

Artículo original

Diagnóstico técnico y propuesta de mejora para el canal de riego Chacón Sevilla en el sector Pinllo-Andiglata

Reduciendo riesgos y mejorando la eficiencia hídrica

María Isabel Almedia Domínguez ^[1]  Bolívar Paredes-Beltrán ^[1] 

[1] Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Universidad Técnica de Ambato (UTA). Ambato, Ecuador.



Autor para correspondencia: malmeyda0192@uta.edu.ec

Resumen

El canal de riego Chacón Sevilla, ubicado en el sector Pinllo-Andiglata (cantón Ambato, Ecuador), presenta un deterioro estructural progresivo que compromete la seguridad de las poblaciones aledañas y la eficiencia en la conducción del recurso hídrico. El objetivo de esta investigación fue realizar un diagnóstico técnico integral de la infraestructura y proponer alternativas de mejora basadas en evaluación multicriterio. Se empleó un enfoque mixto secuencial que integró levantamiento geoespacial mediante GNSS, fotogrametría con UAV para la generación de ortofotos, e inspecciones sistemáticas in situ fundamentadas en la Norma Ecuatoriana de Construcción. La información fue procesada en entorno SIG (ArcGIS), mediante el método AHP se construyó una escala de riesgos con cuatro categorías ponderadas: fallas estructurales (0.48), amenazas geodinámicas y climatológicas (0.28), factores antrópicos (0.16) y fallas geológicas (0.08), obteniéndose un ratio de consistencia de 0.006. Los resultados evidencian que el 21% de los tramos presenta riesgo Muy Alto, concentrado en sectores sin infraestructura y con alta presión antrópica. Se proponen intervenciones diferenciadas y un presupuesto referencial. La metodología es replicable y aporta a la gestión del riesgo en infraestructuras hidráulicas lineales.

Palabras Clave: *canal de riego; evaluación de riesgos; AHP.*

Article

Technical Diagnosis and Improvement Proposal for the Chacón Sevilla Irrigation Canal in the Pinllo-Andiglata Sector:

Reducing Risks and Improving Water Efficiency

Abstract

The Chacón Sevilla irrigation canal, located in the Pinllo-Andiglata sector (Ambato, Ecuador), exhibits progressive structural deterioration that compromises both the safety of nearby populations and the efficiency of water conveyance. This study aimed to conduct a comprehensive technical assessment of the infrastructure and to propose improvement alternatives based on a multicriteria evaluation approach. A sequential mixed-methods framework was applied, integrating geospatial surveying using GNSS, UAV-based photogrammetry for orthophoto generation, and systematic in situ inspections based on the Ecuadorian Construction Standards. The data were processed in a GIS environment (ArcGIS). The Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to develop a risk scale composed of four weighted categories: structural failures (0.48), geodynamic and climatic threats (0.28), anthropogenic factors (0.16), and geological failures (0.08), achieving a consistency ratio of 0.006. The results indicate that 21% of the evaluated segments present Very High-risk levels, mainly concentrated in areas lacking infrastructure and subjected to significant anthropogenic pressure. Based on these findings, differentiated intervention measures and a reference budget were proposed. The methodology is replicable and contributes to risk management in linear hydraulic infrastructure.

Keywords: *irrigation canal; risk assessment; AHP.*

1. Introducción

La gestión del agua para riego en regiones andinas enfrenta una problemática creciente asociada al deterioro de infraestructuras hidráulicas envejecidas, la limitada aplicación de criterios técnicos de mantenimiento y la expansión territorial no planificada. En numerosos canales construidos hace varias décadas, la combinación de filtraciones, erosión, inestabilidad de taludes y deficiencias hidráulicas reduce la eficiencia en la conducción del recurso hídrico y genera riesgos para las poblaciones asentadas en sus áreas de influencia. Esta situación es especialmente crítica en sistemas rurales de pequeña y mediana escala, donde las intervenciones suelen ejecutarse sin metodologías integrales de diagnóstico técnico (Domínguez-Guzmán et al., 2021).

El canal de riego Chacón Sevilla, ubicado en el sector Pinllo-Andiglata del cantón Ambato, representa un caso significativo de esta problemática. La infraestructura presenta deterioro progresivo, pérdida parcial de estructura en determinados tramos y afectaciones derivadas de ocupaciones antrópicas sobre la servidumbre hidráulica. Estas condiciones comprometen tanto la estabilidad del canal como la seguridad de las viviendas y vías cercanas, evidenciando la necesidad de una evaluación que integre variables estructurales, hidráulicas y territoriales (Esenarro et al., 2025).

