Desarrollo Sostenible e Innovación Global. 2026; 3(2):46
doi: 10.63688/desarrollo.v3.i2.46

ORIGINAL

Dietary transformation and health vulnerability following lake poopó degradation: a cross sectional study in the indigenous Uru Vilañeque Community

Transformación alimentaria y vulnerabilidad sanitaria tras la degradación del lago Poopó: estudio transversal en la comunidad indígena Uru Vilañeque

Valentina Daira Montoya Mollo[1]
Juan Carlos Montoya Choque[2]

[1] Carrera de Medicina, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Técnica de Oruro, Oruro, Bolivia
[2] Centro Agua, Facultad de Ciencias Agrarias y Naturales, Universidad Técnica de Oruro, Oruro, Bolivia

Recibido: 01-07-2026 | Revisado: 19-07-2026 | Aceptado: 05-10-2026 | Publicado: 10-10-2026

Autor de correspondencia: Valentina Daira Montoya Mollo

ABSTRACT

Objective: To evaluate the association of occupational transformation, dietary transformation, and current environmental exposure with family health vulnerability in the Indigenous Uru Vilañeque community following the degradation of Lake Poopó, Bolivia. Methodology: A quantitative, observational, retrospective, and cross-sectional study was conducted using a census of 32 families. A 40-item structured survey was used to comparatively reconstruct previous and current conditions related to occupation, food consumption, household materials, diseases, and symptoms. Normalized indices of occupational transformation, dietary transformation, environmental transformation, current environmental risk, and health vulnerability were constructed. The analysis included descriptive statistics, Pearson correlations, ordinary least squares regression, Beta regression, and diagnostic tests. Results: Mean dietary transformation was 0.744, current environmental risk was 0.890, and global health vulnerability was 0.740. Dietary transformation showed the most consistent bivariate association with symptomatic vulnerability (r=0.440; p=0.012). In the reduced Beta regression re-estimated with 31 observations, dietary transformation remained positively and statistically significantly associated with symptomatic vulnerability (β=3.432; p=0.007), whereas the current environmental indicator was not significant (p=0.213). Comparison of Beta specifications on 29 complete cases favored the reduced model according to AIC and BIC. Conclusion: Among the families studied, dietary transformation was the socio-ecological dimension most closely associated with symptomatic vulnerability. The findings support integrating food systems, health, and socio-ecological adaptation when analyzing Indigenous communities affected by ecosystem degradation, while avoiding causal interpretations from a cross-sectional design.

Keywords: ecosystem degradation; health vulnerability; dietary transformation; Indigenous Peoples; Lake Poopó.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la asociación de la transformación ocupacional, la transformación alimentaria y la exposición ambiental actual con la vulnerabilidad sanitaria familiar en la comunidad indígena Uru Vilañeque después de la degradación del lago Poopó, Bolivia. Metodología: Se realizó un estudio cuantitativo, observacional, retrospectivo y transversal basado en un censo de 32 familias. Mediante una encuesta estructurada de 40 preguntas se reconstruyeron comparativamente condiciones previas y actuales relacionadas con ocupación, alimentación, uso de materiales domésticos, enfermedades y síntomas. Se construyeron índices normalizados de transformación ocupacional, transformación alimentaria, transformación ambiental, riesgo ambiental actual y vulnerabilidad sanitaria. El análisis incluyó estadística descriptiva, correlaciones de Pearson, regresión lineal ordinaria, regresión Beta y pruebas diagnósticas. Resultados: La transformación alimentaria alcanzó una media de 0,744, el riesgo ambiental actual 0,890 y la vulnerabilidad sanitaria global 0,740. La transformación alimentaria mostró la asociación bivariada más consistente con la vulnerabilidad sintomática (r=0,440; p=0,012). En la regresión Beta reducida reestimada con 31 observaciones, la transformación alimentaria mantuvo una asociación positiva y estadísticamente significativa (β=3,432; p=0,007), mientras que el indicador ambiental actual no alcanzó significación (p=0,213). La comparación de especificaciones Beta sobre 29 casos completos favoreció el modelo reducido por AIC y BIC. Conclusión: En las familias estudiadas, la transformación alimentaria fue la dimensión socioecológica más estrechamente asociada con la vulnerabilidad sintomática. Los hallazgos respaldan la necesidad de integrar sistemas alimentarios, salud y adaptación socioecológica en el análisis de comunidades indígenas afectadas por degradación ecosistémica, sin atribuir relaciones causales a un diseño transversal.

Palabras clave: degradación ecosistémica; vulnerabilidad sanitaria; transformación alimentaria; pueblos indígenas; lago Poopó.

© 2026, Los autores. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

INTRODUCCIÓN

La salud de la humanidad se vincula con sus sistemas ecológicos, los cuales son capaces de sostener agua, alimentos, medios de vida y condiciones ambientales que se les ajusten. La visión de la salud planetaria ha puesto de manifiesto que la degradación de los sistemas naturales puede impactar sobre determinantes sociales y sanitarios[1,2], mientras que el cambio climático y la violación de los límites del sistema terrestre incrementa desigualmente los riesgos por poblaciones y territorios[3,4]. Estos procesos no se desarrollan en el vacío: se interrelacionan con la pobreza, el acceso a los recursos, las transformaciones productivas, los cambios culturales, los cuales evolucionan en exposiciones y vulnerabilidades diferenciadas. Por lo tanto, el estudio del vínculo degradación ecosistémica-salud obliga a no considerar los daños biofísicos directos, sino también a las transformaciones en el reorganizado de forma cotidiana de los hogares.

Los pueblos indígenas se ven especialmente expuestos a estas transformaciones, debido a la relación histórica entre territorio, identidad, conocimiento ecológico, subsistencia y alimentación[5]. La literatura internacional ha registrado que el deterioro ambiental puede afectar simultáneamente la seguridad alimentaria, la continuidad de las prácticas tradicionales, los medios de vida y las condiciones de salud, pero también destaca la capacidad de resiliencia y adaptación de los pueblos indígenas[6,7]. Esa doble condición es relevante para que no se interprete a las comunidades sólo desde la vulnerabilidad: los cambios socioecológicos generan restricciones, pero también respuestas de adaptación que cambian ocupaciones, movilidad, abastecimiento, formas de consumo.

