

Percepción estudiantil sobre la calidad ambiental del agua y validación con evidencias de laboratorio en la Bahía Interior de Puno

Student Perception of Water Quality and Validation with Laboratory Evidence in Puno's Inner Bay

Tahiri Kristhel NINA PAYE¹
Kely MAMANI COARITE²
Alex Ronaldo MAMANI ISCARA³
Milton Yoseph ALVAREZ LAQUISE⁴
Diana Rosmery HUANCA COPAJA⁵
Dr. Fortunato ESCOBAR MAMANI⁶ (mentor)

Fecha de recepción: 01/09/2024
Fecha de aceptación: 12/11/2025
Fecha de publicación en línea: 30/11/2025

Sección: **Artículo original**

Cómo citar este artículo: -NINA PAYE, T. K., MAMANI COARITE, K., MAMANI ISCARA, A. R. . . , ALVAREZ LAQUISE, M. Y. . . , HUANCA COPAJA, D. R., & Escobar-Mamani, F. (2025). Percepción estudiantil sobre la calidad ambiental del agua y validación con evidencias de laboratorio en la Bahía Interior de Puno. *Journal of Humanities Titicaca*, 4(2), 187-204. <https://doi.org/10.70123/jht.103>

RESUMEN

El Lago Titicaca, ecosistema estratégico, enfrenta presiones antrópicas que comprometen su calidad ambiental. En la Bahía Interior de Puno convergen descargas urbanas que intensifican la percepción de riesgo. Este estudio estima cómo las percepciones sobre cuatro presiones (acuicultura, minería/metales, gestión de residuos y pérdida de biodiversidad) explican la percepción global de impactos, y las contrasta con un referente técnico acreditado (Laboratorios Analíticos del Sur–Arequipa), empleado únicamente con fines descriptivos. Se

¹ Universidad Nacional del Altiplano – Puno; Correo Electrónico tninap@est.unap.edu.pe

² Universidad Nacional del Altiplano – Puno; Correo Electrónico kemamanico@est.unap.edu.pe

³ Universidad Nacional del Altiplano – Puno; Correo Electrónico amamanii@est.unap.edu.pe

⁴ Universidad Nacional del Altiplano – Puno; Correo Electrónico malvarezl@est.unap.edu.pe

⁵ Universidad Nacional del Altiplano – Puno; Correo Electrónico 72506725@est.unap.edu.pe

⁶ Universidad Nacional del Altiplano – Puno; Correo Electrónico fescobar@unap.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3922-4621>

aplicó una encuesta a 1,011 estudiantes de la Universidad Nacional del Altiplano (escala Likert 1–5). Económicamente, se estimó un modelo logístico ordenado (Ologit) con PIA5 (impacto global) como dependiente y PIA1–PIA4 como predictores; se verificó el supuesto de odds proporcionales (prueba de Brant) y se calcularon efectos marginales. En paralelo, se analizaron 90 respuestas abiertas para identificar temas espontáneos. El Ologit muestra ajuste significativo (LR $\chi^2(4)=429.53$; $p<0.001$; Pseudo- $R^2\approx 0.143$): minería/metales y pérdida de biodiversidad exhiben los efectos positivos más robustos; residuos presenta un efecto menor y la acuicultura no resulta significativa. El análisis cualitativo privilegia marcos valorativos y propositivos (turismo/identidad/educación) y reconoce preocupaciones por metales y ecosistemas. El informe ALS-2025 reporta, para dicha bahía, As=12.2 $\mu\text{g/L}$ (cumple ECA) y Hg=0.000171 mg/L (excede ECA); estos datos no se emplean en regresiones y solo contextualizan riesgos “invisibles”. Concluimos que la percepción estudiantil constituye un proxy útil para priorizar educación y comunicación de riesgos, y orientar monitoreo trazable e intervenciones costo-efectivas. La participación de semilleros aporta una mirada integral económica, ambiental, social e institucional para la gobernanza del Titicaca.

PALABRAS CLAVE: Lago Titicaca; exposición ambiental; percepción estudiantil; laboratorio acreditado; gobernanza hídrica.

ABSTRACT

Lake Titicaca, a strategic ecosystem, faces anthropogenic pressures that compromise its environmental quality. In the Inner Bay of Puno, urban discharges converge, intensifying risk perception. This study estimates how perceptions about four pressures (aquaculture, mining/metals, waste management, and biodiversity loss) explain the global perception of impacts, and contrasts them with an accredited technical reference (Analytical Laboratories of the South–Arequipa), used solely for descriptive purposes. A survey was applied to 1,011 students from the National University of the Altiplano (Likert scale 1–5). Econometrically, an ordered logistic model (Ologit) was estimated with PIA5 (global impact) as dependent and PIA1–PIA4 as predictors; the proportional odds assumption was verified (Brant test) and marginal effects were calculated. In parallel, 90 open responses were analyzed to identify spontaneous themes. The Ologit shows significant fit (LR $\chi^2(4)=429.53$; $p<0.001$; Pseudo- $R^2\approx 0.143$): mining/metals and biodiversity loss exhibit the most robust positive effects; waste presents a minor effect and aquaculture is not significant. The qualitative analysis privileges evaluative and propositional frameworks (tourism/identity/education) and recognizes concerns about metals and ecosystems. The ALS-2025 report reports, for said bay, As=12.2 $\mu\text{g/L}$ (meets ECA standards) and Hg=0.000171 mg/L (exceeds ECA standards); these data are not used in regressions and only contextualize 'invisible' risks. We conclude that student perception constitutes a useful proxy for prioritizing education and risk communication, and guiding traceable monitoring and cost-effective interventions. The participation of research groups contributes an integral economic, environmental, social, and institutional perspective for Titicaca governance.

KEYWORD: Lake Titicaca; environmental exposure; student perception; accredited laboratory; water governance.

