

Evaluación del impacto ambiental por emisiones atmosféricas y huella hídrica en las 5 empresas de transporte turístico del muelle de Puno – 2025

Resumen



Abdail Pinto Chipanas¹ 


abdailbrusyt@gmail.com

Julio Arestegui Flores¹ 

julio.arestegui@upeu.edu.pe

Bladimir Chura Pacha¹ 

bladimirchura5@gmail.com

Hugo Apaza–Aquino¹ 

hapaza89@gmail.com

El estudio evaluó el impacto ambiental generado por las emisiones atmosféricas y la huella hídrica en cinco empresas de transporte turístico del muelle de Puno durante el 2025. El objetivo fue identificar las principales fuentes de contaminación y comparar sus operaciones según combustible, frecuencia de viajes y uso del agua. La investigación siguió una metodología cuantitativo-descriptiva con componente comparativo, empleando el analizador TESTO 350 para medir CO, NO_x, SO₂ y O₂, además de entrevistas estructuradas a los responsables de cada empresa. Los resultados mostraron que Amantaní y Soqta Suyu registraron las mayores emisiones debido a sus rutas más extensas, mientras que las empresas que operan en Los Uros presentaron valores menores por la corta duración de sus trayectos, pero concentraron más del 80 % del consumo hídrico total por el lavado frecuente de embarcaciones. El análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre las empresas, confirmando la relación entre distancia recorrida, consumo de combustible y generación de emisiones. Se concluye que la sostenibilidad del transporte turístico en Puno requiere estrategias integradas de reducción de emisiones, optimización del uso del agua y mantenimiento preventivo, junto con políticas de monitoreo y educación ambiental para proteger el ecosistema del lago Titicaca.

Palabras clave: Emisiones atmosféricas; Huella hídrica; Transporte turístico.

“**Cómo citar este artículo:** Evaluación del impacto ambiental por emisiones atmosféricas y huella hídrica en las 5 empresas de transporte turístico del muelle de Puno – 2025. (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. . <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1316>.



¹Universidad Peruana Unión - Juliaca - Perú.

Recibido: 2025-10-02 | Aceptado: 2025-20-12



Environmental impact assessment of atmospheric emissions and water footprint in the 5 tourist transport companies at the Puno pier – 2025

The study assessed the environmental impact of atmospheric emissions and water footprint generated by five tourist transport companies operating at the Puno pier during 2025. The objective was to identify the main sources of pollution and compare their operations based on fuel consumption, trip frequency, and water usage. The research employed a quantitative-descriptive methodology with a comparative component, using the TESTO 350 analyzer to measure CO, NO_x, SO₂, and O₂, in addition to structured interviews with the managers of each company. The results showed that Amantaní and Soqta Suyu registered the highest emissions due to their longer routes, while the companies operating in Los Uros presented lower values due to the shorter duration of their journeys. However, these companies accounted for more than 80% of total water consumption due to the frequent washing of their boats. Statistical analysis revealed significant differences between the companies, confirming the relationship between distance traveled, fuel consumption, and emissions generation. It is concluded that the sustainability of tourist transport in Puno requires integrated strategies for emissions reduction, optimization of water use and preventive maintenance, along with monitoring policies and environmental education to protect the ecosystem of Lake Titicaca.

Keywords: Atmospheric emissions; Tourist transport; Water footprint.

