

# Análisis de la respuesta hidrológica de la laguna Limoncocha a las tendencias climáticas globales

## Analysis of the hydrological response of the Limoncocha lagoon to global climatic trends



<https://cu-id.com/2377/v31n1e05>

 Marco Omar Vizuete-Montero\*

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Vía Coca Sacha Km 1/2, junto a TransElectric, Francisco de Orellana - Ecuador

**RESUMEN:** La investigación aborda los efectos del cambio climático en la laguna de Limoncocha, situada en la Amazonía ecuatoriana, entre 2013 y 2024. Utilizando una metodología mixta, se analizaron imágenes satelitales Landsat procesadas con QGIS 3.34.9 y se emplearon índices espectrales para evaluar los cambios en el espejo de agua. Adicionalmente, el modelo econométrico ARIMA permitió proyectar tendencias futuras. Los resultados identificaron fluctuaciones críticas en 2017 (163,2 ha) y 2021 (132,0 ha), vinculadas a variaciones climáticas regionales. ARIMA estimó un área promedio de 196.662,9 ha para los próximos cinco años, aunque con incertidumbre significativa. Estas evidencias destacan la vulnerabilidad del ecosistema al calentamiento global. Se concluye que es imperativo implementar estrategias adaptativas de monitoreo y conservación para mitigar los impactos y garantizar la sostenibilidad de este ecosistema tropical, esencial para la biodiversidad de la región.

**Palabras clave:** amazonía ecuatoriana, cambio climático, laguna de Limoncocha, teledetección, variabilidad hídrica.

**ABSTRACT:** The research addresses the effects of climate change on the Limoncocha lagoon, located in the Ecuadorian Amazon, between 2013 and 2024. Using a mixed methodology, Landsat satellite images processed with QGIS 3.34.9 were analyzed and spectral indices were used to evaluate changes in the water mirror. In addition, the ARIMA econometric model was used to project future trends. The results identified critical fluctuations in 2017 (163.2 ha) and 2021 (132.0 ha), linked to regional climatic variations. ARIMA estimated an average area of 196,662.9 ha for the next five years, albeit with significant uncertainty. This evidence highlights the vulnerability of the ecosystem to global warming. It is imperative to implement adaptive monitoring and conservation strategies to mitigate impacts and ensure the sustainability of this tropical ecosystem, which is essential for the region's biodiversity.

**Key words:** ecuadorian amazon, climate change, Limoncocha lagoon, remote sensing, water variability.

### INTRODUCCIÓN

El cambio climático emerge como una amenaza omnipresente para los ecosistemas acuáticos a escala global (Doorga *et al.*, 2023). Las lagunas, ubicadas en las exuberantes zonas tropicales, no son inmunes a esta perturbación ambiental; las variaciones en los regímenes de lluvias constituyen un factor crítico que impacta la hidrología, la calidad del agua y la rica biodiversidad de estos frágiles ecosistemas (Brito *et al.*, 2012). Los datos estadísticos y porcentuales de los años 1880 y 2014 registran un aumento promedio de la temperatura mundial de 0.85°C, y el nivel del mar ha aumentado 19 centímetros desde los años de 1901 hasta la actualidad (Jácome *et al.*, 2019).

Investigaciones recientes demuestran que el uso de técnicas de teledetección sobre las modificaciones en los espejos de agua ofrece una visión holística y precisas en los cambios medioambientales (Zhichao *et al.*, 2019). La aplicación de índices espectrales facilita el cálculo de niveles hídricos y periodos críticos de estrés ambiental (Bolaños *et al.*, 2023).

