

Investigación ambiental en la Universidad del Valle de Guatemala: una mirada retrospectiva y prospectiva desde la biodiversidad, el agua y el cambio climático

Environmental research at the Universidad del Valle de Guatemala: A retrospective and prospective view from the perspectives of biodiversity, water, and climate change

Edwin CASTELLANOS^{1,2}, Daniel ARIANO-SÁNCHEZ^{1,3}, Mónica MARTÍNEZ-FAUSTO⁴,
Gabriela FUENTES-BRAEUNER², José MONZÓN-SIERRA¹ & Francis SANTOS-RUIZ⁴

¹ Centro de Estudios Ambientales y de Biodiversidad (CEAB), Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala; GUATEMALA

² Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Ciudad de Guatemala; GUATEMALA

³ Departamento de Biología, Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala; GUATEMALA

⁴ Centro de Estudios Atitlán (CEA), Campus Altiplano, Universidad del Valle de Guatemala, Sololá; GUATEMALA

Correspondencia: Edwin Castellanos (ecastell@uvg.edu.gt)

Recibido: 17/III/2026; Aceptado: 07/IV/2026

Resumen: Este artículo presenta una revisión retrospectiva de la contribución de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) al conocimiento ambiental del país a lo largo de seis décadas, con énfasis en tres áreas estratégicas: biodiversidad, agua y cambio climático. Su objetivo es analizar la producción científica institucional, identificar sus principales aportes a la generación de información ambiental y evaluar su incidencia en la toma de decisiones. Metodológicamente, se realizó una revisión de publicaciones científicas y técnicas elaboradas por investigadores de la UVG, utilizando tanto índices internacionales como repositorios institucionales. Los documentos se clasificaron por temática y tipo de publicación (artículos revisados por pares, informes técnicos y tesis) con el fin de caracterizar la contribución científica institucional. Los resultados evidencian un aporte significativo en las tres áreas. En biodiversidad, se identificaron 210 artículos científicos revisados por pares, asociados a investigaciones que han permitido describir 110 especies nuevas para la ciencia y consolidar colecciones biológicas de referencia nacional y regional. En el ámbito del recurso hídrico se registraron 165 investigaciones, de las cuales aproximadamente 10 % corresponden a artículos científicos revisados por pares y 90 % a tesis, centradas en calidad del agua, innovación tecnológica y gestión de cuencas. En cambio climático se documentaron 55 artículos científicos revisados por pares y 19 informes o capítulos de libro, con aportes relevantes en ciencia del clima, adaptación y mitigación, incluyendo contribuciones a evaluaciones globales. Estos resultados evidencian el papel de la UVG en la generación de conocimiento ambiental y su contribución al fortalecimiento de la toma de decisiones basadas en evidencia para enfrentar los desafíos socioambientales del país.

Palabras clave: agua, ambiente, biodiversidad, cambio climático, Guatemala, UVG.

Abstract: This article presents a retrospective review of the contribution of the Universidad del Valle de Guatemala (UVG) to the environmental knowledge of the country over six decades, with an emphasis on three strategic areas: biodiversity, water, and climate change. Its objective is to analyze the scientific output of the institution, identify its main contributions to the generation of environmental information, and assess its impact on decision-making. Methodologically, a review of scientific and technical publications produced by UVG researchers was conducted, using both international indexes and institutional repositories. The documents were classified by subject area and type of publication (peer-reviewed articles, technical reports, and theses) in order to characterize the scientific contribution of the institution. The results demonstrate a significant contribution in all three areas. In biodiversity, 210 peer-reviewed scientific articles were identified, associated with research that has led to the description of 110 new species to science and the consolidation of biological reference collections at the national and regional levels. In the area of water resources, 165 studies were recorded, of which approximately 10% correspond to peer-reviewed scientific articles and 90% to theses, focusing on water quality, technological innovation, and watershed management. In climate change, 55 peer-reviewed scientific articles and 19 reports or book chapters were documented, with relevant contributions to climate science, adaptation, and mitigation, including contributions to global assessments. These results highlight the role of the UVG in generating environmental knowledge and its contribution to strengthening evidence-based decision-making to address the country's socio-environmental challenges.

Key words: biodiversity, climate change, environment, Guatemala, UVG, water.

INTRODUCCIÓN

Guatemala alberga una notable diversidad biológica y una gran variedad de sistemas socioambientales (CONAP 2008) cuya sostenibilidad depende de una gestión informada de sus recursos naturales y de la comprensión científica de los procesos ecológicos. En este contexto, la investigación científica desempeña un papel clave para generar conocimiento, orientar la toma de decisiones y desarrollar soluciones frente a desafíos ambientales cada vez más complejos. Durante seis décadas, la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) ha contribuido de manera significativa al estudio del entorno ambiental del país, con énfasis en biodiversidad (acuática y terrestre), recursos hídricos y cambio climático, aunque otras disciplinas como ecología forestal y agrobiodiversidad también han sido trabajadas. Las investigaciones en biodiversidad están estrechamente ligadas al desarrollo del Departamento de

Biología, creado en 1972, y de las Colecciones Biológicas de la UVG, establecidas formalmente en 1976. Ambos esfuerzos fueron impulsados por académicos visionarios - entre ellos Margaret Dix, Michael Dix, Elfriede de Pöll, Jack Schuster y Laura Schuster - quienes reconocieron la necesidad de resguardar evidencia física del patrimonio natural de un país megadiverso como Guatemala (Fig.1).

Durante cuatro décadas, la UVG ha contribuido a la comprensión científica del recurso hídrico, consolidándose como un actor clave en la generación de conocimiento, el fortalecimiento de capacidades y el apoyo en la toma de decisiones basadas en evidencia. La investigación en cambio climático se desarrolló más recientemente, desde inicios del presente siglo, impulsado por su creciente relevancia global y por el interés del país en explorar opciones de mitigación, como la fijación de dióxido de carbono en sistemas forestales. Estos esfuerzos se impulsaron por oportunidades de financiamiento mediante



Figura 1. Científicos pioneros y fundadores de la investigación en medio ambiente y biodiversidad en la Universidad del Valle de Guatemala. a. Elfriede de Pöll; b. Jack Schuster; c. Margaret Dix; d. Michael Dix. Fotografías proporcionadas por la Asociación de Estudiantes de Biología.

