Conciencia Digital

ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original

www.concienciadigital.org

Sensores y tecnologías físicas para el monitoreo ambiental en la Amazonía

Sensors and physical technologies for environmental monitoring in the Amazon Region

[1] Andrés Santiago Martínez-León https://orcid.org/0000-0002-8598-7304
Universidad Estatal Amazónica (UEA), Puyo, Ecuador.
amartinez@uea.edu.ec

[2] Amaury Pérez-Martínez https://orcid.org/0000-0003-3978-7982
Universidad Estatal Amazónica (UEA), Puyo, Ecuador.
amperez@uea.edu.ec

[3] Estela Guardado-Yordi https://orcid.org/0000-0002-0515-6720
Universidad Estatal Amazónica (UEA), Puyo, Ecuador.
e.guardadoy@uea.edu.ec

[4] Reni Danilo Vinocunga-Pillajo https://orcid.org/0000-0001-6698-7846
Universidad Estatal Amazónica (UEA), Puyo, Ecuador.
rd.vinocungap@uea.edu.ec

[5] Andrea Margarita López-López https://orcid.org/0000-0003-2603-6979
Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Sangolquí, Ecuador.
amlopez13@espe.edu.ec

Artículo de Investigación Científica y Tecnológica
Enviado: 15/06/2026
Revisado: 18/09/2026
Aceptado: 21/10/2026
Publicado: 11/11/2026
DOI: **https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v9i4.3824**

Cítese: Martínez León, A. S., Pérez Martínez, A., Guardado Yordi, E., Vinocunga Pillajo, R. D., & López López, A. M. (2026). Sensores y tecnologías físicas para el monitoreo ambiental en la Amazonía. ConcienciaDigital, 9(4), 233-251. https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v9i4.3824

CONCIENCIA DIGITAL, *es* una revista multidisciplinar, **trimestral,** que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. https://concienciadigital.org
La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 International. Copia de la licencia: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es

Conciencia Digital

ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original

www.concienciadigital.org

Palabras claves:
Física aplicada; sensores ambientales; monitoreo ambiental; Amazonía; teledetección; redes de sensores.

Resumen

Introducción. La Amazonía es un territorio de gran biodiversidad, a través de la cual se regula el clima, ciclos del agua y carbono, y sometida a la intervención humana, por lo que requiere un monitoreo continuo. Aspectos relacionados con el grado de humedad, precipitaciones intensas, densidad de vegetación, dificultad de acceso y escasa infraestructura limitan la capacidad de instalación y funcionamiento de sistemas de medición continua que permitan mantener un monitoreo permanente y efectivo de parámetros sensibles para la toma de decisiones y una mejor gobernanza basada en datos. **Objetivo.** Analizar el estado actual del monitoreo ambiental con sensores y tecnologías físicas en la Amazonía ecuatoriana y en bosques tropicales comparables con sus principios físicos, vacíos y limitaciones existentes. **Metodología.** Investigación cualitativa, con método analítico-sintético y técnica documental, a través de una revisión narrativa de fuentes organizadas en ejes temáticos. **Resultados.** El monitoreo actual es multiescala y complementario, pues combina sensores in situ y torres de flujo para medir en un punto, drones para escalar a parcelas y cuencas, y radar fusionado con sensores ópticos para cubrir el territorio donde la nubosidad limita a los satélites ópticos. Los sistemas basados en redes LoRa con energía solar resultan prometedores para medir con infraestructura limitada, aunque los ensayos revisados, de otras regiones, reportan fallas de sensores y límites de autonomía. En Ecuador, la evidencia es escasa y no se identificaron redes continuas de sensores para la evaluación permanente de la calidad del medio ambiente. **Conclusión.** El monitoreo de la Amazonía se apoya en tecnologías complementarias por escala, cuya confiabilidad depende de la calibración local, la robustez ante la humedad y la energía disponible. La evidencia específica del territorio es escasa y persisten vacíos en las series largas de covarianza de vórtices, las redes continuas de agua y aire en zonas petroleras y la integración de los datos con las comunidades. La perspectiva es una red coordinada, con acuerdos de uso de datos, que sustente la toma de decisiones. **Área de estudio general:** Ciencias físicas. **Área de estudio específica:** Sensores y tecnologías físicas para el monitoreo ambiental. **Tipo de estudio:** Revisión bibliográfica narrativa.

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Conciencia Digital

ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original

www.concienciadigital.org

Keywords:
Applied physics; environmental sensors; environmental monitoring; Ecuadorian amazon region; remote sensing; sensor networks.

Abstract

Introduction. The Amazon region is a territory of great biodiversity through which climate and the water and carbon cycles are regulated, and which is subject to human intervention, so it requires continuous monitoring. Factors such as humidity levels, intense rainfall, vegetation density, difficult access, and scarce infrastructure limit the installation and operation of continuous measurement systems that allow permanent and effective monitoring of parameters that are sensitive for decision-making and better data-based governance. **Objective.** To analyze the current state of environmental monitoring with sensors and physical technologies in the Ecuadorian Amazon and in comparable tropical forests, with their physical principles, gaps, and existing limitations. **Methodology.** Qualitative research with an analytical-synthetic method and documentary technique, through a narrative review of sources organized into thematic axes. **Results.** Current monitoring is multiscale and complementary, since it combines in situ sensors and flux towers to measure at a point, drones to scale up to plots and basins, and radar fused with optical sensors to cover the territory where cloud cover limits optical satellites. Systems based on solar-powered LoRa networks are promising for measuring with limited infrastructure, although the trials reviewed, from other regions, have reported sensor failures and autonomy limits. In Ecuador, the evidence is scarce and no continuous sensor networks for permanent assessment of environmental quality were identified. **Conclusion.** Monitoring of the Amazon region relies on technologies that complement each other by scale, and their reliability depends on local calibration, robustness against humidity and available energy. The evidence specific to the territory is scarce, and gaps remain in long eddy-covariance series, continuous water and air networks in oil-producing areas, and the integration of data with communities. The outlook is a coordinated network, with data-use agreements, which supports decision-making. **General Area of Study:** Physical sciences. **Specific area of study:** Sensors and physical technologies for environmental monitoring. **Type of study:** Narrative literature review.