Es crucial destacar que la laguna de Limoncocha se presenta como un escenario acuático que experimenta inundaciones periódicas, desempeñando un papel fundamental como hábitat para aves, mamíferos, reptiles y peces (Jarrín *et al.*, 2017). En este contexto, la investigación que aborda el impacto del cambio climático en este espejo de agua adquiere una significativa relevancia al ofrecer una comprensión

\*Autor para correspondencia: Marco Omar Vizuete Montero. E-mail: [marco.vizuete@esPOCH.edu.ec](mailto:marco.vizuete@esPOCH.edu.ec)

Recibido: 17/12/2024

Aceptado: 21/01/2025

**Conflictos de interés:** Se declara que no existe conflictos de interés y se reconoce la utilización de fuentes citadas debidamente en conformidad con estándares éticos y académicos.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

profunda de cómo las variaciones climáticas pueden influir en el volumen del agua y, por ende, en la biodiversidad circundante. La aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) mediante la herramienta de teledetección ha posibilitado la obtención de información precisa y detallada acerca de la laguna y su entorno, destacando la importancia de la tecnología espacial en el análisis y monitoreo de estos entornos acuáticos (Wolfgang *et al.*, 2013).

El uso de la teledetección para conocer la afectación del cambio climático al espejo de agua de la laguna de Limoncocha se sustenta en la teoría y postulados de Vargas *et al.* (2021) donde afirman que, mediante la interpretación de imágenes satelitales, se puede determinar la cobertura vegetal, aparición o desaparición de acuíferos y lagos en diferentes años. Esta técnica permite identificar posibles impactos antrópicos y evaluar la severidad del evento, como sequías e inundaciones. La teledetección permite identificar patrones y tendencias a largo plazo y así tomar decisiones informadas en la gestión de los recursos hídricos y la adaptación al cambio climático (Muñoz *et al.*, 2020).

A este contexto, se plantea la hipótesis dónde se postula que la variabilidad observada en el espejo de agua de la laguna de Limoncocha entre los años 2013 y 2024 está directamente relacionada con los cambios climáticos registrados en la región. Se espera que la aplicación de técnicas de teledetección permita identificar patrones específicos de variación y asociarlos con fenómenos climáticos, proporcionando una comprensión más precisa de los factores que afectan la laguna. Por ello esta investigación tiene como objetivo general realizar una evaluación teledetectiva del impacto climático en la laguna Limoncocha durante el periodo 2013-2024, centrándose en la variabilidad del espejo de agua y las posibles consecuencias ambientales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Diseño y localización del estudio

El estudio adoptó un diseño observacional longitudinal, destinado a analizar la respuesta hidrológica de la laguna Limoncocha frente a las tendencias del cambio climático global. Se seleccionó la laguna Limoncocha, ubicada en la provincia de Sucumbios, cantón Shushufindi (Ecuador) por su relevancia como humedal amazónico vulnerable al cambio climático. La investigación abarcó un periodo de 12 años (2013 - 2024), se recopiló datos satelitales de la extensión del espejo de agua, se tomó en cuenta también las variables ambientales como la temperatura y precipitaciones, esto ayudó a detectar patrones y tendencias significativas.

### 2.2 Población

Esta investigación tomó como población a las imágenes satelitales y registros climáticos de la laguna Limoncocha (tiene una extensión de 300 hectáreas, y su zona de influencia directa de hasta 500 metros del perímetro), recolectados desde el año 2013 al 2024. Se incluyeron imágenes con un porcentaje máximo de nubosidad del 20%, y registros meteorológicos que presentaron variaciones de temperatura y precipitación. Esta selección aseguró la representatividad de los cambios hidrológicos observados en el cuerpo hídrico en respuesta a las tendencias climáticas globales.

### 2.3 Instrumentos

Para el análisis de la respuesta hidrológica de la laguna Limoncocha, la adquisición de los datos (imágenes satelitales) fue a través de la plataforma USGS Earth Explorer, se aplicó un criterio de selección de imágenes en el porcentaje de nubosidad (0 al 25%), para optimizar la calidad de la imagen, se implementó correcciones atmosféricas, geométricas y radiométricas, para ello se utilizó el complemento de clasificación automática del software QGIS versión 3.34.9, este procedimiento fue crucial garantizar la precisión de los análisis subsecuentes.

