

Jales Metalúrgicos en América Latina

De Pasivos Ambientales a Activos Estratégicos

Basado en la investigación de:

Miguel Peña

Fundación Cátedra Ciclo Minero

La Escala del Problema: 500+ Millones de Toneladas

- 01 Legado Histórico:** Más de 400 años de actividad minera en América Latina han dejado miles de presas de jales abandonadas.
- 02 Concentración Crítica:** En México, el 95% del volumen total se concentra en cinco distritos mineros principales.
- 03 El Desafío Dual:** Estas estructuras representan simultáneamente una crisis ambiental urgente y una oportunidad económica sin precedentes.

"La transformación de estos pasivos ambientales en activos estratégicos es el núcleo de la minería circular en el siglo XXI."



Distribución de Presas de Colas en América Latina

Un Desafío Continental

La minería ha sido el motor económico de América Latina, pero ha dejado un extenso legado de pasivos ambientales distribuidos por toda la región.

Concentraciones Principales

Los mayores volúmenes de jales abandonados se encuentran en los países con mayor tradición minera:

México: +500M toneladas en 5 distritos

Perú: Vanguardia en reprocesamiento

Chile: Grandes volúmenes de cobre

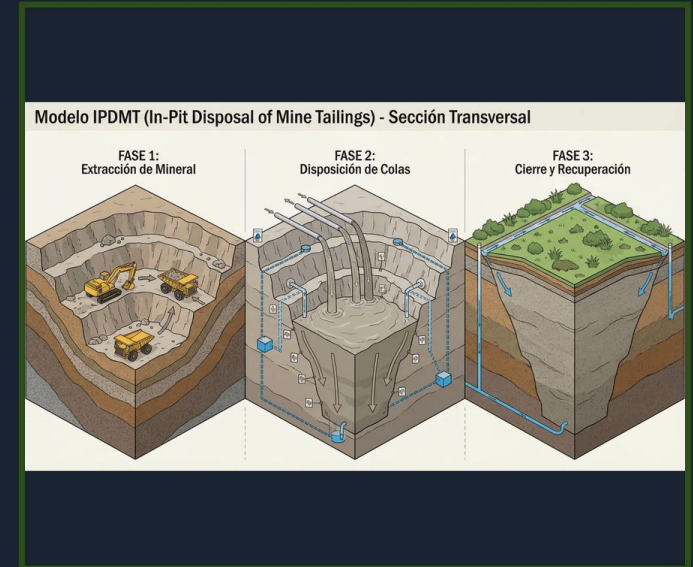
Brasil: Gestión crítica de pasivos



México: Cinco Distritos Mineros Críticos

Más de 500 millones de toneladas de jales abandonados se concentran en cinco regiones, representando un valor estimado de USD \$1.5-2.4 billones en minerales recuperables.

Distrito Minero	Volumen (Ton)	Minerales Clave	Estado Estratégico
Zacatecas	180-200M	Ag, Au, Zn, Cu	Prioridad 1: Alto Valor
Chihuahua	120-150M	Ag, Cu, Zn, Pb	Prioridad 2: Polimetálico
San Luis Potosí	100-120M	Ag, Au, Cu	Urgencia Ambiental
Pachuca / Hidalgo	60-80M	Ag, Au, Cu	Proyecto a Largo Plazo
Taxco / Guerrero	40-60M	Ag, Au, Cu	Riesgo Urbano Crítico



El modelo IPDMT (In-Pit Disposal of Mine Tailings) se perfila como la solución técnica definitiva para la disposición segura de estos pasivos tras su reprocesamiento.

Zacatecas: La Potencia Económica del Reciclaje

180-200M

Toneladas de Jales

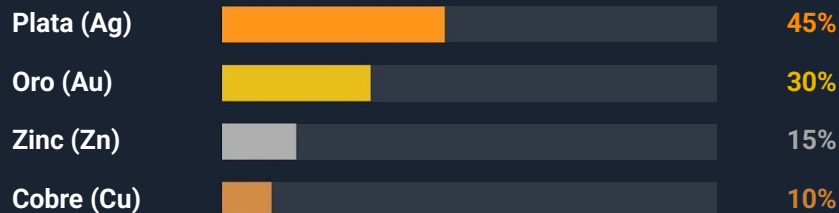
Representa el 95% del volumen total de jales abandonados en los distritos mineros principales de México.

USD \$1.2B

Valor Económico Potencial

Estimación máxima de recuperación de metales, proporcionando el capital necesario para financiar la remediación ambiental.

Composición Mineral Principal



Prioridad 1: Inversión Inmediata

Zacatecas representa la mayor oportunidad económica y es el punto de partida lógico para un programa nacional de remediación. La alta concentración de plata y oro permite que la recuperación de estos jales financie la remediación de otros sitios con menor rentabilidad pero alta urgencia ambiental.