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Conciencia Digital
ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original
www.concienciadigital.org

1. Introducción

La Amazonía ecuatoriana, una de las regiones de mayor biodiversidad del planeta, forma parte de una cuenca que regula el clima y los ciclos del agua y carbono. Sus condiciones físicas son extremas, con atmósfera próxima a la saturación, precipitaciones intensas y variables, y dosel denso que intercepta gran parte de la radiación solar antes de que alcance el suelo. A ello se suman presiones antrópicas derivadas de extracción petrolera, minería y expansión agropecuaria, asociadas con pérdida de cobertura forestal, contaminación del agua y del aire, incluida la quema de gas en los campos petroleros, y alteración del clima local, por lo que evaluar la magnitud de estos cambios exige medir de forma continua variables como precipitación, humedad, temperatura, calidad del agua y del aire, estructura del bosque, flujos de carbono y presencia de fauna. Sin embargo, la medición continua de estas variables enfrenta limitaciones por la dificultad de acceso a gran parte del territorio, carencia de energía eléctrica y de cobertura de comunicaciones, lo que compromete tanto el funcionamiento de los sistemas de medición como la transmisión de los datos. En consecuencia, el monitoreo depende de sensores y tecnologías físicas capaces de operar a distancia o de forma autónoma, cuya selección y calibración requieren comprender los principios físicos en que se fundamentan.

Actualmente, el monitoreo ambiental de la Amazonía se fundamenta en tecnologías modernas que operan a distintas escalas espaciales. A escala puntual se emplean estaciones meteorológicas, sondas de humedad del suelo, torres de medición de flujos de gases, sensores de calidad del agua y del aire, y sistemas de grabación acústica. A escalas intermedia, sistemas como drones, LiDAR, radares de apertura sintética y satélites ópticos permiten cubrir desde parcelas hasta territorios extensos. Estas tecnologías se complementan con redes inalámbricas de bajo consumo y energía solar que posibilitan la transmisión de datos en zonas con infraestructura limitada. Sin embargo, el conocimiento sobre estas tecnologías se encuentra fragmentado entre áreas del conocimiento, sin identificarse una síntesis que integre principios físicos de funcionamiento, variables medidas y limitaciones en condiciones del territorio amazónico. En este contexto, el presente artículo aborda esa brecha desde la física aplicada, mediante el análisis de los principios, la evidencia disponible y las limitaciones de los sensores y tecnologías físicas empleados en el monitoreo ambiental en esta región del Ecuador.

El objetivo general es analizar el estado actual del monitoreo ambiental con sensores y tecnologías físicas en la Amazonía ecuatoriana, e integrar el conocimiento disperso entre ingeniería, ecología y ciencias de la Tierra para orientar estrategias tecnológicas eficientes y adecuadas al territorio, que sustenten un monitoreo permanente, así como una gobernanza y toma de decisiones basadas en datos. Para ello se plantea: 1 - describir los principios físicos de los sensores empleados actualmente para medir clima, agua, aire, estructura del bosque y fauna; 2 – comparar plataformas in situ, aerotransportadas y satelitales según su escala, aporte y limitaciones en el territorio amazónico; 3 – examinar redes inalámbricas y energía solar que permiten la operación de sistemas de censado bajo

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Conciencia Digital
ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original
www.concienciadigital.org

una infraestructura tecnológica limitada; 4 – sintetizar la evidencia disponible para Ecuador e identificar posibles vacíos de investigación y los desafíos operativos que condicionan el monitoreo en selva ecuatoriana.

2. Metodología

El análisis se desarrolla bajo con un enfoque cualitativo - descriptivo, debido a que se recopila y analiza información sobre tecnologías de monitoreo ambiental de la Amazonía ecuatoriana sin manipular variables. Se emplea el método analítico-sintético, ya que permite que la literatura sea distribuida en ejes temáticos y que los hallazgos sean sintetizados de forma íntegra. Además, se aplica la técnica documental para la recopilación de trabajos académicos, redactados en idiomas español e inglés, que aportan a la temática de monitoreo ambiental a partir del uso de sensores y tecnologías físicas, según las bases de datos *Scopus y Web of Science Core Collection*, priorizando estudios realizados en los últimos cinco años. La selección fue intencional y no exhaustiva, y el conjunto final quedó conformado por 30 fuentes bibliográficas, a partir de las cuales fue extraída la información.

3. Resultados

3.1. Principios físicos y sensores in situ

Casi todo sensor ambiental convierte una magnitud física en una señal eléctrica, y el funcionamiento de los instrumentos revisados se explica, en gran medida, por cuatro principios físicos, tales como: balance de energía, covarianza de vórtices, medición dieléctrica de la humedad del suelo, y medición óptica por tiempo de vuelo. El primero establece que la radiación neta en la superficie se reparte en calor sensible, calor latente y flujo de calor hacia el suelo. El segundo obtiene el flujo turbulento de CO_2, vapor de agua o calor a partir de la covariación entre las fluctuaciones de la velocidad vertical del viento y de la concentración del escalar, registradas a alta frecuencia con anemómetros sónicos y analizadores de gas. El tercero aprovecha que la permitividad relativa del agua (cercana a 80) supera ampliamente la del suelo seco, por lo que la permitividad aparente registrada por sondas TDR o capacitivas se transforma en humedad volumétrica mediante una relación de calibración, Negrón-Juárez et al. (2020). El cuarto, base del LiDAR, determina la distancia a partir del retardo del eco del pulso láser y de la velocidad de la luz; además, la fracción de luz que atraviesa el dosel disminuye al aumentar el índice de área foliar. Cada principio exige calibración y mantenimiento en campo, lo que se examina en adelante. Como se muestra en la **Tabla 1**, los instrumentos in situ documentados en los estudios revisados se asocian con su principio físico y con las consideraciones propias de la selva húmeda que se reportan en ellos.