### 2.4 Variables

Se definieron como variables dependientes a el área superficial del espejo de agua de la laguna Limoncocha (300 hectáreas) y el Índice de Diferencia Normalizada (NDWI), para este cálculo, se utilizó la ecuación siguiente:

$$NDWI = \frac{(GREEN - SWIR)}{(GREEN + SWIR)} \quad (1)$$

Dónde:

GREEN = Representa la reflectancia en la banda verde del espectro electromagnético.

SWIR = Representa la reflectancia en la banda del infrarrojo de onda corta.

Por otro lado, las variables independientes fueron la temperatura media anual, precipitación anual y la evapotranspiración. Se consideró también como factores de control la estacionalidad y las actividades humanas.

### 2.5 Análisis de datos

Para el análisis de los datos, se utilizó un enfoque multimétodo. En primer lugar, se realizaron análisis estadísticos descriptivos y de tendencia temporales, para ello se utilizó el modelo ARIMA (Modelo autorregresivo integrado de media móvil). Seguido, se aplicó un análisis espacial mediante clasificación

supervisada de imágenes y cálculo de índices espectrales. Finalmente, se desarrollaron modelos de regresión múltiple y análisis de componentes principales para establecer relaciones entre variables mediante el software RStudio 4.4.1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico de las variables climáticas de la laguna Limoncocha durante el periodo 2013 - 2024 releva patrones significativos de cambio, se observa en la [Tabla 1](#). La temperatura media exhibió una tendencia ascendente, registrando un incremento de 1.1 °C, desde 26,5°C en 2013 hasta alcanzar 27,06°C en 2024. Estos incrementos, aunque aparentemente moderados, representa una alteración térmica significativa para ecosistemas lacustres tropicales.

Los hallazgos son conscientes con lo reportado por [Murad et al. \(2024\)](#), quienes documentan tasas de calentamiento de 0,1 a 0,2 °C por década en cuerpos hídricos tropicales, con incrementos de hasta 0,3°C por década en las dos últimas décadas.

Las implicaciones ecológicas de ese aumento térmico pueden ser sustanciales, como lo demuestran [Reyes & Baxter \(2024\)](#), quienes establecen que incrementos superiores a 1°C en lagos tropicales pueden desencadenar modificaciones significativas en la estratificación térmica y los patrones de circulación vertical.

La precipitación anual tuvo una variabilidad considerable, con un rango de 400 mm (3100 - 3500 mm), una media de 3309 mm y una desviación estándar de 126 mm. Esta variabilidad refleja la complejidad de los patrones hidrológicos en ecosistemas tropicales, alineándose con las observaciones de [Doorga et al. \(2023\)](#), quienes señalan que fluctuaciones de esta magnitud indican una significativa variabilidad climática regional, posiblemente asociada con fenómenos como El Niño y la Niña. [Zhichao et al. \(2019\)](#) argumenta que tales oscilaciones influyen críticamente en el balance hídrico, afectando procesos ecológicos fundamentales.

Por otro lado, la evapotranspiración, presentó estabilidad relativa, con una media de 1573 mm/año y una desviación estándar de 45 mm. Este

comportamiento sugiere un posible mecanismo de autorregulación del ecosistema ([Bolaños et al., 2023](#)). Aunque cambios sostenidos en la precipitación podría superar esta capacidad de amortiguación y provocar desequilibrios en el balance hídrico.

La [tabla 2](#), muestra el área calculada en los años 2013 - 2024 se observó una transición morfológica del espejo de agua, pasando de una forma alargada a más redondeada, con una reducción de área de 202,8 ha a 192,0 ha. El periodo 2015 - 2016 mostró estabilidad, con áreas de 201,4 y 203,4 hectáreas respectivamente. Un punto crítico se registró en el año 2017, con una reducción del espejo de agua significativa a 163,2 ha, coincidiendo con un año particularmente seco en la región amazónica ecuatoriana.