Chihuahua: Complejidad Polimetálica y Riesgo Ambiental

Perfil Económico y Volumen

Volumen de Jales **120 - 150 Millones Ton.**

Valor Económico Potencial **USD \$500M - \$700M**

Composición Mineral Principal

Ag (40%)

Cu (35%)

Zn (15%)

Pb (10%)

Recomendación Estratégica: Prioridad 2

La diversidad mineral presenta un desafío técnico pero ofrece una canasta de metales valiosa. Se requiere un enfoque equilibrado que combine la recuperación de recursos con la estabilización ambiental inmediata.

Desafíos Ambientales Específicos

Dispersión de Polvo (Clima Árido) **85% Riesgo**

El clima árido de Chihuahua incrementa significativamente la generación y dispersión de polvo de jales, afectando la calidad del aire en áreas extensas.

Drenaje Ácido de Mina (DAM) **80% Riesgo**

Alto contenido de sulfuros genera acidificación continua y lixiviación de metales pesados hacia el subsuelo.

Contaminación de Agua **75% Riesgo**

Elementos Potencialmente Tóxicos (PTEs) como Plomo y Cadmio representan riesgos para aguas subterráneas y la cuenca del Río Bravo.

San Luis Potosí: Urgencia Ambiental Crítica

VOLUMEN DE JALES

100-120M ton

VALOR POTENCIAL

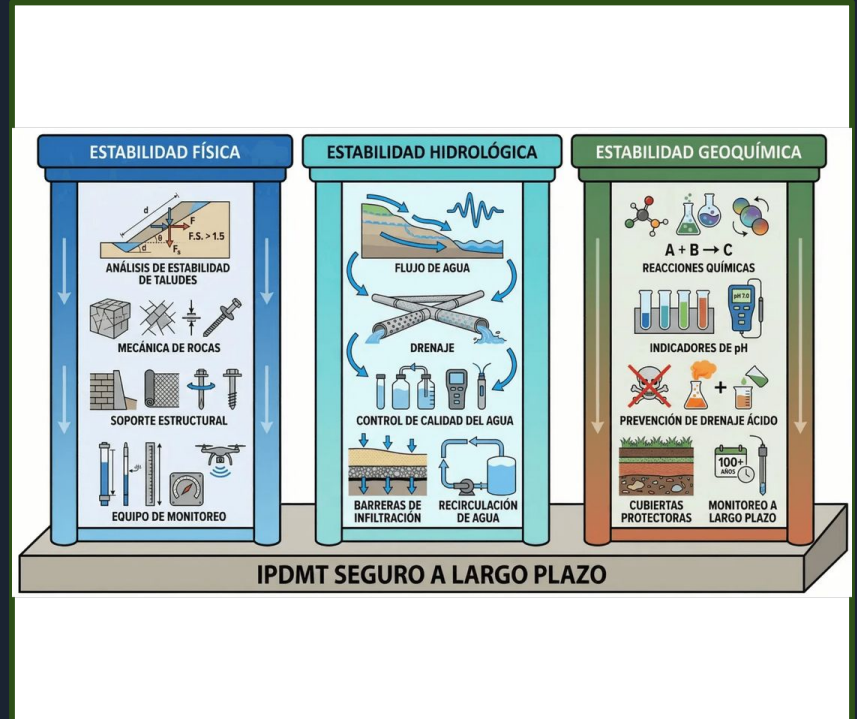
\$300M - \$500M

Amenaza a Fuentes de Agua

La proximidad de presas de jales a la ciudad de San Luis Potosí representa un riesgo extremo para las fuentes de agua potable. La urgencia social y ambiental justifica una intervención inmediata, priorizando la estabilización sobre el retorno económico.

Presas Notables y Prioridades

- **Presa Cerro de San Pedro:** Alta prioridad. Riesgo ambiental extremo por su cercanía a la zona urbana.
- **Presas Charcas:** Remediación prioritaria requerida.
- **Composición Mineral:** Plata (50%), Oro (25%), Cobre (25%).



El Desafío Técnico: Drenaje Ácido de Mina (DAM)

El Proceso Químico

La exposición de minerales sulfurados (como la pirita) al oxígeno y al agua desencadena una reacción de oxidación en los jales abandonados.

Este proceso natural se acelera en presas de colas sin cobertura adecuada.

Sulfuros + O₂ + H₂O

↓

Ácido Sulfúrico + Metales Disueltos

Impacto Ambiental

La generación continua de acidez provoca consecuencias devastadoras para el entorno:

Lixiviación de Elementos Potencialmente Tóxicos (PTEs) como Plomo, Arsénico y Cadmio.