I. INTRODUCCIÓN

El Lago Titicaca, ecosistema clave de los Andes y patrimonio sociocultural de pueblos ribereños, enfrenta presiones antrópicas crecientes que comprometen sus funciones ecológicas y sus servicios para la población (Gómez-Arteta & Escobar-Mamani, 2022; Woolway et al., 2022). En la Bahía Interior de Puno convergen descargas urbanas, actividades agrícolas y portuarias que intensifican el deterioro de la calidad del agua y activan percepciones sociales de riesgo (Maldonado et al., 2023).

La literatura internacional muestra que los lagos de montaña—tradicionalmente considerados prístinos—experimentan eutrofización, desoxigenación y acumulación de contaminantes persistentes por el cambio climático y el uso del suelo (Jane et al., 2021; Machate et al., 2023; Rodríguez-Iruretagoiena et al., 2023; Sojka et al., 2022). En América Latina, episodios de floraciones nocivas y conflictos por la calidad del agua han evidenciado la necesidad de integrar monitoreo técnico con información social para sustentar decisiones de política (Flores-Anderson et al., 2020; Ávalos et al., 2024; Maligaya et al., 2024).

Dentro de este marco, la percepción ambiental - y en particular la exposición y conocimiento que reportan actores locales - ofrece señales tempranas y contextualizadas sobre el estado del recurso hídrico y la aceptabilidad de medidas de gestión (Gan et al., 2022; Grupper et al., 2021; Okumah et al., 2020). La medición confiable de esta dimensión exige escalas psicométricas válidas y consistentes, así como un enfoque de métodos mixtos que triangule lo social con la evidencia fisicoquímica (Cuadrado et al., 2024; Nowell et al., 2017; Fetters et al., 2013).

La presente contribución se circunscribe a la percepción de impactos ambientales medida mediante los ítems PIA1–PIA5 (acuicultura, minería/metales, residuos, biodiversidad e impacto global). Contrastamos estas percepciones con un referente técnico acreditado (ALS–Arequipa, 2025) de uso exclusivamente descriptivo por tratarse de muestra única.

Al adoptar este encuadre, evitamos deliberadamente duplicaciones con evaluaciones fisicoquímicas previas y nos concentramos en el nexo percepción–evidencia de laboratorio. La literatura sobre eutrofización y co-limitación de nutrientes sugiere que los atributos “visibles” (p. ej., transparencia, coloración asociada a clorofila) suelen anclar los juicios ciudadanos, mientras que contaminantes “invisibles” requieren información técnica para ser internalizados (Paerl et al., 2024; Zhou et al., 2022; Swann et al., 2024). Este sesgo perceptual refuerza el valor de vincular el PIP_idx con resultados de un laboratorio externo acreditado, capaz de ofrecer parámetros trazables y comparables con estándares.

En este sentido, los antecedentes empíricos muestran que la percepción estudiantil constituye un insumo estratégico para la gestión del riesgo ambiental, ya que refleja tanto la proximidad cotidiana al recurso como la sensibilidad frente a información técnica que confirma o refuta sus expectativas (Balžekienė et al., 2024; Rangecroft et

al., 2023, 2024). Integrar estas dimensiones en la gestión del Lago Titicaca fortalece la legitimidad social de las políticas y abre espacios de cooperación entre academia, sociedad civil e instituciones públicas.

Marco teórico–epistemológico y rol formativo. El estudio se inscribe en la economía ambiental e institucional (externalidades, bienes comunes, costos de transacción, gobernanza policéntrica). Este encuadre permite interpretar la percepción estudiantil como insumo para instrumentos de política (estándares, incentivos, regulación, acuerdos cooperativos) y visibiliza el papel de los semilleros de Ingeniería Económica (UNA Puno) como puente entre evidencia científica y decisiones públicas.

En esta contribución estimamos cómo las percepciones de los estudiantes de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, sobre acuicultura, minería/metales, gestión de residuos y pérdida de biodiversidad explican la percepción global de impactos (PIA5) y otras en la Bahía Interior de Puno, y las contrastamos con resultados de un laboratorio acreditado (Laboratorios Analíticos del Sur–Arequipa, 2025). Con ello, reforzamos la comprensión del riesgo ambiental y aportamos insumos para educación, comunicación de riesgos y políticas costo-efectivas de saneamiento y control de fuentes.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El análisis se sitúa en la Bahía Interior de Puno (Lago Titicaca, 3812 m s. n. m.), zona de alta presión antrópica por descargas urbanas, actividades agropecuarias y tráfico portuario, con relevancia ecológica y social para la población universitaria local.

2.2. Diseño metodológico

Se adoptó un diseño mixto convergente: (i) componente cuantitativo mediante encuesta a estudiantes y modelación econométrica; (ii) componente cualitativo a partir de respuestas abiertas para capturar percepciones espontáneas. En paralelo, se integró evidencia fisicoquímica acreditada (ALS-Arequipa, 2025) como contraste técnico externo para discutir la verosimilitud de las percepciones, sin uso econométrico dada su naturaleza puntual (una sola muestra).

2.3. Población, muestra y levantamiento

Se encuestaron 1,011 estudiantes de pregrado de la Universidad Nacional del Altiplano (diversas facultades). Muestreo no probabilístico por cuotas (facultad/semestre) con

aplicación presencial y consentimiento informado. Se excluyeron cuestionarios con omisiones sustantivas en las variables de interés. La escala Likert utilizada fue de 1 (total desacuerdo) a 5 (total acuerdo).

Equipo y rol de semilleros de investigación fue el diseño del cuestionario, el pilotaje, la logística de trabajo de campo, la limpieza de bases, la estimación econométrica y la codificación cualitativa fueron liderados por semilleros de investigación de la Facultad de Ingeniería Económica (UNA Puno), con supervisión docente líder de acuerdo a las bases de vicerrectorado de investigación. Esta participación fortaleció competencias en econometría aplicada, métodos cualitativos, ética de investigación y traducción de hallazgos para audiencias de política pública y comunitaria dentro de los procesos de tratamiento socio ambiental de la economía.