Figure 1. Pioneering scientists and founders of environmental and biodiversity research at the Universidad del Valle de Guatemala. a. Elfriede de Pöll; b. Jack Schuster; c. Margaret Dix; d. Michael Dix. Photographs provided by the Biology Students Association.

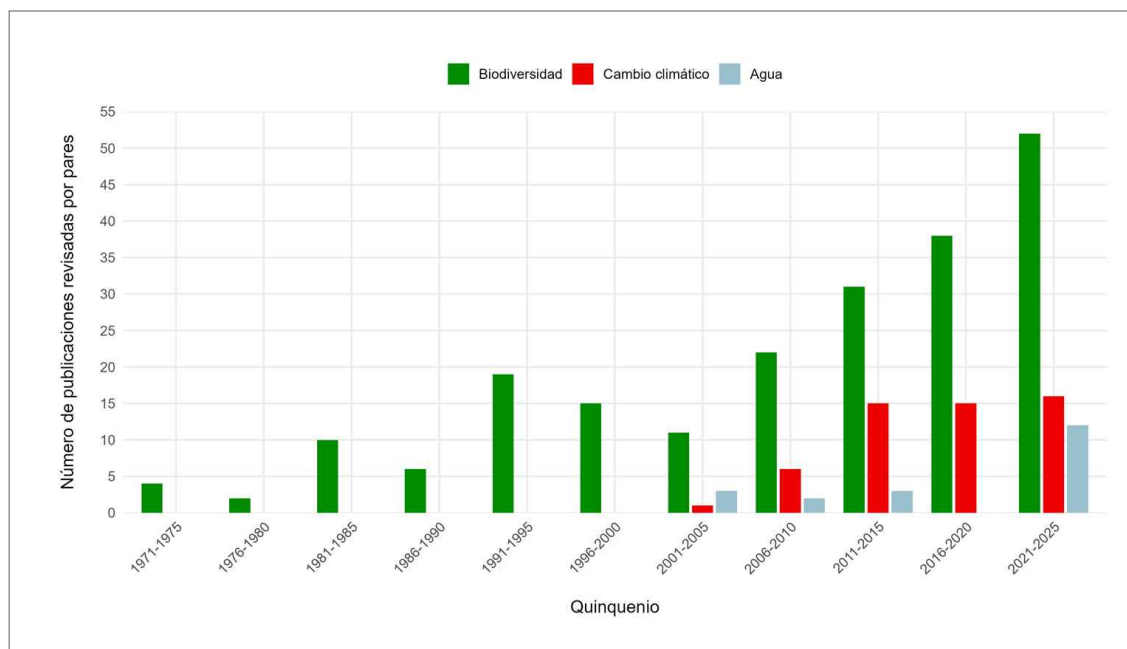


Figura 2. Productividad científica de la Universidad del Valle de Guatemala en cuanto a publicaciones revisadas por pares relacionadas con las temáticas de biodiversidad, cambio climático y agua para el período 1971-2025. Fuentes: Ariano-Sánchez & Monzón-Sierra (2026), Castellanos & Fuentes-Braeuner (2026a) y Martínez-Fausto & Santos (2026a).

Figure 2. Scientific productivity of the Universidad del Valle de Guatemala in terms of peer-reviewed publications related to biodiversity, climate change, and water for the period 1971-2025. Sources: Ariano-Sánchez & Monzón-Sierra (2026), Castellanos & Fuentes-Braeuner (2026a), and Martínez-Fausto & Santos (2026a).

mecanismos internacionales como la Implementación Conjunta, que permitía a países desarrollados financiar proyectos de conservación y recuperación de bosques en países en desarrollo.

Este artículo ofrece una revisión retrospectiva y prospectiva de los principales aportes de la UVG en estas tres áreas, destacando la evolución de su producción científica, su impacto en el conocimiento ambiental y en toma de decisiones basadas en evidencia en Guatemala, así como los desafíos que orientarán la investigación en las próximas décadas. Dado que se trata de una revisión que abarca varias décadas e incluye numerosas citas, y considerando las limitaciones de espacio de paginación, se optó por compilar todas las fuentes consultadas en un documento independiente que reúne la literatura citada, el cual está disponible en acceso abierto a través de Zenodo (Castellanos *et al.* 2026).

En la temática de biodiversidad, debido al alto volumen de investigaciones, se realizó una revisión exhaustiva en índices internacionales, el repositorio institucional, ORCID y Research Gate para compilar publicaciones revisadas por pares, excluyendo tesis y literatura gris. En la temática de agua, se revisó el repositorio de la UVG, que contiene artículos de la Revista UVG y tesis de pregrado y posgrado, utilizando palabras clave relacionadas a la gestión del recurso hídrico. Para cambio climático, la revisión se centró en tres ejes: ciencia de clima, adaptación y vulnerabilidad y mitigación. En las tres temáticas, se consultaron las páginas web de los centros del Instituto de

Investigaciones de la UVG y se contactó a sus directores para solicitar artículos revisados por pares y otras publicaciones científicas. Todos los documentos fueron revisados y se clasificaron según su tipo y la temática principal que abordan.

La Figura 2 muestra el total de las publicaciones revisadas por pares identificadas mediante los procedimientos descritos. En las tres secciones siguientes, se analiza el desarrollo científico en las tres áreas de investigación ambiental prioritarias, junto con una síntesis del conocimiento generado, con énfasis en hallazgos importantes para la comunidad científica nacional y global. El artículo concluye con una visión prospectiva de los retos y oportunidades de la investigación ambiental en la UVG en los próximos años.

Biodiversidad: ciencia que conserva nuestro patrimonio natural

A lo largo de seis décadas, la UVG ha consolidado una trayectoria sólida en el estudio científico de la biodiversidad del país. En ese proceso, el Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad (CEAB) y las colecciones biológicas se han establecido como pilares de la investigación de la biodiversidad de Guatemala. La Unidad de Biodiversidad del CEAB se sustenta en un legado iniciado en 1972, con la creación del Departamento de Biología y del entonces Centro de Estudios Ambientales, con una visión institucional orientada a la ciencia

rigurosa y la generación de soluciones a los desafíos ambientales. Con el tiempo, este enfoque evolucionó hacia un modelo integrador que articula investigación, formación, consultoría y apoyo a la toma de decisiones en conservación y gestión de la biodiversidad.

