



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: [www.sgp.org.pe](http://www.sgp.org.pe) ISSN 0079-1091

## Criterios geológicos y ambientales de ubicación para un depósito de relaves mineros

M.Sc Germán Rafael Espinoza Rivas

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-UNA Puno

### RESUMEN

Todas las operaciones mineras generan desechos, entre ellos uno de los mayores desafíos técnicos en la actividad minera está estrechamente vinculado con el volumen, la composición química y la forma como se disponen los relaves. La gestión de estos volúmenes tan altos evidencia que dónde y cómo se disponen los relaves son fundamentales para determinar el impacto de la actividad minera. Los embalses superficiales son los procedimientos y técnica principalmente usada por la actividad minera para la disposición y manejo de los relaves; ciertamente que, lo que determina esta elección son los factores económicos, criterios geológicos, ambientales y sociales. En el Perú, cada vez se hacen más exigente y juega un rol importante la disposición de los relaves, el cual antecedentes de conflictos sociales, contaminación ambiental y economía de los mismos determinan su sostenibilidad en el tiempo. Este artículo de investigación, considera las opciones de ubicación y disposición convencional en tierra para las instalaciones de almacenamiento de relaves y minerales generados por la actividad minera; podemos mencionar una gran cantidad de factores que determinan la ubicación de los depósitos de relaves, entre los factores más importantes podemos mencionar: Economía, definitivamente existen ventajas económicas en la ubicación del embalse destinado a los relaves cerca del yacimiento porque reducirá los costos operativos; condiciones climáticas; la actividad sísmica del lugar; la topografía accidentada en las áreas circundantes de una mina; la hi-

drología y volúmenes de escorrentía generada por las precipitaciones, así como el área de la cuenca de drenaje; la geología superficial de la zona de interés e inmediata a la mina; comunidades locales y uso de la tierra, dado que no todos los yacimientos mineros están ubicados en áreas remotas donde hay baja densidad de población; condiciones y aspectos ambientales que se deben prestar atención especial, incluidas las áreas protegidas y la biodiversidad. Para esto, la participación de un equipo multidisciplinario durante el proceso de selección del sitio aumentará la conciencia y atención sobre estos problemas.

**Palabras clave:** Actividad minera, conflicto social, contaminación, depósito de relaves, embalse superficial, sostenibilidad.

### ABSTRACT

All mining operations generate waste, among them one of the biggest technical challenges in mining activity is closely related to the volume, chemical composition and the way in which tailings are disposed. The management of these high volumes shows that where and how the tailings are disposed are essential to determine the impact of the mining activity. Surface reservoirs are the procedures and technique mainly used by the mining activity for the disposal and management of tailings; Certainly, what determines this choice are economic factors, geological, environmental and social criteria. In Peru, the disposal of tailings is becoming more and more demanding and plays an important role, since the antecedents of

social conflicts, environmental contamination and the economy of the same determine their sustainability over time. This research article considers the conventional land-based location and disposal options for tailings and mineral storage facilities generated by mining activity; We can mention a large number of factors that determine the location of tailings deposits, among the most important factors we can mention: Economy, there are definitely economic advantages in locating the reservoir for tailings close to the reservoir because it will reduce operating costs; weather conditions; the seismic activity of the place; rugged topography in the areas surrounding a mine; the hydrology and volumes of runoff generated by rainfall, as well as the area of the drainage basin; the surface geology of the area of interest and immediate to the mine; local communities and land use, given that not all mining sites are located in remote areas where there is low population density; environmental conditions and aspects that should be given special attention, including protected areas and biodiversity. For this, the participation of a multidisciplinary team during the site selection process will increase awareness and attention to these issues.

**Keywords:** Mining activity, pollution, social conflict, surface reservoir, sustainability, tailings deposit.

## DESARROLLO

Asegurar la integridad de los embalses, presas o depósitos de relaves, es la piedra angular para lograr la estabilidad tanto física como química en la gestión de relaves. En el Perú considerar esta situación es complejo y difícil debido a la severidad y extremos en la topografía, geología, clima, riesgos naturales, aspectos sociales y fragilidad de ecosistemas que enfrentamos en el país. Debe darse énfasis a la elección inicial, ubicación del lugar y al esquema del embalse de relaves; puede ser técnica, social, ambiental y económicamente imposible corregir más tarde errores iniciales en la ubicación del lugar, poniendo en riesgo la estructura e integridad del embalse a través de la operación y traducirse en consecuencias aun después de su clausura. Una buena selección, ubicación, diseño, estudios básicos de ingeniería y otros aspectos ambientales adecuados del lugar para ubicar el embalse de relaves, no puede estar plenamente garantizado sin una evaluación detallada de los factores económicos, clima, sismicidad

del lugar, topográficos, geológicos, geotécnicos, geoquímicos, hidrológicos, sociales y ambientales efectuada por los especialistas pertinentes en estos campos.