Uno de los procesos intermedios más importantes es la transformación de los sistemas alimentarios. Por ejemplo, los cambios ecológicos, la incorporación a mercados, la disminución de los ofrecimientos de fuentes locales de alimentos o las modificaciones que experimentan las actividades de subsistencia pueden acelerar las transiciones de dietas tradicionales a pautas más dependientes de productos comercializados (8,9) y ultraprocesados[10,11]. Existen transiciones que no implican sólo cambios en la composición de la dieta sino que pueden modificar la autonomía alimentaria, la diversidad de los alimentos, la frecuencia de la adquisición de alimentos, y la dependencia en las cadenas externas.

La evidencia andina agrega características más a la comprensión de esta relación. Se registran en población indígena de Chile cambios de transición nutricional y resultados de salud vinculadas a transformaciones de los modos de vida (12); en Ecuador se ha evidenciado que la promoción de alimentos tradicionales, la agroecología y el apoyo a los sistemas alimentarios locales relacionan beneficios para la salud humana y ambiental (13) o, como en el caso del ejemplo de la comunidad indígena de Caliata, se muestra como la biodiversidad, las prácticas productivas locales y la soberanía alimentaria apoyan dietas culturalmente pertinentes, probablemente más sostenibles (14).

Un estudio reciente sobre soberanía y autonomía alimentaria indígena señala que la posibilidad de decidir sobre la producción, la distribución y el consumo de alimentos es una forma de resistencia a los procesos de globalización alimentaria[15]. También, entre los pueblos indígenas de Brasil, la urbanización y transformación de los modos de vida han ido asociados a cambios en el riesgo cardiometabólico[16]. En conjunto, estos antecedentes respaldan la necesidad de considerar la alimentación como una vía por la cual la degradación de los ecosistemas puede relacionarse con resultados sanitarios.

Los cambios materiales que se producen en los hogares también introducen nuevas exposiciones ambientales. El crecimiento de los plásticos, los envases y los materiales desechables es un componente visible de los cambios de consumo de nuestros tiempos. La literatura ha documentado la presencia de partículas plásticas en sangre humana, y ha planteado dudas importantes acerca de sus posibles consecuencias para la salud (17,18). Sin embargo, es importante distinguir entre presencia de materiales plásticos en el hogar, exposición ambiental, dosis interna y efectos biológicos. Un indicador domiciliario de uso o presencia de plásticos no es una medición de microplásticos en el organismo, por tanto su interpretación se debe mantener al nivel de exposición contextual que verdaderamente representa.

En el caso de Bolivia, el lago Poopó es un ejemplo clásico de la reducción ecosistémica en el área andina. En efecto, este sistema lacustre posibilitó actividades productivas, alimenticias y culturales de los pueblos Uru, pero a últimas fechas sufrió un fuerte recorte de su espacio acuático por aspectos climáticos, hidrológicos y antrópicos[19,20]. La reducción de las funciones ecosistémicas alteró las condiciones materiales de las comunidades que lo rodean y obligó a reestructurar los sistemas de aprovisionamiento y de subsistencia. En esta línea, la comunidad Uru Vilañeque permite reflexionar acerca de cómo se relacionan entre sí las transformaciones ocupacionales, alimentarias y ambientales con las condiciones de salud en el contexto familiar.

El estudio de estas dimensiones al mismo tiempo puede aportar un conocimiento más preciso que el estudio por separado de cada una de ellas. Una transformación ocupacional puede servir como un cambio estructural de los medios de vida; la transformación alimentaria puede ser una vía más directa de modificación de las exposiciones cotidianas; y la dimensión ambiental puede reflejar cambios en los materiales y los patrones de consumo. El hecho de compararlas permite ver si todas ellas mantienen asociaciones similares con la vulnerabilidad sanitaria o si alguna de ellas tiene una relación estadística más consistente. Este punto de vista coincide con los planteamientos ecosociales y de salud planetaria, que reconocen varios niveles de determinación y no presuponen que la relación entre el deterioro ambiental y la enfermedad sea lineal (1,4,5).

Si bien la literatura sobre ambiente, alimentación y salud crece, aún hay una brecha en estudios con familias que comparen simultáneamente la contribución relativa de transformaciones ocupacionales, alimentarias y ambientales en comunidades indígenas expuestas a deterioro ecosistémico. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la asociación de la transformación ocupacional, la transformación alimentaria y la exposición ambiental actual con la vulnerabilidad sanitaria familiar en la comunidad Uru Vilañeque posterior a la degradación del lago Poopó. Se planteó que estas dimensiones presentarían asociaciones de diferente magnitud con la vulnerabilidad sanitaria y que su comparación permitiría identificar la dimensión con la relación estadística más consistente con los síntomas reportados por las familias.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio cuantitativo, observacional, retrospectivo y transversal. La presentación metodológica se organizó tomando como referencia criterios de transparencia para estudios observacionales de la declaración STROBE21. La investigación se desarrolló en la comunidad Uru Vilañeque, ubicada aproximadamente a 17 km al oeste de la ciudad de Challapata, provincia Eduardo Abaroa del departamento de Oruro, Bolivia. La comunidad se localiza alrededor de las coordenadas 18°48'00" de latitud sur y 66°27'00" de longitud oeste, a una altitud aproximada de 3734 m s. n. m., dentro del sistema socioecológico asociado al lago Poopó. Este ecosistema experimentó durante las últimas décadas una reducción progresiva de su superficie hídrica y episodios severos de desecación, condición que constituye el contexto ambiental del estudio.

La unidad de análisis fue la familia. Se incluyeron las 32 familias de la comunidad Uru Vilañeque que formaron parte del levantamiento de información, por lo que el diseño correspondió a un censo comunitario y no a una muestra probabilística. La información primaria fue obtenida de representantes familiares mediante entrevistas directas. La recolección se efectuó entre marzo y junio de 2026 en un único periodo temporal. El componente retrospectivo estuvo dado por la reconstrucción comparativa de condiciones socioecológicas previas a la desecación del lago Poopó y condiciones observadas o reportadas al momento del estudio. En consecuencia, la temporalidad retrospectiva se refiere a la información recordada sobre el periodo previo y no a un seguimiento longitudinal de las mismas familias.

