

Microorganismos en dormancia en los glaciares polares y los riesgos emergentes por el cambio climático

Estephanie Elizabeth Luna-Pérez¹ **iD**, Erika Mendoza-Rojas¹ **iD**, Yolanda Elizabeth Morales-García^{1,2} **iD**, Ximena Gordillo-Ibarra^{3*} **iD**, Jesús Mauricio Muñoz-Morales^{3**} **iD**

¹Grupo “Ecology and Survival of Microorganims”, Laboratorio de Ecología Molecular Microbiana, Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, Instituto de Ciencias Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. ²Grupo Inoculantes Microbianos, Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. ³Alianzas y Tendencias BUAP.

Email de autores para correspondencia: *ximena.gordillo@aytbuap.mx;
**mauricio.munoz@aytbuap.mx

Recibido: 24 diciembre 2024. **Aceptado:** 28 diciembre 2024

RESUMEN

Los glaciares polares son reservorios de microorganismos en dormancia, conservados por milenios en condiciones extremas de congelación. Con el cambio climático, el deshielo acelerado podría reactivar estas comunidades microbianas, liberando patógenos antiguos y alterando los ecosistemas locales y globales. Este manuscrito explora la naturaleza de estos microorganismos, los riesgos potenciales asociados con su liberación y activación, y las implicaciones para la salud humana y el medio ambiente.

Palabras clave: Glaciares polares; microorganismos; descongelación; dormancia; liberación de microorganismos.

ABSTRACT

Polar glaciers are reservoirs of dormant microorganisms, preserved for millennia under extreme freezing conditions. With climate change, accelerated melting could reactivate these microbial communities, releasing ancient pathogens and disrupting local and global ecosystems. This manuscript explores the nature of these microorganisms, the potential risks associated with their release and activation, and the implications for human health and the environment.

Keywords: Polar glaciers; microorganisms; thawing; dormancy; release of microorganisms.

INTRODUCCIÓN

Los glaciares polares representan uno de los ecosistemas más extremos y menos explorados de la Tierra [1]. Estos entornos han actuado como almacenes naturales para microorganismos, incluidos virus, hongos y bacterias, que han permanecido en estado de dormancia durante miles o incluso millones de años (Figura 1) [2, 3]. Sin embargo, el calentamiento global está acelerando el deshielo de los glaciares [4], liberando no solo grandes volúmenes de agua dulce, sino también microorganismos; algunos de ellos

potencialmente peligrosos [5, 6]. Comprender cómo estos microorganismos interactúan con los ecosistemas modernos y con los seres humanos es esencial para evaluar los riesgos asociados.

Actualmente se liberan millones de microorganismos al año debido al aumento de la temperatura, se estima una liberación de 4×10^{21} células al año a partir de los glaciares, el estudio de estos organismos es crucial para estar preparados ante infecciones emergentes [6].



Figura 1. Obra artística titulada “partículas atrapadas en el tiempo”, es una representación de esporas de hongos microscópicas que se quedaron atrapadas en el hielo y en el tiempo.

<https://www.aytbuap.mx/aytbuap-936/portada-936>

Microorganismos detectados en los glaciares

Los microorganismos detectados en los glaciares polares incluyen una amplia variedad de bacterias, arqueas, hongos, algas, y virus [7]. Estos microorganismos han sido preservados en condiciones extremas de frío, lo que ha

permitido que muchos de ellos permanezcan en estado de dormancia durante milenios [7, 8]. Algunos de los microorganismos detectados se consideran potencialmente peligrosos para la salud humana o con potencial para cambiar las características de un ecosistema (Tabla 1).

Tabla 1. Ejemplos de microorganismos detectados en los glaciares.