Según las [figuras 1 y 2](#) dentro del análisis multitemporal de imágenes satelitales reveló fluctuaciones significativas en la extensión del espejo del agua. En el año 2013 el área se estimó en 202,8 ha, mientras que en el año 2024 alcanzó 225,4 ha, con reducciones críticas en el año 2017 y 2021 respectivamente. La recuperación observada en 2022 y 2024 refleja una buena resiliencia en el ecosistema, pero también evidencia vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos. Estudios previos como de [Woolway et al. \(2020\)](#) reportan variaciones de hasta el 15% en cuerpos acuáticos amazónicos en dos décadas, validando así la metodología empleada, y destacando la importancia de un monitoreo continuo.

El modelo de regresión múltiple [tabla 3](#), muestra que el 78,3% de variabilidad en el área de la laguna ( $R^2$  ajustado = 0,783) con todas las variables mostrando significancia estadística con un ( $p < 0,005$ ). La temperatura emergió como el factor de mayor impacto negativo, donde cada grado Celsius de incremento redujo el área en aproximadamente 15,23 hectáreas. Por otro lado, la precipitación mostró un efecto positivo moderado (+0,048 ha/mm), mientras que la evapotranspiración redujo el área en 0,086 ha/mm. Estos resultados son concordantes con los observados por [Zhichao et al. \(2019\)](#), además [Reyes et al. \(2022\)](#) menciona que la sensibilidad del ecosistema a factores climáticos y refuerzan la necesidad de disponer estrategias de conservación y manejo sostenible.

**Tabla 1.** Análisis estadístico descriptivos y tendencias temporales (Lagua Limoncocha)

Estadístico	Temperatura Media (°C)	Precipitación Anual (mm)	Evapotranspiración (mm/año)
Media	27.0	3309	1573
Desviación estándar	0.4	126	45
Mínimo	26.5 (2013)	3100	1500
Máximo	27.6 (2024)	3500	1635
Rango	1.1	400	135

**Tabla 2.** Área calculada de laguna Limoncocha en los años 2013 al 2024

AÑO	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
AREA (ha)	202,8	192,0	201,4	203,4	163,2	191,4	196,7	209,7	132,0	221,5	220,6	225,4

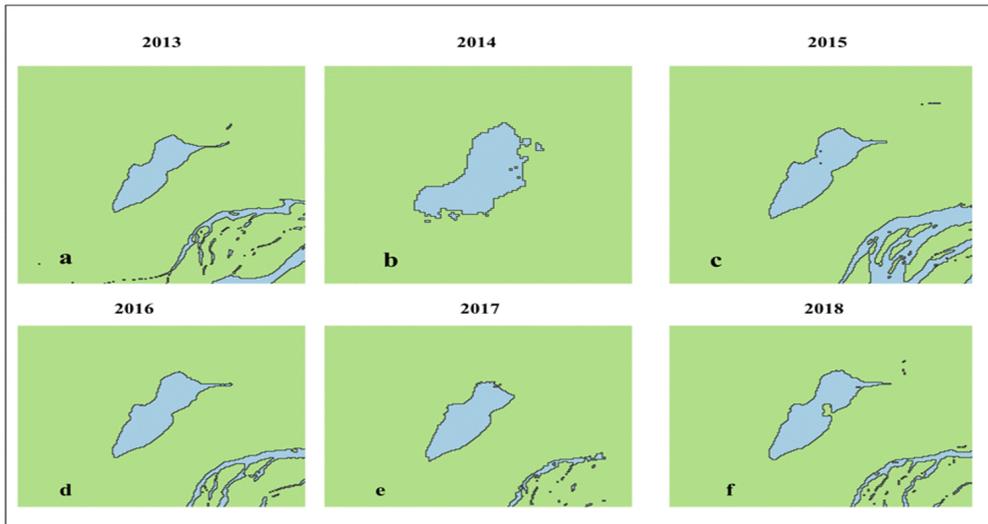


Figura 1. Análisis multitemporal de los espejos de agua en los años (2013 - 2018)