Actualmente, las colecciones biológicas de la UVG representan uno de los acervos científicos más importantes del país. Resguardan más de 23,520 registros digitalizados en el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF por sus siglas en inglés), una red internacional que facilita el acceso abierto a datos sobre biodiversidad. Cada ejemplar incluye información detallada de colecta, lo que convierte a estas colecciones en una fuente histórica invaluable para estudiar cambios en la distribución de especies, transformaciones del paisaje y efectos del cambio climático. Más que especímenes preservados, representan un valioso acervo de datos ecológicos acumulados durante décadas.

Un componente destacado es el Laboratorio de Entomología Sistemática, que alberga la mayor colección de artrópodos de Guatemala y una de las más relevantes en la región, con más de 200,000 especímenes, incluidos 1,194 ejemplares tipo (especímenes usados para la descripción de nuevas especies), base para la descripción de más de 200 especies nuevas para la ciencia. Por su parte, el Herbario UVAL resguarda más de 23,000 especímenes correspondientes a cerca de 4,000 especies y ha sustentado la descripción de cuatro nuevas especies de flora. Además, incluye colecciones de polen y de musgos con más de 100 especies. Estas colecciones no solo amplían el conocimiento taxonómico, sino que también tienen aplicaciones en agricultura, manejo de plagas, salud pública y evaluación de servicios ecosistémicos, como polinización, constituyéndose en un recurso estratégico en un país donde gran parte de la biodiversidad - especialmente los insectos - está aún poco documentada.

En años recientes, la UVG ha avanzado significativamente en la digitalización y apertura de datos. La integración al Sistema Nacional de Información sobre la Diversidad Biológica de Guatemala (SNIBgt), junto con la vinculación con plataformas internacionales como GBIF, ha permitido que sus registros estén disponibles para la comunidad científica nacional e internacional. Este esfuerzo no solo moderniza la gestión de la información, sino que también posiciona a Guatemala dentro de las redes globales de datos sobre biodiversidad.

La biodiversidad es una de las áreas con mayor producción científica en la UVG, con 210 artículos científicos revisados por pares (Fig. 2). Estas investigaciones han permitido describir 110 especies nuevas para la ciencia, distribuidas en cuatro especies de flora, 104 especies de invertebrados y dos especies de vertebrados (Fig. 3). Muchos de los ejemplares tipo de estas nuevas especies están resguardados en las colecciones biológicas de UVG, destacando su importancia global.

Desde 1971 se observa una tendencia creciente en la productividad científica con tres fases (Fig. 2): (1) una etapa inicial (1971-1990) de baja y fluctuante producción, asociada a esfuerzos individuales; (2) un periodo de crecimiento irregular (1991-2010), indicativo de consolidación parcial, y (3) a partir de 2010, un punto de inflexión con incremento sostenido de 31, 38 y 52 publicaciones en los quinquenios 2011-2015, 2016-2020 y 2021-2025. Este patrón refleja la transición hacia un modelo institucional consolidado, con fortalecimiento de capacidades de investigación, mayor articulación en redes académicas y creciente posicionamiento científico en la temática de biodiversidad.

La contribución de UVG al estudio de la biodiversidad mesoamericana se caracteriza por la integración de taxonomía clásica, sistemática moderna, ecología evolutiva y conservación aplicada. Desde las primeras investigaciones en Passalidae y biogeografía regional (Schuster & Reyes-Castillo 1981; Schuster 1992; Schuster & Cano 2006), la institución ha mantenido una línea robusta en sistemática de insectos, particularmente en Scarabaeidae, Passalidae y Lepidoptera, aportando descripciones de nuevas especies y revisiones taxonómicas fundamentales para la región. Entre los aportes más relevantes destacan la descripción de nuevas especies de escarabajos de los géneros *Petrejoides* (ver Cano & Schuster 1995) y *Oileus* (ver Cano & Schuster 2012), múltiples especies de escarabajos del género *Chrysina* (ver Monzón-Sierra & Cano 1999; Monzón-Sierra 2017; Monzón-Sierra & Hawks 2020), la descripción de un nuevo género de esperanza, *Mayacephalus* Cadena-Castañeda, Monzón-Sierra & Cortés-Torres, 2016 y uno de mariposa nocturna, *Weymerella* Mielke, Grehan & Monzón-Sierra, 2022; así como nuevas especies de mariposas nocturnas de la familia Mimallonidae (Herbin & Monzón-Sierra 2020). También se ha contribuido a la determinación de los patrones anuales de abundancia de mariposas en el bosque estacionalmente seco de Guatemala (Yoshimoto *et al.* 2019). Estos estudios no solo amplían el inventario taxonómico regional, sino que aportan diagnósticos clave y marcos ecológicos esenciales para la biogeografía y la conservación.

En herpetología, la UVG ha realizado contribuciones sustanciales en taxonomía, ecología evolutiva y conservación. Destacan la descripción de nuevas especies como la serpiente *Rhadinella xerophila* Ariano-Sánchez & Campbell, 2018 en el bosque seco de Zacapa y la salamandra *Bolitoglossa qeqom* Dahinten-Bailey *et al.* 2021 en el bosque nuboso de Alta Verapaz, así como el redescubrimiento de especies raras como *Abronia anzuetoi* (ver Reyes *et al.* 2022). Asimismo, se ha documentado los efectos fisiopatológicos del envenenamiento por reptiles (Ariano-Sánchez 2008), evidenciando una aproximación integrativa entre ciencia básica y aplicada. En el caso del lagarto *Heloderma charlesbogerti*, especie endémica de Guatemala, la UVG participó en la secuenciación de su genoma completo, marcando un hito para la biodiversidad nacional (Dyson *et al.* 2022).