2.4. Variables de encuesta y armonización

El estudio focaliza la percepción de impactos ambientales por cuatro presiones y una valoración global:

- PIA1 (Acuicultura): “La acuicultura en el lago afecta negativamente la calidad del agua.”
- PIA2 (Minería/metales): “Las actividades mineras en la cuenca incrementan la contaminación por metales pesados.”
- PIA3 (Residuos sólidos): Ítem sobre (in)adecuación de la gestión de residuos. Para mantener la misma direccionalidad interpretativa (valores mayores = mayor reconocimiento de impacto negativo), se aplicó recodificación inversa cuando el enunciado original estaba en positivo (p. ej., $PIA3r = 6 - PIA3$).
- PIA4 (Biodiversidad): “Las actividades humanas han disminuido significativamente la biodiversidad.”
- PIA5 (Impacto global): percepción global de impactos ambientales en las orillas del lago (variable dependiente).

Tratamiento de datos: limpieza de atípicos evidentes por error de digitación, eliminación por lista de casos con faltantes en PIA1–PIA5 y controles, y verificación de consistencia direccional tras la recodificación de PIA3.

2.5. Análisis cualitativos

Las respuestas abiertas se procesaron con análisis temático (codificación abierta y axial), identificando ejes minería/metales, residuos sólidos, acuicultura y pérdida de biodiversidad para triangular con los hallazgos del modelo (Nowell et al., 2017).

2.6. Evidencia fisicoquímica externa (contraste no econométrico)

Se utilizó el informe acreditado de Laboratorios Analíticos del Sur – Arequipa (2025, INACAL LE-050), con métodos EPA 200.8 (ICP-MS) y EPA 200.7 (ICP-OES), como

referente técnico independiente para contextualizar la preocupación por contaminantes y presiones antrópicas. Dado que se trata de una única muestra puntual, estos datos no se incorporan como regresores ni para correlaciones. La comparación con ECA-Agua (D.S. N.º 004-2017-MINAM) se reporta para contextualizar cumplimiento/exceso.

2.7. Modelos econométricos

Se estimó un Ologit con PIA5 como variable dependiente y PIA1–PIA4 como predictores; errores estándar robustos, prueba de Brant y efectos marginales. Los datos de ALS-Arequipa (2025) no se incorporaron como regresores por tratarse de una sola muestra; se usaron solo como contraste técnico independiente.

$$\begin{aligned} \text{logit} [P(y_i \leq j | x_i)] &= k_j - x'_i \beta, \quad j = 1, \dots, j - 1 \\ P(y_i = j | x_i) &= \Lambda(k_j - x'_i \beta) - \Lambda(k_{j-1} - x'_i \beta) \end{aligned}$$

Donde y_i es PIA5 y $x_i = \text{PIA1, PIA2, PIA3r, PIA4}$. Se reportaron errores estándar robustos (Huber–White). El supuesto de odds proporcionales se verificó con la prueba de Brant (Brant, 1990). Ante evidencia de incumplimiento, se consideró la especificación ordenada generalizada / odds parciales (Williams, 2006, 2016).

2.8. Diagnósticos y robustez

Se informó LR χ^2 frente al modelo nulo, Pseudo- R^2 , y AIC/BIC. Se inspeccionó colinealidad entre PIA1–PIA4 (correlaciones de Spearman/policóricas). Se reportaron efectos marginales promedio por categoría para interpretar cambios en la probabilidad de niveles altos de impacto global (Williams, 2016). Como sensibilidad, se estimó una variante con clustering de errores por facultad.

2.9. Software y reproducibilidad

El procesamiento se realizó en Stata 17 (comandos ologit, brant, margins) y/o R (paquetes equivalentes). Se documentaron scripts, versiones y semillas de aleatorización para asegurar la replicabilidad.

2.10. Consideraciones éticas

Participación voluntaria y anónima, con consentimiento informado. Sin recolección de datos sensibles. La investigación se ajusta a la normativa ética nacional y a la Declaración de Helsinki.

III. RESULTADOS

En principio el modelo logístico ordenado para la percepción global de impactos (PIA5) muestra buen ajuste global (LR $\chi^2(4)=429.53$; $p<0.001$), con Pseudo- $R^2\approx 0.143$ y LogLik=-1284.86 (Tabla 1), lo que indica que las percepciones específicas sobre presiones antrópicas (PIA1–PIA4) explican en conjunto una fracción sustantiva de la variación en la valoración global.

El modelo presenta ajuste global significativo (LR $\chi^2(4)=429.53$; $p<0.001$) y Pseudo- $R^2\approx 0.143$, indicando que las percepciones específicas explican una fracción sustantiva de la variación en la percepción global (PIA5).

Determinantes perceptuales (Tabla 1). Dos presiones antrópicas exhiben asociaciones positivas y robustas con la probabilidad de ubicarse en categorías altas de impacto global (PIA5=4–5): minería/metales (PIA2) [$\beta=0.570$; $p<0.001$] y pérdida de biodiversidad (PIA4) [$\beta=0.582$; $p<0.001$]. La gestión de residuos (PIA3r) también muestra un efecto positivo, pero de menor magnitud [$\beta=0.120$; $p\approx 0.01$]. En contraste, acuicultura (PIA1) no resulta significativa [$\beta\approx 0.029$; $p=0.602$]. La prueba de Brant respalda el supuesto de odds proporcionales, por lo que la interpretación de coeficientes y marginales se mantiene válida en todo el rango de categorías.

Efectos marginales. Los ME confirman que aumentos unitarios en PIA2 y PIA4 se traducen en incrementos de la probabilidad de ubicar la percepción global en niveles altos (4–5), manteniéndose constantes las demás percepciones. En PIA3r, el efecto es positivo, pero más pequeño, coherente con su coeficiente. La PIA1 no produce cambios estadísticamente relevantes. Esta lectura probabilística facilita comunicar el peso relativo de cada presión en la percepción global.