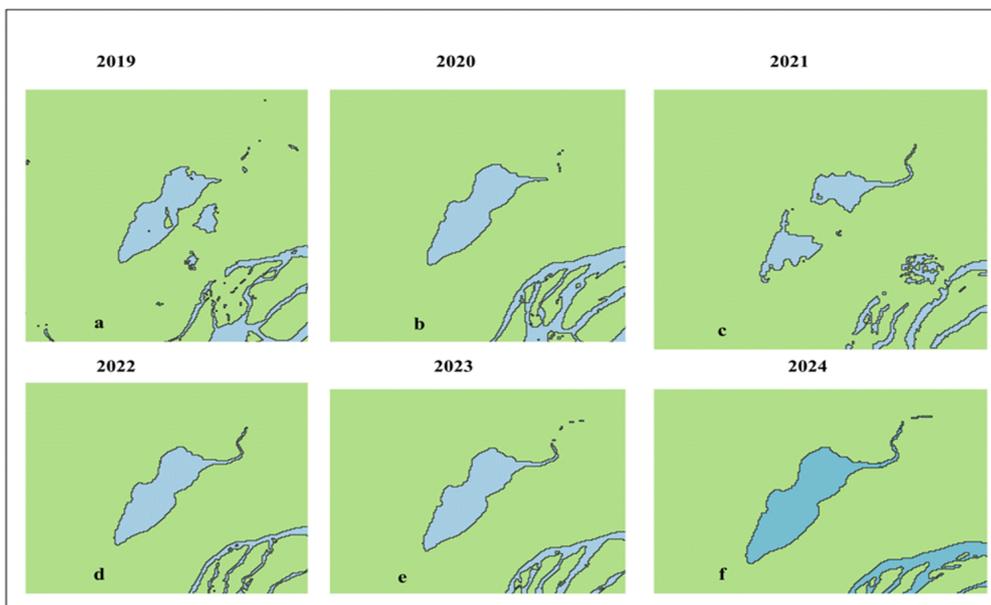


Figura 2. Análisis multitemporal de los espejos de agua en los años (2019 - 2024)

Tabla 3. Resultados del modelo de Regresión Lineal

Variable Independiente	Coficiente	Valor p
Temperatura media (°C)	-15.234	0.028*
Precipitación anual (mm)	0.048	0.012*
Evapotranspiración (mm/año)	-0.086	0.034*
Constante	654.321	0.001**
R <sup>2</sup> ajustado	0.783	
Error estándar	12.245	
F-estadístico	15.678	
Valor p (modelo)	0.001	

El análisis de los Componentes Principales [Tabla 4](#) y [5](#), reveló que los tres primeros componentes explican el 100% de la variabilidad del sistema. El primer componente (53,62% de varianza) mostró una fuerte correlación positiva entre la temperatura y evapotranspiración, mientras que el segundo

componente (30,85%) destacó la influencia de la precipitación sobre el área de la laguna. Estos hallazgos son concordantes con el estudio de [Zhong et al. \(2020\)](#), quienes identifican alteraciones hidrológicas significativas en regiones amazónicas debido a eventos extremos; además manifiesta que en eventos extremos de sequía puede explicar hasta el 30% de variaciones en cuerpos de agua superficiales, lo que resalta la necesidad de establecer una planificación adaptativa.

El modelo ARIMA [tabla 6](#), proyectó una estabilidad relativa del espejo de agua para los próximos 5 años, con un área estimada de 196,662.9 hectáreas. Sin embargo, estos pronósticos deben considerar la incertidumbre inherente a los cambios climáticos y las actividades antropogénicas en el área de estudio (laguna Limoncocha). La investigación de [Coral \(2023\)](#) respalda la importancia de los índices

**Tabla 4.** Resultados del PCA

Componente Principal	Eigenvalor	Varianza Explicada (%)	Varianza Acumulada (%)
PC1	2.145	53.62	53.62
PC2	1.234	30.85	84.47
PC3	0.621	15.53	100.00