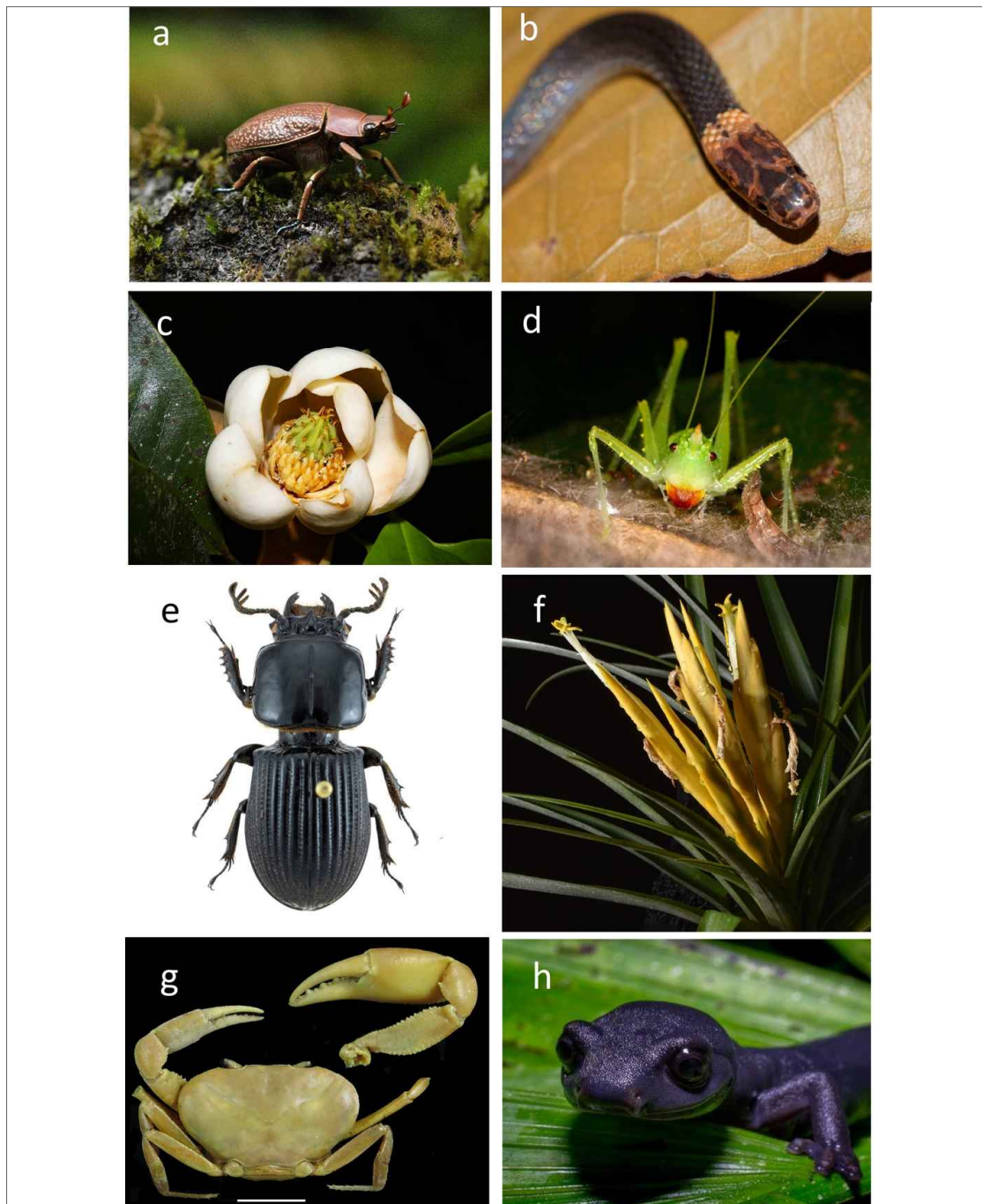


Figura 3. Algunas especies nuevas de flora y fauna descritas por investigadores de la Universidad del Valle de Guatemala. a. *Chrysina purulhensis* (Monzón-Sierra & Warner 1993); b. *Rhadinella xerophila* Ariano-Sánchez & Campbell 2018; c. *Magnolia poqomchi* Serrano & Vásquez 2020; d. *Mayacephalus dickmanorum* Cadena-Castañeda, Monzón-Sierra & Córtez-Torres 2016; e. *Ogyges aluxi* Schuster, Cano & Boucher 2005; f. *Tillandsia atitlanensis* Mó, García-Martínez & Monzón-Sierra 2021; g. *Phrygiopilus senticosus* Magalhães & Wehrmann 2025; h. *Bolitoglossa qeqom* Dahinten-Bailey, Serrano, Alonso-Ascencio, Cruz-Font, Rosito-Prado, Ruiz-Villanueva, Vásquez-Almazan & Ariano-Sánchez 2021.

Figure 3. Some new species of flora and fauna described by researchers of the Universidad del Valle de Guatemala. a. *Chrysina purulhensis* (Monzón-Sierra & Warner 1993); b. *Rhadinella xerophila* Ariano-Sánchez & Campbell 2018; c. *Magnolia poqomchi* Serrano & Vásquez 2020; d. *Mayacephalus dickmanorum* Cadena-Castañeda, Monzón-Sierra & Córtez-Torres 2016; e. *Ogyges aluxi* Schuster, Cano & Boucher 2005; f. *Tillandsia atitlanensis* Mó, García-Martínez & Monzón-Sierra 2021; g. *Phrygiopilus senticosus* Magalhães & Wehrmann 2025; h. *Bolitoglossa qeqom* Dahinten-Bailey, Serrano, Alonso-Ascencio, Cruz-Font, Rosito-Prado, Ruiz-Villanueva, Vásquez-Almazan & Ariano-Sánchez 2021.

Cuadro 1. Productividad científica de la Universidad del Valle de Guatemala en publicaciones no revisadas por pares para las temáticas de agua (incluyendo tesis) y cambio climático para el período 1988-2025. Fuente: Martínez-Fausto & Santos-Ruiz (2026b) y Castellanos & Fuentes-Braeuner (2026b).

Table 1. Scientific productivity of the Universidad del Valle de Guatemala in non-peer-reviewed publications on water (including theses) and climate change for the period 1988-2025. Source: Martínez-Fausto & Santos-Ruiz (2026b) and Castellanos & Fuentes-Braeuner (2026b).

Quinquenio	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	Total
Agua	2	3	14	19	15	20	41	34	148
Cambio climático	-	-	-	1	5	3	3	7	19

En botánica, la UVG ha contribuido tanto con revisiones florísticas como con descripciones de nuevas especies, incluyendo la bromelia *Tillandsia atitlanensis* Mó, Gracia-Martínez & Monzón, 2021, los árboles *Magnolia poqomchi* Serrano, Grajeda-Estrada, Villalobos, Álvarez-Ruano & Vázquez-García, 2020 y *Erythrostemon guatemalensis* Eisermann, Lewi, Forest, Gagnon, Csiba, Ajú & Williamson, 2025, además de síntesis actualizadas de géneros como *Aristolochia* (ver González & Monzón-Sierra 2022) y el análisis del estado de conservación de las orquídeas de Guatemala (Dix & Dix 2007). Estos estudios fortalecen la documentación de endemismos y el desarrollo de estrategias de conservación del patrimonio florístico.