Diversos estudios desarrollados en contextos andinos coinciden en que la vulnerabilidad de los sistemas de riego no depende únicamente de factores constructivos, sino también de condicionantes sociales, institucionales y ambientales. Investigaciones sobre gestión hídrica rural en Latinoamérica destacan que la ausencia de planificación territorial y mantenimiento preventivo incrementa la susceptibilidad de las infraestructuras frente a procesos erosivos, movimientos en masa y pérdidas de eficiencia hidráulica (Berrones & Céleri, 2025). De igual manera, el contexto del cambio climático y la creciente variabilidad hidrológica refuerzan la necesidad de optimizar los sistemas de conducción existentes como estrategia de adaptación y seguridad hídrica (Leroy et al., 2022).

En Ecuador, aunque la Norma Ecuatoriana de Construcción establece criterios técnicos para obras hidráulicas, gran parte de los canales rurales fueron construidos bajo estándares anteriores, generando limitaciones para su rehabilitación mediante enfoques convencionales. Esta situación evidencia la necesidad de metodologías adaptativas que permitan diagnosticar y priorizar intervenciones de manera técnica y territorialmente contextualizada (Matovelle et al., 2025).

Bajo este enfoque, la presente investigación desarrolla un diagnóstico integral del canal Chacón Sevilla, ubicado en el sector Pinllo-Andiglata del cantón Ambato, mediante

levantamiento geoespacial, inspección técnica y análisis multicriterio, integrando herramientas SIG y el método AHP para identificar los tramos críticos y proponer alternativas de intervención orientadas a mejorar la seguridad hidráulica y la eficiencia operativa del sistema.

2. Metodología

2.1. Diseño de la investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto secuencial, integrando levantamiento geoespacial, inspección técnica y análisis territorial. El levantamiento topográfico se realizó mediante GNSS de precisión centimétrica, complementado con inspecciones in situ basadas en la Norma Ecuatoriana de Construcción para identificar fallas estructurales, filtraciones y amenazas antrópicas.

De manera complementaria, se aplicó fotogrametría UAV para generar ortofotos y modelos digitales de elevación, permitiendo identificar elementos territoriales y zonas críticas. Finalmente, la información fue integrada y procesada en entorno SIG para la elaboración del mapa de diagnóstico territorial y la priorización de intervenciones. En la figura 1 se presenta el diagrama metodológico del proceso de investigación.

2.2. Área de estudio

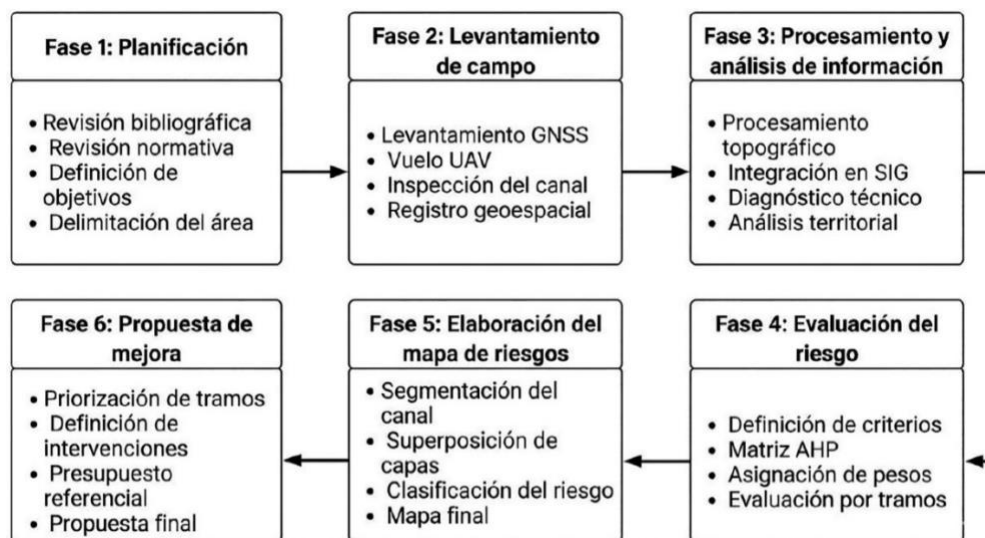
El canal de riego Chacón Sevilla, con una longitud aproximada de 36 km, abastece cerca de 937 ha agrícolas en el occidente del cantón Ambato. El estudio se desarrolló en los tramos ubicados en las parroquias rurales de Pinllo y Andiglata, provincia de Tungurahua, sectores que presentan un crecimiento periurbano progresivo y ocupación cercana al canal.

La selección del área respondió a la alta densidad poblacional dentro de la zona de influencia directa de la infraestructura, donde la expansión no planificada incrementa el riesgo ante fallas hidráulicas, limita las labores de mantenimiento y acelera el deterioro estructural. Esta interacción entre infraestructura envejecida y presión urbana sustenta la pertinencia del estudio en contextos andinos similares (Leroy et al., 2022).

2.3. Escala de riesgos

La categorización de amenazas empleada en este estudio se fundamentó en lineamientos internacionales de seguridad de infraestructuras hidráulicas, particularmente en criterios de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD), los cuales establecen que la seguridad de una obra depende de la interacción entre condiciones estructurales, procesos geodinámicos, factores climáticos y actividades antrópicas en su entorno (Ismijayanti et al., 2023) (Ver Figura 1).