**Tabla 5.** Cargas de los componentes

Variable	PC1	PC2	PC3
Temperatura	0.856	-0.324	0.123
Precipitación	-0.789	0.456	0.245
Evapotranspiración	0.823	0.467	-0.189
Área de la laguna	-0.745	0.567	0.234

**Tabla 6.** Pronóstico ARIMA

Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
196662.9	162885.5	230440.4	145004.8	248321.1
196662.9	162885.5	230440.4	145004.8	248321.1
196662.9	162885.5	230440.4	145004.8	248321.1
196662.9	162885.5	230440.4	145004.8	248321.1
196662.9	162885.5	230440.4	145004.8	248321.1

espectrales como herramientas fundamentales para comprender la dinámica de los ecosistemas acuáticos, validando la aproximación metodológica utilizada en este trabajo de investigación.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar estrategias de monitoreo continuo y desarrollar planes de gestión adaptativa que consideren tanto las tendencias climáticas como las dinámicas ecosistémicas locales para garantizar la sostenibilidad de la laguna Limoncocha frente al cambio climática.

### CONCLUSIONES

- El incremento térmico de 1.1°C en la laguna Limoncocha durante los años 2013 - 2024 evidencia una alteración del ecosistema acuático, superando las tasas promedio de calentamiento reportados en cuerpos de agua tropicales, lo que implica una mayor vulnerabilidad del sistema ante el cambio climático.
- La dinámica del espejo de agua exhibe una marcada sensibilidad a las variaciones climáticas, donde la temperatura emerge como el factor dominante de control, ejerciendo una influencia negativa sobre la extensión del cuerpo de agua (-15,23 ha/°C), lo cual sugiere un riesgo potencial de contracción del ecosistema bajo escenarios de calentamiento continuo.
- El modelo predictivo ARIMA, con un nivel de confianza del 95%, establece una tendencia hacia la estabilidad relativa del espejo de agua en el corto plazo. Sin embargo, la significancia variabilidad histórica observada (rango de 93,4%) indica la necesidad de implementar sistemas de monitoreo continuo para detectar cambios abruptos en el ecosistema.

- La variabilidad espacial y temporal identificada en el espejo de agua de la laguna Limoncocha constituye un indicador temprano de la respuesta de los ecosistemas acuáticos tropicales al cambio climático, enfatizando la urgencia de establecer medidas de conservación y manejo sostenible.

### REFERENCIAS

- Albán , D., & Quilumba , M. (2021). *Evaluación de la pérdida del espejo de agua de las lagunas Caricocha, Chiriyacu y Huarmicocha mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales en el periodo de 2000 a 2020 y propiedades físico-químicas de aguas y sedimentos para el manejo adecuado*. Universidad de las Fuerzas Armadas , Quito - Ecuador . <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/27481/1/T-ESPE-018143.pdf>
- Bolaños , S., Betancur, T., Salazar , J., & Werner, M. (2023). Considerations on the water supply of the aquifer-wetland systems in Colombia from the GRACE satellites data interpretation. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(1), 97 - 120. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.57-1.6>
- Brito , A., Newton, A., Tett , P., & Fernández , T. (2012). How will shallow coastal lagoons respond to climate change? A modelling investigation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 112, 98 - 104. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.09.002>
- Coral , K. (2023). *Evaluación de la contaminación y del riesgo ecológico potencial de metales y As en sedimentos y suelos de la Reserva Biológica de Limoncocha, Amazonia Ecuatoriana*. UCrea. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/30158>