En ecología y conservación aplicada, la UVG ha abordado los principales impulsores de pérdida de biodiversidad (pérdida de hábitat, cambio climático, sobreexplotación, contaminación y especies exóticas invasoras), utilizando como modelo a tortugas marinas (Ariano-Sánchez *et al.* 2020a, 2023; Botterell *et al.* 2025), el lagarto escorpión *Heloderma charlesbogerti* (ver Auliya *et al.* 2017; Ariano-Sánchez *et al.* 2020b; Gluszek *et al.* 2021; Ariano-Sánchez *et al.* 2022) y elasmobranquios (Hacohen-Domené *et al.* 2020). También destacan aportes sobre el redescubrimiento de especies consideradas extintas (Lindken *et al.* 2024) y el hallazgo de la primera ave con plumaje tóxico en Latinoamérica, la especie conocida como chorchica perica, *Pheucticus chrysopleus* (ver Andrade *et al.* 2018). Estos estudios, junto con el uso de insectos como bioindicadores (Schuster *et al.* 2000), han fortalecido la integración entre taxonomía y conservación, posicionando a la UVG en redes internacionales de investigación en biodiversidad y sostenibilidad.

La UVG ha contribuido a la generación de diversas estrategias y políticas clave para la conservación de biodiversidad en Guatemala, incluyendo la Política Nacional de Humedales de Guatemala (CONAP 2005), el Plan de Conservación de las Regiones Secas de Guatemala (CONAP-ZOOTROPIC-CECON-TNC 2011), la Estrategia Nacional de Manejo y Conservación de Tortugas Marinas de Guatemala (CONAP 2015), la Estrategia Nacional para la Conservación del Pinabete (CONAP 2019), la Estrategia Nacional para la Conservación del Heloderma y

su Hábitat (CONAP 2020), y la Estrategia de Conservación del Quetzal (*Pharomachrus mocinno mocinno*) y su Hábitat (CUNZAC-USAC & CONAP 2020). Asimismo, sus investigadores han contribuido evidencia científica para la inclusión de especies de flora y fauna endémica dentro de los apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), la Lista de Especies Amenazadas de Guatemala (LEA) y la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN).

En conjunto, la producción científica de la UVG evidencia una trayectoria coherente que integra el descubrimiento de nuevas especies, revisiones sistemáticas, análisis filogenéticos, estudios ecológicos de largo plazo y aplicaciones en conservación. La combinación de taxonomía clásica con enfoques contemporáneos en genética, biogeografía y cambio climático evidencia un modelo institucional que integra tradición sistemática con ciencia de punta, contribuyendo de manera sustantiva al conocimiento y protección de la biodiversidad de Guatemala y Mesoamérica.

Agua: un recurso abundante, pero con gestión ineficiente

Guatemala posee una disponibilidad hídrica (103,204 hm³/año; MARN 2025) alta en comparación a otros países de la región (Basterrechea & Guerra Noriega 2019). Sin embargo, esta se distribuye de manera heterogénea entre las vertientes (MARN 2025), lo que limita el acceso al agua y saneamiento a parte de la población (Basterrechea & Guerra Noriega 2019). Este recurso, fundamental y vulnerable, enfrenta presiones antropogénicas como el crecimiento urbano, la limitada infraestructura de saneamiento, la actividad agrícola, la contaminación y el cambio climático, afectando su disponibilidad y calidad (Aguilar *et al.* 2023). Entre los principales factores limitantes destacan la escasa infraestructura de captación, almacenamiento y distribución de agua, el deterioro de la calidad del agua, alteraciones del ciclo hidrológico y la sobreexplotación de aguas subterráneas (MARN 2025). Esto representa un reto para preservar la calidad ecológica de los

cuerpos de agua, garantizar el acceso al agua potable y fortalecer la gestión de cuencas y comunidades (Aguilar *et al.* 2023). En este contexto, la investigación de la UVG ha sido clave para generar conocimiento, comprender los procesos y desarrollar soluciones tecnológicas eficaces y sostenibles adaptadas a las necesidades del país.

Vinculado a la temática del agua, la UVG reporta 165 investigaciones (Fig. 2; Cuadro 1), de las cuales el 10% corresponde a artículos revisados por pares y el 90% a tesis. Estas se agrupan en tres ejes principales: (1) calidad del agua, (2) tecnología e innovación, y (3) manejo del recurso hídrico.

Los estudios de la UVG sobre la calidad del agua incluyen la contaminación microbiológica y fisicoquímica de fuentes superficiales y subterráneas que afectan el acceso a agua segura. Dentro de los aportes más relevantes destacan la detección, mediante técnicas moleculares, de *Cyclospora cayetanesis* y *Encephalitozoon intestinalis* en fuentes de agua para el consumo humano en áreas rurales cercanas a la Ciudad de Guatemala (Dowd *et al.* 2003), así como la primera confirmación de norovirus en aguas potables, lo cual evidenció contaminación fecal y amplió el conocimiento sobre riesgos virales asociados al abastecimiento de agua (Arvelo *et al.* 2012). Guatemala enfrenta además una limitada información sobre la calidad química del agua. En 2022, la UVG utilizó un enfoque de ciencia participativa para evaluar la presencia de metales y sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS por sus siglas en inglés) en el agua de grifo de la Ciudad de Guatemala, identificando altas concentraciones de arsénico y contaminantes potencialmente asociados a tuberías antiguas y sistemas de almacenamiento domiciliarios (Hoponick *et al.* 2022).

Una línea de investigación importante de la UVG ha sido la generación de información de los cuerpos de agua dulce en el país. En 2009, investigadores identificaron las causas del florecimiento de la cianobacteria *Limnospira robusta*, evidenciando la eutrofización y degradación del Lago de Atitlán (Rejmánková *et al.* 2011). En respuesta, en 2010 se fundó el Centro de Estudios Atitlán (CEA), que mantiene un monitoreo mensual del estado ecológico del Lago de Atitlán y su cuenca, mediante análisis fisicoquímicos y biológicos orientados a comprender los procesos que afectan la calidad del agua. Quince años de monitoreo han permitido establecer una línea base de la calidad del agua del Lago de Atitlán, evidenciando que el problema de la eutrofización es el exceso de nutrientes (N y P) y la relación N:P que existe (Corman *et al.* 2015). Estudios recientes muestran que la deposición atmosférica puede aportar incluso más nutrientes que los ríos tributarios (Dix *et al.* 2022), mientras que eventos extremos, como las tormentas, y el cambio climático alteran la dinámica de nutrientes y el crecimiento del fitoplancton (Corman *et al.* 2015; García-Oliva *et al.* 2026).