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Conciencia Digital
ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original
www.concienciadigital.org

Tabla 1

Instrumentos in situ documentados en los estudios revisados

Instrumento	Principio físico	Variable medida	Característica o limitación	Fuente
Estación meteorológica en la copa de los árboles	Sensores de temperatura, humedad y radiación	Temperatura y humedad del aire, humedad foliar y radiación fotosintéticamente activa; en algunas, radiación global, lluvia y viento	Energía solar con baterías; Yasuní; series de 22 a 296 días en un conjunto de 307	Berdugo et al. (2022)
Sonda TDR o capacitiva	Permitividad dieléctrica aparente	Humedad volumétrica del suelo	Calibración local; Amazonía central; modelo de Topp subestimó entre 22 % y 42 %	Negrón-Juárez et al. (2020)
Torre de covarianza (anemómetro sónico y analizador de gases)	Covarianza de vórtices; tiempo de vuelo del ultrasonido y espectroscopía de absorción	Viento tridimensional y flujos de CO_2 y vapor de agua	Subestimación de flujos nocturnos; Amazonía central; primeras mediciones isotópicas sobre dosel amazónico	Lloyd et al. (2007); Moonen et al. (2026)
Sonda multiparamétrica de agua	Electroquímica, óptica y conductimétrica	pH, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto y temperatura	*Biofouling*; río Amazonas; falla del sensor de oxígeno y turbidez	Delgado et al. (2021); Teixeira et al. (2026)
Turbidímetro de hardware abierto	Dispersión de luz con un LED y dos receptores a 90°	Turbidez (50 a 650 NTU)	Escasa diferencia con un equipo comercial; zonas rurales de Ecuador	Román-Herrera et al. (2016)
Grabador acústico pasivo	Transducción de la presión sonora	Sonido de aves y fauna vocal; detección de disparos	Omite especies silenciosas; Tiputini; bajo consumo	Blake (2021); Hill et al. (2018)
Sensor de aire de bajo costo	Dispersión de luz (partículas) y celdas electroquímicas (gases)	Material particulado y gases	Requiere instrumentos de referencia	Okorn & Iraci (2024)

La calibración local es determinante para la confiabilidad de la humedad del suelo medida con sondas TDR. En un bosque de tierra firme de la Amazonía central, Negrón-Juárez et al. (2020) desarrollaron una calibración propia y encontraron que el modelo de Topp subestimaba el contenido de agua entre 22 % y 42 % en ese suelo arcilloso. Con la calibración local, los autores demostraron que la textura, profundidad de absorción

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Conciencia Digital
ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original
www.concienciadigital.org

radicular y precipitación determinan la humedad a distintas profundidades y a lo largo de las estaciones. Esta desviación indica que la relación de Topp no debe asumirse como universal.

En el balance de carbono y agua, las torres de covarianza de vórtices constituyen un instrumento central. Moonen et al. (2026) realizaron las primeras mediciones simultáneas in situ de flujos de isotopólogos de CO_2 y H_2O sobre un dosel amazónico, y estimaron que cerca de 95 % de la evapotranspiración al mediodía procede de la transpiración de las plantas. Por su parte, Lloyd et al. (2007) compararon un balance regional, obtenido con una aeronave, con las mediciones de dos torres y hallaron diferencias considerables en los períodos dominados por flujos nocturnos, lo que sugiere que el método de covarianza subestima de forma sistemática la respiración nocturna.

3.2. Calidad del agua e hidrocarburos

El monitoreo físico del agua se basa en parámetros como la turbidez, conductividad eléctrica y temperatura. La turbidez se mide por nefelometría, proceso por el cual una fuente de luz atraviesa la muestra y un detector, ubicado usualmente a 90° del haz, registra la luz dispersada por las partículas en suspensión, que a baja concentración crece de forma aproximadamente proporcional a ella. La conductividad depende de la concentración de iones disueltos y de la temperatura, por lo que las lecturas se compensan a 25 °C con un coeficiente cercano a 2 % por grado. Estas variables son indicadores indirectos de la contaminación: los hidrocarburos se cuantifican mediante química analítica y, dado que los hidrocarburos policíclicos son fluorescentes, podrían medirse con fluorómetros sumergibles.

Corral-García et al. (2024) en un trabajo centrado en la diversidad bacteriana, muestrearon sedimentos de 24 sitios de las cuencas de los ríos Aguarico y Napo, y midieron, entre otras variables, temperatura, conductividad e hidrocarburos. Los hidrocarburos totales de petróleo variaron entre 9,4 y 847,4 mg kg^{-1}, y la relación pristano/fitano indicó contaminación histórica en 8 de los 15 sedimentos analizados químicamente. Sin embargo, al tratarse de un único muestreo, no se captura la variación temporal que permitiría una red de sensores continuos. Por otra parte, Galarza et al. (2021) integraron un índice de calidad del agua, un índice de macroinvertebrados y pruebas de fitotoxicidad en arroyos del piedemonte andino-amazónico, y encontraron que los sitios urbanos y el relleno sanitario presentaron los valores más bajos en el índice de calidad y en fitotoxicidad. En cuanto al uso de sensores, Román-Herrera et al. (2016) construyeron un turbidímetro (LED y dos receptores de luz a 90° entre sí) con un rango de unos 50 a 650 NTU para evaluación de aguas residuales rurales de Ecuador, constituyéndose en una tecnología transferible.

En la cuenca amazónica se documenta una red de sensores de calidad del agua con protocolos de transmisión de información tipo LoRaWAN. Teixeira et al. (2026) instalaron una plataforma con sondas de temperatura, pH, conductividad, turbidez y oxígeno disuelto, que acumuló 49 570 mediciones en tres meses. Los errores medios

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Conciencia Digital
ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original
www.concienciadigital.org

absolutos fueron de 0,18 °C en temperatura, 0,36 en pH y 12,99 NTU en turbidez. Además, el sensor de oxígeno falló y el de turbidez generó ceros espurios que obligaron a descartar 9,06 % de las muestras. Por su parte, Delgado et al. (2021) en una revisión general sobre sensores de agua no específica de la Amazonía, identificaron el *biofouling* como el factor que más afecta la operación y la calidad de los datos: la biopelícula bloquea o dispersa la señal óptica, y los electrodos y sondas de membrana son los más propensos a la deriva. Entre las estrategias de mitigación, la irradiación ultravioleta C (UV-C) se considera como la más viable por su bajo consumo y por no liberar sustancias tóxicas.