Introducción

El turismo en el altiplano peruano constituye una actividad estratégica para el desarrollo sostenible, especialmente en Puno por su articulación con el lago Titicaca y las comunidades circun- dantes (Ccama Uchiri & Acero Cáceres, 2019). No obstante, el incremento del transporte turístico lacustre genera presiones ambientales vinculadas a las emisiones atmosféricas (Vélez Marcavillaca & Joan Guiller, 2021) y al uso intensivo del recurso hídrico (Paredes, 2012) problemática que cobra relevancia debido a los esfuerzos nacionales por fortalecer la gestión sostenible mediante herramientas oficiales como la Huella de Carbono Perú y el Certificado Azul – Huella Hídrica (Paredes, 2012). A pesar de ello, persiste un vacío científico relacionado con la ausencia de estudios integrados que analicen simultáneamente las emisiones y la huella hídrica en el sector del transporte turístico lacustre, situación que limita el diseño de políticas ajustadas a la realidad altiplánica (Manzanares Flores & Ruben Harold, 2011). La literatura internacional evidencia que el transporte turístico representa una proporción significativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Palomino Monge, 2022) y que las metodologías de evaluación aplicadas en ciudades como Bogotá, Lima y Barcelona permiten cuantificar la huella ambiental del sector y orientar modelos de movilidad más eficientes (Laurente & Machaca, 2020). En este contexto, el presente estudio tiene como propósito evaluar el impacto ambiental asociado a las emisiones atmosféricas y a la huella hídrica en cinco empresas de transporte turístico del muelle de Puno, aportando una aproximación metodológica que anticipe la necesidad de integrar diagnósticos comparativos y criterios de sostenibilidad en el desarrollo del artículo.

Materiales y métodos

Se realizaron mediciones directas de emisiones utilizando un analizador portátil TESTO 350, siguiendo el protocolo operativo del manual técnico (Bacalja Bruna, 2021). La sonda se insertó en el tubo de escape y se registraron las concentraciones en condiciones reales de operación durante funcionamiento (Choque Cruz, A, 2021).

Para la huella hídrica, se aplicó una entrevista estructurada a administradores y operadores, recopilando datos sobre volumen de agua utilizado, frecuencia de lavado y prácticas de gestión ambiental. Se documentaron adicionalmente fotografías, registros de viaje, kilometraje y datos auxiliares mediante cuaderno de campo (Castillo Valencia, 2014).

Técnicas y métodos de análisis

Los valores de concentración gaseosa se transformaron a unidades de masa utilizando factores de emisión, caudales y el modelo de cálculo estándar detallado en la literatura técnica. La huella hídrica se estimó siguiendo la metodología de (Rivera & Zorrilla, 2020)

Se emplearon técnicas descriptivas y comparativas para analizar diferencias entre empresas, complementadas con fórmulas de representatividad (%) para emisiones e indicadores hídricos (Yupanqui Copari, 2025).

Instrumentos

- Analizador TESTO 350 (gases contaminantes).
- Cámara fotográfica (registro documental).
- Vehículo de apoyo, combustible y batería portátil.
- Cuaderno de campo y fichas de registro.
- Cuestionario de entrevista estructurada.
- Programas Excel para el procesamiento estadístico.

Procesos y modelos aplicados

Modelo de cálculo de emisiones según factores de emisión y volumen molar.

Figura 1

Fórmula para la estimación de emisiones atmosféricas según (Smichowski & Contreras, 2022)

$$E_{so_2} = \frac{C * MW * Q * 60}{V * 10^6}$$

Donde:

- $E(so_2)$ = Estimación de la emisión horaria de contaminante, en este caso so_2 (lb/h)
- C = Partes por millón en volumen de aire seco (ppmvd)
- MW = Peso molecular en lb/lb.mol
- Q = Caudal
- V = Volumen molar (pie³/lb.mol)
- 60 = adimensional (60min en 1 hora)
- 10^6 = adimensional (Factor de conversión el ppm)

Modelo conceptual de WFN para estimación de huella hídrica

Sistematización cualitativa de entrevistas para interpretar variaciones operativas.

Tabla 1*Datos de actividad de las 5 empresas del muelle de Puno*

Empresas de transporte	Nombre	Cantidad de embarcaciones	Embarcaciones que salen por día	Destino turístico	Tiempo de viaje por embarcación
1	Ista Los Uros 1	50	10	Los Uros	40 min
2	Isla Amantani	10	2	Amantani	120 min
3	EMP. SOQTA SUYO	11	2	Taquile	120 min
4	Isla flotante de los Uros 2	54	10	Los Uros	40 min
5	Asociacion campesina Chulluni	42	10	Los Uros Chulluni	40 min
Total	5	167	36	15 galones por embarcacion.	