Figura 1. Esquema metodológico del proceso de investigación



Aunque estos criterios fueron desarrollados para grandes infraestructuras hidráulicas, sus principios son aplicables a canales de riego por compartir condiciones de estabilidad y gestión del riesgo. Con base en ello, se definieron cuatro categorías de amenazas: fallas estructurales, factores antrópicos, amenazas geodinámicas y climáticas, y fallas geológicas, integrando variables asociadas al deterioro físico, presión urbana y procesos naturales.

La evaluación se estructuró en cinco niveles ordinales de riesgo (Muy Bajo-Muy Alto), definidos según la probabilidad de ocurrencia y severidad del impacto. Los ponderadores se determinaron mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), utilizando comparaciones por pares basadas en la escala de Saaty y sustentadas en literatura especializada e inspecciones de campo (Hämmerling et al., 2021).

Las ponderaciones definidas en la matriz AHP respondieron a la incidencia relativa de cada categoría de amenaza sobre

la estabilidad y funcionalidad del canal. Las fallas estructurales recibieron mayor importancia frente a las amenazas geodinámicas y factores antrópicos, debido a que el deterioro físico constituye la causa más inmediata de desbordamientos y colapsos, mientras que las intervenciones humanas y los procesos naturales actúan principalmente como aceleradores del deterioro. Asimismo, las fallas geológicas obtuvieron la menor ponderación relativa por su baja probabilidad de ocurrencia dentro del horizonte de evaluación (Lund et al., 2023).

A partir de la matriz normalizada se calcularon los vectores prioritarios o pesos relativos de cada categoría, obteniéndose los siguientes ponderadores: fallas estructurales (0.48), amenazas geodinámicas y climáticas (0.28), factores antrópicos (0.16) y fallas geológicas (0.08). La suma de los valores equivale a la unidad, garantizando la consistencia matemática del modelo (Tabla 1).

Tabla 1. Matriz de comparación por pares entre categorías principales

	Fallas estructurales (A)	Amenazas geodinámicas y climatológicas (B)	Factores antrópicos (C)	Fallas geológicas (D)
A	1	2	3	6
B	1/2	1	2	4
C	1/3	1/2	1	2
D	1/6	1/4	1/2	1

2.4. Desagregación por subcriterios e indicadores

La desagregación de cada categoría en subcriterios específicos permitió transformar conceptos abstractos en variables observables y medibles en campo. Esta diferenciación reconoce que no todas las amenazas generan el mismo nivel de afectación; por ejemplo, una filtración activa produce impactos distintos a una grieta longitudinal, aun cuando ambas correspondan a fallas estructurales. De esta manera, fue posible asignar ponderaciones diferenciadas según la incidencia de cada indicador sobre la estabilidad y funcionalidad del canal (Hämmerling et al., 2022).

Adicionalmente, la definición de indicadores estandarizados fortaleció la replicabilidad del estudio, reduciendo la variabilidad asociada a la interpretación de distintos observadores durante las inspecciones técnicas.

Finalmente, la consistencia de los juicios se verificó mediante el cálculo de la ratio de consistencia (CR), definido como la relación entre el índice de consistencia (CI) y el índice aleatorio (RI). Para matrices de orden 4, el valor de RI corresponde a 0.90, considerándose aceptables valores de $CR \leq 0.10$ (Hämmerling et al., 2021).

El resultado obtenido fue de 0.006, validando la coherencia y fiabilidad de los ponderadores calculados. Estos pesos relativos constituyeron la base del modelo de evaluación, permitiendo integrar las diferentes categorías de amenaza en un índice de riesgo integral para cada tramo del canal (Ver Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Ponderadores de las categorías principales

Categoría	Peso / ponderador	Prioridad
Fallas estructurales	0.48	1
Amenazas geodinámicas y climatológicas	0.28	2
Factores antrópicos	0.16	3
Fallas geológicas	0.08	4

Tabla 3. Subcriterios e indicadores de la escala de riesgos

Categoría	Subcriterio	Peso global
Fallas estructurales (0.48)	Grietas longitudinales	0.168
	Erosión	0.12
	Grietas transversales	0.096
	Filtraciones activas	0.096
	Movimientos en masa	0.112
Amenazas geodinámicas y climáticas (0.28)	Heladas	0.056
	Incendios forestales	0.042
	Caída de ceniza	0.042
	Erosión hídrica superficial	0.028
	Descarga de aguas	0.072
Factores antrópicos (0.16)	Incumplimiento de servidumbre de paso	0.056
	Obstrucción por residuos sólidos	0.032
Fallas geológicas (0.08)	Proximidad a fallas activas	0.056
	Historial de sismicidad local	0.024

2.5. Escala ordinal de niveles de riesgo

Se adoptó una escala ordinal de cinco niveles: Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto, con el fin de facilitar la interpretación de los valores obtenidos mediante el método AHP y apoyar la priorización de intervenciones. Esta

clasificación permitió agrupar los tramos del canal según su nivel de criticidad, simplificando la evaluación del riesgo.