Para la recolección se utilizó una encuesta estructurada de 40 preguntas organizada en cuatro dimensiones: actividades ocupacionales; consumo alimentario; exposición ambiental y uso de materiales domésticos; y vulnerabilidad sanitaria expresada mediante enfermedades y síntomas reportados por las familias. Las preguntas permitieron contrastar la situación previa con la situación actual e identificar procesos de continuidad, abandono, sustitución o incorporación de actividades, alimentos, materiales y condiciones sanitarias. Antes de la aplicación definitiva, el instrumento fue revisado mediante entrevistas preliminares con personas de la propia comunidad para valorar pertinencia y comprensión de las preguntas. No se efectuó una prueba piloto formal, aspecto considerado posteriormente al interpretar la precisión de las mediciones.

La construcción de índices familiares siguió principios generales para indicadores compuestos22. El procedimiento comprendió tres etapas: construcción de trayectorias temporales, recodificación analítica y agregación-normalización. Para cada familia i y componente j, la trayectoria se representó como $TRij=(E0ij,E1ij)$, donde E0 correspondió al estado previo a la desecación y E1 al estado actual. Posteriormente, cada trayectoria se transformó en una variable binaria Xij. Se asignó el valor 1 cuando la trayectoria representaba la presencia de transformación, exposición o vulnerabilidad conforme al índice evaluado, y 0 cuando la condición estaba ausente. Esta recodificación permitió expresar componentes heterogéneos en una escala analítica común.

Los componentes recibieron igual ponderación para evitar introducir pesos diferenciales sin una justificación empírica externa. Cada índice se calculó mediante agregación aditiva simple, $Ii=(\Sigma Xij)/k$, donde Ii es el valor del índice de la familia i, Xij corresponde al componente recodificado

y k representa el número total de componentes incluidos. Todos los índices se normalizaron entre 0 y 1; valores mayores indican mayor intensidad de transformación, exposición o vulnerabilidad según el constructo correspondiente. Esta estrategia facilita la comparación entre familias y dimensiones, aunque debe interpretarse como una medida compuesta de intensidad relativa y no como una escala clínica o diagnóstica.

El Índice de Transformación Ocupacional, ITO, se construyó a partir de nueve actividades vinculadas con estrategias familiares de subsistencia y expresa la proporción de actividades que mostraron cambio entre ambos periodos. El Índice de Transformación Alimentaria, ITA, integró 18 variables alimentarias y representa la intensidad de modificación de los patrones alimentarios familiares. El Índice de Transformación Ambiental, ITAmb, incorporó diez variables relacionadas con uso de materiales domésticos y resume el cambio histórico entre el periodo previo y la situación actual. Para la dimensión sanitaria se construyeron el Índice de Vulnerabilidad por Morbilidad, IVE-M, con seis enfermedades reportadas; el Índice de Vulnerabilidad Sintomática, IVE-S, con nueve síntomas; y el Índice Global de Vulnerabilidad, IVE, como integración de las dimensiones de morbilidad y síntomas.

Con el propósito de diferenciar transformación ambiental histórica de exposición ambiental contemporánea se construyó, durante la fase analítica, el Índice de Riesgo Ambiental Actual, ITAmb-R. Este índice utilizó las diez variables ambientales y codificó la presencia actual de materiales plásticos o desechables en el hogar. Por tanto, ITAmb-R representa intensidad relativa de presencia de los materiales evaluados y no una medición de exposición interna, concentración de contaminantes ni dosis biológica. Debido a que su definición surgió durante el análisis para resolver una diferencia conceptual entre cambio histórico y exposición actual, sus resultados se interpretaron de manera exploratoria.

El análisis estadístico se desarrolló de forma secuencial. En primer lugar, se calcularon medias, valores mínimos y máximos para describir los índices familiares. También se contrastaron, cuando estaban disponibles, los valores agregados a nivel comunitario con las medias familiares, con el propósito de examinar la concordancia entre ambas escalas descriptivas. En segundo lugar, las asociaciones bivariadas entre dimensiones de transformación y vulnerabilidad sintomática se evaluaron mediante el coeficiente de correlación de Pearson23. Se reportaron valores de r, p e intervalos de confianza del 95%, estos últimos calculados mediante transformación z de Fisher.

En tercer lugar, se estimaron modelos multivariados con IVE-S como variable dependiente. Se utilizó regresión lineal ordinaria como especificación de referencia y regresión Beta como alternativa acorde con la naturaleza proporcional y acotada de IVE-S24. El modelo completo incluyó ITO, ITA e ITAmb-R. A partir del desempeño estadístico y la contribución de las variables se evaluó una especificación reducida con ITA e ITAmb-R. Como IVE-S podía asumir valores en los límites 0 y 1, las observaciones se transformaron al intervalo abierto mediante $y^*=[y(n-1)+0,5]/n$, donde n correspondió al número de observaciones del modelo. La regresión Beta utilizó enlace logit para modelar la media.

La comparación entre las especificaciones Beta completa y reducida se realizó inicialmente sobre una misma muestra analítica de 29 familias con información completa para ITO, ITA, ITAmb-R e IVE-S. Esta decisión evitó comparar directamente criterios de información calculados sobre conjuntos de observaciones diferentes. Se consideraron log-verosimilitud, criterio de información de Akaike y criterio de información bayesiano, además de la significación de los coeficientes y la parsimonia del modelo. Una vez seleccionada la especificación reducida, esta se reestimó con las 31 observaciones válidas disponibles para IVE-S, ITA e ITAmb-R con el fin de aprovechar la información disponible sin alterar la lógica de selección del modelo.