Resultados

Tabla 1*Promedio de los parámetros de emisiones atmosféricas medidos con el analizador TESTO 350*

Empresa	O ₂ %	CO ppm	NO ppm	NO ₂ ppm	NO _x ppm	SO ₂ ppm	TA	TH
Isla Amantani	17,34	731,	199,25	88,975	291,208	1,08333	18,2583	31,341
	33333	583333			333	333	333	6667
Soqta Suyo	17,30	739	200	81,941	271,858	1,58333	17.875	33,725
	5			6667	333	333		
Los Uros 1	20,70	65	7,05	1,3875	4.625	13.75	17,9	24,512
	5							5
Los Uros 2	22,09	32,1	7,75	1,6875	3,7625	7,875	18,4	25,325
		25						
Asociacion Campesina Chulluni	22,23	25,2	10,125	1,625	3,025	6,5	18,0125	28,187
	375	5						5

Tabla 2*Resultados de la estimación de emisiones por empresa según los datos de actividad*

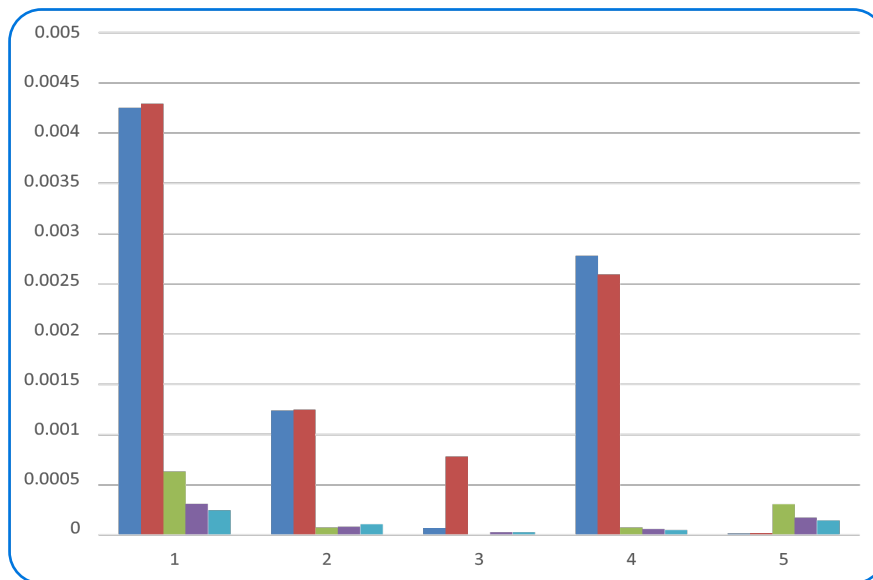
Empresa	CO ton/año	NO ton/año	NO2 ton/año	NOx ton/año	SO2 ton/año
Isla Amantani	0,0042473	0,00123937	7,07037E-05	0,00277711	1,43864E-05
Soqta Suyo	0,00429036	0,00124403	0,000781376	0,00259257	1,43864E-05
Los Uros 1	0,00062894	7,3087E-05	2,75643E-06	7,351E-05	0,000304328
Los Uros 2	0,00031084	8,0344E-05	2,68193E-05	5,9802E-05	0,000174297
Asociación Campesina Chulluni	0,00024432	0,00010497	2,5826E-05	4,808E-05	0,000143864