La relación entre rangos numéricos y niveles cualitativos constituye una metodología ampliamente utilizada en estudios de infraestructuras hidráulicas. Además, la escala

sirvió como base para la representación cartográfica en ArcGIS, asociando cada nivel de riesgo a un código de color para facilitar su interpretación visual (Sandoval et al., 2025).

2.6. Construcción e implementación del mapa de riesgos en entorno SIG

El mapa de riesgos se elaboró mediante la integración de información georreferenciada obtenida con GNSS, UAV e inspecciones de campo. Las fallas estructurales, amenazas antrópicas y evidencias geodinámicas fueron incorporadas en una base de datos geoespacial junto con ortofotos y capas temáticas oficiales relacionadas con geología, uso del suelo y susceptibilidad a movimientos en masa.

El canal fue segmentado en 28 tramos de 100 m (0+000-2+800), evaluados mediante el modelo AHP con puntuaciones normalizadas entre 0 y 1 según la severidad de las amenazas identificadas. Posteriormente, el riesgo integral se calculó mediante suma ponderada y se representó en ArcGIS utilizando herramientas de geoprocetamiento y clasificación ordinal (Muy Bajo-Muy Alto), permitiendo identificar espacialmente los sectores críticos y priorizar las intervenciones (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Escala de riesgos Canal de Riego Chacón Sevilla Sector Pinllo Andiglata

Nivel de riesgo	Rango de puntuación	Color (Mapa)	Interpretación
Muy bajo	0.00 - 0.20	Verde	Sin evidencia de amenazas o con impacto despreciable
Bajo	0.21 - 0.40	Verde claro	Amenazas aisladas sin daño estructural evidente
Medio	0.41 - 0.60	Amarillo	Amenazas activas que requieren monitoreo
Alto	0.61 - 0.80	Naranja	Amenazas significativas con riesgo de falla inminente
Muy alto	0.81 - 1.00	Rojo	Amenazas críticas; intervención prioritaria y urgente

3. Resultados y discusiones

La aplicación de la escala de riesgos, construida mediante el método AHP, sobre los 28 tramos de 100 metros en que fue segmentado el canal Chacón Sevilla en el sector Pinllo-Andiglata, permitió obtener una caracterización cuantitativa del nivel de amenaza asociado a cada segmento de la infraestructura. Los resultados evidencian una marcada variabilidad espacial, lo que facilita la identificación de patrones de riesgo y tramos críticos.

Durante las inspecciones de campo se identificaron tramos donde la infraestructura hidráulica es inexistente, ya sea por pérdida total del revestimiento o por ausencia de construcción original. En estos casos, la vulnerabilidad se considera máxima en la categoría de fallas estructurales, asignándose el valor total de su ponderación (0.48). Este criterio responde a que la ausencia de un canal definido implica la circulación libre del flujo, favoreciendo procesos de erosión y afectaciones directas en el entorno, obteniéndose la matriz de la Tabla 5 (Li et al., 2021).

Los valores de riesgo integral, obtenidos mediante la suma ponderada de las categorías evaluadas, oscilaron entre 0.18 y 0.94, cubriendo prácticamente toda la escala de clasificación (Muy Bajo-Muy Alto).

Los niveles de riesgo Muy Alto (0.81-1.00) se registraron en las abscisas 0+700 (0.87), 0+800 (0.87), 1+100 (0.81), 2+200 (0.90), 2+300 (0.90), 2+400 (0.85) y 2+800 (0.94), sectores donde convergen múltiples amenazas y, en varios

casos, ausencia o colapso de la infraestructura hidráulica. Los tramos con riesgo Alto (0.61-0.80), como 0+900 (0.73), 1+000 (0.76), 2+600 (0.76) y 2+700 (0.72), presentan condiciones que requieren intervención a corto plazo. Por su parte, los niveles Medios (0.41-0.60) corresponden a sectores como 0+600 (0.46), 1+200 (0.51), 2+000 (0.43) y 2+100 (0.43), donde el deterioro puede intensificarse sin mantenimiento preventivo.

Los niveles Bajo y Muy Bajo se concentran principalmente en los tramos iniciales e intermedios, destacando las abscisas 0+100 (0.28), 0+200 (0.23), 0+300 (0.23), 0+400 (0.23) y 1+300 (0.18). Este último constituye el único tramo clasificado como Muy Bajo, asociado a condiciones estructurales relativamente estables.

Un hallazgo relevante es que los tramos sin infraestructura no solo alcanzan la máxima ponderación en fallas estructurales, sino que además potencian amenazas geodinámicas y antrópicas, favoreciendo erosión, infiltraciones y acumulación de descargas. Esta interacción explica que los mayores valores de riesgo (0.90-0.94) se concentren en sectores donde el canal ha desaparecido parcial o totalmente (Li et al., 2021).