Como análisis complementario de sensibilidad del modelo OLS reducido se evaluó multicolinealidad mediante el factor de inflación de la varianza (25), heterocedasticidad mediante la prueba de Breusch-Pagan (26), normalidad de residuos mediante Shapiro-Wilk (27) y especificación funcional mediante Ramsey RESET (28). Estas pruebas se utilizaron para valorar la estabilidad de la estructura lineal alternativa y no como validación de los supuestos propios de la regresión Beta. Se adoptó un nivel de significación de 0,05. Los índices fueron organizados inicialmente en Microsoft Excel y los análisis estadísticos se realizaron con R Statistical Software.

Debido a que la investigación involucró información sanitaria y socioeconómica de una comunidad indígena, previo al trabajo de campo se solicitó y obtuvo autorización de las autoridades originarias y comunitarias de Uru Vilañeque. En la presentación de los resultados se mantuvo a la familia como unidad de análisis y se utilizaron medidas agregadas para describir patrones comunitarios y asociaciones entre índices.

Tabla 1. Operacionalización resumida de los índices familiares.

Índice	Constructo representado	Componentes	Rango	Interpretación
ITO	Transformación de estrategias ocupacionales y de subsistencia	9 actividades	0-1	Mayor valor = mayor transformación ocupacional
ITA	Transformación de patrones y sistemas alimentarios familiares	18 variables alimentarias	0-1	Mayor valor = mayor transformación alimentaria
ITAmb	Transformación histórica en el uso de materiales domésticos	10 variables ambientales	0-1	Mayor valor = mayor cambio histórico
ITAmb-R	Presencia actual de plásticos y materiales desechables	10 variables ambientales	0-1	Mayor valor = mayor presencia actual de materiales evaluados
IVE-M	Vulnerabilidad por morbilidad reportada	6 enfermedades	0-1	Mayor valor = mayor presencia relativa de enfermedades
IVE-S	Vulnerabilidad sintomática reportada	9 síntomas	0-1	Mayor valor = mayor presencia relativa de síntomas
IVE	Vulnerabilidad sanitaria global	Integración de morbilidad y síntomas	0-1	Mayor valor = mayor vulnerabilidad global

Nota: los índices son medidas compuestas normalizadas y no equivalen a escalas clínicas ni a mediciones biológicas de exposición.

RESULTADOS

Caracterización de los índices de transformación y vulnerabilidad

Las 32 familias fueron incluidas en el análisis descriptivo. La transformación alimentaria presentó una media familiar de 0,744, superior a la transformación ocupacional, con 0,654, y a la transformación ambiental histórica, con 0,538. El ITAmb-R alcanzó una media de 0,890, la más alta entre las dimensiones de transformación y exposición consideradas. Este valor indica que los materiales incluidos en el indicador estaban ampliamente presentes en los hogares, aunque no representa intensidad biológica de exposición. En la dimensión sanitaria, el IVE global presentó una media de 0,740, mientras que IVE-M e IVE-S alcanzaron 0,801 y 0,676, respectivamente.

La comparación entre valores comunitarios previamente agregados y medias familiares mostró diferencias pequeñas para ITO, ITA e IVE. En ITO, el valor comunitario fue 0,627 y la media familiar 0,654, con una diferencia de +0,027. Para ITA, los valores fueron 0,741 y 0,744, con una diferencia de +0,003. En IVE, el valor comunitario fue 0,744 y la media familiar 0,740, con una diferencia de -0,004. La discrepancia más marcada se observó para ITAmb, cuyo valor comunitario fue 0,648 y la media familiar 0,538. Esta diferencia fue consistente con la necesidad de distinguir entre transformación ambiental histórica y presencia ambiental contemporánea de materiales, lo que motivó el uso exploratorio de ITAmb-R.

Tabla 2. Valores comunitarios y medias familiares de los índices.

Índice	Valor comunitario	Media familiar	Diferencia comunidad-familia
ITO	0,627	0,654	+0,027
ITA	0,741	0,744	+0,003
ITAmb	0,648	0,538	-0,110
ITAmb-R	—	0,890	—
IVE	0,744	0,740	-0,004
IVE-M	—	0,801	—
IVE-S	—	0,676	—

Nota: ITAmb-R, IVE-M e IVE-S no contaron con un valor comunitario agregado equivalente para esta comparación.

Asociaciones bivariadas

El análisis de correlación mostró una asociación positiva y estadísticamente significativa entre ITA e IVE-S (r=0,440; p=0,012; IC95%: 0,108 a 0,684). La magnitud de la asociación fue moderada y superior a la observada para las otras dimensiones de transformación respecto de IVE-S. ITO presentó una asociación positiva de menor magnitud con IVE-S (r=0,266; p=0,141; IC95%: -0,091 a

0,563), mientras que ITAmb-R mostró una asociación prácticamente nula (r=0,041; p=0,824; IC95%: -0,312 a 0,384). En consecuencia, la transformación alimentaria fue la única dimensión con evidencia bivariada significativa de asociación con la vulnerabilidad sintomática.

También se observaron relaciones entre las dimensiones explicativas. ITO se correlacionó con ITA (r=0,526; p=0,002) e ITA con ITAmb-R (r=0,454; p=0,009). Estas asociaciones indican que los procesos de transformación no son completamente independientes y justifican interpretar los coeficientes multivariados como asociaciones ajustadas dentro de un sistema de cambios socioecológicos interrelacionados. En contraste, la relación entre ITO e ITAmb-R fue débil y no significativa (r=0,133; p=0,468).

Modelos multivariados de vulnerabilidad sintomática

En el modelo OLS completo, estimado con 29 casos completos, ninguna variable alcanzó significación estadística al 5%. ITA presentó el coeficiente de mayor magnitud y el valor p más próximo al umbral convencional (β=0,769; p=0,063), mientras que ITO (β=0,062; p=0,773) e ITAmb-R (β=-0,493; p=0,310) mostraron contribuciones más débiles. El modelo explicó el 19,5% de la variabilidad observada en IVE-S y el R^2 ajustado fue 0,098; la prueba F global no alcanzó significación (p=0,138).

Tabla 3. Correlaciones de Pearson entre dimensiones de transformación y vulnerabilidad sintomática, n=32.