La presencia de la UVG en la cuenca del Lago de Atitlán ha permitido profundizar la comprensión de los florecimientos de

cianobacterias y desarrollar soluciones innovadoras para su monitoreo. Entre ellas destacan las boyas multisensoriales (Cano 2020) y un prototipo con sensor óptico vinculado al satélite Quetzal-1, posicionando a la UVG como pionera en la integración de tecnología espacial para la gestión de ecosistemas acuáticos en Guatemala (Escobar *et al.* 2015; Rodas *et al.* 2016; García 2017). Asimismo, la incorporación de inteligencia artificial ha impulsado el co-diseño de herramientas para detectar patógenos diarreicos en agua de consumo en contextos con recursos limitados (Hall-Clifford *et al.* 2022).

La UVG es reconocida por desarrollar tecnologías innovadoras para abordar problemas del recurso hídrico, especialmente en tratamiento y purificación de agua. Entre sus aportes destacan la evaluación de floculantes desinfectantes para potabilización del agua frente a la cloración (Rangel *et al.* 2003; Chiller *et al.* 2006), así como el diseño y rediseño de plantas de tratamiento. Un ejemplo reciente es un sistema eficiente de purificación de bajo costo utilizando energía solar y puede abastecer de agua potable a una familia durante un año (Pretorius *et al.* 2026), constituyendo una solución escalable y adecuada para comunidades rurales y periurbanas. Asimismo, se han desarrollado diseños de plantas de tratamiento de aguas residuales y evaluado diversas tecnologías para tratar efluentes de diferentes fuentes productivas. Entre las innovaciones destaca el uso de nanopartículas de quitosano para la biorremediación, aprovechando desechos de la industria camaronera bajo principios de economía circular (Estrada 2024). Estas iniciativas han consolidado a la UVG como referente nacional en innovación tecnológica para el sector hídrico, con impacto tangible en el acceso al agua segura y la reducción de riesgos sanitarios.

En cuanto a la gestión integrada del recurso hídrico, la UVG ha fortalecido el análisis mediante una revisión bibliográfica del nexo agua - energía - alimentos (*FEW nexus*), visualizando aportes en problemáticas de agua potable, generación hidroeléctrica y tratamiento de aguas residuales (Kondash *et al.* 2021). Complementariamente, un estudio evidenció que el riego con agua superficial incrementa significativamente la producción agrícola en la Vertiente del Pacífico de Guatemala con potencial de aumento de hasta 24.8% bajo escenarios de cambio climático. Estos hallazgos resaltan el valor del conocimiento generado por la UVG para orientar inversiones y políticas públicas en torno al agua (Wade *et al.* 2022).

Los estudios de la UVG han demostrado que la gestión adecuada del agua impacta directamente la economía doméstica; cada día de interrupción del servicio de agua reduce el valor de alquiler en 0.7 %, mientras que contar con almacenamiento lo incrementa en 10 % (Leiva *et al.* 2023). Asimismo, prácticas como la instalación de tanques de almacenamiento pueden incrementar la presión sobre el recurso y el riesgo de acaparamiento (Vásquez *et al.* 2025). Incorporando enfoques interdisciplinarios y antropológicos, la UVG analiza cómo el cambio climático afecta a comunidades, incluyendo

los agricultores de secano, y promueve la participación de los actores locales socioculturalmente pertinentes (Girón 2022).

La UVG ha aportado históricamente a la planificación y sostenibilidad del agua mediante planes de manejo de cuencas estratégicas del país, como por ejemplo la del lago de Izabal (Dardón 2001), lago Güija (Ruano 2005), microcuenca del río Pinula (Lopera 1997), y microcuenca del río El Frutal (Macz 1998). Estos esfuerzos han sentado bases técnicas para la gestión territorial y ambiental. Más recientemente, ha fortalecido la gestión del riesgo al mapear zonas vulnerables (cuenca del río Motagua: Escobar 2025), proponer medidas de mitigación de desastres (e.g. inundaciones: Velásquez 2016) e intervenir en el diseño y evaluación de proyectos hidroeléctricos en distintos sitios como en el lago de Amatitlán (Echeverría 2018), Santa María Cahabón del departamento de Alta Verapaz (Scheel 2011), Mixco (Méndez 2013), San Cristóbal Acasaguastlán (Ortiz 2019), promoviendo un uso sostenible del recurso hídrico.

Cambio climático: un reto para el desarrollo del país

La UVG ha sido clave en el desarrollo del conocimiento científico sobre el cambio climático en Guatemala y Mesoamérica con contribuciones que incluyen artículos en revistas indexadas, informes, capítulos de libros y participación en los dos últimos Informes de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC en inglés). Sus aportes se concentran en tres grandes ejes: (1) ciencia del clima, (2) vulnerabilidad y adaptación y (3) mitigación, impactando el conocimiento científico y la formulación de políticas públicas.

La Figura 2 resume la producción científica de la UVG en publicaciones revisadas por pares sobre cambio climático mientras que el Cuadro 1 muestra informes y capítulos de libros. Tras una fase inicial de consolidación entre mediados de la década de 2000 y principios de 2010, la producción reciente no solo ha aumentado cuantitativamente, sino que se ha diversificado hacia temas de adaptación, riesgos por movilidad humana, aridez, energía, movilidad eléctrica y estimación de emisiones de carbono. En total, las 55 publicaciones científicas y 19 informes o capítulos de libro reflejan una contribución sustantiva al conocimiento regional y a la formulación de políticas públicas bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

En ciencias del clima, la UVG ha generado contribuciones sustantivas en la comprensión de la variabilidad y el cambio climático en Guatemala, un país con alta vulnerabilidad y escasos registros históricos. Destacan las reconstrucciones paleoclimáticas mediante dendrocronología, particularmente en bosques de alta montaña (Anchukaitis *et al.* 2013, 2014), que permiten proyectar varios siglos de precipitación y sequía, evidenciando la variabilidad interanual y decadal, así como su relación con forzantes oceánico-atmosféricos de gran escala.