El análisis espacial permitió identificar cuatro zonas diferenciadas: un primer sector de bajo riesgo entre 0+100 y 0+500 (≤ 0.35); un incremento progresivo desde 0+600 hasta alcanzar valores críticos en 0+700, 0+800 y 0+900; una reducción moderada entre 1+200 y 1+900 (0.18-0.43); y un nuevo incremento desde 2+000, con máximos en 2+200,

2+300 y 2+800 (0.94). Este comportamiento evidencia la influencia de factores geotécnicos, presión antrópica y deterioro estructural no rehabilitado.

Tabla 5. Resultados de evaluación por tramos según la escala de riesgos.

Abscisa	Escala	Nivel de riesgo
0+000-0+500	0.23-0.35	Bajo
0+600	0.46	Medio
0+700-0+800	0.87	Muy alto
0+900-1+000	0.73-0.76	Alto
1+100	0.81	Muy alto
1+200	0.51	Medio
1+300	0.18	Muy bajo
1+400-1+800	0.35-0.4	Bajo
1+900-2+100	0.4-0.43	Medio
2+200-2+300	0.9	Muy alto
2+400	0.85	Muy alto
2+500	0.38	Bajo
2+600-2+700	0.72-0.76	Alto
2+800	0.94	Muy alto

3.1. Representación cartográfica

Los resultados obtenidos sirvieron como base para la elaboración del mapa de riesgos del canal Chacón Sevilla en entorno ArcGIS. La integración de la información levantada en campo con capas de amenazas provenientes de fuentes oficiales permitió representar espacialmente los niveles de riesgo a lo largo del canal. Esta visualización facilita la identificación de sectores críticos, especialmente aquellos con ausencia de infraestructura y mayor vulnerabilidad, constituyéndose en un insumo técnico para la toma de decisiones territorializadas (Sar et al., 2015) (Ver Figura 2).

La propuesta de intervención se formuló a partir del diagnóstico técnico, considerando el nivel de riesgo, las condiciones estructurales y los factores de incidencia predominantes en cada tramo. Las soluciones planteadas priorizan la funcionalidad hidráulica, la estabilidad estructural y la reducción del riesgo para las poblaciones aledañas.

Los tramos con infraestructura funcional fueron orientados a mantenimiento preventivo, mientras que los sectores con deterioro severo o ausencia de estructura requirieron rehabilitación o reconstrucción integral. En zonas con filtraciones y pérdida de capacidad hidráulica se propusieron reparaciones e impermeabilización, mientras que en sectores con alta ocupación antrópica y riesgo de desbordamiento se

plantearon soluciones confinadas mediante embaulado o tubería cerrada.

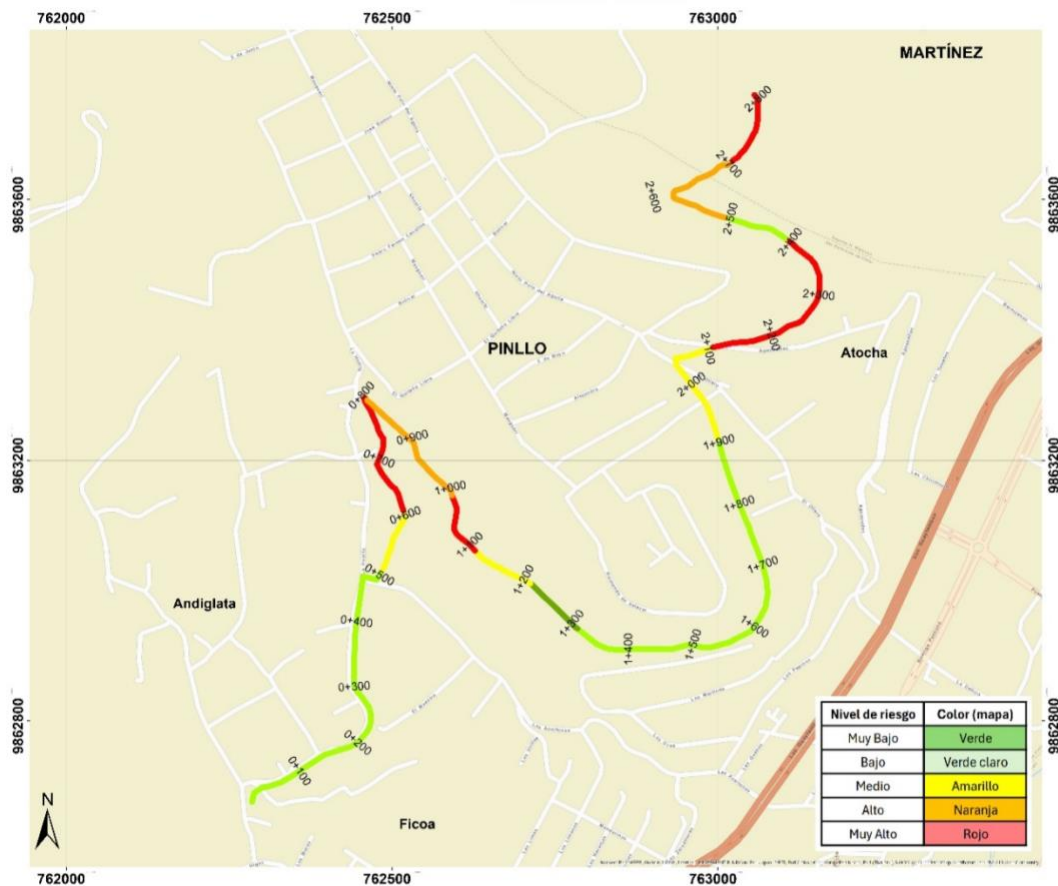
Adicionalmente, se incorporaron medidas de control de erosión, regularización de servidumbre y manejo de descargas antrópicas. Cada intervención fue acompañada de un presupuesto referencial basado en análisis de costos, permitiendo evaluar su viabilidad técnica y económica.