Relación	r	p	IC95%
ITO ↔ ITA	0,526	0,002	0,217 a 0,739
ITO ↔ ITAmb-R	0,133	0,468	-0,226 a 0,460
ITO ↔ IVE-S	0,266	0,141	-0,091 a 0,563
ITA ↔ ITAmb-R	0,454	0,009	0,125 a 0,693
ITA ↔ IVE-S	0,440	0,012	0,108 a 0,684
ITAmb-R ↔ IVE-S	0,041	0,824	-0,312 a 0,384

Nota: correlaciones bilaterales. Los intervalos de confianza del 95% se calcularon mediante transformación z de Fisher.

La regresión Beta completa, estimada sobre las mismas 29 familias, produjo un patrón diferente para ITA. La transformación alimentaria mostró una asociación positiva y significativa con IVE-S (β=3,143; p=0,041), mientras que ITO (p=0,805) e ITAmb-R (p=0,229) no fueron significativos. El modelo presentó log-verosimilitud de 9,193, AIC de -8,386 y BIC de -1,550. Este resultado respaldó la evaluación de una especificación más parsimoniosa sin ITO.

El OLS reducido se estimó con 31 observaciones válidas para ITA, ITAmb-R e IVE-S. ITA mantuvo una asociación positiva y significativa (β=0,867; p=0,008), mientras que ITAmb-R permaneció sin significación (β=-0,490; p=0,286). El modelo presentó R^2=0,227, R^2 ajustado=0,171 y una prueba F global significativa (p=0,027). Aunque el R^2 fue mayor que el del OLS completo, esta diferencia no se utilizó como evidencia directa de superioridad porque ambos modelos se estimaron con tamaños muestrales distintos.

La especificación Beta reducida final, reestimada con 31 observaciones, confirmó la asociación de ITA con IVE-S (β=3,432; p=0,007), mientras que ITAmb-R no alcanzó significación estadística (β=-2,169; p=0,213). El modelo presentó log-verosimilitud de 11,545, AIC de -15,090, BIC de -9,360 y pseudo-R^2 de 0,270. Estos criterios describen el ajuste de la reestimación final, pero no se compararon directamente con los valores del modelo completo de 29 observaciones.

Tabla 4. Resultados principales de los modelos de vulnerabilidad sintomática.

Modelo	n	ITO β (p)	ITA β (p)	ITAmb-R β (p)	Ajuste
OLS completo	29	0,062 (0,773)	0,769 (0,063)	-0,493 (0,310)	R^2=0,195; R^2aj=0,098; p(F)=0,138
Beta completo	29	0,190 (0,805)	3,143 (0,041)	-2,144 (0,229)	AIC=-8,386; BIC=-1,550
OLS reducido	31	—	0,867 (0,008)	-0,490 (0,286)	R^2=0,227; R^2aj=0,171; p(F)=0,027
Beta reducido final	31	—	3,432 (0,007)	-2,169 (0,213)	AIC=-15,090; BIC=-9,360; pseudo-R^2=0,270

Nota: los criterios AIC y BIC solo se compararon formalmente entre especificaciones estimadas sobre la misma muestra analítica.

Para seleccionar la estructura Beta, las especificaciones completa y reducida se compararon sobre la muestra común de 29 familias. El modelo reducido presentó AIC=-10,326 y BIC=-4,856, ambos menores que los valores del modelo completo, AIC=-8,386 y BIC=-1,550. La log-verosimilitud cambió de 9,193 a 9,163, y ITA mantuvo significación en ambas especificaciones. La eliminación de ITO redujo la complejidad sin una pérdida relevante de ajuste, por lo que la estructura reducida fue considerada la opción más parsimoniosa.

El análisis de sensibilidad del OLS reducido no mostró evidencia relevante de multicolinealidad, con VIF=1,27, ni de heterocedasticidad según Breusch-Pagan (p=0,592). La prueba de Shapiro-Wilk fue compatible con normalidad de residuos al nivel de 0,05 (p=0,063), y Ramsey RESET no evidenció mala especificación funcional (p=0,757). En conjunto, estos diagnósticos apoyaron la estabilidad de la estructura lineal alternativa, aunque no sustituyen los criterios propios de evaluación de la regresión Beta.

Tabla 5. Comparación de especificaciones Beta sobre una muestra común de 29 familias.

Indicador	Beta completo, n=29	Beta reducido, n=29
Variables explicativas	3	2
Log-verosimilitud	9,193	9,163
AIC	-8,386	-10,326
BIC	-1,550	-4,856
ITA	p=0,041	p=0,014
Parsimonia	Moderada	Alta

Nota: la comparación sobre una muestra común evita atribuir diferencias de AIC o BIC a cambios en el número de observaciones.

DISCUSIÓN

El hallazgo principal de este estudio fue la asociación consistente entre transformación alimentaria y vulnerabilidad sintomática familiar. Esta relación apareció tanto en el análisis bivariado, como en el OLS reducido y en las especificaciones Beta, mientras que la transformación ocupacional y el indicador ambiental actual aportaron de forma estadísticamente menor. La coincidencia de las aproximaciones no es prueba de causalidad, pero sí sugiere que, dentro de la variabilidad observada entre las familias Uru Vilañeque, la dimensión que discriminó mejor los niveles de síntomas reportados fue la de cambios alimentarios. Ello es relevante porque hace cambiar el foco de una lectura del deterioro del lago como problema exclusivamente ambiental, hacia los mecanismos cotidianos a través de los cuales la transformación socioecológica puede expresarse en la vida familiar.

La interpretación es coherente con marcos de sistemas socioecológicos que plantean que los cambios ambientales pueden modificar la nutrición mediante alteraciones simultáneas en disponibilidad de recursos, acceso a mercados, dependencia de alimentos comercializados y decisiones de consumo8. La transición nutricional contemporánea se caracteriza por una creciente presencia de productos ultraprocesados (9,10) y por transformaciones de los sistemas alimentarios a escala global11. En comunidades que históricamente dependieron de recursos ecosistémicos locales, la pérdida o reducción de esos recursos puede modificar no solo qué alimentos se consumen, sino también cómo se obtienen, con qué frecuencia y bajo qué grado de dependencia del mercado. El ITA utilizado en este estudio resume precisamente la intensidad de esos cambios familiares, por lo que su asociación con IVE-S resulta conceptualmente plausible.