En esta sección se consideran las opciones de disposición convencional en tierra para la infraestructura operacional de los depósitos superficiales de relaves y minerales procedentes de la lixiviación en pilas. Los problemas más importantes asociados con estas instalaciones de disposición en tierra se describen en esta sección, considerando los factores específicos que juegan un papel importante en la selección y ubicación de sitios, los cuales incluyen:

**Economía:** Existen ventajas económicas en la ubicación de las instalaciones de eliminación de roca estéril y de sobrecarga cerca del yacimiento porque reducirá los costos operativos. Es común transportar los relaves como una lechada y la ubicación de las instalaciones de almacenamiento de relaves cerca del yacimiento es determinante desde la perspectiva de los costos operativos. Si bien existen ventajas en los costos operativos para ubicar las instalaciones de lixiviación en pilas cerca del yacimiento, las consideraciones de costo del capital (como un extenso movimiento de tierras) pueden requerir que las instalaciones se ubiquen lejos del yacimiento.

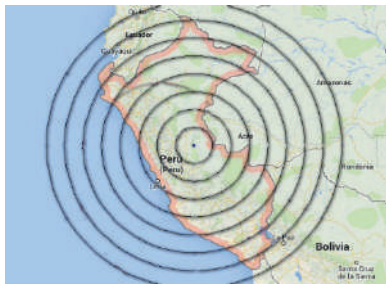


**Clima:** El Perú tiene una diversidad climática que determina el ambiente tropical por su ubicación geográfica, estas características influyen directamente en el clima cálido y húmedo; la geografía y presencia de la Cordillera de los Andes modifica

las condiciones del clima en la zona andina por la influencia de la altitud. Las minas están ubicadas en todas las regiones climáticas del Perú desde el desierto costero y húmedo, en la zona andina con predominancia de altas precipitaciones y bajas temperaturas, hasta las áreas tropicales de la selva, el clima es un factor importante que determina el desempeño ambiental de una mina y tiene un gran impacto en la selección del sitio para los embalses superficiales. Interceptar y almacenar grandes volúmenes de escorrentía también puede afectar la estabilidad de las instalaciones.



**Sismicidad del sitio:** la actividad sísmica en un sitio está determinada por su ubicación. Se conoce mucho sobre los impactos de la sismicidad y la carga dinámica en el desempeño de las estructuras de tierra. Se debe prestar especial atención a la ubicación de las estructuras sensibles a la carga sísmica, como las instalaciones de eliminación de relaves; la ubicación y diseño de los embalses superficiales deben considerar los riesgos potenciales que se plantean aguas abajo. Lo mismo ocurre con las tuberías.



**Topografía:** La topografía escarpada en las inmediaciones de una mina a menudo dificulta la ubicación de los sitios para las diversas instalaciones. Si bien las instalaciones de sobrecarga y estéril pueden estar ubicadas en terrenos escarpados, con especial atención al diseño y las condiciones de operación, es muy difícil ubicar las instalaciones de almacenamiento de relaves en áreas de geomorfología accidentada cuando los relaves se transportan como lechada. El tamaño de un terraplén en terreno empinado requerirá un gran volumen de relleno estructural y puede resultar en un

pequeño volumen del sitio restante para la eliminación de desechos. Esto hace que la capacidad de almacenamiento del sitio sea ineficiente. No es raro bombear los relaves a una gran distancia hasta un sitio adecuado en un terreno más plano. Por ejemplo, en ciertas unidades mineras, una de las instalaciones de almacenamiento de relaves se encuentra a 75 km de la mina.



**Hidrología:** La presencia de cuerpos de agua adyacentes a los yacimientos mineros y los volúmenes de escorrentía en un sitio están determinados por la precipitación corriente en las nacientes cuencas aguas arriba del yacimiento, así como por el área de la cuenca de drenaje. Colocar el sitio de eliminación de desechos mineros cerca de los tramos superiores del área de drenaje reducirá la cantidad de escorrentía en un sitio que debe ser desviado o almacenado.



**Geología superficial del sitio:** Las condiciones de los cimientos de las instalaciones, en algunos sitios pueden ser ideales para el almacenamiento de desechos mineros desde una perspectiva física, mientras que en base a la geología superficial son completamente inadecuados. Las capas gruesas de materiales de cimentación que tienen baja resistencia y alta compresibilidad pueden hacer que sea imposible ubicar las instalaciones de almacenamiento de desechos, especialmente si el sitio está ubicado en una zona de alta sísmica.



**Comunidades locales y uso de la tierra:** No todos los cuerpos minerales están ubicados en áreas remotas donde hay baja densidad de población. A menudo, un yacimiento se encuentra en un área donde hay asentamientos y donde el uso de la tierra beneficia a estas comunidades, como la agricultura. Esto presenta una oportunidad y una obligación de involucrar a las comunidades en la selección de las ubicaciones de las instalaciones de la mina y obtener información en el diseño y cierre final. Por ejemplo, en un área cercana a la mina generalmente no se tiene mucha superficie plana para la actividad agrícola; las instalaciones de almacenamiento de estériles y estériles pueden construirse de tal manera que aumenten el área plana para el cultivo.