3.2. Discusión

Los resultados obtenidos en el canal Chacón Sevilla evidencian que el riesgo se concentra en tramos específicos donde convergen ausencia de infraestructura hidráulica, ocupación antrópica y procesos geodinámicos activos. Las abscisas 2+200, 2+300 y 2+800 registraron los mayores valores de riesgo integral (0.90-0.94), asociados a sectores con colapso estructural o inexistencia de revestimiento.

Las inspecciones de campo demostraron que estas condiciones favorecen la erosión lateral, la pérdida de confinamiento del flujo y la expansión de la escorrentía sobre áreas habitadas. Desde una perspectiva técnica, la ausencia de infraestructura actúa como un factor multiplicador de las demás amenazas, incrementando la vulnerabilidad.

Figura 2. Mapa de Niveles de Riesgo Acequia Chacón Sevilla Sector Pinllo - Andiglata



Otro hallazgo relevante corresponde a la relación entre factores antrópicos y deterioro estructural. Las descargas de aguas y acumulación de residuos sólidos generan obstrucciones, humedad permanente y procesos de erosión que aceleran la degradación del canal y reducen su capacidad hidráulica. Esto evidencia que las amenazas antrópicas no solo afectan el entorno, sino que intensifican directamente las fallas estructurales existentes. En contraste, los tramos embaulados o con revestimiento en buen estado presentaron los niveles más bajos de riesgo, incluso en sectores con alta presión urbana, lo que demuestra la efectividad del confinamiento hidráulico para reducir erosión, obstrucciones y ocupación de la servidumbre.

Los hallazgos obtenidos guardan relación con lo expuesto por Berrones y Céleri (Berrones & Céleri, 2025), quienes identifican la debilidad institucional y la limitada gobernanza como factores determinantes en el deterioro de los sistemas de riego andinos. Sin embargo, el presente estudio aporta un componente adicional no abordado en dichos trabajos: la incorporación de evidencia geoespacial detallada permitió demostrar que la ocupación antrópica de la servidumbre se concentra espacialmente en los sectores

donde la infraestructura ha desaparecido o colapsado, evidenciando una relación territorial directa entre deterioro estructural y expansión urbana no planificada.

La aplicación del método AHP coincide con lo planteado por Ángel Sandoval Narcisa Requelme y Charles Cachipundo (Sandoval et al., 2025), quienes destacan la capacidad de las metodologías multicriterio para integrar variables cuantitativas y cualitativas en modelos de priorización hidráulica. En el canal Chacón Sevilla, este enfoque permitió incorporar simultáneamente factores estructurales, geodinámicos y antrópicos dentro de un modelo espacial de riesgo. A diferencia de estudios enfocados en embalses o prefactibilidad hidráulica, la presente investigación incorporó evidencia directa de campo y segmentación territorial detallada, facilitando la identificación precisa de tramos críticos (Ver Tabla 6).

Los resultados también coinciden con estudios recientes de análisis multiamenaza aplicados a infraestructuras hidráulicas, donde la interacción entre deterioro estructural y amenazas externas incrementa la pérdida de funcionalidad del sistema. Sin embargo, este trabajo aporta una aplicación

específica para canales de riego en contextos andinos periurbanos, incorporando variables de ocupación informal

y presión urbana poco consideradas en evaluaciones convencionales (Liu et al., 2021).