La evidencia latinoamericana refuerza esta lectura. En poblaciones indígenas de Chile, la transición nutricional se ha relacionado con cambios profundos de estilo de vida y perfiles de riesgo para enfermedades no transmisibles (12). Aunque estos estudios evalúan desenlaces y contextos distintos, convergen en mostrar que transformaciones de subsistencia, mercado y alimentación pueden acompañarse de cambios sanitarios. El presente estudio no mide estado nutricional, obesidad ni biomarcadores; su aporte se sitúa en un nivel diferente, al mostrar que la intensidad de transformación alimentaria familiar se asocia con un índice de síntomas autorreportados en una comunidad afectada por degradación ecosistémica.

Los hallazgos también dialogan con experiencias de sistemas alimentarios indígenas en Ecuador. La promoción de alimentos tradicionales y estrategias agroecológicas puede contribuir

simultáneamente a objetivos de salud humana y sostenibilidad ambiental (13). La experiencia de Caliata destaca la relación entre soberanía alimentaria, biodiversidad, producción local y dietas sostenibles (14). Asimismo, la revisión sobre soberanía y autonomía alimentaria indígena plantea que mantener capacidad de decisión sobre producción, distribución y consumo constituye una forma de resistencia frente a procesos de homogeneización alimentaria (15). En Brasil, la urbanización y la transición hacia patrones de vida más urbanos han sido examinadas en relación con el riesgo cardiometabólico indígena (16). En conjunto, esta literatura sugiere que la dimensión alimentaria no debe reducirse al conteo de productos consumidos; forma parte de relaciones más amplias entre territorio, autonomía, cultura, economía y salud.

La transformación ocupacional presentó una intensidad considerable, pero no una asociación independiente con IVE-S en los modelos finales. Desde una perspectiva ecosocial, esta diferencia puede interpretarse con cautela como una posible separación entre determinantes estructurales y mecanismos más próximos de vulnerabilidad5. Una reorganización de los medios de vida puede modificar ingresos, disponibilidad de alimentos, movilidad y dependencia de mercados sin producir necesariamente una relación directa y detectable con síntomas en un estudio transversal. En este sentido, ITO podría representar un nivel más estructural de transformación, mientras que ITA reflejaría cambios más próximos a prácticas cotidianas. Esta interpretación es consistente con la correlación observada entre ITO e ITA, aunque el diseño no permite establecer una secuencia causal ni afirmar mediación estadística.

La dimensión ambiental requiere una interpretación especialmente prudente. El ITAmb original marcaba un cambio histórico en el uso de materiales domésticos; la pregunta analítica pretendía aproximarse a la exposición ambiental contemporánea. La reconstrucción de ITAmb-R permitió diferenciar ambos conceptos, pero su carácter exploratorio condiciona la fuerza confirmatoria de los resultados. Además, ITAmb-R registra la presencia de plásticos y desechables en el hogar y la falta de exposición interna, concentración ambiental, microplásticos en tejidos y efectos toxicológicos. Estudios que han encontrado partículas de plástico en la sangre humana y revisiones sobre microplásticos demuestran la relevancia emergente del problema, pero también la necesidad de mediciones específicas para atribuir exposición biológica o riesgo sanitario17,18. Por eso, el hecho de que no haya asociación entre el ITAmb-R y el IVE-S no debe entenderse como evidencia de que no exista riesgo ambiental.

Desde el punto de vista metodológico, el comportamiento de ITAmb e ITAmb-R muestra la importancia de diferenciar validez estadística y validez conceptual en los indicadores compuestos. Un índice puede producir asociaciones de magnitud considerable y, al mismo tiempo, no representar con precisión el constructo que se desea analizar. Los principios de construcción de indicadores compuestos destacan que definición conceptual, selección de componentes, orientación de escalas y agregación condicionan la interpretación del resultado22. En este estudio, separar cambio histórico de presencia actual permitió alinear mejor el indicador ambiental con la pregunta analítica, pero también hizo necesario reconocer el carácter exploratorio de esa decisión.

La comparación de los modelos estadísticos aporta una segunda consideración metodológica. La regresión Beta es apropiada para variables proporcionales continuas y permitió modelar IVE-S respetando su naturaleza acotada24. Sin embargo, la selección de modelos debía realizarse sobre la misma muestra para que AIC y BIC fueran comparables. Por esta razón, la decisión entre especificaciones se basó en 29 casos completos y solo después se reestimó el modelo reducido con 31 observaciones. Esta separación entre selección y reestimación evita atribuir a la estructura del modelo diferencias que podrían deberse al tamaño muestral. Los resultados deben, no obstante, interpretarse dentro de la escala del estudio: con 32 familias, los intervalos de incertidumbre son relevantes y los coeficientes no deben extrapolarse automáticamente a otras comunidades.

Las implicaciones para salud pública y adaptación socioecológica se relacionan con la necesidad de integrar alimentación, salud y recuperación de medios de vida. En comunidades cuya subsistencia estuvo históricamente vinculada a un ecosistema local, las intervenciones centradas únicamente en recuperación productiva pueden ser insuficientes si no consideran acceso a alimentos saludables, producción local, diversidad dietaria, pertinencia cultural y autonomía alimentaria. Los marcos de salud planetaria advierten que las políticas sanitarias y ambientales están estrechamente conectadas1,2, mientras que la literatura indígena subraya la importancia del territorio, la continuidad cultural y la participación comunitaria6,7. En el caso Uru Vilañeque, los resultados sugieren que los sistemas alimentarios deberían ocupar un lugar explícito en futuras estrategias de adaptación y vigilancia sanitaria.

La elevada media de ITAmb-R también merece atención práctica, aunque no haya explicado diferencias de IVE-S entre familias. Cuando una exposición es muy frecuente en casi toda la población, su capacidad para discriminar entre hogares puede disminuir por falta de variabilidad.