Tabla 3*Resultados de la estimación de la huella hídrica según empresa*

Empresa	Embarcaciones activas/día	Huella por embarc. (L/año)	Huella empresa (L/año)	Huella empresa (m ³ /año)
Isla Los Uros	6	1 152	6 912	6,912
Isla Amantani	2	1 152	2 304	2,304
EMP. SOQTA SUYO (Taquile)	2	1 152	2 304	2,304
Isla flotante de los Uros	7	1 152	8 064	8,064
Asoc. campesina Chulluni	5	1 152	5 760	5,760
TOTAL, (suma)	FLOTA	—	25 344 L/año	25,344 m ³ /año

Figura 1

Comparación de emisiones de las 5 empresas Isla Amantani (azul), Soqta suyo (rojo), Los Uros 1 (verde), Los Uros 2 (morado) y Asociación Campesina Chulluni (celeste)



Discusión

Los resultados del estudio muestran que las empresas Amantani y Soqta Suyo presentan las mayores concentraciones de CO, NO_x y SO₂, lo cual se explica por sus trayectos más extensos y su demanda energética. Esto coincide con la teoría que establece que rutas largas incrementan proporcionalmente los factores de emisión debido al mayor consumo de combustible (Goodchild Anne, 2017). De forma similar, (Angles Canlla, 2024) demuestra que en Puno el kilometraje recorrido es el principal predictor del aumento de CO₂ y CO, lo cual respalda la validez de los patrones observados en las empresas lacustres.

En contraste, las empresas que operan en Los Uros, pese a registrar menores emisiones atmosféricas debido a rutas cortas, concentran la mayor presión hídrica del sistema. De acuerdo con los valores obtenidos, la empresa “Isla Los Uros” registra 6,912 m³/año, la “Isla flotante de Los Uros” 8,064 m³/año, y la Asociación Campesina

Chulluni 5,760 m³/año, mientras que Amantani y Soqta Suyo presentan valores menores (2,304 m³/año cada una). Esta distribución revela que más del 60 % de toda la huella hídrica total (25,344 m³/año) proviene de actividades vinculadas al turismo de corta distancia, especialmente del lavado permanente de embarcaciones.

Este comportamiento no ha sido destacado previamente en estudios regionales, dado que la mayor parte de las investigaciones vinculadas a huella hídrica como (Castillo Valencia, 2014) o los informes del MINAM (Paredes, 2012) se orientan a evaluar instituciones o procesos urbanos, pero no a flotas turísticas lacustres. Por ello, el presente trabajo aporta un diagnóstico innovador, evidenciando que un menor impacto en emisiones puede coexistir con una presión hídrica mucho mayor, lo cual constituye un elemento crítico en zonas ecológicamente frágiles como Los Uros (Araña & Leon, 2017).

La literatura internacional respalda este comportamiento operativo: (Castro & Marrugo-Salas, 2018) señalan que en establecimientos turísticos el consumo de agua se dispara en actividades de mantenimiento y limpieza, exactamente como se observa en este estudio. Asimismo, (Calderon Sardon, 2024) identifica que la infraestructura turística en Puno presenta altos índices de presión ambiental asociada al volumen de visitantes y servicios de apoyo, lo que concuerda con la elevada huella hídrica registrada en las operaciones lacustres más activas.

Respecto a las emisiones atmosféricas, los picos de NO_x observados se alinean con los hallazgos de la (Rivas & Zaragoza, 2015), que demuestran que motores náuticos sometidos a ciclos frecuentes de arranque y detención generan variabilidad acelerada de NO, NO₂ y SO₂. De igual forma, la variabilidad entre empresas es comparable a la descrita por (Salinas, 2024) y (Peñaloza Samaniego, 2016), quienes reportan incrementos similares en flotas con mantenimiento irregular o motores antiguos, condiciones que también se identifican en parte de las embarcaciones del muelle de Puno.

El análisis integrado evidencia que las emisiones atmosféricas y la huella hídrica del transporte turístico lacustre no siguen patrones paralelos, lo cual resalta la necesidad de un enfoque dual de sostenibilidad. Mientras las rutas largas aportan más emisiones, las rutas cortas presentan mayor presión hídrica por lavado intensivo. Este hallazgo complementa a (Zapana, 2021) y (Nilsson & Thorsell, 2025), quienes sostienen que la frecuencia operativa y el tipo de servicio influyen independientemente en los componentes ambientales.