Microorganismo	Característica	Nivel de peligro	Referencia
<i>Bacillus</i> sp.	Forma esporas	Especies ancestrales de este género podrían interactuar negativamente con ecosistemas modernos	[13]
<i>Clostridium</i> sp.	Forma esporas	Algunas especies de este género son potencialmente peligrosas para la salud humana	[14]
<i>Yersinia pestis</i>	Responsable de la peste	Bacteria potencialmente peligrosa	[15]
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Responsable de la tuberculosis	Bacteria potencialmente peligrosa	[16]
<i>Arthrobacter</i> sp.	Sobrevive a bajas temperaturas y produce toxinas	Podría interactuar negativamente con ecosistemas modernos	[13]
Arqueas metanogénicas	Producen metano	Aunque no suelen ser patógenas, su liberación masiva podría contribuir al efecto invernadero	[17]
<i>Cryomyces</i> sp.	Hongo levaduriforme	Aunque no son peligrosos directamente, algunos podrían interactuar con plantas o animales y alterar ecosistemas sensibles	[18]
Cianobacterias	Bacterias fotosintéticas	Algunas producen toxinas (cianotoxinas) que afectan negativamente a organismos acuáticos y humanos	[19]
Virus encapsulados	Se han recuperado virus antiguos, como fagos que infectan bacterias o virus gigantes relacionados con <i>Mimivirus</i>	Aunque la mayoría no son peligrosos para los humanos, existe el riesgo de que algunos virus patógenos desconocidos puedan ser liberados	[20]
<i>Pithovirus sibericum</i>	Virus gigante reactivado de un núcleo de permafrost	Aunque infecta amebas, esto demuestra la capacidad de estos virus para sobrevivir y reactivarse	[21]

Si bien no todos los microorganismos liberados de los glaciares son necesariamente peligrosos, aquellos que son patógenos o portadores de genes de resistencia a antibióticos representan una amenaza seria para la salud pública y los ecosistemas [9, 10]. Por otro lado, algunas bacterias detectadas en los glaciares polares incluso son benéficas para el desarrollo de plantas o poseen potencial biotecnológico para comercialización [11, 12]. La reactivación de microorganismos desconocidos podría traer consecuencias impredecibles. Por ello, es importante monitorear y estudiar las muestras de hielo derretido y desarrollar planes para mitigar estos riesgos.

Profundidad de los microorganismos detectados en glaciares

Los microorganismos en glaciares y capas de hielo se han encontrado a diversas profundidades, dependiendo del lugar de muestreo y del tipo de hielo estudiado. En las capas superficiales (0-1 metro), es común encontrar microorganismos contemporáneos, como bacterias y algas, que se depositan por el polvo atmosférico, aerosoles y la nieve reciente [22]. Por ejemplo, las cianobacterias y algas resistentes al frío que proliferan en condiciones de derretimiento superficial. En estratos intermedios (1-100 metros), se encuentran microorganismos atrapados en capas de nieve y hielo comprimido durante siglos o milenios [23]. En Groenlandia, bacterias y hongos viables han sido recuperados de capas formadas hace aproximadamente 2,000 años [13]. Los

microorganismos más antiguos y menos afectados por contaminaciones modernas se hallan en las capas profundas del hielo glacial (mayor a 100 metros) [11]. En la Antártida, por ejemplo, bacterias viables se han recuperado a profundidades en el núcleo de hielo de Vostok [24]. *Chryseobacterium* sp. y *Herminiimonas glaciei* se encontraron a profundidades superiores a 3,000 metros en la estación Vostok [25]. En el permafrost siberiano y los lagos subglaciares (como el lago Vostok en la Antártida), microorganismos viables han sido hallados bajo varios kilómetros de hielo [26]. En el lago Vostok, cubierto por 4 kilómetros de hielo, se han identificado varias bacterias, lo que sugiere un largo estado de dormancia [27]. En núcleos de hielo extraídos de profundidades de 3 kilómetros, en Groelandia, se encontraron microorganismos viables que datan de hace unos 100,000 años [28]. Bacterias como *Carnobacterium* sp. han sido resucitadas del permafrost siberiano a profundidades de hasta 70 metros, con edades estimadas de 750,000 años [29, 30].