También puede ser necesario modificar el perfil de estas instalaciones para permitir el cultivo futuro. Se deben considerar los valores e impactos estéticos para la ubicación de las instalaciones de almacenamiento de desechos. La minería cambia el uso de la tierra en un área y brinda oportunidades especiales para nuevas ideas sobre el uso de la tierra después de la extracción. Usar el uso de la tierra antes de la minería como base para la planificación del uso de la tierra a largo plazo puede no ser el mejor enfoque, aunque se usa ampliamente.

El uso de la tierra local y regional puede cambiar durante la vida de la mina como resultado de la afluencia de población, cambios regulatorios, etc. Se debe mantener la flexibilidad en el marco regulatorio y la planificación en el sitio de la mina durante toda la vida de la mina para hacer ajustes para que el uso de la tierra después de la extracción pueda ser productivo.



**Otras cuestiones medioambientales:** Se debe prestar especial atención a todas las cuestiones medioambientales, incluidas las áreas protegidas, reservas naturales y la biodiversidad. En nuestro país es un gran desafío para todas las actividades económicas, principalmente la minería que se ajusten a las normas ambientales y respeto por la intangibilidad de los ecosistemas frágiles; para

ello, la presencia de los equipos multidisciplinarios en el proceso de selección del sitio aumentará la conciencia y decisión acertada sobre estos problemas. No es de menor importancia tener en cuenta la presencia de restos arqueológicos cercanos a los yacimientos mineros, nuestra rica historia ancestral, cultura y patrimonio inmaterial, en muchos casos es determinante.

Toda esta información es necesaria antes que la selección del lugar y las decisiones de diseño sean terminadas y documentadas para un nivel adecuado de estudios de impacto ambiental o similares. En realidad, la información será generada a través del proceso de planeamiento, y las preferencias iniciales acerca de la ubicación del embalse superficial de relaves, se establecen a menudo en los primeros momentos de la evaluación de la factibilidad económica de la mina, cuando poca o ninguna de la información ha sido aún obtenida o evaluada.

Cuando se presentan los problemas de ubicación, a menudo es debido a que las decisiones sobre la ubicación y el presupuesto de capital para el proyecto han sido obtenidas demasiado pronto, sin contar con información adecuada que permita considerar las alternativas de ubicación, diseño, o métodos de disposición y aun cuando la misma información en desarrollo indica la necesidad de hacerlo así.

La ubicación y el diseño deben, por lo tanto, ser procesos iterativos que se consideren desde el inicio del proyecto con criterios muy generales, basados en configuraciones y consideraciones que son refinados o revisados detalladamente, conforme la información es generada y el proceso avanza. Idealmente, por lo menos tres o más ubicaciones para el embalse de relaves deben evaluarse simultáneamente y al mismo nivel de detalle, hasta que la información sobre todos los factores relevantes sea adecuada y suficiente para demostrar la superioridad de un lugar sobre los otros y para documentar en su totalidad las razones para esta preferencia.



## CONCLUSIONES

- La óptima gestión y disposición de los relaves mineros es fundamental para determinar el impacto favorable y sostenibilidad de la actividad minera.
- Los factores determinantes para la selección del lugar y emplazamiento del embalse de los relaves mineros deben ceñirse a criterios económicos, ambientales, sociales y técnicos que determinaran su sostenibilidad en el tiempo.
- De acuerdo a una revisión global y análisis de casos puntuales asociados a las instalaciones para la disposición de los relaves, los factores específicos que juegan un papel importante en la selección y ubicación de sitios incluyen: La economía, condiciones climáticas, actividad sísmica, topografía circundante del lugar, hidrología y escorrentía de la cuenca de drenaje, geología superficial de la zona, antecedentes sociales y uso de la tierra local, consideraciones medioambientales de respeto hacia los ecosistemas, nuestra historia, cultura y patrimonio inmaterial.

## CONTRIBUCIONES TÉCNICAS Y CIENTÍFICAS

- La importancia de afrontar los desafíos técnicos, sociales y ambientales en la prevención de riesgos y desastres, ubicación óptima de residuos industriales y manejo de relaves mineros.
- La necesidad de integrarse en un equipo interdisciplinario y/o varias escuelas de pensamiento que se traduzcan en la sostenibilidad de los proyectos de ingeniería.
- Investigación formativa en los estudiantes y profesionales vinculados a la Ingeniería Geológica, geología ambiental y geotecnia ambiental para proyectos de prevención e ingeniería de saneamiento de residuos industriales y mineros de las diversas regiones del Perú.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

British Columbia Acid Mine Drainage Task Force (1989). Draft Acid Drainage Technical Guide.