3.3. Calidad del aire y quema de gas

Los sensores de bajo costo de material particulado se basan en la dispersión de luz por las partículas, y los de gases, en celdas electroquímicas o de óxido metálico. Okorn & Iraci (2024) en una revisión de 60 redes desplegadas al aire libre, encontraron que las mediciones de gases son mucho menos comunes que las de material particulado y que la cobertura es escasa en el Sur Global y en las zonas rurales.

Dentro de esta revisión se identificaron escasas evidencias sobre calidad del aire, siendo la quema de gas asociado al petróleo una fuente de contaminación documentada. Facchinelli et al. (2022) partieron de que los datos oficiales y las imágenes satelitales eran insuficientes y aplicaron investigación participativa con comunidades indígenas y campesinas y un sistema de información geográfica participativo, con el que identificaron 295 mecheros no mapeados. El estudio mapeó fuentes y no midió concentraciones de contaminantes, pero muestra que localizar las emisiones puede requerir conocimiento comunitario además de sensores remotos.

3.4. Teledetección y plataformas aerotransportadas

Los sensores ópticos pasivos miden la luz solar reflejada en el visible y el infrarrojo cercano. Las gotas de las nubes, de unos pocos a decenas de micrómetros, dispersan esa radiación, y en ambientes tropicales esto limita la disponibilidad de imágenes. Flores-Anderson et al. (2023) combinaron series de Landsat 7, Landsat 8 y Sentinel-2 de 2017 a 2021 y calcularon, para cada píxel de 30 m, el número de observaciones libres de nubes por año y las brechas más largas sin imagen clara, lo cual permite identificar lugares donde se requieren radares u otros datos complementarios. En Ecuador, García-Romero et al. (2026) combinaron mapas de cobertura MapBiomas Ecuador con estimación de densidad de núcleo para localizar los focos de deforestación alrededor de la infraestructura petrolera.

El radar de apertura sintética usa microondas que atraviesan las nubes: las de banda C de Sentinel-1, con una longitud de onda de unos 5,5 cm, son mucho mayores que las gotas y se atenúan poco, y responden a la estructura y a la humedad de la vegetación. Doblas et al. (2022) analizaron series temporales de Sentinel-1 para el sistema DETER-R: en su primer año emitió cerca de 88 500 alertas en la Amazonía, con falsos positivos menores de 0,2 % del área detectada tras la validación humana, y señaló perturbaciones que el sistema óptico no registró, proporción que subió a 8,1 % en la época lluviosa. Tang et al.

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Conciencia Digital
ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original
www.concienciadigital.org

(2023) mostraron la ventaja de fusionar sensores: su modelo con Landsat, Sentinel-2 y Sentinel-1 detectó cerca de 69,8 % de las perturbaciones en un plazo de 30 días en ocho sitios de la Amazonía.

El LiDAR aerotransportado emite pulsos láser y registra múltiples retornos desde el dosel hasta el suelo, pero vuela bajo las nubes y no las atraviesa. En Yasuní, Molina et al. (2016) mostraron que estratificar las parcelas según la posición topográfica mejora la calibración del modelo de densidad de carbono aéreo ($R^2 = 0,94$), y señalaron que la exactitud de los mapas depende críticamente de la calidad de las mediciones de campo. A escala continental, Dubayah et al. (2022) ofrecen un estimador estadístico de biomasa con el LiDAR espacial GEDI, a 1 km de resolución y con errores estándar, como línea base para detectar cambios futuros.

Los drones ocupan una escala intermedia. Jung et al. (2026) publicaron un conjunto de datos obtenido con un dron equipado con una cámara multiespectral y un LiDAR, y que cubre más de 700 ha en la Estación de Biodiversidad Tiputini. Según los autores, este es el primer conjunto abierto y continuo de este tipo en la Amazonía, y los dos sensores aportan información espectral y estructural complementaria para estudios de biodiversidad y de estructura del bosque amazónico. Por otra parte, Peña-Villacreses et al. (2024) determinaron la existencia de pérdida de bosque y biodiversidad, a partir de herramientas de evaluación de impacto ambiental y de gestión de datos satelitales. La **Tabla 2** muestra las plataformas de teledetección.

Tabla 2

Plataformas de teledetección en los estudios revisados

Plataforma	Principio físico	Aporte documentado	Limitación	Fuente
Satélites ópticos (Landsat 7 y 8, Sentinel-2)	Reflectancia en el visible y el infrarrojo	Series de 30 m de resolución; el número de observaciones libres varía según el sitio	Brechas por nubosidad prolongada que indican dónde se necesita radar	Flores-Anderson et al. (2023)
Mapas de cobertura satelital	Clasificación de imágenes multiespectrales	Pérdida neta de 391 303 ha en bloques petroleros (2000–2023)	Depende de la clasificación y de su validación	García-Romero et al. (2026)
Radar Sentinel-1	Retrodispersión de microondas	Alertas continuas; 8,1 % de perturbaciones adicionales en época lluviosa	Requiere series temporales y validación humana	Doblas et al. (2022)

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Conciencia Digital
ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original
www.concienciadigital.org

Tabla 2

Plataformas de teledetección en los estudios revisados (continuación)

Plataforma	Principio físico	Aporte documentado	Limitación	Fuente
Fusión de Landsat, Sentinel-2 y Sentinel-1	Reflectancia óptica y retrodispersión de microondas combinadas	Cerca de 69,8 % de las perturbaciones detectadas en 30 días en sitios amazónicos	Entrenado con datos de 2017–2019; evaluado en un año de monitoreo	Tang et al. (2023)
LiDAR aerotransportado	Tiempo de vuelo de pulsos láser	Estructura vertical; densidad de carbono con $R^2 = 0,94$ en el Yasuní	Requiere parcelas de campo para calibración	Molina et al. (2016)
LiDAR espacial (GEDI)	Láser de forma de onda desde la órbita	Biomasa aérea a 1 km con errores estándar	Estimación estadística, no medición de cada parcela	Dubayah et al. (2022)
Drones con LiDAR y cámara multiespectral	Tiempo de vuelo y reflectancia en bandas espectrales	Conjunto abierto de más de 700 ha en Tiputini, con datos espectrales y de estructura	Cobertura local sin reporte de biomasa y biodiversidad	Jung et al. (2026)