Microorganismos en dormancia y el incremento de temperatura

Los microorganismos encontrados en los glaciares han desarrollado mecanismos especializados para sobrevivir en condiciones extremas, como temperaturas bajo cero, alta presión y baja disponibilidad de nutrientes [31-33]. La reactivación de estas entidades plantea interrogantes sobre su adaptabilidad a los ecosistemas modernos [5].

El aumento de las temperaturas globales está provocando la rápida pérdida de masas de hielo en el Ártico y la Antártida [34]. Este proceso no solo contribuye al aumento del nivel del mar, sino que también libera material biológico atrapado, incluidos microorganismos. La liberación de microorganismos antiguos podría tener consecuencias impredecibles (Figura 2) [35]. Algunos patógenos, inactivos durante milenios, podrían representar una amenaza directa para la salud humana, ya que podrían evadir los sistemas inmunitarios modernos. Asimismo, la introducción de nuevos microorganismos en ecosistemas frágiles

podría alterar el equilibrio ecológico, afectando las redes tróficas y la biodiversidad local [36].

Es importante establecer estrategias de monitoreo y control para minimizar los riesgos. Esto incluye la recolección sistemática de muestras de hielo derretido, el estudio genómico de los microorganismos y la evaluación de su potencial patogénico [13, 37]. Además, es fundamental educar y sensibilizar a la comunidad global sobre la importancia de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para mitigar el deshielo [38-40].



Figura 2. Representación de la liberación de microorganismos atrapados en glaciales. El aumento de la temperatura ocasionado por el cambio climático causa el deshielo de glaciales conllevando a la reactivación de bacterias, hongos, virus y parásitos potencialmente patógenos, siendo un riesgo para la población y los ecosistemas [16].

CONCLUSIONES

El deshielo de los glaciares polares representa un fenómeno multifacético con implicaciones ecológicas, climáticas y de salud. Los microorganismos liberados por este proceso son una evidencia tangible de los riesgos biológicos asociados al cambio climático. Si bien el estudio de estos microorganismos podría ofrecer conocimientos importantes sobre la evolución y adaptación de la vida en condiciones extremas, también es imperante la necesidad de actuar de manera proactiva para mitigar los impactos negativos potenciales. La cooperación internacional y la investigación multidisciplinaria serán clave para enfrentar estos desafíos emergentes.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no tienen ningún conflicto de intereses con el contenido de este manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

A la VIEP-BUAP por el apoyo para llevar a cabo nuestras investigaciones. La Dra. Yolanda Elizabeth Morales-García es miembro del SNII; por lo que agradece a esta institución por su apoyo. Estephane Elizabeth Luna-Pérez y Erika Mendoza Rojas son becarias CONAHCyT, y agradecen por la beca otorgada. También agradecemos a la Dirección Internacionalización de la Investigación de la BUAP, quienes amablemente nos apoyan para que el conocimiento rebase las fronteras nacionales.

REFERENCIAS

- [1]. Rubial MJ. Los glaciares: dinámica y relieve. Enseñanza las ciencias la tierra Rev la Asoc Española para la Enseñanza las Ciencias la Tierra. 2005;13(3):230–4. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2898652>
- [2]. Vick-Majors TJ, Singh SM, Singh PK. Editorial: Microorganisms in polar regions: understanding their survival strategies for a sustainable future. Front Microbiol. 2024;15. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2024.1442926/full>
- [3]. Li Y, Cha Q-Q, Dang Y-R, Chen X-L, Wang M, McMinn A, *et al.* Reconstruction of the Functional Ecosystem in the High Light, Low Temperature Union Glacier Region, Antarctica. Front Microbiol. 2019;10:fmicb.2019.02408. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.02408/full>
- [4]. Jobanpreet Singh, Chitradevi. The Accelerating Melting of Glaciers: Impacts on Earth and Emerging Challenges. Int J Adv Res Interdiscip Sci Endeav. 2024 Jul 30;1(2 SE-Review Article):47–58. Disponible en: <https://ijarise.org/index.php/ijarise/article/view/9>
- [5]. Vincent WF. Microbial ecosystem responses to rapid climate change in the Arctic. ISME J. 2010 Sep 1;4(9):1087–90. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/ismej2010108>