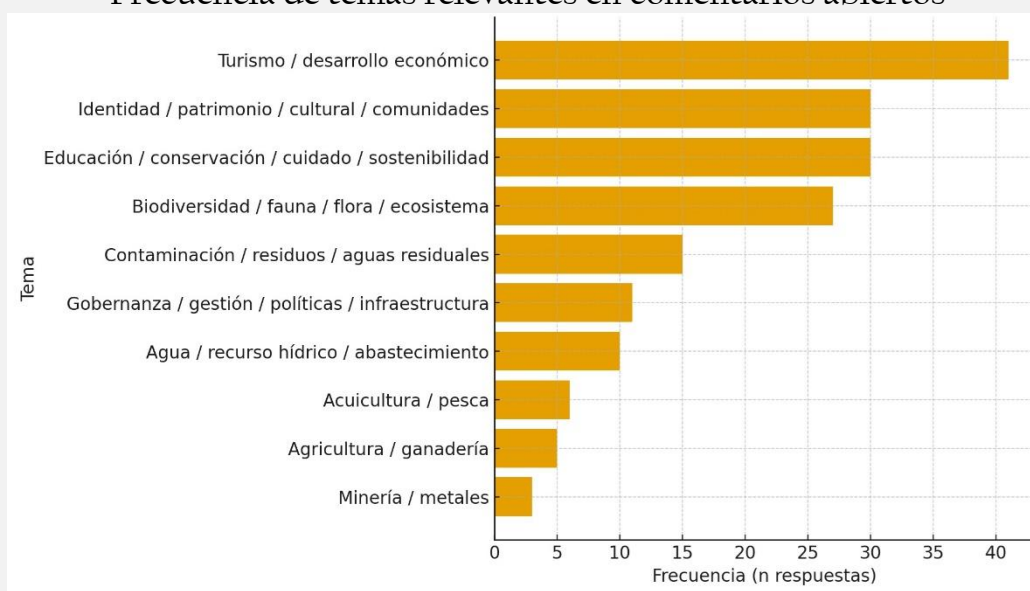
Triangulación cualitativa. El análisis de respuestas abiertas muestra una mayor saliencia de minería/metales y pérdida de biodiversidad, seguida por residuos sólidos; acuicultura aparece con menor peso relativo. Esta jerarquía coincide con los tamaños de efecto del Ologit (PIA2 \approx PIA4 > PIA3r > PIA1), fortaleciendo la coherencia interna del estudio.

En la frecuencia de temas en comentarios abiertos recabados dentro de la encuesta se evidencia que las respuestas libres muestran una primacía de referencias a turismo y desarrollo económico (45.6%), seguidas por identidad/patrimonio cultural (33.3%) y educación–conservación/cuidado (33.3%). También destacan biodiversidad/ecosistema (30.0%) y, en menor medida, contaminación–residuos–aguas residuales (16.7%) y gobernanza/gestión/infraestructura (12.2%). Los ejes

agua/abastecimiento (11.1%) y acuicultura/pesca (6.7%) aparecen con presencia moderada; agricultura/ganadería (5.6%) y minería/metales (3.3%) registran menor mención. Esta jerarquía espontánea, fuertemente vinculada al valor cultural, económico y educativo del lago, complementa los resultados econométricos y aporta una lectura “desde el discurso” sobre qué dimensiones activan más la valoración estudiantil (Figura 2).

Frecuencia temática y coherencia con el modelo. El análisis de 90 respuestas abiertas corrobora la primacía de marcos valorativos y propositivos (turismo/identidad/educación) y la presencia—aunque menor—de menciones a metales y biodiversidad. Este patrón es coherente con el gradiente de efectos del Ologit (PIA2≈PIA4 > PIA3r > PIA1).

Figura 1
Frecuencia de temas relevantes en comentarios abiertos



Nota: percepción cualitativa libre de pregunta no estructurada de las encuestas

Contraste técnico independiente. El informe acreditado de ALS-Arequipa (2025) para la Bahía Interior de Puno reporta arsénico (As) = 12.2 µg/L (dentro del ECA) y mercurio (Hg) = 0.000171 mg/L (por encima del ECA), además de otros analitos (p. ej., Mn = 0.136 mg/L y P total = 0.885 mg/L). Dado que se trata de una muestra única, estos datos no se emplean en regresiones ni correlaciones; se utilizan solo como referente técnico para contextualizar la verosimilitud de percepciones fuertemente asociadas a minería/metales y a pérdida de biodiversidad, es decir, contaminantes y procesos muchas veces “invisibles” sin medición analítica.

Tabla 1.

Modelo logístico ordenado (Ologit) para la percepción global de impactos (PIA5)

Variable	β	EE robusto	z	p-valor	Signo
PIA1 (Acuicultura)	0.0293	0.0562	0.52	0.602	+
PIA2 (Minería/metales)	0.5702	0.0638	8.93	<0.001	+
PIA3r (Residuos, recodificada*)	0.1199	0.0468	2.56	0.010	+
PIA4 (Biodiversidad)	0.5815	0.0655	8.87	<0.001	+

Notas: ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Estadísticos del modelo: $N = 1,011$; $\text{LogLik} = -1284.8606$; $\text{LR } \chi^2(4) = 429.53$ ($p < 0.001$);
 Pseudo- $R^2 = 0.1432$; $\text{AIC} = 2.5576$; $\text{BIC} = 2.5965$.

Prueba de Brant (odds proporcionales): no se rechaza el supuesto

Notas: EE = error estándar. Se reportan errores estándar robustos (Huber–White).

(*) PIA3r: recodificación para mantener la misma direccionalidad interpretativa (valores mayores = mayor reconocimiento de impacto negativo).

Tabla 2.