3.5. Monitoreo de biodiversidad con sensores acústicos

Los sensores acústicos pasivos funcionan como conteos por punto automáticos. En la Estación de Biodiversidad Tiputini, Blake (2021) comparó monitores acústicos con observación directa en dos parcelas de 100 ha: ambos métodos dieron una estadística de registro de aves similar a escala de parcela, aunque los monitores detectaron algo menos de especies y omitieron especies colibríes. Zwerts et al. (2021) compararon la observación humana, cámaras trampa y sensores acústicos en bosques tropicales y concluyeron que cada método implica compromisos en cobertura de especies, exactitud y precisión de las métricas poblacionales, pericia técnica y costo, por lo que no existe un método único. Sethi et al. (2024) a través de grabaciones correspondientes a zonas amazónicas y no amazónicas, mostraron que el modelo preentrenado BirdNET alcanzó más de 90 % de precisión para 109 de 136 especies una vez calibrados los umbrales de clasificación de cada conjunto de datos. Hill et al. (2018) presentan un detector acústico de bajo consumo, programable para frecuencias de muestreo de hasta 384 kHz. En pruebas realizadas, el algoritmo registró ruidos de hasta 500 m en bosque lluvioso tropical, y el dispositivo consumió menos energía que otros equipos de monitoreo acústico similares. Los autores señalan que su costo y arquitectura podría permitir a las comunidades locales monitorear sus propios recursos naturales.

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Conciencia Digital
ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original
www.concienciadigital.org

3.6. Redes de sensores, energía y comunicaciones

En zonas sin red eléctrica ni cobertura móvil se pueden identificar dos soluciones centrales: la energía fotovoltaica con baterías y las redes inalámbricas de baja potencia y área amplia (LPWAN), como LoRa. Cama et al. (2013) describieron un sistema de bajo costo y bajo consumo en la Amazonía en el que una red WiFi a lo largo del río Napo transportaba lecturas de humedad, temperatura y radiación solar hacia una plataforma en línea. Mitchell et al. (2024) utilizaron una red LoRaWAN, con nodos y una puerta de enlace (*gateway*), y redujeron la longitud de las transmisiones con un codificador propio. La potencia recibida en un enlace de radio decae con el cuadrado de la distancia y con la frecuencia: en espacio libre y a igual distancia, la banda de 915 MHz de LoRa pierde unos 8,4 dB menos que la de 2,4 GHz. Teixeira et al. (2026) calcularon que su plataforma LoRaWAN consumía unos 9,90 Wh por día en modo de batería: con sol normal el balance energético era positivo, con poca luz el modo estándar apenas tenía superávit y el modo de alerta quedaba en déficit, y sin sol el sistema operaba unos 4,9 días en modo estándar y unos 3,4 días en modo de alerta. En el dosel de Yasuní, Berdugo et al. (2022) alimentaron sus estaciones con paneles solares y baterías de respaldo. La **Tabla 3** reúne los estudios revisados sobre redes, comunicaciones y energía. En Ecuador, esta revisión no identificó redes LoRa arbitradas en la Amazonía, de modo que la evidencia sobre alcance, consumo y continuidad proviene de Perú, Brasil y de contextos no tropicales.

Tabla 3

Redes de sensores, comunicaciones y energía en los estudios revisados

Sistema o red	Región	Comunicación y energía	Resultado o limitación	Fuente
Red WiFi de sensores de bajo costo	Río Napo	Red WiFi con plataforma en línea; bajo consumo	Humedad, temperatura y radiación solar transmitidas por el río	Cama et al. (2013)
Red LoRaWAN con nodos y puerta de enlace	Global	LoRaWAN con nodos y puerta de enlace	Más de 7 500 mediciones; 23 % menos de longitud de transmisión	Mitchell et al. (2024)
Plataforma LoRaWAN de calidad del agua	Amazonas	Puerta de enlace a 130 m; modos con red eléctrica o batería	49 570 mediciones en tres meses; 4,9 días de autonomía en modo estándar y 3,4 en modo de alerta	Teixeira et al. (2026)
Estaciones de copa con paneles solares	Yasuní, Ecuador	Paneles solares, baterías de respaldo y registro local	Series individuales de 22 a 296 días	Berdugo et al. (2022)

3.7. Balance atmosférico de carbono, clima y microclima

Gatti et al. (2021) midieron desde aeronaves en cuatro sitios entre 2010 y 2018 y hallaron que la Amazonía oriental emite más carbono que la occidental y que el sureste es una

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Conciencia Digital
ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original
www.concienciadigital.org

fuente neta. Gatti et al. (2023) estimaron que la emisión neta de la Amazonía subió de 0,24 Pg C año^{-1} en promedio durante 2010–2018 a 0,44 en 2019 y 0,52 en 2020, y la atribuyeron sobre todo a la debilitación de la aplicación de la ley ambiental.

En el plano climático, Ruiz-Hernández et al. (2021) analizaron los registros de 80 estaciones de lluvia entre 2014 y 2019 y encontraron cuatro grupos a lo largo de un gradiente noroeste-sureste, desde un valle andino ecuatorial hasta la cuenca amazónica: los grupos occidentales presentan ciclos estacionales bimodales y ciclos diarios marcados, y el más oriental, un ciclo estacional unimodal y sin ciclo diario notable. En Mera, en la transición entre los Andes y la llanura, Vargas et al. (2022) mostraron con los isótopos de la lluvia que la humedad proviene del Atlántico Norte tropical y de la cuenca amazónica, y que la señal responde a la estacionalidad del flujo de aire que cruza la línea ecuatorial. Berdugo et al. (2022) instalaron ocho estaciones en la copa de los árboles en el Parque Nacional Yasuní, que midieron temperatura y humedad del aire, humedad de las hojas y radiación fotosintéticamente activa, con energía solar y baterías de respaldo.

Desafíos operativos en ambientes tropicales húmedos

Los estudios revisados reportan limitaciones recurrentes en el desempeño de los sistemas de monitoreo en campo, que pueden agruparse en cuatro tipos: fallas instrumentales, restricciones ambientales y logísticas, incertidumbre de la medición y limitaciones de infraestructura. Según se muestra en la **Tabla 4**, cada tipo se asocia con evidencias reportadas y respuestas documentada en los estudios analizados.