- [6]. Yarzabal LA, Salazar LMB, Batista-García RA. Climate change, melting cryosphere and frozen pathogens: Should we worry...? *Environ Sustain.* 2021;4(3):489–501. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38624658/>
- [7.]. Bradley JA, Trivedi CB, Winkel M, Mourot R, Lutz S, Larose C, *et al.* Active and dormant microorganisms on glacier surfaces. *Geobiology.* 2023 Mar 1;21(2):244–61. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gbi.12535?msockid=2fa08a48afb36a8f2b698477ae916bb5>
- [8]. Krauze P, Wagner D, Yang S, Spinola D, Kühn P. Influence of prokaryotic microorganisms on initial soil formation along a glacier forefield on King George Island, maritime Antarctica. *Sci Rep.* 2021;11(1):13135. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-92205-z>
- [9]. Segawa T, Takeuchi N, Rivera A, Yamada A, Yoshimura Y, Barcaza G, *et al.* Distribution of antibiotic resistance genes in glacier environments. *Environ Microbiol Rep.* 2013 Feb 1;5(1):127–34. Disponible en: <https://enviromicro-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1758-2229.12011>
- [10]. Depta J, Niedźwiedzka-Rystwej P. The Phenomenon of Antibiotic Resistance in the Polar Regions: An Overview of the Global Problem. *Infect Drug Resist.* 2023 Dec 31;16(null):1979–95. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37034396/>
- [11]. de Pascale D, De Santi C, Fu J, Landfald B. The microbial diversity of Polar environments is a fertile ground for bioprospecting. *Mar Genomics.* 2012;8:15–22. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1874778712000384>
- [12]. Yadav AN, Verma P, Sachan SG, Kaushik R, Saxena AK. Psychrotrophic Microbiomes: Molecular Diversity and Beneficial Role in Plant Growth Promotion and Soil Health BT - Microorganisms for Green Revolution: Volume 2 : Microbes for Sustainable Agro-ecosystem. In: Panpatte DG, Jhala YK, Shelat HN, Vyas R V, editors. Singapore: Springer Singapore; 2018. p. 197–240. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-7146-1_11
- [13]. Knowlton C, Veerapaneni R, D’Elia T, Rogers SO. Microbial Analyses of Ancient Ice Core Sections from Greenland and Antarctica. Vol. 2, Biology. 2013. p. 206–32. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2079-7737/2/1/206>
- [14]. Groudieva T, Kambourova M, Yusef H, Royter M, Grote R, Trinks H, *et al.* Diversity and cold-active hydrolytic enzymes of culturable bacteria associated with Arctic sea ice, Spitzbergen. *Extremophiles.* 2004;8(6):475–88. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15252724/>
- [15]. Kılınç GM, Kashuba N, Koptekin D, Bergfeldt N, Dönertaş HM, Rodríguez-Varela R, *et al.* Human population dynamics and *Yersinia pestis* in ancient northeast Asia. *Sci Adv.* 2024 Dec 31;7(2):eabc4587. Disponible

en:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33523963/>

[16]. Zhang B, Xu Y, Yan X, Pu T, Wang S, Yang X, *et al.* The diversity and risk of potential pathogenic bacteria on the surface of glaciers in the southeastern Tibetan Plateau. *Sci Total Environ.* 2024;945:173937. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969724040853>