Efectos marginales promedio (ME) sobre la probabilidad de ubicarse en categorías altas de PIA5 (4–5)

Variable	Dirección del efecto sobre $P(\text{PIA5} = 4-5)$	Significancia
PIA1 (Acuicultura)	≈ 0 (sin cambio relevante)	n.s.
PIA2 (Minería/metales)	Aumenta	$p < 0.001$
PIA3r (Residuos, recodificada*)	Aumenta (magnitud menor)	$p \approx 0.01$
PIA4 (Biodiversidad)	Aumenta	$p < 0.001$

Notas: ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Notas: ME calculados con marginales a partir del Ologit de la Tabla 1. Valores numéricos detallados y desagregados por categoría disponibles en el anexo técnico (salida del software).

Tabla 3.

*Analitos seleccionados del informe acreditado ALS-Arequipa (2025) para Bahía Interior de Puno***

Parámetro	Valor reportado	Unidad	Estándar de referencia (ECA, Cat. 4 – lagos/lagunas)	Estado
Arsénico (As)	12.2	µg/L	≤ 150 µg/L	Aceptado
Mercurio (Hg)	0.000171	mg/L	≤ 0.000130 mg/L	Rechazado
Manganeso (Mn)	0.136	mg/L	—	—
Fósforo total (P)	0.885	mg/L	—	—

** Muestra (01/08/2025; ICP-MS EPA 200.8 e ICP-OES EPA 200.7). Los resultados aplican solo a la muestra ensayada y se emplean exclusivamente como referente descriptivo externo (no econométrico).

IV. DISCUSIÓN

Los hallazgos indican que las percepciones específicas sobre minería/metales (PIA2) y pérdida de biodiversidad (PIA4) explican con mayor fuerza la percepción global de impactos (PIA5), mientras que residuos sólidos (PIA3r) aporta un efecto positivo menor y la acuicultura (PIA1) no resulta significativa. Este patrón es coherente con la literatura que documenta cómo las presiones difusas e históricas en cuencas altoandinas—en especial las actividades mineras y los cambios de uso del suelo—se traducen en degradación ecológica sostenida, pérdida de hábitats y compromisos de los servicios ecosistémicos de lagos de montaña (Jane et al., 2021; Sojka et al., 2022; Machate et al., 2023; Rodríguez-Iruretagoiena et al., 2023). En el contexto del Titicaca, la Bahía Interior de Puno concentra externalidades urbanas y productivas que amplifican la percepción de riesgo por parte de los actores locales (Gómez-Arteta & Escobar-Mamani, 2022; Maldonado et al., 2023).

En la práctica, las probabilidades marginales del Ologit permiten segmentar acciones (educación, fiscalización, inversión) e integrar incentivos, regulación y co-beneficios (turismo/biodiversidad) en portafolios viables para el gobierno local.

La saliencia de minería/metales y biodiversidad observada en el modelo se alinea con dos mecanismos bien descritos. Primero, los contaminantes tóxicos “invisibles” (p. ej.,

algunos metales) generan alta preocupación aun cuando no siempre son perceptibles a simple vista, especialmente cuando mediatizan relatos comunitarios o cobertura mediática sobre eventos de contaminación (Okumah et al., 2020; Gan et al., 2022; Grupper et al., 2021). Segundo, los atributos visibles del deterioro ecológico (p. ej., pérdida de transparencia, vegetación acuática anómala, mortandad de peces) operan como atajos cognitivos que refuerzan juicios de calidad y riesgo, en línea con la literatura sobre eutrofización y co-limitación de nutrientes (Paerl et al., 2024; Zhou et al., 2022; Swann et al., 2024). La combinación de ambos—riesgo invisible y señales visibles—ayuda a explicar por qué PIA2 y PIA4 cargan mayor peso en la valoración global.

El análisis cualitativo complementa y robustece esta lectura: en las respuestas abiertas emergen de manera consistente narrativas sobre metales pesados, “aguas sucias” y pérdida de fauna/ flora, lo que coincide con el gradiente de efectos del Ologit ($PIA2 \approx PIA4 > PIA3r > PIA1$). Esta convergencia métodos-mixtos es relevante porque las percepciones no son meros opináticos: son insumos tempranos y contextualizados para la gestión del riesgo, especialmente cuando se capturan con instrumentos psicométricos adecuados y se triangulan con evidencia independiente (Fetters et al., 2013; Nowell et al., 2017; Cuadrado et al., 2024).

El contraste técnico con el informe acreditado por INACAL (ALS-Arequipa, 2025) aporta una pieza adicional a la coherencia externa: aunque se trate de una muestra única (y, por ende, no apta para correlaciones o regresiones), el reporte de Hg por encima del ECA y la cuantificación de otros analitos son consistentes con la preocupación social por metales reflejada en PIA2. En términos de gobernanza, esta coincidencia entre percepción y medición puntual (sin pretensión de inferencia causal) refuerza la pertinencia de estrategias que combinen monitoreo técnico trazable con educación y comunicación de riesgos orientadas a contaminantes no perceptibles sin análisis (Piontek et al., 2023; Teubner et al., 2020).

Respecto a residuos sólidos (PIA3r), el efecto positivo pero moderado puede obedecer a dos factores. Por un lado, heterogeneidad espacial en la gestión municipal y comunitaria, que genera señales mixtas para los encuestados. Por otro, posibles ambigüedades semánticas del ítem original—formulado en positivo—que, aun recodificado para mantener direccionalidad, puede inducir variabilidad en la interpretación. En futuras aplicaciones conviene refinar la redacción y evaluar indicadores observables (p. ej., frecuencia de recolección, puntos críticos de disposición) que capten mejor la experiencia cotidiana con residuos.