Tabla 4

Desafíos operativos del monitoreo en la Amazonía y respuestas documentadas

Tipo	Desafío	Evidencia en los estudios revisados	Respuesta documentada
Fallas instrumentales	*Biofouling* y deriva en sondas de agua	La biopelícula bloquea o dispersa la señal óptica; los electrodos y sondas de membrana son los más propensos a la deriva (Delgado et al., 2021)	Irradiación UV-C; combinar estrategias extendió mediciones a meses; algoritmos de auto calibración (Delgado et al., 2021)
	Fallas y vacíos de datos	Falla de sensor de oxígeno disuelto y turbidez (Teixeira et al., 2026); series de 22 a 296 días en un conjunto de 307 (Berdugo et al., 2022)	Filtro de señal, almacenamiento local y reenvío al recuperar el enlace (Teixeira et al., 2026)
Restricciones ambientales y logísticas	Nubosidad	Brechas sin imagen óptica clara (Flores-Anderson et al., 2023); 8,1 % de perturbaciones adicionales detectadas por radar en época lluviosa (Doblas et al., 2022)	Radar y fusión de sensores ópticos (Doblas et al., 2022; Tang et al., 2023)

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Conciencia Digital
ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original
www.concienciadigital.org

Tabla 4

Desafíos operativos del monitoreo en la Amazonía y respuestas documentadas (continuación)

Tipo	Desafío	Evidencia en los estudios revisados	Respuesta documentada
	Energía y conectividad	Hasta 4,9 días de autonomía en modo estándar y 3,4 en modo de alerta (Teixeira et al., 2026)	Paneles solares con baterías y modos de operación según la energía disponible (Teixeira et al., 2026)
Incertidumbre de la medición	Calibración local	Modelo de Topp subestimó entre 22 % y 42 % de datos (Negrón-Juárez et al., 2020); los clasificadores acústicos exigen calibrar umbrales (Sethi et al., 2024)	Calibración con parcelas e instrumentos de referencia (Molina et al., 2016; Negrón-Juárez et al., 2020; Okorn & Iraci, 2024)
	Subestimación de flujos nocturnos en torres	Grandes diferencias entre torres y aeronave en períodos dominados por flujos nocturnos (Lloyd et al., 2007)	Control independiente con mediciones desde aeronave (Lloyd et al., 2007)
Limitaciones institucionales	Cobertura y participación comunitaria	Reforzar el monitoreo en zonas de amortiguamiento y territorios indígenas (García-Romero et al., 2026)	Mapeo participativo con comunidades (Facchinelli et al., 2022); equipos acústicos de bajo costo (Hill et al., 2018)
	Integración y reproducibilidad de los datos	Flujos de trabajo fragmentados, dependencia de programas propietarios y poca reproducibilidad entre instituciones (Rea-Guamán et al., 2026)	Plataforma abierta y reproducible, desarrollada con el Ministerio del Ambiente (Rea-Guamán et al., 2026)

Fuente: elaboración propia a partir de los estudios citados en la tabla.

4. Discusión

Los resultados muestran que el monitoreo físico de la Amazonía es multiescala y que su aporte depende de cómo se combinan las plataformas. El caso de Yasuní (Molina et al., 2016) el LiDAR estimó la densidad de carbono con un error del orden de 6 Mg C ha^{-1}, y la calibración mejoró al estratificar las parcelas según la topografía. Negrón-Juárez et al. (2020) y Sethi et al. (2024) demostraron que la calibración local es la condición que garantiza confiabilidad. Doblas et al. (2022) y Tang et al. (2023) indican que el uso de radar y la fusión con sensores ópticos aportan con información en condiciones climáticas donde los sistemas ópticos se ven limitados. De igual modo, las redes LoRa con energía solar reducen la dependencia de la infraestructura (Mitchell et al., 2024), sin embargo en pruebas realizadas en territorio (Teixeira et al., 2026, en Brasil) señalaron la existencia

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original

de fallas de sensores y límites de autonomía. A partir del análisis realizado se identifica que cada tecnología aporta una ventaja específica y enfrenta un desafío propio en la Amazonía. Las plataformas remotas (radar SAR, satélites ópticos y drones con LiDAR) ofrecen cobertura espacial, pero requieren validación y, en el caso de los sensores ópticos, se ven limitadas por la nubosidad; los sensores in situ (acústicos, de agua y de aire) proporcionan mediciones directas y de bajo costo, aunque exigen calibración local y están expuestos a la deriva y al biofouling; y las redes LoRa y el mapeo participativo extienden la observación hacia zonas con poca infraestructura o hacia fuentes no medidas, con limitaciones de autonomía, atenuación de la señal y ausencia de mediciones de concentración. En conjunto, ninguna tecnología cubre por sí sola todas las escalas, por lo que su valor radica en la combinación.

5. Conclusiones

- En este artículo se analizó el estado actual del monitoreo ambiental con sensores y tecnologías físicas en la Amazonía ecuatoriana y en bosques tropicales comparables, y se integró el conocimiento disperso entre ingeniería, ecología y ciencias de la Tierra. En primer lugar, se concluye que los sensores transforman magnitudes físicas, como la permitividad del suelo, la dispersión de la luz o el sonido, en señales medibles, y que en selva húmeda su confiabilidad depende de la calibración local. En segundo lugar, la observación es multiescala y complementaria. Existen sensores in situ y torres miden en un punto, y en el caso de parcelas, cuencas y territorios, se implementan sistemas LiDAR, drones, satélites ópticos y radar con sensores ópticos. En tercer lugar, las redes inalámbricas de baja potencia con energía solar son un instrumento viable para operar con infraestructura limitada, sin embargo, su desempeño está condicionado por las fallas técnicas, vacíos de datos, autonomía energética, condiciones climáticas y densidad de la vegetación. Finalmente, se evidencia que la evaluación de parámetros de calidad del aire y agua en la Amazonía es escasa y se documenta mediante muestreos y mapeos puntuales, sin una vigilancia continua. En tal virtud, este estudio pretende integrar y visibilizar el estado actual del monitoreo ambiental en los territorios amazónicos, procurando identificar los vacíos de investigación y sentar las bases para un monitoreo permanente y una gobernanza sustentada en datos.

6. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original

7. Derechos de autor (copyright)

Los autores son los titulares de los derechos de autor (patrimoniales y/o de explotación) de los contenidos de la revista.

8. Declaración de contribución de los autores

Los autores declaran haber participado de manera equitativa y sustancial en la realización de esta investigación. Conceptualización: ASML, APM, RDVP; Investigación: ASML, AMLL, RDVP; Metodología: AMP, EGY; Supervisión: APM; Validación: EGY, AMLL; Escritura – borrador original: ASML, AMLL; Redacción – revisión y edición: APM, EGY. Todos los autores participaron en la elaboración y aprobación del borrador final.

Divulgación de la delegación a la IA generativa

La responsabilidad del manuscrito final recae íntegramente en los autores.

Las herramientas GAI no figuran como autores y no asumen responsabilidad por los resultados finales.

Declaración presentada por: Andrés Santiago Martínez-León.

9. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios de los autores.

10. Referencias bibliográficas

Berdugo, M. B., Heyer, L., Suarez Contento, K. Y., Déleg, J., Bendix, J., & Bader, M. Y. (2022). High-resolution tropical rain-forest canopy climate data. *Environmental Data Science, 1*, e13. https://doi.org/10.1017/eds.2022.12

Blake, J. G. (2021). Acoustic monitors and direct observations provide similar but distinct perspectives on bird assemblages in a lowland forest of eastern Ecuador. *PeerJ, 9*, e10565. https://doi.org/10.7717/peerj.10565

Cama, A., Montoya, F. G., Gomez, J., de la Cruz, J. L., & Manzano-Agugliaro, F. (2013). Integration of communication technologies in sensor networks to monitor the Amazon environment. *Journal of Cleaner Production*, *59*, 32–42. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.041

Corral-García, L. S., Molina, M. C., Bautista, L. F., Simarro, R., Espinosa, C. I., Gorines-Cordero, G., & González-Benítez, N. (2024). Bacterial diversity in old hydrocarbon polluted sediments of Ecuadorian Amazon river basins. *Toxics*, *12*(2), 119. https://doi.org/10.3390/toxics12020119

Delgado, A., Briciu-Burghina, C., & Regan, F. (2021). Antifouling strategies for sensors used in water monitoring: review and future perspectives. *Sensors*, *21*(2), E389. https://doi.org/10.3390/s21020389

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Doblas, J., Reis, M. S., Belluzzo, A. P., Quadros, C. B., Moraes, D. R. V., Almeida, C. A., Maurano, L. E. P., Carvalho, A. F. A., Sant'Anna, S. J. S., & Shimabukuro, Y. E. (2022). DETER-R: An operational near-real time tropical forest disturbance warning system based on Sentinel-1 time series analysis. *Remote Sensing, 14*(15), 3658. https://doi.org/10.3390/rs14153658

Dubayah, R., Armston, J., Healey, S. P., Bruening, J. M., Patterson, P. L., Kellner, J. R., Duncanson, L., Saarela, S., Ståhl, G., Yang, Z., Tang, H., Blair, J. B., Fatoyinbo, L., Goetz, S., Hancock, S., Hansen, M., Hofton, M., Hurtt, G., & Luthcke, S. (2022). GEDI launches a new era of biomass inference from space. *Environmental Research Letters, 17*(9), 095001. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8694

Facchinelli, F., Pappalardo, S. E., Della Fera, G., Crescini, E., Codato, D., Diantini, A., Moncayo Jimenez, D. R., Fajardo Mendoza, P. E., Bignante, E., & De Marchi, M. (2022). Extreme citizens science for climate justice: Linking pixel to people for mapping gas flaring in Amazon rainforest. *Environmental Research Letters, 17*(2), 024003. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac40af

Flores-Anderson, A. I., Cardille, J., Azad, K., Cherrington, E., Zhang, Y., & Wilson, S. (2023). Spatial and temporal availability of cloud-free optical observations in the tropics to monitor deforestation. *Scientific Data, 10*(1), 550. https://doi.org/10.1038/s41597-023-02439-x

Galarza, E., Cabrera, M., Espinosa, R., Espitia, E., Moulatlet, G. M., & Capparelli, M. V. (2021). Assessing the quality of Amazon aquatic ecosystems with multiple lines of evidence: The case of the northeast Andean foothills of Ecuador. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 107*(1), 52–61. https://doi.org/10.1007/s00128-020-03089-0

García-Romero, J. A., Chuizaca-Espinoza, I. A., Velastegui-Montoya, A., Carvalho Guimarães, Y., das Dores de Jesus da Silva, L., Yépez-Rincón, F. D., Rodriguez González, K., & Veja Aguilar, A. (2026). Ecuadorian Amazon deforestation hotspots due to oil infrastructure development in the 21st century. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLIX-B4-2026*, 597-603. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIX-B4-2026-597-2026

Gatti, L. V., Basso, L. S., Miller, J. B., Gloor, M., Gatti Domingues, L., Cassol, H. L. G., Tejada, G., Aragão, L. E. O. C., Nobre, C., Peters, W., Marani, L., Arai, E., Sanches, A. H., Corrêa, S. M., Anderson, L., Von Randow, C., Correia, C. S. C., Crispim, S. P., & Neves, R. A. L. (2021). Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature, 595*(7867), 388–393. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6

Gatti, L. V., Cunha, C. L., Marani, L., Cassol, H. L. G., Messias, C. G., Arai, E., Denning, A. S., Soler, L. S., Almeida, C., Setzer, A., Gatti Domingues, L., Basso, L. S., Miller, J. B., Gloor, M., Correia, C. S. C., Tejada, G., Neves, R. A. L., Rajao,

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

R., Nunes, F., … Machado, G. B. M. (2023). Increased Amazon carbon emissions mainly from decline in law enforcement. *Nature*, *621*(7978), 318–323. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06390-0

Hill, A. P., Prince, P., Piña Covarrubias, E., Doncaster, C. P., Snaddon, J. L., & Rogers, A. (2018). AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *Methods in Ecology and Evolution*, *9*(5), 1199–1211. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12955