Contaminación severa de acuíferos subterráneos y cuerpos de agua superficiales.

Riesgo directo para la salud pública en zonas urbano-próximas.

Mitigación Integral

La estabilización requiere intervenciones geoquímicas avanzadas para neutralizar la acidez y prevenir futura lixiviación:

Aplicación de enmiendas alcalinas para neutralización de pH.

Encapsulamiento de materiales reactivos para evitar contacto con oxígeno.

Control estricto de infiltración hídrica.

El Drenaje Ácido de Mina representa la amenaza ambiental más severa de los jales abandonados, requiriendo soluciones que integren estabilización química y aislamiento físico.

Solución: Economía Circular para Jales Mineros

01 Presa de Jales Abandonada

Identificación del pasivo ambiental, evaluación de riesgos iniciales y delimitación del área de impacto histórico.

02 Evaluación Ambiental

Caracterización detallada de contaminantes, volumen de colas y análisis del potencial económico de los minerales remanentes.

03 Recuperación de Metales

Reprocesamiento mediante tecnologías metalúrgicas modernas para extraer valor (Plata, Oro, Zinc, Cobre).

04 Generación de Ingresos

Comercialización de los metales recuperados para crear el capital necesario que financiará las siguientes etapas.

05 Remediación Ambiental

Estabilización física, hidrológica y geoquímica del sitio, utilizando modelos como la Disposición en Tajo (IPDMT).

06 Restauración de Ecosistemas

Revegetación, recuperación de la biodiversidad local y reintegración segura del área al entorno natural o uso comunitario.

Un modelo autosustentable donde **el pasivo financia su propia remediación**, transformando un riesgo perpetuo en un activo estratégico.

Oportunidad Económica: USD \$1.5-2.4 Billones

USD

\$1.5 - 2.4B

Valor Total Recuperable Estimado en Jales Mexicanos

Horizonte de Ejecución

10 - 15 Años

Tiempo estimado para completar las operaciones de reprocesamiento metalúrgico y la posterior rehabilitación ambiental integral.

Plata (Ag): El Conductor Principal

La plata representa entre el **40% y 50%** del valor económico total en los jales históricos. Gracias a las tecnologías metalúrgicas actuales, presenta un potencial de recuperación excepcional de hasta el **95%**.

Viabilidad Económica por Distrito

El potencial económico general varía significativamente según la región, situándose entre el **60% y 90%** de viabilidad. Zacatecas lidera este índice, proporcionando el caso de negocio más sólido para iniciar programas de remediación.

El Doble Dividendo

La recuperación de estos valores no solo genera retornos financieros sustanciales, sino que proporciona el **capital necesario** para financiar la estabilización ambiental a largo plazo sin depender exclusivamente de fondos públicos.

Tecnologías de Recuperación de Metales

Flotación Avanzada

Optimización de reactivos para recuperar sulfuros remanentes, reduciendo riesgos ambientales mientras se extraen metales base (Zn, Pb, Cu).

Lixiviación Controlada

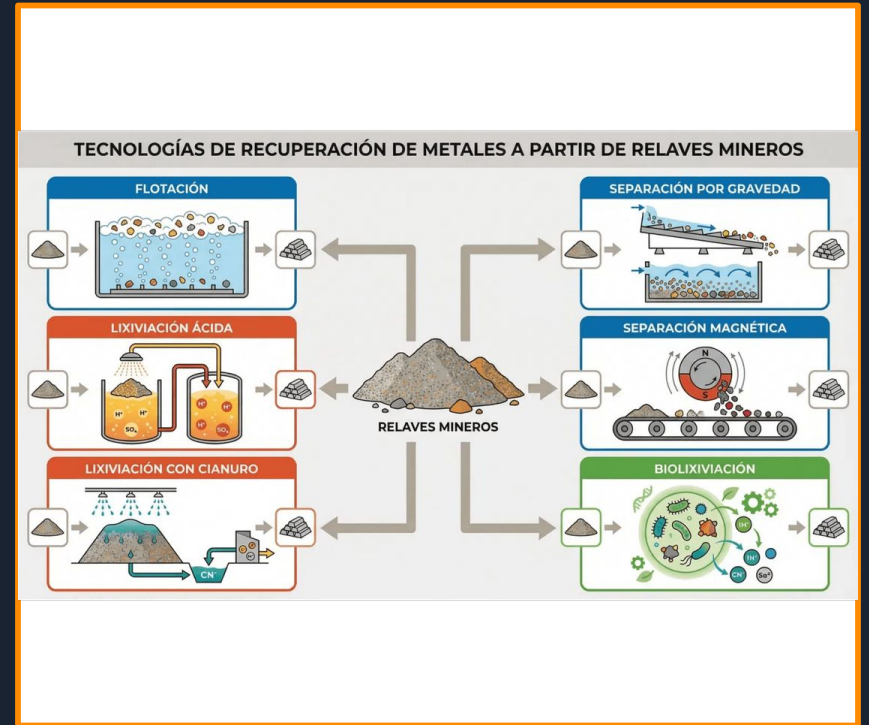
Extracción hidrometalúrgica eficiente para Ag y Au, con circuitos cerrados que minimizan consumo de agua y reactivos.