La no significancia de la acuicultura (PIA1) en la percepción global no implica irrelevancia sustantiva; más bien sugiere que, en el estado actual de información y exposición de los estudiantes, otras presiones (minería y biodiversidad) dominan la jerarquía de preocupaciones. Esto es consistente con evidencia regional donde la acuicultura artesanal o semi-intensiva tiene efectos localizados y heterogéneos, menos

salientes que descargas urbanas o pasivos mineros (Flores-Anderson et al., 2020; Ávalos et al., 2024; Maligaya et al., 2024).

Desde el punto de vista metodológico, el uso de modelos ordenados (Ologit) es apropiado para escalas Likert y permite interpretar efectos marginales en probabilidades, algo crucial para la comunicación con decisores y ciudadanía. La prueba de Brant respalda el supuesto de proporcionales, lo que aporta estabilidad a las inferencias en todas las categorías de PIA5 (Brant, 1990; Williams, 2006, 2016). La triangulación cualitativa agrega espesor explicativo a los signos y magnitudes encontradas, alineándose con buenas prácticas de métodos mixtos (Fetters et al., 2013; Nowell et al., 2017).

En términos de política pública y gestión, los resultados abren tres líneas operativas. Primero, educación ambiental focalizada en riesgos “invisibles” (metales) y en señales ecológicas de pérdida de biodiversidad, con materiales y narrativas adaptadas a públicos jóvenes. Segundo, fortalecimiento del monitoreo: pasar de mediciones puntuales a programas de muestreo rutinario, multi-sitio y multi-parámetro (nutrientes, metales, biota), con trazabilidad analítica y acceso público a datos, lo que también serviría para estudios econométricos futuros. Tercero, comunicación de riesgos basada en métricas comprensibles (p. ej., probabilidades marginales de ubicarse en “alto impacto”) y mensajes que integren lo técnico con lo vivencial, mejorando la aceptabilidad social de intervenciones en saneamiento y control de fuentes.

La alta frecuencia de menciones a turismo/desarrollo e identidad/patrimonio en las respuestas abiertas sugiere que, ante una pregunta formulada “a favor del lago”, los estudiantes priorizan marcos valorativos y propositivos (potencial económico, orgullo cultural, cuidado/educación) por encima de riesgos específicos. Ello no contradice el Ologit —donde minería y pérdida de biodiversidad explican mejor la percepción global de impactos— sino que revela un efecto de encuadre: las preguntas estructuradas sobre impactos movilizan preocupaciones ambientales concretas, mientras que las abiertas en clave positiva activan el valor socioeconómico y simbólico del Titicaca, junto con llamados a conservación y mejor gestión. Esta dualidad es útil para el diseño de comunicación y educación ambiental: anclar mensajes en el valor identitario y económico del lago, integrando evidencia científica sobre presiones menos visibles.

Teoría económica y del Ingeniero Economista en la gestión del Titicaca

Los resultados muestran que minería/metales y pérdida de biodiversidad son los ejes con mayor peso en la percepción de impacto. Desde la teoría económica, ello se interpreta como la presencia de externalidades y fallas de gobernanza en un bien

común (el lago) que requiere mecanismos combinados: estándares y fiscalización, incentivos (impuestos/pagos por desempeño), acuerdos cooperativos y provisión pública (p. ej., PTAR y gestión de residuos). La probabilidad marginal de ubicarse en “alto impacto” (derivada del Ologit) es un indicador comunicable que el ingeniero economista puede usar para segmentar intervenciones (educación, inspección, inversión) donde la percepción es más crítica.

El énfasis cualitativo en turismo/identidad/educación sugiere oportunidades de co-beneficios: políticas que reduzcan riesgos ambientales y, simultáneamente, mejoren competitividad turística y valor cultural. Aquí el ingeniero economista aporta herramientas de análisis costo-beneficio y costo-efectividad, valoración económica (p. ej., disposición a pagar, preferencias declaradas), cuentas de capital natural y análisis de cadenas de valor (pesca, turismo, acuicultura artesanal), para priorizar proyectos con mayor retorno social y menor costo ambiental.

La naturaleza “invisible” de ciertos contaminantes (p. ej., metales) pone en relieve instrumentos de información (etiquetado ambiental, reportes periódicos), monitoreo trazable y mecanismos de cumplimiento. El ingeniero economista puede articular tableros de seguimiento con indicadores de desempeño (CAPEX/OPEX de saneamiento, costo social del mercurio, métricas de biodiversidad) e integrar criterios múltiples (MCDA) cuando existan intercambios entre objetivos ambientales, sociales y fiscales. En síntesis, el perfil del ingeniero economista permite traducir percepción y ciencia en portafolios de política viables para gobiernos locales y regionales.

Dado el carácter puntual (una muestra), no es posible inferir variación estacional ni tendencias; su función en este manuscrito es descriptiva y de coherencia externa.

V. CONCLUSIONES

1. La percepción estudiantil es un proxy útil y accionable. El modelo ordenado muestra ajuste global significativo (LR $\chi^2(4)=429.53$; $p<0.001$; Pseudo- $R^2=0.143$): PIA2 (minería/metales) y PIA4 (biodiversidad) son los principales determinantes de PIA5, PIA3r (residuos) es positivo de menor magnitud y PIA1 (acuicultura) no es significativo.
2. Convergencia métodos-mixtos. La jerarquía econométrica (PIA2>PIA4 > PIA3r > PIA1) es coherente con la frecuencia temática del cualitativo (véase Figura 2), donde priman turismo/identidad/educación y aparecen preocupaciones por metales y ecosistemas.
3. Coherencia externa con evidencia técnica puntual. El informe ALS-2025 aporta verosimilitud a la preocupación por metales; su uso es exclusivamente descriptivo por tratarse de una muestra única (no se emplea en regresiones).
4. Implicancias para la política pública.