Tabla 6. Propuesta de intervención por tramos

Tramos	Condición estructural	Propuesta de intervención
0+000-0+500	Tramo embaulado funcional	Implementación de mantenimiento preventivo periódico, limpieza hidráulica y monitoreo de juntas y conexiones para conservar la capacidad de conducción.
0+500-0+600	Canal revestido	Rehabilitación localizada mediante sellado estructural de grietas con mortero de reparación y construcción de losa de confinamiento para estabilización superficial del tramo.
0+600-1+100	Tramo sin infraestructura hidráulica definida	Implementación de conducción cerrada mediante tubería PVC de alta resistencia o canal revestido confinado, complementado con obras de drenaje
1+100-1+200	Canal revestido	Recuperación hidráulico-estructural mediante reparación de fisuras, impermeabilización superficial y reforzamiento con losa superior de protección.
1+200-1+900	Tramo embaulado funcional	Conservación preventiva mediante limpieza periódica, control de obstrucciones y seguimiento técnico del comportamiento estructural.
1+900-2+100	Canal revestido	Rehabilitación funcional del tramo mediante retiro de obstrucciones, regularización de servidumbre hidráulica y reparación estructural localizada.
2+100-2+400	Tramo sin infraestructura hidráulica definida	Implementación de conducción cerrada mediante tubería PVC de alta resistencia o canal revestido confinado, complementado con obras de drenaje y control de erosión lateral.
2+400-2+500	Tramo embaulado funcional	Mantenimiento preventivo y monitoreo periódico para garantizar estabilidad operativa del sistema.
2+500-2+900	Tramo sin infraestructura hidráulica definida	Implementación de conducción cerrada mediante tubería PVC de alta resistencia o canal revestido confinado, complementado con obras de drenaje

Adicionalmente, los sectores de mayor riesgo coinciden con zonas de alta densidad poblacional en Pinllo y Andiglata, evidenciando que el deterioro del canal constituye no solo un problema hidráulico, sino también territorial y de seguridad pública. En consecuencia, las soluciones propuestas requieren complementar la rehabilitación estructural con procesos de regularización de servidumbre y control de ocupaciones.

Asimismo, los hallazgos señalan que gran parte de los sistemas de riego ecuatorianos operan mediante infraestructura envejecida y conducción por gravedad con bajos niveles de eficiencia. Sin embargo, mientras dicho informe aborda la problemática desde una escala nacional, el presente estudio aporta una aproximación territorial detallada que permite identificar espacialmente los puntos críticos y priorizar intervenciones específicas según el tipo de amenaza presente en cada tramo (Cachipiendo, 2021).

Desde una perspectiva metodológica, la integración de GNSS, fotogrametría UAV, análisis multicriterio AHP y herramientas SIG constituye uno de los principales aportes del estudio. El ratio de consistencia obtenido (CR=0.006) validó la coherencia de los ponderadores y fortaleció la confiabilidad del modelo. Asimismo, la representación espacial del riesgo permitió convertir información técnica compleja en una herramienta práctica para la gestión territorial y priorización de intervenciones.

No obstante, la investigación presenta limitaciones asociadas al carácter estático de la evaluación, al no incorporar variaciones temporales de caudal ni monitoreo evolutivo de patologías estructurales. De igual forma, aunque los juicios expertos mostraron consistencia estadística, un panel interdisciplinario más amplio permitiría reducir la subjetividad inherente al método AHP. A pesar de ello, la metodología demostró ser robusta y replicable para sistemas de riego andinos afectados por deterioro estructural y expansión urbana no planificada

4. Conclusiones

El diagnóstico técnico del canal Chacón Sevilla evidencia que el deterioro estructural, la ocupación de la servidumbre y las amenazas geodinámicas actúan de forma conjunta, incrementando significativamente la vulnerabilidad del sistema. La aplicación integrada de GNSS, UAV, SIG y análisis multicriterio AHP permitió identificar que el 21% de los tramos evaluados presenta riesgo Muy Alto, concentrado principalmente en las abscisas 2+200, 2+300 y 2+800.

El modelo AHP obtuvo un ratio de consistencia de 0.006, validando la confiabilidad de los ponderadores asignados a fallas estructurales (0.48), amenazas geodinámicas y climáticas (0.28), factores antrópicos (0.16) y fallas geológicas (0.08). Los resultados muestran que la ausencia de infraestructura y la presión urbanística constituyen los principales factores de criticidad, especialmente en sectores de alta densidad poblacional donde se limita el

mantenimiento y aumenta la exposición ante procesos de erosión y desbordamiento.

Las propuestas de intervención planteadas, canales revestidos de hormigón armado, embaulados, reparaciones localizadas y mantenimiento preventivo permiten orientar técnicamente la priorización de obras según el nivel de riesgo y las condiciones territoriales de cada tramo. En este sentido, la metodología desarrollada constituye una herramienta replicable para la gestión del riesgo en infraestructuras hidráulicas lineales de contextos andinos. Si bien la evaluación presenta limitaciones asociadas al carácter estático del análisis y a la subjetividad inherente del método AHP, la consistencia estadística obtenida respalda la validez de los resultados. Futuras investigaciones podrían incorporar monitoreo temporal y modelación hidráulica dinámica para fortalecer la evaluación evolutiva del riesgo.