- Doorga, J., Pasnín, O., Dindoyal, Y., & Díaz, C. (2023). Risk assessment of coral reef vulnerability to climate change and stressors in tropical islands: The case of Mauritius. *Science of The Total Environment*, 891. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164648>
- Ferrelli, F., Brendel, A., & Piccolo, C. (2020). Evaluación de eventos secos y húmedos en el contexto del cambio climático: El caso del sur de la región Pampeana (Argentina). *Papeles de Geografía*(66), 27 - 46. <https://doi.org/10.6018/geografia.431671>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2017). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F: Mc Graw Hill Education. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Jácome, E., Vallejo, B., & Gómez de la Torre, M. (2019). Impacts of climate change on the aquatic flora of Lagunas Verdes, Chiles Volcano, Ecuador. *Biota Colombiana*, 20(2), 20 - 31. <https://doi.org/10.21068/c2019.v20n02a02>
- Jarrín, A., Salazar, J., & Martínez, M. (2017). Evaluación del riesgo a la contaminación de los acuíferos de la Reserva Biológica de Limoncocha, Amazonía Ecuatoriana. *Ambiente & Agua - An Interdisciplinary*, 12(4), 652-665. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92851634011>
- Mejía, V. (2020). Morfología urbana y proceso de urbanización en Ecuador a través de la imagen satelital nocturna de la Tierra, 1992-2012. *EURE*, 46(138), 190 - 213. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612020000200191&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612020000200191&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Mosquera, M. (2014). *Desarrollo de un modelo de balance hídrico de la laguna de Limoncocha*. Universidad Internacional SEK, Quito - Ecuador. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1004/1/Anabell%20Mosquera%20Andrade%20TESIS%20DE%20GRADO.pdf>
- Muñoz, W., Bedoya, O., & Rincón, M. (2020). Aplicación de rees neuronales para la reconstrucción de series de tiempo de precipitación y temperatura utilizando información satelital. *Revista EIA*, 17(34), 1 - 20. DOI: <https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1292>
- Murad, C., Pearse, J., & Hogot, C. (2024). Monitoreo multitemporal de páramos como fuentes críticas de agua en el centro de Colombia. *Scientific reports*, 1(743). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67563-z>
- Pech, F., Sánchez, J., Sánchez, H., & Magaña, J. (2020). Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2. *Lamprakos*(24), 48-59. DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3601>
- Reyes, A. D., & Baxter, R. (2024). Evaluación de la resiliencia y los efectos a largo plazo del cambio climático en la superficie del Lago de Yojoa. *Medio ambiente sostenible*. <https://doi.org/10.1080/27658511.2024.2385734>
- Reyes, V., Vieira da Cunha, J., & Caviedes, J. (2022). Impacto del cambio climático en lagunas tropicales: un estudio de caso en la Amazonía. *Antropologías del sur*. <http://dx.doi.org/10.25074/rantros.v9i17.2317>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2017). *Informe de la situación lluviosa en el Ecuador*. Quito Ecuador. [https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/03/InformeSituacion\\_EpocaLluviosa\\_23012017\\_11h30.pdf](https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/03/InformeSituacion_EpocaLluviosa_23012017_11h30.pdf)
- Vargas, W., Castrejón, M., & Hinojosa, R. (2021). Machine Learning as a Tool to Determine the Variation of Water Resources Water Resources. *Scientific Research Journal*, 1(1), 56 - 69. <https://doi.org/10.53942/srjci.v1i1.46>
- Wolfgang, J., Shuqing, A., Finlayson, C., Brij, G., Květ, J., & Mitchell, S. (2013). Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: a synthesis. *Aquatic Sciences*, 75, 151 - 167. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00027-012-0278-z>
- Woolway, L., Kraemer, B., Lenters, J., & Merchant, C. (2020). Global lake responses to climate change. *Nature reviews earth & environment*, 1, 388-403. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0067-5>
- Zhichao, L., Yujie, F., Nadine, D., Delaitre, E., Gurgel, H., & Gong, P. (2019). Continuous Monitoring of the Spatio-Temporal Patterns of Surface Water in Response to Land Use and Land Cover Types in a Mediterranean Lagoon Complex. *Remote Sensing*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/rs11121425>
- Zhong, G., Yoo, T., Xie, H., & Yang, K. (2020). Response of Tibetan Plateau lakes to climate change: Trends, patterns, and mechanisms. *Earth-Science Reviews*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103269>