- a) Educación y comunicación de riesgos: priorizar mensajes sobre metales y biodiversidad, anclándolos en marcos de identidad y desarrollo que la comunidad valora (turismo, patrimonio).
 - b) Monitoreo ambiental: evolucionar desde mediciones puntuales a programas rutinarios, multi-sitio y multi-parámetro (nutrientes, metales, bioindicadores) con acceso público y trazabilidad.
 - c) Gestión territorial: articular control de fuentes mineras y urbanas, y mejorar la gestión de residuos; usar las probabilidades marginales del modelo para comunicar beneficios esperados de intervenciones.
5. Alcances y limitaciones. Resultados circunscritos a estudiantes universitarios (no representan a todos los actores); diseño transversal y autorreporte (posibles sesgos); evidencia fisicoquímica de carácter descriptivo por tratarse de una única muestra (no obstante que los resultados de laboratorio acreditado como las de INACAL es una información indiscutible y verificable desde cualquier lado); el ítem de residuos requiere mejoras semánticas (recodificación/afinamiento) para reforzar su interpretación.
 6. Agenda de investigación. Ampliar a muestras poblacionales y grupos clave (pescadores, hogares ribereños); integrar series temporales y redes de sitios con laboratorios acreditados; explorar modelos espaciales y ordenados generalizados cuando el supuesto de odds proporcionales no se sostenga; evaluar invarianza de medida del instrumento y realizar entrevistas cognitivas para optimizar los ítems de percepción.
 7. Rol de los semilleros de Ingeniería Económica que participación de manera activa, demostró que la formación aplicada en econometría, análisis cualitativo y diseño de políticas puede convertir datos de percepción en insumos operativos para la gestión del lago (segmentación de campañas, priorización de inversiones, trazabilidad de metas ambientales).
 8. Mirada integral y hoja de ruta en la gestión del Titicaca debe ser integral: combinar la visión económica (incentivos, costos/beneficios, cuentas de capital natural), ambiental y biogeoquímica (monitoreo multi-parámetro acreditado), social y cultural (identidad, turismo, educación) e institucional (gobernanza multinivel). Proponemos institucionalizar un Observatorio Socioambiental Universitario que articule percepción ciudadana, medición técnica acreditada y análisis económico para informar planes y presupuestos regionales.
 9. Complementariamente las implicancias para la formación y la política darían lugar a:
 - a) En la docencia y currículo a integrar módulos de valoración económica ambiental, SEEA, econometría de variables ordinales y métodos mixtos con casos del Titicaca.

- b) En la extensión universitaria: prácticas preprofesionales en monitoreo y evaluación de PTAR, residuos y turismo sostenible.
- c) En la política pública al uso de probabilidades marginales y tableros de seguimiento para focalizar inspección y educación ambiental.
- d) En la investigación aplicada: avanzar hacia series temporales y sitios múltiples con laboratorios acreditados; explorar modelos ordenados generalizados y valoración económica de co-beneficios turísticos y de biodiversidad.

VI. AGRADECIMIENTOS

La presente publicación se desarrolló gracias al Fondo Básico para la Investigación de Semilleros de Investigación, financiado por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA), como resultado del concurso institucional convocado en 2024 y abierto a todas las facultades de la UNA (RR 2384-2024-R.UNA-financiamiento ganadores semilla). Las opiniones y conclusiones aquí expuestas son responsabilidad exclusiva de los autores.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávalos, C. R., Sosa, G., Brozón, G. R., Díaz-Cubilla, M., Arrúa, R., & Bergier, I. (2024). Remote sensing and in-situ monitoring for water quality in South American lakes: A case-based synthesis. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 101027. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.101027>
- Balžekienė, A., Dromantaitė, L., Telešienė, A., & Svalbonas, A. (2024). Public perceptions of environmental risks and trust in science: A cross-national study. *Current Sociology*. <https://doi.org/10.1177/00113921241250047>
- Bateman, I. J., Keeler, B., Olmstead, S. M., & Whitehead, J. (2023). Perspectives on valuing water quality improvements using stated preference methods. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(18), e2217456120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2217456120>
- Brander, L. M., Wagtendonk, A. J., Hussain, S., & Verburg, P. H. (2022). On the potential use of the ecosystem services valuation database for invasive alien species policy. *One Ecosystem*, 7, e85085. <https://doi.org/10.3897/oneeco.7.e85085>
- Brant, R. (1990). Assessing proportionality in the proportional odds model for ordinal logistic regression. *Biometrics*, 46(4), 1171–1178. <https://doi.org/10.2307/2532457>
- Cuadrado, E., Molero-Jarilla, J., Muñoz-García, A., & Torres-Nombela, A. (2024). Understanding pro-environmental behaviours from water-quality risk perceptions. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04931-9>

- Fetters, M. D., Curry, L. A., & Creswell, J. W. (2013). Achieving integration in mixed methods designs—Principles and practices. *Annals of Family Medicine*, 11(6), 557–565. <https://doi.org/10.1370/afm.1471>
- Flores-Anderson, A. I., Griffin, R., Dix, M., Romero-Oliva, C. S., Ochaeta, G., Skinner-Alvarado, J., Ramírez Moran, M. V., Hernandez, B., Cherrington, E., Page, B., & Barreno, F. (2020). Hyperspectral satellite remote sensing of water quality in Lake Atitlán, Guatemala. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00007>
- Gan, Y., Gao, J., Zhang, J., Wu, X., Zhang, T., & Shao, M. (2022). University students' knowledge, attitudes, and behaviors related to marine environment pollution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24), 16671. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416671>
- Gómez-Arteta, I., & Escobar-Mamani, F. (2022). Saber Ambiental del Pueblo Uros del Lago Titicaca, Puno (Perú). *HALAC—Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña*, 12(1), 270–297. <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2022v12i1.p270-297>
- Grupper, M. A., Dulin, K. E., Roche, S. M., & Burbacher, T. M. (2021). How perceptions of trust, risk, tap water quality, and salience characterize drinking water choices. *Hydrology*, 8(1), 49. <https://doi.org/10.3390/hydrology8010049>
- Jane, S. F., et al. (2021). Widespread deoxygenation of temperate lakes. *Nature*, 594(7861), 66–70. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03550-y>
- Machate, T., Neumann, J., Groh, M., et al. (2023). Lake eutrophication—Drivers, indicators, and management: A comprehensive review. *Environmental Sciences Europe*, 35(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00710-3>
- Maldonado, I., Miranda-Mamani, J., & Paredes-Espinal, C. (2023). Anthropogenic impacts on water quality and biodiversity in Lake Titicaca. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 20, 100903. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100903>
- Maligaya, A. R., Collier, M. A., Zhou, X., et al. (2024). Engaging citizen science and Earth observation to monitor freshwater quality. *Remote Sensing*, 16(24), 4785. <https://doi.org/10.3390/rs16244785>
- Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria. *International Journal of Qualitative Methods*, 16, 1–13. <https://doi.org/10.1177/1609406917733847>
- Laboratorios Analíticos del Sur – Arequipa (ALS). (2025). *Informe técnico de resultados de laboratorio para muestras de agua—Bahía Interior de Puno*. <https://www.laboratoriosanaliticossur.com/>
- Okumah, M., Yeboah, A. S., & Bonyah, S. K. (2020). What matters most? Stakeholders' perceptions of river water quality. *Land Use Policy*, 99, 104824. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104824>