Por tanto, la relación prácticamente nula observada con IVE-S puede reflejar, al menos en parte, homogeneidad de la presencia de materiales evaluados. Estudios futuros podrían reemplazar indicadores de presencia por mediciones de intensidad, frecuencia de uso, tipos específicos de materiales, fuentes de agua, residuos, exposición ocupacional y, cuando sea viable, biomarcadores ambientales o clínicos. Esta ampliación permitiría evaluar con mayor precisión si la dimensión ambiental contribuye a la vulnerabilidad sanitaria por mecanismos distintos a los captados en este estudio.

Los resultados deben interpretarse considerando varias limitaciones integradas al diseño. El estudio comprendió 32 familias de una sola comunidad, lo que limita la precisión estadística y la posibilidad de generalizar a otros pueblos Uru o comunidades indígenas andinas. El componente retrospectivo depende de la memoria de los participantes para reconstruir condiciones previas, por lo que puede existir sesgo de recuerdo. Las enfermedades y síntomas fueron reportados por las familias y no corresponden a diagnósticos clínicos verificados ni a biomarcadores. El instrumento fue revisado preliminarmente con miembros de la comunidad, pero no contó con una prueba piloto formal ni con métricas psicométricas de confiabilidad. Asimismo, la ponderación igual de los componentes facilita la transparencia del índice, pero supone que todos contribuyen con la misma importancia al constructo.

Dichas limitaciones no despojan del todo el patrón observado, aunque coartan su pertinencia. La fortaleza que sustenta el estudio es el censo de la comunidad, la comparación simultánea de las diversas dimensiones socioecológicas de la comunidad además del uso simultáneo de distintos análisis bivariados y multivariados. Estudiosos futuros debieran realizar diseños de tipo longitudinal, donde la temporalidad permita realizar también estas comparaciones, realizar comparaciones entre comunidades con niveles o grados de degradación ecosistémica diferentes, validar los índices encontrados en muestras independientes pero también incorporar mediciones que contemplen el consumo alimentario de manera más detallada, antropometría, biomarcadores y evaluación ambiental en campo. También examinar modelos de mediación o trayectorias cuando el tamaño de muestra lo permita, para así poder comprobar si los cambios ocupacionales se vinculan a la salud mediante transformaciones alimentarias u otros caminos intermedios.

En conjunto, el estudio aporta evidencia de escala familiar para una relación que con frecuencia se analiza de manera agregada: el vínculo entre degradación ecosistémica, reorganización de los sistemas de vida y salud3,4. En Uru Vilañeque, la alimentación apareció como la dimensión con asociación más consistente con la vulnerabilidad sintomática, mientras que ocupación y ambiente mostraron patrones diferentes. Esta heterogeneidad respalda la idea de que los efectos sanitarios del cambio ecológico no se distribuyen a través de una única vía y que su comprensión requiere integrar procesos estructurales, prácticas cotidianas y condiciones territoriales.

CONCLUSIONES

En la comunidad Uru Vilañeque, la transformación alimentaria fue la dimensión socioecológica con la asociación más consistente con la vulnerabilidad sintomática familiar. El ITA presentó una asociación bivariada significativa con IVE-S y mantuvo su relación en los modelos multivariados, incluida la regresión Beta reducida final. En contraste, la transformación ocupacional y el indicador de riesgo ambiental actual no mostraron asociaciones independientes estadísticamente significativas en la especificación seleccionada. Estos resultados indican que, dentro de las diferencias observadas entre las familias estudiadas, los cambios en los patrones alimentarios constituyeron el componente que mejor distinguió los niveles de síntomas reportados.

Comparar dimensiones permite matizar la relación entre degradación de los ecosistemas y la salud. Los cambios ocupacionales pueden ser parte de una reorganización estructural de los medios de vida sin traducirse de forma directa en diferencias sintomáticas detectables, mientras que la dimensión alimentaria está más cercana a prácticas cotidianas de abastecimiento y consumo. Por su parte, el comportamiento del ITAmb-R, mostró que una elevada y relativamente homogénea presencia de materiales plásticos y desechables no explica necesariamente la variabilidad sanitaria entre hogares. La separación entre la transformación ambiental histórica y la exposición actual también demuestra la necesidad de generar indicadores conceptualmente alineados con la pregunta de investigación.

Desde una perspectiva con aplicación práctica, los conocimientos alcanzados corroboran explícitamente la inclusión de los sistemas alimentarios en las técnicas de adaptación socioecológica y de salud comunitaria. La restauración de medios de vida en contextos de medioambientales degradados ha de incluir no sólo las dimensiones productivas sino también la diversidad

alimentaria, el acceso a alimentos saludables, el fomento de la producción local, la autonomía alimentaria o la significancia cultural. En el caso de las comunidades indígenas que mantienen una historia económica y cultural íntimamente relacionada con el ecosistema concreto, la alimentación puede llegar a ser la dimensión que conjugue las acciones de salud pública, seguridad alimentaria, desarrollo local o restauración socioecológica.

Las conclusiones que se exponen a continuación han de permanecer circunscritas a un estudio que se caracteriza por su diseño transversal y de carácter retrospectivo. Se trata de una identificación de relaciones asociativas más que de una demostración de relaciones causales. El mayor valor de esta investigación consiste en dar cuenta de una dirección de análisis que merece ser diagnosticada en diseños longitudinales, muestras comparativas, validación de índices, objetivos nutricionales y medidas ambientales específicas. Profundizar estas líneas permitirá determinar más ajustadamente como interaccionan los cambios de ocupación, alimentación y exposición ambiental después de haber detonados procesos de degradación ecosistémica y qué intervenciones pueden contribuir de forma más eficaz en reducir vulnerabilidades sanitarias de las poblaciones indígenas.