Este conocimiento ha sido fundamental para contextualizar las sequías recientes, evaluar la frecuencia e intensidad de los eventos extremos y determinar si los fenómenos observados en décadas recientes responden a la variabilidad climática histórica o a cambios excepcionales (Pons *et al.* 2016). De manera complementaria, la UVG ha desarrollado escenarios climáticos futuros y análisis de aridez a escala nacional, integrando modelos globales con datos locales (Pons *et al.* 2018), lo que ha permitido proyectar cambios en temperatura, precipitación y disponibilidad hídrica, así como identificar regiones especialmente vulnerables, con implicaciones para la agricultura y los ecosistemas (Hannah *et al.* 2017).

El liderazgo de la UVG en la temática de cambio climático se refleja en su participación en evaluaciones regionales e internacionales, particularmente en los capítulos correspondientes a Centro y Sudamérica en el Quinto (Magrin *et al.* 2014) y Sexto (Castellanos *et al.* 2022) Informes de Evaluación del Grupo II del IPCC. A través del CEAB ha contribuido a fortalecer la visibilidad de Centroamérica en los procesos globales de evaluación del conocimiento científico sobre el cambio climático.

En adaptación al cambio climático, la UVG ha aportado al análisis de las respuestas de los sistemas socio ecológicos en Mesoamérica frente a múltiples estresores (Tucker *et al.* 2010; Eakin *et al.* 2013a). Sus investigaciones muestran que los impactos del cambio climático interactúan con factores como pobreza, desigualdad social, volatilidad de los mercados, degradación ambiental y limitaciones institucionales, configurando patrones complejos de vulnerabilidad (Castellanos & Guerra 2009; Eakin *et al.* 2011; Castellanos *et al.* 2013).

Una línea central de investigación ha sido el estudio de la adaptación en plantaciones de café de Mesoamérica. La adaptación se manifiesta como un proceso autónomo, incremental y experimental, más que como la implementación de soluciones planificadas (Castellanos *et al.* 2008a). Estos hallazgos redefinen la adaptación como un proceso social dinámico, dependiente del contexto y de las capacidades locales (Díaz *et al.* 2009; Eakin *et al.* 2013b).

También se ha contribuido al desarrollo de marcos conceptuales para analizar la capacidad adaptativa, integrando dimensiones biofísicas, sociales e institucionales. Estos enfoques han permitido identificar intervenciones clave, como fortalecer organizaciones locales, mejorar el acceso a información climática pertinente y diversificar los medios de vida rurales (Castellanos *et al.* 2018). Asimismo, se ha abordado la relación entre adaptación y reducción del riesgo de desastres (Hagen *et al.* 2022), especialmente en regiones rurales y montañosas (Klein *et al.* 2019a), destacando el papel del conocimiento local, la organización comunitaria y los sistemas agroforestales en la resiliencia frente a eventos extremos (Klein *et al.* 2019b).

La UVG ha generado evidencia empírica de cómo la interacción entre cambio climático y urbanización costera incrementa la temperatura de la arena en playas volcánicas, afectando el

éxito reproductivo de especies marinas sensibles. Estos hallazgos fortalecen la comprensión de los vínculos entre procesos biofísicos y presiones antrópicas, y aporta insumos clave para estrategias de adaptación basadas en ecosistemas (Ariano-Sánchez *et al.* 2023).

Más recientemente, los estudios en adaptación han incorporado la movilidad humana inducida por el clima, evidenciando que la migración no siempre reduce la presión sobre los ecosistemas y puede intensificar el cambio de uso del suelo (Taylor *et al.* 2011, 2016; Aguilar-Støen *et al.* 2016; Angelsen *et al.* 2020). Además, se han conceptualizado los riesgos de la movilidad climática desde una perspectiva centrada en la capacidad de decisión y el bienestar humano (Gilmore *et al.* 2024). Paralelamente, la UVG ha contribuido a identificar la brecha de adaptación en Centroamérica (Ley *et al.* 2023) y América Latina (Cavazos *et al.* 2024), destacando limitaciones institucionales y financieras que exigen enfoques transformacionales e inclusivos (Castellanos 2022).

En el ámbito de la mitigación del cambio climático, la UVG ha fortalecido la base científica y metodológica para el cálculo de emisiones y reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en el sector forestal. Destacan sus aportes en líneas base de deforestación (Montenegro & Castellanos 2008; Castellanos *et al.* 2011; Regalado *et al.* 2012), dinámica de carbono (Ramos *et al.* 2012) y sistemas de monitoreo (Paulson *et al.* 2014) que sustentan la implementación de iniciativas REDD+ en Guatemala. Asimismo, ha contribuido a sentar las bases técnicas que permitieron al país acceder por primera vez a pagos por venta de bonos de carbono a través del Programa de Reducción de Emisiones de Guatemala ante el Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF), en el marco de REDD+ (INAB *et al.* 2022).

Desde una perspectiva metodológica, la UVG ha contribuido a reducir la incertidumbre en la estimación de biomasa y carbono, mediante lineamientos sobre ecuaciones alométricas (Cifuentes *et al.* 2015a, b), inventarios forestales nacionales (Henry *et al.* 2015a) y tecnologías de monitoreo forestal (Henry *et al.* 2015b). También ha desarrollado metodologías estandarizadas para el diseño de inventarios, muestreos, análisis de incertidumbre y estimación de carbono en distintos usos de la tierra (Castellanos *et al.* 2010). Asimismo, ha generado evidencia sobre el papel del manejo forestal comunitario y la descentralización, demostrando que los arreglos institucionales locales pueden favorecer simultáneamente la mitigación del cambio climático y el bienestar de las comunidades rurales e indígenas (Tucker *et al.* 2007; Ramos-Castillo *et al.* 2017; Robb *et al.* 2019).

La UVG ha liderado estudios pioneros sobre contenido y fijación de carbono en bosques de Guatemala (Castellanos *et al.* 2007, 2008b), evidenciando su potencial para almacenar carbono y sostener medios de vida rurales (Schmitt-Harsh *et al.* 2012). Un hito clave fue la elaboración del primer mapa nacional del

carbono en bosques naturales y plantaciones forestales de Guatemala (Castellanos 2011), que permitió estimar su magnitud y distribución espacial, convirtiéndose en una herramienta clave para la planificación de políticas de mitigación y venta de bonos de carbono.