- Paerl, H. W., Plaas, H. E., Nelson, L., Preece, E. P., & Kudela, R. (2024). Dual nitrogen and phosphorus reductions are needed for long-term mitigation of eutrophication and harmful cyanobacterial blooms in hydrologically-variable estuaries. *Science of the Total Environment*, 957, 177499. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177499>
- Piontek, M., Czyżewska, W., & Mazur-Marzec, H. (2023). Effects of cyanotoxins on aquatic ecosystems. *Toxins*, 15(12), 703. <https://doi.org/10.3390/toxins15120703>
- Rangecroft, S., Sutherland, W. J., & Dicks, L. V. (2024). How to write policy briefs that inform environmental decision-making. *Geoscience Communication*, 7(2), 145–150. <https://doi.org/10.5194/gc-7-145-2024>
- Rangecroft, S., et al. (2023). Hydro-climatic change and water-quality risks in Andean lakes. *Journal of Hydrology*, 625, 129949. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129949>
- Rodriguez-Iruretagoiena, A., Gredilla, A., de Vallejuelo, S. F. O., et al. (2023). Microplastics in lakes: Occurrence, sources and implications—A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(37), 87561–87574. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28347-6>
- Sojka, M., Jaskuła, J., Barabach, J., Ptak, M., & Zhu, S. (2022). Heavy metals in lake surface sediments in protected areas in Poland: Concentration, pollution, ecological risk, sources and spatial distribution. *Scientific Reports*, 12, 15006. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19298-y>
- Swann, C. (2024). Lake aesthetics, ecological condition and public perception: Untangling longitudinal gradients. *Aquatic Sciences*, 86(2), 23. <https://doi.org/10.1007/s00027-024-01045-2>
- Teubner, K., Tolotti, M., & Ofenböck, T. (2020). Linking water transparency and chlorophyll-a in lakes: Implications for monitoring. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 573724. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.573724>
- Williams, R. (2006). Generalized ordered logit/partial proportional odds models for ordinal dependent variables. *The Stata Journal*, 6(1), 58–82. <https://doi.org/10.1177/1536867X0600600104>
- Williams, R. (2016). Understanding and interpreting generalized ordered logit models. *Journal of Mathematical Sociology*, 40(1), 7–20. <https://doi.org/10.1080/0022250X.2015.1112384>
- Woolway, R. I., Sharma, S., & Smol, J. P. (2022). Lakes in hot water: The impacts of a changing climate on aquatic ecosystems. *BioScience*, 72(11), 1050–1061. <https://doi.org/10.1093/biosci/biac052>
- Zhou, J., Han, X., Brookes, J. D., & Qin, B. (2022). High probability of nitrogen and phosphorus co-limitation occurring in eutrophic lakes. *Environmental Pollution*, 292(A), 118276. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118276>

ACERCA DE AUTORES

Los autores son estudiantes de la Facultad de Ingeniería Económica de la Universidad Nacional del Altiplano, integrantes de un semillero de investigación orientado al análisis ambiental y al desarrollo sostenible en la región altiplánica, reconocido oficialmente por Resolución Rectoral N° 1843-2024-R-UNA. Su formación académica combina herramientas de economía ambiental, econometría aplicada y gestión pública, lo que les permite abordar problemáticas socioambientales desde un enfoque interdisciplinario. Esta investigación constituye una de sus primeras experiencias formales de investigación científica, desarrollada bajo la guía de un mentor académico investigador. Su participación refleja el compromiso e interés de los jóvenes investigadores por contribuir con evidencia técnica y social al entendimiento de la calidad ambiental de la bahía del Lago Titicaca y a al diseño de estrategias que promuevan su protección y sostenibilidad.

ACERCA DEL MENTOR AUTOR

Dr. Ingeniero Economista (Universidad Nacional del Altiplano, Perú) con Maestría en FLACSO y Doctorado en Ciencia, Tecnología y Ambiente. Investigador CONCYTEC y revisor internacional en revistas Scopus/WOS. Ex Editor en Jefe del Journal of High Andean Research y Consultor CISA/ECOSOC-ONU. Especialista en gestión socioambiental, pública y empresarial. Combina docencia universitaria con asesoría en metodología de investigación, publicación científica y marketing digital académico, impulsando la formación profesional y el desarrollo sostenible regional.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no incurren en conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Los autores declaran haber desarrollado en su totalidad el presente estudio.

Fuentes de financiamiento

La investigación fue financiada por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA) según RR 2384-2024-R.UNA-financiamiento ganadores semilla).

Aspectos éticos y legales

Los autores declaran no haber incurrido en aspectos antiéticos, ni haber omitido aspectos legales en la realización de la investigación.