Referencias

1. Whitmee S, Haines A, Beyrer C, Boltz F, Capon AG, Dias BFS, et al. Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation-Lancet Commission on planetary health. Lancet. 2015;386(10007):1973-2028. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60901-1
2. Romanello M, Walawender M, Hsu SC, Moskeland A, Napoli CD, Green C, et al. The 2024 report of the Lancet Countdown on health and climate change: facing record-breaking threats from delayed action. Lancet. 2024;404(10465):1847-1896. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)01822-1
3. Rockström J, Gupta J, Qin D, Lade SJ, Abrams JF, Andersen LS, et al. Safe and just Earth system boundaries. Nature. 2023;619(7968):102-111. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8
4. Myers SS, Frumkin H. Planetary health: protecting nature to protect ourselves. Washington, DC: Island Press; 2020.
5. Krieger N. Ecosocial theory, embodied truths, and the people's health. New York: Oxford University Press; 2021. https://doi.org/10.1093/oso/9780197510728.001.0001
6. Ford JD, King N, Galappaththi EK, Pearce T, McDowell G, Harper SL. The resilience of Indigenous Peoples to environmental change. One Earth. 2020;2(6):532-543. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.05.014
7. Redvers N, Celidwen Y, Schultz C, Horn O, Githaiga C, Vera M, et al. The determinants of planetary health: an Indigenous consensus perspective. Lancet Planet Health. 2022;6(2). https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00354-5
8. Golden CD, Gephart JA, Eurich JG, McCauley DJ, Sharp MK, Andrew NL, Seto KL. Social-ecological traps link food systems to nutritional outcomes. Glob Food Sec. 2021;30:100561. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100561
9. Baker P, Machado P, Santos T, Sievert K, Backholer K, Hadjikakou M, et al. Ultra-processed foods and the nutrition transition: global, regional and national trends, food systems transformations and political economy drivers. Obes Rev. 2020;21(12). https://doi.org/10.1111/obr.13126
10. Popkin BM, Ng SW. The nutrition transition to a stage of high obesity and noncommunicable disease prevalence dominated by ultra-processed foods is not inevitable. Obes Rev. 2022;23(1). https://doi.org/10.1111/obr.13366
11. Monteiro CA, Cannon G, Lawrence M, Costa Louzada ML, Pereira Machado P. Ultra-processed foods, diet quality, and health using the NOVA classification system. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2019.
12. Fernández CI. Nutrition transition and health outcomes among Indigenous populations of Chile. Curr Dev Nutr. 2020;4(5). https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa070
13. Deaconu A, Ekomer, Mercille G, Batal M, Sherwood S, Paredes M, et al. Promoting traditional foods for human and environmental health: lessons from agroecology and Indigenous communities in Ecuador. BMC Nutr. 2021;7:1. https://doi.org/10.1186/s40795-020-00395-y
14. Gallegos-Riofrío CA, Waters WF, Carrasco A, Riofrío LA, Pintag M, Caranqui M, et al. Caliata: an Indigenous community in Ecuador offers lessons on food sovereignty and sustainable diets. Curr Dev Nutr. 2021;5(Suppl 4):61-73. https://doi.org/10.1093/cdn/nzab009
15. Calderón Farfán JC, Rosero Medina DF, Acevedo Ninco Y, Cristancho Marulanda S, Arias Torres D. Food sovereignty and autonomy for indigenous health as resistance to food globalization: scoping review. Glob Food Sec. 2023;37:100682. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100682
16. Kramer CK, Leitão CB, Viana LV. The impact of urbanisation on the cardiometabolic health of Indigenous Brazilian peoples: a systematic review and meta-analysis, and data from the Brazilian Health registry. Lancet. 2022;400(10368):2074-2083. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)00625-0
17. Leslie HA, van Velzen MJM, Brandsma SH, Vethaak AD, Garcia-Vallejo JJ, Lamoree MH. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. Environ Int. 2022;163:107199. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199
18. Vethaak AD, Legler J. Microplastics and human health. Science. 2021;371(6530):672-674. https://doi.org/10.1126/science.abe5041
19. Rocha O, Aguilar Ariñez S, editores. Bases técnicas para el Plan de Manejo del Sitio Ramsar Lagos Poopó y Uru Uru, Oruro-Bolivia. 2008.
20. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Plan de Acción para la conservación y el uso sustentable del Sitio Ramsar Lagos Poopó y Uru Uru, Oruro-Bolivia, 2015-2025. La Paz: MMAyA; 2015.
21. von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP; STROBE Initiative. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology STROBE statement: guidelines for reporting observational studies. Lancet. 2007;370(9596):1453-1457. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61602-X
22. Nardo M, Saisana M, Saltelli A, Tarantola S, Hoffman A, Giovannini E. Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. Paris: OECD Publishing; 2008. https://doi.org/10.1787/9789264043466-en
23. Pearson K. Mathematical contributions to the theory of evolution. III. Regression, heredity and panmixia. Philos Trans R Soc Lond A. 1896;187:253-318. https://doi.org/10.1098/rsta.1896.0007
24. Ferrari SLP, Cribari-Neto F. Beta regression for modelling rates and proportions. J Appl Stat. 2004;31(7):799-815. https://doi.org/10.1080/0266476042000214501
25. O'Brien RM. A caution regarding rules of thumb for variance inflation factors. Qual Quant. 2007;41(5):673-690. https://doi.org/10.1007/s11135-006-9018-6
26. Breusch TS, Pagan AR. A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. Econometrica. 1979;47(5):1287-1294. https://doi.org/10.2307/1911963

27. Shapiro SS, Wilk MB. An analysis of variance test for normality complete samples. Biometrika. 1965;52(3-4):591-611. https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591
28. Ramsey JB. Tests for specification errors in classical linear least-squares regression analysis. J R Stat Soc Series B Methodol. 1969;31(2):350-371.

Financiación

No aplica.

Conflictos de interés

No existe.

Contribución de autoría

Conceptualización: Valentina Daira Montoya Mollo, Juan Carlos Montoya Choque.
Metodología: Valentina Daira Montoya Mollo, Juan Carlos Montoya Choque.
Investigación: Valentina Daira Montoya Mollo, Juan Carlos Montoya Choque.
Redacción – borrador original: Valentina Daira Montoya Mollo.
Redacción – revisión y edición: Valentina Daira Montoya Mollo, Juan Carlos Montoya Choque.