Jung, M., Chang, A., Cannon, C. H., Rivas-Torres, G., & Jung, J. (2026). Comprehensive uncrewed aerial system data for Amazon rainforest at Tiputini Biodiversity Station, Ecuador. *Scientific Data*, *13*(1), 532. https://doi.org/10.1038/s41597-026-06894-0

Lloyd, J., Kolle, O., Fritsch, H., de Freitas, S. R., Silva Dias, M. A. F., Artaxo, P., Nobre, A. D., de Araújo, A. C., Kruijt, B., Sogacheva, L., Fisch, G., Thielmann, A., Kuhn, U., & Andreae, M. O. (2007). An airborne regional carbon balance for Central Amazonia. *Biogeosciences*, *4*(5), 759–768. https://doi.org/10.5194/bg-4-759-2007

Mitchell, H. L., Cox, S. J., & Lewis, H. G. (2024). A low-cost sensor network for monitoring peatland. *Sensors*, *24*(18), 6019. https://doi.org/10.3390/s24186019

Molina, P. X., Asner, G. P., Farjas Abadía, M., Ojeda Manrique, J. C., Sánchez Diez, L. A., & Valencia, R. (2016). Spatially-explicit testing of a general aboveground carbon density estimation model in a western Amazonian forest using airborne LiDAR. *Remote Sensing*, *8*(1), 9. https://doi.org/10.3390/rs8010009

Moonen, R. P. J., Adnew, G. A., Vilà-Guerau de Arellano, J., Bonell Fontas, D. J., & Röckmann, T. (2026). CO_2 and H_2O isotope exchange and flux partitioning in Amazonia. *Biogeosciences*, *23*(14), 5163-5184. https://doi.org/10.5194/bg-23-5163-2026

Negrón-Juárez, R., Ferreira, S. J. F., Mota, M. C., Faybishenko, B., Monteiro, M. T. F., Candido, L. A., Ribeiro, R. P., de Oliveira, R. C., de Araujo, A. C., Warren, J. M., Newman, B. D., Gimenez, B. O., Varadharajan, C., Agarwal, D., Borma, L., Tomasella, J., Higuchi, N., & Chambers, J. Q. (2020). Calibration, measurement, and characterization of soil moisture dynamics in a central Amazonian tropical forest. *Vadose Zone Journal*, *19*(1), e20070. https://doi.org/10.1002/vzj2.20070

Okorn, K., & Iraci, L. T. (2024). An overview of outdoor low-cost gas-phase air quality sensor deployments: Current efforts, trends, and limitations. *Atmospheric Measurement Techniques*, *17*(21), 6425–6457. https://doi.org/10.5194/amt-17-6425-2024

Peña-Villacreses, G., Ayala-Hidalgo, S., Braga, D., Guimarães, Y., Santos, M. R. da S., Pereira, M. de A., & Velastegui-Montoya, A. (2024). Trends of remote sensing applications for Amazon monitoring. *The International Archives of the*

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVIII-3-2024, 393–399. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-3-2024-393-2024

Rea-Guamán, M., Almeida-Jara, A., Masacela-Atupaña, B., López-López, A., & Martínez-Espinoza, D. (2026). IndiGeo: An open-source geospatial platform for multi-indicator SDG 15 environmental monitoring in Ecuador. *Applied Geomatics, 18*(3), 105. https://doi.org/10.1007/s12518-026-00766-3

Román-Herrera, C., Loza-Matovelle, D., Segura, L., & Dabirian, R. (2016). The construction of an open source based low-cost turbidity sensor. *ITECKNE, 13*(1), 17–22. https://revistas.ustabuca.edu.co/index.php/ITECKNE/article/view/1431

Ruiz-Hernández, J.-C., Condom, T., Ribstein, P., Le Moine, N., Espinoza, J.-C., Junquas, C., Villacís, M., Vera, A., Muñoz, T., Maisincho, L., Campozano, L., Rabatel, A., & Sicart, J.-E. (2021). Spatial variability of diurnal to seasonal cycles of precipitation from a high-altitude equatorial Andean valley to the Amazon Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 38*, 100924. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100924

Sethi, S. S., Bick, A., Chen, M.-Y., Crouzeilles, R., Hillier, B. V., Lawson, J., Lee, C.-Y., Liu, S.-H., Parruco, C. H. de F., Rosten, C. M., Somveille, M., Tuanmu, M.-N., & Banks-Leite, C. (2024). Large-scale avian vocalization detection delivers reliable global biodiversity insights. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 121*(33), e2315933121. https://doi.org/10.1073/pnas.2315933121

Tang, X., Bratley, K. H., Cho, K., Bullock, E. L., Olofsson, P., & Woodcock, C. E. (2023). Near real-time monitoring of tropical forest disturbance by fusion of Landsat, Sentinel-2, and Sentinel-1 data. *Remote Sensing of Environment, 294*, 113626. https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113626

Teixeira, T. A., Nascimento, L. B. F., Cavalcante, W., Ono, I. M. F., Gomes, R. C. S., Printes, A. L., Sobrinho, A. M. F., & Torné, I. G. (2026). Development and experimental validation of an autonomous IoT-based monitoring system for real-time water quality assessment in the Amazon River. *Sensors, 26*(12), 3967. https://doi.org/10.3390/s26123967

Vargas, D., Chimborazo, O., László, E., Temovski, M., & Palcsu, L. (2022). Rainwater isotopic composition in the Ecuadorian Andes and Amazon reflects cross-equatorial flow seasonality. *Water, 14*(13), 2121. https://doi.org/10.3390/w14132121

Zwerts, J. A., Stephenson, P. J., Maisels, F., Rowcliffe, M., Astaras, C., Jansen, P. A., van der Waarde, J., Sterck, L. E. H. M., Verweij, P. A., Bruce, T., Brittain, S., & van Kuijk, M. (2021). Methods for wildlife monitoring in tropical forests: Comparing human observations, camera traps, and passive acoustic sensors. *Conservation Science and Practice, 3*(12), e568. https://doi.org/10.1111/csp2.568

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

ISSN: **2600-5859**
Vol. 9 No. 4 pp. 233 – 251 octubre - diciembre 2026
Revista multidisciplinar
Artículo original

www.concienciadigital.org

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital.**

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital.**

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/