En conjunto, la evidencia confirma la validez del presente estudio y su aportación al campo: por primera vez se muestra un análisis

simultáneo de emisiones atmosféricas y huella hídrica en flotas turísticas lacustres, revelando interacciones ambientales que no son visibles cuando se estudian estos impactos por separado. Esto abre la necesidad de adoptar medidas integradas de control, monitoreo y optimización del recurso hídrico en el sector.

Conclusiones

Se demostró que las variaciones operativas entre rutas largas y cortas determinan diferencias significativas en los niveles de contaminación. Las empresas con trayectos extensos, como Amantaní y Soqta Suyu, presentan las mayores concentraciones de CO, NO_x y SO₂ debido al mayor consumo de combustible, lo cual confirma la relación directa entre distancia recorrida y generación de emisiones. En contraste, las empresas que operan en Los Uros registran los valores más bajos de emisiones, pero concentran la mayor presión hídrica del sistema, alcanzando un total anual de 25 344 m³, lo que evidencia que las actividades de lavado intensivo representan el principal aporte a la huella hídrica del sector turístico lacustre.

El impacto ambiental del transporte turístico no depende únicamente del tipo de combustible o de la frecuencia de viaje, sino también de las prácticas internas de mantenimiento y del nivel de actividad turística en cada zona. La investigación aporta evidencia novedosa al analizar simultáneamente emisiones atmosféricas y huella hídrica en un entorno lacustre, estableciendo que los impactos sobre aire y agua no siguen patrones paralelos y requieren estrategias diferenciadas de gestión ambiental. Asimismo, se confirma la necesidad de fortalecer las políticas de sostenibilidad, el monitoreo continuo con equipos especializados y la adopción de buenas prácticas orientadas a reducir tanto las emisiones como el consumo hídrico.

Finalmente, el estudio constituye una base metodológica sólida para investigaciones futuras que busquen evaluar la eficiencia ambiental del transporte turístico en contextos similares, integrar nuevas variables como las emisiones de CO₂ o la huella hídrica gris detallada, y desarrollar modelos predictivos que permitan optimizar la operación de flotas lacustres bajo criterios de sostenibilidad.

Agradecimientos

Agradecemos primeramente a Dios, por brindarnos la fortaleza, la sabiduría y la oportunidad de culminar satisfactoriamente esta investigación. Del mismo modo, expresamos nuestro profundo agradecimiento a nuestros padres, cuyo apoyo incondicional, guía y motivación han sido fundamentales durante todo el proceso de elaboración de este trabajo. Su confianza y ejemplo han sido el motor que nos ha permitido avanzar con responsabilidad y dedicación.