Finalmente, el liderazgo de la UVG se refleja en su participación en análisis integrales nacionales e internacionales, como el Primer Reporte de Evaluación del Conocimiento sobre Cambio Climático en Guatemala (Castellanos *et al.* 2019; Fuentes *et al.* 2019), estudios para el uso de información climática en inversión pública en la región del Sistema de Integración Centroamericana SICA (Olivares *et al.* 2023) y la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (MARN *et al.* 2021), contribuyendo a la sistematización de acciones de adaptación y mitigación y análisis sectoriales de emisiones.

Una visión al futuro de la investigación ambiental en la UVG

En conjunto, la investigación en biodiversidad de la UVG consolida un modelo que integra descubrimiento taxonómico, fortalecimiento de colecciones biológicas y generación de conocimiento ecológico aplicado a la conservación. Estos aportes han sido clave para documentar y proteger el patrimonio natural del país, demostrando el impacto de una ciencia sistemática y articulada con redes científicas. Hacia el futuro, los retos incluyen formar nuevos investigadores, modernizar la infraestructura científica y ampliar la digitalización y acceso a los datos, así como traducir este conocimiento en insumos técnicos y estratégicos accesibles, promoviendo su divulgación efectiva hacia la población y, especialmente, hacia tomadores de decisión, para incidir en políticas públicas basadas en evidencia.

En un contexto de crisis climática y pérdida acelerada de biodiversidad (Pörtner *et al.* 2023), la investigación deberá incorporar enfoques emergentes como el paradigma de “Una Salud”, que reconoce la interdependencia entre la salud humana, animal y ambiental, así como el análisis de los servicios ecosistémicos en paisajes productivos, donde la biodiversidad sostiene procesos esenciales como la polinización, el control biológico y la regulación hídrica. El desarrollo y fortalecimiento de la aún incipiente investigación marino-costera en Guatemala es fundamental para cerrar vacíos críticos de información sobre los ecosistemas costeros y marinos del país con el fin de generar la base científica necesaria que sustente el ordenamiento pesquero, la protección efectiva de hábitats y especies amenazadas, y la evaluación de los impactos sinérgicos de múltiples amenazas sobre esta región estratégica. Asimismo, será fundamental avanzar en estrategias de restauración ecológica en paisajes degradados y en enfoques de ecología de la reconciliación que integran la biodiversidad en entornos urbanos y agrícolas cada vez más dominados por actividades humanas. En este marco, toma especial relevancia fortalecer

la investigación y el diseño de políticas estratégicas en sistemas ganaderos, orientadas a promover modelos productivos sostenibles, mejorar la trazabilidad y ordenamiento territorial, y evitar dinámicas de expansión no regulada o ilícita que contribuyen a la degradación de ecosistemas forestales en la región.

Aunque existe suficiente disponibilidad hídrica, su gestión en el país sigue siendo deficiente: gran parte del agua no cumple con la calidad requerida ni es distribuida según las necesidades. Estas problemáticas demandan enfoques integrales como el paradigma de “Una Salud” ya mencionado que permitan analizarlas desde múltiples dimensiones. En esta línea, la UVG ha impulsado propuestas interdisciplinarias, incluyendo megaproyectos de pregrado, para abordar estos retos. En este contexto, resulta fundamental fortalecer la investigación sobre la relación bosque-agua, dado que los bosques regulan la infiltración, almacenamiento y la calidad del agua, evidenciando su vínculo directo con la disponibilidad hídrica. Un desafío central es garantizar que las soluciones de manejo del recurso hídrico sean sostenibles a largo plazo. En este sentido, es necesario liderar procesos más técnicos y científicos sobre recursos hídricos, hidrogeología y mantos acuíferos, abordando preguntas clave como quién consume, quién produce, quién contamina y quién paga, e integrando la relación suelo-bosque-agua de forma articulada.

Para avanzar hacia esta sostenibilidad, la UVG ha implementado metodologías colaborativas como la ciencia ciudadana, involucrando a la sociedad civil y a entidades gubernamentales en la generación de información científica. Estos enfoques no solo fortalecen la conciencia pública, sino que también integran diversas perspectivas de diferentes actores y promueven soluciones inclusivas a las problemáticas existentes.

A partir de su sólida base científica en cambio climático, la UVG debe fortalecer colaboración entre sus centros de investigación para abordar de forma integrada los impactos del cambio climático en salud, infraestructura, turismo, agricultura y sistemas productivos. Este enfoque requiere una interacción multidisciplinaria, integrando ciencias naturales, sociales, ingenierías y economía, para responder a la complejidad de los sistemas socioambientales. La integración de tecnologías emergentes, como análisis espacial, modelación y monitoreo ambiental, junto con fortalecimiento de capacidades en educación, investigación e innovación, será clave. Asimismo, es importante continuar generando conocimiento aplicado y evidencia científica robusta que apoye la formulación de políticas públicas y el diseño de estrategias de desarrollo sostenible y resilientes frente al cambio climático.

La UVG enfrenta retos importantes en la investigación sobre cambio climático, entre ellos la limitada disponibilidad de recursos internos y la reducción de la cooperación internacional para sostener investigaciones de largo plazo. También persiste la necesidad de fortalecer capacidades técnicas en metodologías y herramientas emergentes, como modelación climática, análisis

de datos espaciales y monitoreo avanzados. A ello se suma la necesidad de contar con disponibilidad, calidad y continuidad de datos climáticos y ambientales, así como la integración de enfoques biofísicos y socioeconómicos, para abordar la complejidad del abordaje de la vulnerabilidad, la adaptación y mitigación. Finalmente, sigue siendo clave traducir el conocimiento científico en insumos útiles para la toma de decisiones, y fortalecer su articulación con actores clave.

AGRADECIMIENTOS

A la Asociación de Estudiantes de Biología de la Universidad del Valle de Guatemala por las fotografías históricas de la Figura 1. A Marcelo Serrano por la fotografía de *Magnolia poqomchi*, a Ingo Wehrmann y Célio Magalhães por la fotografía de *Phrygiopilus senticosus*, y a José Javier Cruz por la fotografía de *Bolitoglossa qeqom*, todas incluidas dentro de la Figura 3.

REFERENCIAS

Castellanos, E., Ariano-Sánchez, D., Martínez-Fausto, M., Fuentes Braeuner, G., Monzón-Sierra, J. & Santos-Ruiz, F. (2026). Las referencias del artículo: Investigación ambiental en la Universidad del Valle de Guatemala: una mirada retrospectiva y prospectiva desde la biodiversidad, el agua y el cambio climático. [<https://doi.org/10.5281/zenodo.19475166>]. Accesado: 08 de abril 2026.