

DEL DIAGNÓSTICO DE EMERGENCIA A LA GEOMÁTICA PREDICTIVA:

Gestión Preventiva de Depósitos de Relaves y Protección de Aguas Subterráneas en Cuencas Vulnerables

Magdalena Severino Guzmán

Geógrafa & Especialista en Hidrogeología, Universidad de Chile | Área de Análisis Territorial y Medio Ambiente,
Mercator Ingenieros

RESUMEN

La recurrencia de eventos climáticos extremos en zonas semiáridas de Chile expone la fragilidad de la infraestructura minera y la vulnerabilidad de las fuentes de agua potable rural (APR). La práctica del "despiche", descarga o purga de emergencia de aguas de contacto acumuladas en la cubeta de un depósito de relaves para preservar su estabilidad geotécnica, genera impactos inmediatos en la calidad hidrológica y química de los cauces receptores. Este artículo analiza la contingencia ocurrida en la Provincia de Petorca (cuenca del Río La Ligua y Quebrada Chinchorro), evaluando los mecanismos de infiltración hacia acuíferos aluviales permeables y la consecuente suspensión de sistemas APR. Asimismo, propone un enfoque de gestión integral mediante tecnología geomática avanzada (fotogrametría UAV, Escáner Láser 3D y modelamiento SIG), permitiendo pasar de la contención reactiva a un esquema predictivo de alta precisión.

Palabras clave: Agua Potable Rural (APR), Despiche, Depósitos de Relaves, Hidrogeología Aluvial, Geomática Aplicada, Gestión Riesgo Hidroambiental.

ABSTRACT

The recurrence of extreme weather events in semi-arid regions of Chile highlights the vulnerability of tailings storage facilities (TSFs) and downstream rural drinking water systems (APR). Emergency purging or discharge ("despiche") of contact water from tailings ponds, designed to mitigate geotechnical failure risks, causes immediate degradation of surface and groundwater quality. This paper examines the environmental contingency in the Petorca Province (La Ligua River basin and Chinchorro Stream), evaluating contact water infiltration mechanisms into permeable alluvial aquifers and the resulting shutdown of APR supply wells. Furthermore, an integrated management framework leveraging advanced geomatics (UAV photogrammetry, 3D Laser Scanning, and GIS modeling) is proposed to transition from reactive emergency response to high-precision predictive monitoring.

Keywords: Rural Drinking Water Systems (APR), Tailings Purging (Despiche), Tailings Storage Facilities, Alluvial Hydrogeology, Applied Geomatics, Hydro-Environmental Risk Management.

1. INTRODUCCIÓN

¿Es sostenible seguir abordando la seguridad ambiental y operacional de los depósitos de relaves bajo esquemas de reacción reactiva frente a eventos climáticos severos?

Las precipitaciones de alta intensidad concentradas en breves periodos imponen un estrés hidráulico crítico sobre las cubetas de almacenamiento de relaves. Frente al riesgo inminente de sobrepaso del revancha o inestabilidad geotécnica del muro de contención, las faenas mineras se ven forzadas a recurrir al "despiche" o purga controlada de aguas de contacto. Si bien esta medida previene una falla catastrófica del depósito, libera efluentes con elevadas concentraciones de metales pesados, sulfatos y sólidos suspendidos hacia las redes de drenaje natural.

La reciente contingencia en la provincia de Petorca, donde escurrimientos y descargas asociadas a tranques de relaves en la zona impactaron el Río La Ligua y la Quebrada Chinchorro, forzó la suspensión preventiva de

múltiples pozos de captación de Agua Potable Rural (APR). Este escenario evidencia la urgente necesidad de superar el paradigma de la remediación posterior a la emergencia. La integración de la geografía física, la hidrogeología aluvial y las tecnologías geomáticas avanzadas permite monitorear y modelar la dinámica hídrica en tiempo real, anticipando escenarios críticos y protegiendo las fuentes de agua de las comunidades locales.

2. MARCO GEOGRÁFICO Y VULNERABILIDAD TERRITORIAL

La cuenca hidrográfica debe comprenderse como una unidad sistémica e interconectada, donde las variaciones geomorfológicas y climáticas condicionan directamente el riesgo ambiental. La provincia de Petorca se caracteriza por un relieve accidentado y un clima semiárido de alta variabilidad interanual, donde años de sequía prolongada son interrumpidos por eventos hidrometeorológicos intensos.

En este contexto de escasez hídrica estructural, la coexistencia en el fondo de valle entre faenas mineras, pequeños asentamientos humanos y la actividad agrícola genera un entramado de alta vulnerabilidad socioambiental:

- I. **Fragilidad de la Red de Drenaje:** Los esteros y quebradas secundarias (como la Quebrada Chinchorro) presentan cauces efímeros con baja capacidad de dilución natural ante vertidos directos o indirectos.
- II. **Dependencia Sanitaria de Aguas Subterráneas:** La población rural depende casi exclusivamente de pozos noria y captaciones profundas del sistema APR instaladas en el relleno aluvial del Río La Ligua.
- III. **Mapeo de Riesgo Multicriterio:** Al superponer capas topográficas, de infraestructura minera y de captaciones de agua mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), se evidencia que la distancia física entre los puntos de eventual descarga y los pozos de agua potable es sumamente reducida, anulando los tiempos de respuesta ante un evento de despiche no planificado.