Referencias

- Berrones, G., & Céleri, R. (2025). Understanding sustainability issues in Andean irrigation systems. *La Granja*, 42, 22-40. <https://doi.org/10.17163/lgr.n42.2025.02>
- Cachipiendo, C. (2021). The Technification of Irrigation as a Strategy of Community Resilience. Case Study: Pisque River Basin, Ecuador. *Communication, Smart Technologies and Innovation for Society*, 252, 207-216. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4126-8_20
- Domínguez-Guzmán, C., Verzijl, A., Zwartveen, M., & Mol, A. (2021). Caring for water in Northern Peru: On fragile infrastructures and the diverse work involved in irrigation. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 5, 2153-2171. <https://doi.org/10.1177/25148486211052216>
- Esenarro, D., Gutierrez, D. P., Peña, K. S. C., Cairo, J. V., Anzualdo, V. I. T., Garagatti, M. V., Delgado, G. W. S., & Aucá, C. A. (2025). Water Efficiency in the Construction of Water Channels and the Ancestral Constructive Sustainability of Cumbemayo, Peru. *Heritage*, 8, 345. <https://doi.org/10.3390/heritage8090345>
- Hämmerling, M., Kałuża, T., Zawadzki, P., Zaborowski, S., Sojka, M., Liberacki, D., & Ptak, M. (2022). Application of Multi-Criteria Analytic Methods in the Assessment of the Technical Conditions of Small Hydraulic Structures. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings12020115>
- Hämmerling, M., Kocięcka, J., & Zaborowski, S. (2021). AHP as a Useful Tool in the Assessment of the Technical Condition of Hydrotechnical Constructions. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su13031304>
- Isimjayanti, D., Kodoatie, R., & Edhisono, S. (2023). Penilaian Risiko Bendungan Manggar Dengan Metode Modifikasi ICOLD. *Media Ilmiah Teknik Sipil*. <https://doi.org/10.33084/mts.v11i3.4699>
- Leroy, D., García, S. B., & Tapiquén, E. P. (2022). Understanding institutional changes in irrigation management: a comparative case study of two communities in the Venezuelan Andes. *Water International*, 47, 1287-1309. <https://doi.org/10.1080/02508060.2022.2062583>
- Li, Q.-F., Zhou, H., & Lu, L. (2021). Evaluation of Serviceability of Canal Lining Based on AHP-Simple Correlation Function Method-Cloud Model: A Case Study in Henan Province, China. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su132112314>
- Liu, J., Du, Z., Lixing, & Liu, C. (2021). Identification and Assessment of Subway Construction Risk: An Integration of AHP and Experts Grading Method. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2021/6661099>
- Lund, A., Gates, T., & Scalia, J. (2023). Characterization and control of irrigation canal seepage losses: A review and perspective focused on field data. *Agricultural Water Management*. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108516>
- Matovelle, C., Mudarra, M., & Andreo, B. (2025). Efficiency analysis of irrigation ditches over different land uses in the Andean region of Ecuador: implication for nature-based water management strategies. *Environmental Earth Sciences*, 84. <https://doi.org/10.1007/s12665-024-12070-7>
- Sandoval, A., Requelme, N., & Cachipiendo, C. (2025). Multi-criteria decision making (MCDM) methodology for the prioritization of technical irrigation projects. *Water Policy*, 27. <https://doi.org/10.2166/wp.2025.304>
- Sar, N., Chatterjee, S., & Adhikari, M. (2015). Integrated remote sensing and GIS based spatial modelling through analytical hierarchy process (AHP) for water logging hazard, vulnerability and risk assessment in Keleghai river basin, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0039-9>

Contribución de los autores (CRediT)

Almeida Domínguez, M.: Curación de contenido y datos, Análisis formal de datos, Investigación, Metodología, Recursos Materiales, Software, Redacción-borrador original, Redacción – Revisión y edición. **Paredes-Beltrán, E.:** Conceptualización, Administración del proyecto, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción – revisión y edición.

Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento

Los autores expresan autofinanciamiento para realizar esta obra de investigación.

Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles a solicitud razonable al autor de correspondencia.

Conflicto de intereses

Los autores han declarado que no existe conflicto de intereses en esta obra.

Declaración sobre el uso de IA generativa y tecnologías asistidas por IA

El manuscrito no incluye una declaración específica respecto al uso de herramientas de inteligencia artificial durante su proceso de redacción. La autoría, así como la responsabilidad total del contenido, recaen exclusivamente en los autores.

Nota del Editor

Descargo de responsabilidad: Los datos, declaraciones, opiniones contenidas en el documento son responsabilidad únicamente de los autores y no de la *Revista Científica FINIBUS – Ingeniería, Industria y Arquitectura*. La Revista y sus editores renuncian a toda responsabilidad por daño a persona o propiedad resultante de los métodos, instrucciones, producto o idea mencionado en el contenido.



Derechos de autor 2026.



Esta obra está bajo una licencia:
Internacional Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual
.4.0

Revista Científica *FINIBUS* - ISSN: 2737-6451.