[17]. Stibal M, Wadham JL, Lis GP, Telling J, Pancost RD, Dubnick A, *et al.* Methanogenic potential of Arctic and Antarctic subglacial environments with contrasting organic carbon sources. *Glob Chang Biol.* 2012 Nov 1;18(11):3332–45. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2486.2012.02763.x>

[18]. Liu Q, Xin Y-H, Chen X-L, Liu H-C, Zhou Y-G, Chen W-X. *Arthrobacter ruber* sp. nov., isolated from glacier ice. *Int J Syst Evol Microbiol.* 2018;68(5):1616–21. Disponible en: <https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/ijsem/10.1099/ijsem.0.002719>

[19]. Vincent WF. Cyanobacterial Dominance in the Polar Regions BT - The Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space. In: Whitton BA, Potts M, editors. Dordrecht: Springer Netherlands; 2002. p. 321–40. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-306-46855-7_12

[20]. Gang Z, Dany S, David G, Sergei D, D. CJ, O. RS. Evidence of Influenza A Virus RNA in Siberian Lake Ice. *J Virol.* 2006 Dec

15;80(24):12229–35. Disponible en: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/jvi.00986-06>

[21]. Legendre M, Bartoli J, Shmakova L, Jeudy S, Labadie K, Adrait A, *et al.* Thirty-thousand-year-old distant relative of giant icosahedral DNA viruses with a pandoravirus morphology. *Proc Natl Acad Sci.* 2014 Mar 18;111(11):4274–9. Disponible en: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1320670111>

[22]. Lutz S, Anesio AM, Edwards A, Benning LG. Linking microbial diversity and functionality of arctic glacial surface habitats. *Environ Microbiol.* 2017 Feb 1;19(2):551–65. Disponible en: <https://enviromicro-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1462-2920.13494>

[23]. Rime T, Hartmann M, Brunner I, Widmer F, Zeyer J, Frey B. Vertical distribution of the soil microbiota along a successional gradient in a glacier forefield. *Mol Ecol.* 2015 Mar 1;24(5):1091–108. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/mec.13051?msocid=2fa08a48afb36a8f2b698477ae916bb5>

[24]. di Prisco G. Lake Vostok and Subglacial Lakes of Antarctica: Do They Host Life? In: *Physiology and Biochemistry of Extremophiles.* 2007. p. 145–54. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1128/9781555815813.ch11>

[25]. Brenchly JE. The Characterization of Psychrophilic Microorganisms and their potentially useful Cold-Active Glycosidases

Final Progress Report. United States; 2008.
Disponibile en:
<https://www.osti.gov/biblio/959114>

[26]. Karl DM, Bird DF, Björkman K, Houlihan T, Shackelford R, Tupas L. Microorganisms in the Accreted Ice of Lake Vostok, Antarctica. *Science* (80-). 1999 Dec 10;286(5447):2144–7. Disponibile en:
<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.286.5447.2144>

[27]. Shtarkman YM, Koçer ZA, Edgar R, Veerapaneni RS, D’Elia T, Morris PF, *et al.* Subglacial Lake Vostok (Antarctica) Accretion Ice Contains a Diverse Set of Sequences from Aquatic, Marine and Sediment-Inhabiting Bacteria and Eukarya. *PLoS One*. 2013 Jul 3;8(7):e67221. Disponibile en:
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0067221>

[28]. Miteva V, Rinehold K, Sowers T, Sebastian A, Brenchley J. Abundance, viability and diversity of the indigenous microbial populations at different depths of the NEEM Greenland ice core. *Polar Res*. 2015 Jan 1;34(1):25057. Disponibile en:
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3402/polar.v34.25057>

[29]. Margesin R, Miteva V. Diversity and ecology of psychrophilic microorganisms. *Res Microbiol*. 2011;162(3):346–61. Disponibile en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0923250810002810>

[30]. Jansson JK, Taş N. The microbial ecology of permafrost. *Nat Rev Microbiol*. 2014;12(6):414–25. Disponibile en:

<https://www.nature.com/articles/nrmicro3262>

[31]. Choudhary P, Bhatt S, Chatterjee S. From freezing to functioning: cellular strategies of cold-adapted bacteria for surviving in extreme environments. *Arch Microbiol*. 2024;206(7):329. Disponibile en:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00203-024-04058-5>

[32]. Shen L, Zhang S, Chen G. Regulated strategies of cold-adapted microorganisms in response to cold: a review. *Environ Sci Pollut Res*. 2021;28(48):68006–24. Disponibile en:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-16843-6>

[33]. Price PB. Microbial genesis, life and death in glacial ice This article is one of a selection of papers in the Special Issue on Polar and Alpine Microbiology. *Can J Microbiol*. 2009 Jan 1;55(1):1–11. Disponibile en:
<https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/W08-117>

[34]. Wunderling N, Willeit M, Donges JF, Winkelmann R. Global warming due to loss of large ice masses and Arctic summer sea ice. *Nat Commun*. 2020;11(1):5177. Disponibile en:
<https://www.nature.com/articles/s41467-020-18934-3>

[35]. Houwenhuyse S, Macke E, Reyserhove L, Bulteel L, Decaestecker E. Back to the future in a petri dish: Origin and impact of resurrected microbes in natural populations. *Evol Appl*. 2018 Jan 1;11(1):29–41. Disponibile en:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/eva.12538>

[36]. Khan I, Rehman A, Zia K, Naveed U, Bibi



S, Sherazi R, *et al.* Microbes and Environment: Global Warming Reverting the Frozen Zombies BT - Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth. In: Fahad S, Hasanuzzaman M, Alam M, Ullah H, Saeed M, Ali Khan I, *et al.*, editors. Cham: Springer International Publishing; 2020. p. 607–33. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-49732-3_24

[37]. Singh P, Singh SM, Dhakephalkar P. Diversity, cold active enzymes and adaptation strategies of bacteria inhabiting glacier cryoconite holes of High Arctic. *Extremophiles*. 2014;18(2):229–42. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00792-013-0609-6>

[38]. Pazos-Rojas LA, Marín-Cevada V, Morales-García YE, Baez A, Villalobos-López MÁ, Pérez-Santos M, *et al.* Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde. *Rev Iberoam Ciencias*. 2016;3(7):72–85. Disponible en: <https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Munoz->

[Rojas/publication/311900407_Uso_de_microorganismos_beneficos_para_reducir_los_danos_causados_por_la_revolucion_verde/links/5af6f6f3aca2720af9c79f30/Uso-de-microorganismos-beneficos-para-reducir-los-danos-causados-por-la-revolucion-verde.pdf](https://www.researchgate.net/publication/311900407_Uso_de_microorganismos_beneficos_para_reducir_los_danos_causados_por_la_revolucion_verde/links/5af6f6f3aca2720af9c79f30/Uso-de-microorganismos-beneficos-para-reducir-los-danos-causados-por-la-revolucion-verde.pdf)

[39]. Morales-García YE, Baez A, Juárez-Hernández D, Hernández-Tenorio A-L, Muñoz-Rojas J. Inoculantes de segunda generación como alternativa de solución para mitigar el cambio climático. In: Seminario Survival and Ecology of Microorganisms. Puebla, México: BUAP; 2020. p. 1–2. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Munoz-Rojas/publication/339228969_Inoculantes_de_segunda_generacion_como_alternativa_de_solucion_para_mitigar_el_cambio_climatico

[40]. Muñoz-Rojas J. Editorial 5(17). Cambios urgentes en las prácticas agrícolas para mitigar el cambio climático. *Alianzas y Tendencias BUAP*. 2020;5(17):i–iii. Disponible en: <https://www.aytbuap.mx/editorial-517-cambios-urgentes-en-las-pr%C3%A1cticas-agr%C3%ADcolas-para-mitigar>