3. DINÁMICA HIDROGEOLÓGICA E IMPACTO EN ACUÍFEROS

Cuando las aguas de contacto se liberan a la escorrentía superficial o se infiltran en la cubeta, el riesgo se traslada al medio subterráneo. Los depósitos aluviales de la cuenca del Río La Ligua están compuestos por gravas y arenas de alta permeabilidad y conductividad hidráulica (K), lo que favorece una rápida interacción entre el agua superficial contaminada y el acuífero freático.

Mecanismos de Infiltración y Migración de Contaminantes

- a. **Infiltración Directa:** El agua de contacto rica en sulfatos y especies metálicas se infiltra a través del lecho del cauce sin suficiente atenuación en la zona no saturada (vadosa).
- b. **Geometría de la Pluma de Contaminación:** Bajo el gradiente hidráulico natural de la cuenca, las plumas solubles avanzan longitudinalmente hacia el fondo del valle.
- c. **Interacción con Conos de Depresión de APR:** El bombeo continuo de los pozos de agua potable genera conos de depresión hidráulica que aceleran la velocidad de flujo subterráneo local, "atrayendo" la pluma de contaminación directamente hacia los filtros de captación.

El modelamiento matemático de transporte de solutos (advección-dispersión-reacción) resulta indispensable para estimar los tiempos de arribo de los contaminantes y emitir alertas tempranas que eviten el consumo de agua comprometida por parte de la población.

4. INTEGRACIÓN GEOMÁTICA PARA LA GESTIÓN PREVENTIVA

Para evitar llegar a la condición límite del despiche de emergencia se propone un protocolo de monitoreo analítico basado en tres pilares geomáticos complementarios:

Tecnología Geomática	Aplicación Operacional	Beneficio Preventivo Directo
Fotogrametría UAV (Drones)	Levantes topográficos periódicos de alta resolución y ortomosaicos termográficos.	Cálculo volumétrico milimétrico del espejo de agua y capacidad remanente en la cubeta para optimizar el balance hídrico pre-tormenta.
Escáner Láser 3D (LiDAR)	Generación de nubes de puntos densas del muro de contención y coronamiento.	Detección milimétrica de asentamientos, deformaciones de muro o grietas de tracción sin exponer al personal técnico a zonas de riesgo.
Modelamiento SIG e Hidrológico	Integración de Modelos Digitales de Elevación (DEM) con capas hidrogeológicas.	Simulación de mapas de inundación, rutas de flujo de escorrentía y diseño óptimo de canales de desvío de aguas lluvias.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La gestión operacional en depósitos de relaves ante eventos meteorológicos extremos exige un cambio definitivo hacia una estrategia preventiva. Históricamente, el recurso "despiche" o purga de emergencia de las cubetas para resguardar la estabilidad física de los muros ha demostrado ser una solución reactiva que traslada el problema hacia la cuenca hidrográfica. Al liberar aguas de contacto, estas se infiltran en los acuíferos aluviales permeables y fluyen hacia los cursos superficiales, impactando directamente la calidad hídrica de la cual dependen las comunidades locales y los sistemas de Agua Potable Rural (APR).

Esta dinámica evidencia que la seguridad geotécnica no puede analizarse al margen de la fragilidad socioambiental del territorio. Frente a esta vulnerabilidad, la integración multidisciplinaria emerge como la única vía efectiva: la mirada territorial de la geografía, combinada con la caracterización hidrogeológica de los flujos subterráneos y la precisión volumétrica que aportan las herramientas geomáticas, permite comprender el comportamiento integral del depósito y su entorno. De este modo, la fotogrametría UAV, el escaneo láser 3D y el modelamiento mediante SIG se vuelven indispensables para evitar los desastres hídricos.

Esta capacidad de medición continua debe articularse directamente con la optimización de la infraestructura de manejo de aguas de la planta. Se requiere diseñar y dimensionar sistemas de contención adicionales y redes de recirculación eficientes que garanticen la absorción de crecidas durante precipitaciones intensas, anulando la necesidad de recurrir a descargas no controladas hacia el drenaje natural.

En Mercator Ingenieros desarrollamos soluciones integrales de monitoreo geomático e hidrogeológico adaptadas a las exigencias operacionales y ambientales de la industria minera. ¿Buscas optimizar la gestión de riesgos en tus depósitos de relaves? Contáctanos a nuestro equipo de especialistas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dirección General de Aguas (DGA). (2018). *Actualización del Balance Hídrico Nacional*. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). (2019). *Guía Técnica de Diseños de Depósitos de Relaves*. Santiago, Chile.
- Scanlon, B. R., et al. (2002). *Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge*. Hydrogeology Journal, 10(1), 18-39.
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2012). *Guía para el Uso de Modelos de Aguas Subterráneas en el SEIA*. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago, Chile.