Referencias

- Angles Canlla. (2024). *Contaminación del aire por emisiones de CO₂ de los vehículos de servicio de transporte público en la ciudad de Puno*. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13061
- Araña, J. E., & Leon, C. (2017). Comportamiento del consumidor y turismo sostenible. *Cuadernos Económicos de ICE*, 93. <https://doi.org/10.32796/cice.2017.93.6147>
- Bacalja Bruna. (2021). The Measurement Of Exhaust Gas Emissions By Testo 350 Maritime – Exhaust Gas Analyzer. *Pedagogika-Pedagogy*, 93(6s), 186-195. <https://doi.org/10.53656/ped21-6s.16mea>
- Calderon Sardon, E. D. (2024). Evaluación sistémica de infraestructura verde y turismo para desarrollo sostenible físico-espacial y económico, del Centro Poblado Menor Uros- Chulluni Puno. *Revista de Investigaciones*, 13(4), 184-200. <https://doi.org/10.26788/ri.v13i4.6500>
- Castillo Valencia. (2014). *Huella hídrica del campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú en el 2014*. <https://repositorio.pucp.edu.pe/items/d11c47abc5ed-43e9-967e-5dd0b2e3f541>
- Castro, A., & Marrugo-Salas, L. (2018). Turismo sostenible: Caso de gestión de la responsabilidad ambiental en un establecimiento hotelero en Cartagena. *Saber, Ciencia y Libertad*, 13(2), 163-175. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2018v13n2.4631>
- Ccama Uchiri & Acero Cáceres. (2019). *El despegue del turismo en Puno y su contribución al desarrollo regional*. <https://doi.org/10.26867/se.2019.v08i2.95>
- Choque Cruz, A. (2021). *Determinación de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de la Playa Turística San Juan de la ciudad Juli-2020*. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Ali-cia_Gilda_CHOQUE_CRUZ&btnG=
- Goodchild Anne. (2017). *Un modelo analítico para los kilómetros recorridos por vehículos y las emisiones de carbono en escenarios de entrega de mercancías*. https://etrr.springeropen.com/articles/10.1007/s12544-017-0280-6?utm_source=chatgpt.com

- Laurente, L. F., & Machaca, R. W. (2020). Modelamiento y proyección de la demanda de turismo internacional en Puno-Perú. *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, 14(1), 34-55. <https://doi.org/10.7784/rbtur.v14i1.1606>
- Manzanares Flores & Ruben Harold. (2011). *Determinación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables en función a las características socio ambientales de la ciudad de Puno*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/737>
- Nilsson, F., & Thorsell, R. W. (2025). *Transport CO₂ Emissions: Mapping Resources and Opportunities for Reduction. A Case Study of a Manufacturing Company in Sweden*. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1969432>
- Palomino Monge. (2022). *Metodología para la evaluación del impacto de la ejecución de proyectos viales, respecto de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del transporte por carretera en el Perú*. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/7218>
- Paredes, I. E. V. (2012). *Ministerio del Ambiente servicio nacional de Meteorología e Hidrología del Perú dirección Regional de Puno*. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/496.pdf>
- Peñaloza Samaniego. (2016). *Influencia del ozono y dióxido de nitrógeno en la contaminación atmosférica en la ciudad de Huancayo*. https://repositorio.uap.edu.pe/jspui/bitstream/20.500.12990/5428/1/Tesis_Influencia_Ozono_Di%C3%B3xido_Nitr%C3%B3geno.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Rivas, L. F., & Zaragoza, J. R. (2015). *El papel de los óxidos de nitrógeno en el Cambio Climático. Efectos sobre la salud*.
- Rivera, Y. N., & Zorrilla, N. R. (2020). *Análisis a la huella hídrica en las empresas del sector transporte del Municipio de Tuluá bajo el desarrollo sostenible*.
- Salinas, W. F. B. (2024). *Evaluación de los factores de emisión en vehículo sedan de inyección directa para gasolina de 87 octanos y 95 octanos en la ciudad de Quito-Ecuador*. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/5203>
- Smichowski, H., & Contreras, F. I. (2022). Análisis morfológico de la cuenca río Santa Lucía (Corrientes, Argentina). *Revista Geográfica de América Central*, 1(70), 297- 320. <https://doi.org/10.15359/rgac.70-1.11>
- Vélez Marcavillaca & Joan Guiller. (2021). *Efectividad del método modem para la medición de emisiones contaminantes generados en un ambiente de tráfico vehicular – Puno*. <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC%20S.A.C./233>
- Yupanqui Copari. (2025). *Factores que inciden en los delitos ambientales de la zona ecoturística de San José-Huaje, Puno 2024*. <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/1532>
- Zapana (2021). Huella del carbono y consumo del combustible de las unidades de transporte de la universidad nacional del altiplano puno. *Revista de Investigaciones*, 10(3), 228- 244. <https://doi.org/10.26788/riepg.v10i3.2651>

