 348–350. <https://doi.org/10.1126/science.1215039>
18. Heugens, E. H. W., Hendriks, A. J., Dekker, T., Straalen, N. M. van, & Admiraal, W. (2001). A Review of the Effects of Multiple Stressors on Aquatic Organisms and Analysis of Uncertainty Factors for Use in Risk Assessment. *Critical Reviews in Toxicology*, 31(3), 247–284. <https://doi.org/10.1080/20014091111695>
19. Jeffs, L. B., & Khachatourians, G. G. (1997). Estimation of spore hydrophobicity for members of the genera *Beauveria*, *Metarhizium*, and *Tolypocladium* by salt-mediated aggregation and sedimentation. *Canadian Journal of Microbiology*, 43(1), 23–28. <https://doi.org/10.1139/m97-004>
20. Jenkins, N. E., & Grzywacz, D. (2000). Quality control of fungal and viral biocontrol agents - Assurance of product performance. *Biocontrol Science and Technology*, 10(6), 753–777. <https://doi.org/10.1080/09583150020011717>
21. Kamp, A. M., & Bidochka, M. J. (2002). Conidium production by insect pathogenic fungi on commercially available agars. *Letters in Applied Microbiology*, 35(1), 74–77. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765X.2002.01128.x>
22. Kreß, A., Kuch, U., Oehlmann, J., & Müller, R. (2014). Impact of temperature and nutrition on the toxicity of the insecticide λ -cyhalothrin in full-lifecycle tests with the target mosquito species *Aedes albopictus* and *Culex pipiens*. *Journal of Pest Science*, 87(4), 739–750. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0620-4>
23. Kurz, W. A., & Apps, M. J. (1999). A 70-Year Retrospective Analysis of Carbon Fluxes in the Canadian Forest Sector. *Ecological Applications*, 9(2), 526. <https://doi.org/10.2307/2641142>
24. Kurz, W. A., Stinson, G., Rampley, G. J., Dymond, C. C., & Neilson, E. T. (2008). Risk of natural disturbances makes future contribution of Canada's forests to the global carbon cycle highly uncertain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(5), 1551–1555. <https://doi.org/10.1073/pnas.0708133105>
25. Lawler, S. P., Dritz, D. A., Christiansen, J. A., & Cornel, A. J. (2007). Effects of lambda-cyhalothrin on mosquito larvae and predatory aquatic insects. *Pest Management Science*, 63(3), 234–240. <https://doi.org/10.1002/ps.1279>
26. Lewandowski, I., Gaudet, N., Lask, J., Maier, J., Tchouga, B., & Vargas-Carpintero, R. (2018). Context. In *Bioeconomy* (pp. 5–16). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8_2
27. Matthiessen, P., Sheahan, D., Harrison, R., Kirby, M., Rycroft, R., Turnbull, A., Volkner, C., & Williams, R. (1995). Use of a *Gammarus pulex* Bioassay to Measure the Effects of Transient Carbofuran Runoff from Farmland. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 30(2), 111–119. <https://doi.org/10.1006/eesa.1995.1013>



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

28. Méndez-González, F., Castillo-Minjarez, J. M., Loera, O., & Favela-Torres, E. (2022). Current developments in the resistance, quality, and production of entomopathogenic fungi. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(7), 115. <https://doi.org/10.1007/s11274-022-03301-9>
29. Méndez-González, F., Loera, O., & Favela-Torres, E. (2018). Conidia production of *Metarhizium anisopliae* in bags and packed column bioreactors. *Current Biotechnology*, 7(1), 65–69. <https://doi.org/10.2174/2211550105666160926123350>
30. Méndez-González, F., Loera-Corral, O., Saucedo-Castañeda, G., & Favela-Torres, E. (2018). Bioreactors for the production of biological control agents produced by solid-state fermentation. In A. Pandey, C. Larroche, & C. R. Soccol (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 109–121). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63990-5.00007-4>
31. Muñoz-Paredes, F., Miranda-Hernández, F., & Loera, O. (2017). Production of conidia by entomopathogenic fungi: from inoculants to final quality tests. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33(3), 57–66. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2229-2>
32. Porter, J. H., Parry, M. L., & Carter, T. R. (1991). The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 57(1–3), 221–240. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(91\)90088-8](https://doi.org/10.1016/0168-1923(91)90088-8)
33. Raymond, C. L., Healey, S., Peduzzi, A., & Patterson, P. (2015). Representative regional models of post-disturbance forest carbon accumulation: Integrating inventory data and a growth and yield model. *Forest Ecology and Management*, 336, 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.038>
34. Sala, A., Barrena, R., Artola, A., & Sánchez, A. (2019). Current developments in the production of fungal biological control agents by solid-state fermentation using organic solid waste. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 49(8), 655–694. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1557497>
35. Sala, O. E., Stuart Chapin, F., III, Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., & Wall, D. H. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, 287(5459), 1770–1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
36. Schulz, R. (2004). Field Studies on Exposure, Effects, and Risk Mitigation of Aquatic Nonpoint-Source Insecticide Pollution: A Review. *Journal of Environmental Quality*, 33(2), 419–448. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.4190>
37. Sun, J., Fuxa, J. R., & Henderson, G. (2002). Sporulation of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* on *Coptotermes formosanus* and in vitro. *Journal of Invertebrate Pathology*, 81(2), 78–85. [https://doi.org/10.1016/S0022-2011\(02\)00152-0](https://doi.org/10.1016/S0022-2011(02)00152-0)
38. Tamayo-Mejía, F., Alatorre-Rosas, R., Delgado-Fernández, S., & Ocampo-Hernández, J. A. (2020). Principios de aplicación de entomopatógenos. In H. C. Arredondo-Bernal,



Artículo de Revisión

Chávez-Escalante y Méndez-González, 2024

F. Tamayo-Mejía, & L. A. Rodríguez-del-Bosque (Eds.), *Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades* (1st ed., pp. 405–426). Colegio de Posgraduados.

39. Timité, N., Kouakou, A. T. M., Bamba, I., Barima, Y. S. S., & Bogaert, J. (2022). Climate Variability in the Sudanian Zone of Côte d'Ivoire: Weather Observations, Perceptions, and Adaptation Strategies of Farmers. *Sustainability*, 14(16), 10410. <https://doi.org/10.3390/su141610410>

40. van Driesche, R. G., Hoddle, M. S., & Center, T. D. (2008). *Control of pest and weeds by natural enemies: An introduction to biological control* (R. G. van Driesche, M. S. Hoddle, & T. D. Center, Eds.; 1st ed.). Wiley-Blackwell.