Separación por Gravedad

Método físico de bajo costo, ideal para concentrar partículas pesadas antes de procesos más intensivos.

Biolixiviación

Uso de microorganismos para disolver metales de minerales recalcitrantes; alternativa sostenible con menor huella.



El reprocesamiento moderno maximiza la eficiencia económica y minimiza el impacto ambiental.

Modelo de Financiamiento Híbrido

La viabilidad de la minería circular radica en su capacidad de autofinanciamiento, generando valor económico y ambiental simultáneamente a través de una estrategia secuencial.

FASE 1

Años 1-3: Generación de Capital

Operaciones intensivas de recuperación de metales valiosos (plata, oro, cobre) para generar flujo de caja inicial y rentabilidad a corto plazo.

FASE 2

Años 4-7: Remediación Integral

Los ingresos generados financian la estabilización física, hidrológica y geoquímica del sitio, mitigando el Drenaje Ácido de Mina.

FASE 3

Años 8+: Restauración

Monitoreo a largo plazo, revegetación y reintegración del ecosistema, logrando el cierre definitivo del pasivo ambiental.



Este modelo financiero híbrido ha sido fundamental para viabilizar proyectos de remediación en diversos casos de estudio a nivel global.

Casos de Éxito en América Latina

PERÚ

Minera Colquisiri

Implementación exitosa de Relleno Hidráulico Cementado (RHC) en minería subterránea. Transformaron sus colas en un material estructural de alta resistencia, eliminando la necesidad de presas en superficie.

Logro: Cierre del ciclo de materiales y reducción drástica de la huella ambiental.

PERÚ

Proyecto Los Rosales

Proyecto piloto pionero en la reutilización de colas abandonadas. Demostró la viabilidad técnica de reprocesar pasivos ambientales para recuperar metales base y preciosos remanentes.

Logro: Validación del modelo de autofinanciamiento para remediación de pasivos.

CHILE

Operaciones Codelco

Transición a gran escala hacia la tecnología de colas espesadas y en pasta. Esta innovación reduce significativamente el consumo de agua fresca y mejora la estabilidad física y sísmica de los depósitos.

Logro: Liderazgo regional en gestión hídrica y seguridad geotécnica de relaves.

Recomendaciones Estratégicas para Gobiernos

Priorización de Inversión

Desarrollar un inventario nacional que clasifique los pasivos ambientales basándose en dos ejes fundamentales:

- **Urgencia Ambiental:** Riesgo inminente para poblaciones y recursos hídricos.
- **Viabilidad Económica:** Potencial de recuperación de metales para autofinanciar la remediación.

Marcos Regulatorios

Actualizar la legislación minera para facilitar y promover el reprocesamiento de colas:

Crear incentivos fiscales específicos para proyectos de minería secundaria.

Establecer modelos de Asociaciones Público-Privadas (APP) para la gestión de pasivos huérfanos.

Agilizar permisos para operaciones de remediación.

Coordinación Regional

Fomentar la colaboración entre países de América Latina para maximizar el impacto:

Compartir mejores prácticas tecnológicas y modelos financieros exitosos.

Unificar estándares de estabilidad física y geoquímica.

Crear fondos regionales para investigación en tecnologías de recuperación limpias.

El liderazgo gubernamental es esencial para catalizar la transición hacia la minería circular, transformando un problema histórico en una oportunidad de desarrollo sostenible para la región.

Conclusión: Transformación Inevitable

La minería circular no es solo una responsabilidad ambiental ineludible, es una **estrategia económicamente superior** para la gestión de pasivos.

Restauración Ambiental

Permite la eliminación definitiva de pasivos perpetuos, mitigando riesgos críticos como el Drenaje Ácido de Mina y protegiendo las fuentes de agua para las comunidades locales.

Viabilidad Económica

El valor recuperado de los metales remanentes financia directamente las operaciones de remediación, creando un modelo de negocio autosustentable y altamente rentable.

Liderazgo Regional

América Latina, con su vasto legado minero, tiene la oportunidad histórica de liderar la transformación global hacia una industria extractiva verdaderamente sostenible y regenerativa.