

## Análisis de factores de riesgo ambiental en la relavera comunitaria El Tablón, cantón Portovelo, provincia de El Oro

### Analysis of environmental risk factors at El Tablón tailings dams, canton Portovelo, province of El Oro

Acurio Rivera, Alexandra; Montero Calderón, Carolina del Rocío

 Alexandra Acurio Rivera

apame23@gmail.com

Universidad Internacional del Ecuador. Quito, Ecuador

 Carolina del Rocío Montero Calderón

cdmontero@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador

#### FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN: 1390-7042

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 10, núm. 2, 2020

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 14 Septiembre 2020

Aprobación: 18 Diciembre 2020

Publicación: 31 Diciembre 2020

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/624/6243479008/>

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.2574>

Autor de correspondencia: apame23@gmail.com



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial 4.0 Internacional.

**Cómo citar::** Acurio Rivera, A. P., & Montero Calderón, C. del R. (2020). Análisis de factores de riesgo ambiental en la relavera comunitaria El Tablón, cantón Portovelo, provincia de El Oro. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 10(2), 72–82. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.2574>

**Resumen:** En este trabajo se presenta el análisis de los factores de riesgo ambiental en la fase de operación de la Relavera Comunitaria El Tablón ubicada en el cantón Portovelo. Este depósito alberga los relaves de la Plantas de Beneficio del Distrito Minero Zaruma Portovelo en el cual hasta julio del 2019 se han confinado 1.626.853 m. de relaves. Se ha aplicado una metodología de investigación analítica-sintética fundamentada en la interacción causa-efecto para definir los impactos ambientales positivos o negativos en los procesos de la relavera con la aplicación de la metodología de opción binaria de incidencia y uso de matriz de doble entrada (matriz Leopold). Se concluye que en este proceso el 32,70 % son impactos positivos y el 67,3% son impactos negativos, siendo la calidad de aire y suelo los factores afectados negativamente en mayor porcentaje; mientras que el componente socioeconómico se verá beneficiado debido a la generación de empleo.

**Palabras clave:** relavera, El Tablón, depósito de relaves, matriz de Leopold, impacto ambiental.

**Abstract:** The present research work presents the analysis of the environmental risk factors of Relavera Comunitaria El Tablón in the operation phase located in the Portovelo canton, a deposit that stocks the tailings of the Zaruma Portovelo Mining District Benefit Plants. The historic tailings until July 2019 express that 1'626,853 m. of tailings have been confined. The method used is an analytical-synthetic investigation based on the cause-effect interaction to define environmental impact positive or negative in the project processes, applying the binary option incidence methodology using double-entry matrices (Leopold matrix). It is concluded that 32.70% are positive impacts, and 67.3% are negative impacts. The most negatively affected factors are air and soil quality, and the social-economic component has benefited.

**Keywords:** tailing, El Tablón, tailings deposit, Leopold, environmental impact.

#### NOTAS DE AUTOR

apame23@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

Los cantones Zaruma, Portovelo, Atahualpa y Piñas fueron catalogados como zona minera desde el año 1992, denominándose Distrito Minero Zaruma Portovelo. La explotación inicia en la época colonial a partir del año 1549 con la fundación de la ciudad de Zaruma (Vikentyev y Banda, 2005). La extracción y beneficio de mineral aurífero se realizó con métodos rudimentarios. El surgimiento de la pequeña minería se registra cuando se funda la empresa británica Zaruma Gold Mining Company (año 1878), la cual se enfocó en exploración subterránea trabajando durante el periodo 1880-1896 (Prodeminca, 2000). Posteriormente ingresa la compañía South American Development Company (SADCO), que operó entre 1896 y 1950, con esta compañía surgió la instalación de molinos y plantas de beneficio para recuperar oro como mineral principal y plata como secundario. En 1970 opera la compañía cima, una vez que la producción se redujo y la empresa cerró sus operaciones, los extrabajadores empezaron a laborar de forma no regulada. Las instalaciones de SADCO quedaron relegadas y los mineros improvisaron depósitos para almacenar sus relaves, muchos de éstos se evacuaban a los recursos hídricos (Paredes, 2013).

Los relaves son lodos, efluentes y roca molida, producto de los procesos mecánicos y químicos que se realizan en una planta de procesamiento para extraer el mineral (Valderrama et al., 2019). Además, el volumen de material de desecho es normalmente mayor al volumen de metal extraído, estos relaves contienen contaminantes potencialmente peligrosos, porque son mezclas de roca triturada y fluidos de procesamiento de diferentes equipos (Barcelos et al., 2020). Las investigaciones in situ de los múltiples indicadores indican que los efectos sinérgicos de la hidrogeología, la meteorología, la ingeniería y los factores humanos pueden prevenir desastres técnicos y ambientales en las relaveras (Glotova et al., 2018).

En 2011, el Estado ecuatoriano inicia la regularización de las plantas de beneficio; para lo cual estas instalaciones requieren la licencia ambiental para operar, y que en una de sus obligaciones establece que los relaves deben ser transportados a la Relavera Comunitaria El Tablón (Sánchez, 2015).

Por los antecedentes indicados, el presente estudio analiza los impactos ambientales generados en este proceso de transporte de relaves.

## METODOLOGÍA

Para este trabajo, se recopilaron y analizaron los resultados de los monitoreos del año 2019 de caracterización de relaves, agua, aire, ruido, suelo, efectuados por laboratorios acreditados; además de reportes de humedad, y observación in situ. Con esta información se aplicaron los lineamientos de la Matriz de Leopold para la evaluación de impactos ambientales (Acurio, 2020), ya que ha demostrado ser una herramienta para toma de decisiones que incluye multicriterios (Sobczyk et al., 2017).

### Disposición de relaves

La Relavera Comunitaria El Tablón recibe los residuos mineros de las plantas de beneficio ubicadas en los cantones Portovelo, Zaruma, Piñas y Atahualpa. El transporte de relaves se lo realiza por medio de volquetas de 8,12 y 16 m<sup>3</sup>, los relaves ingresan a la relavera comunitaria pasando por una báscula, y registro de la procedencia del relave.

La disposición de relaves se realiza actualmente desde plataformas ubicadas en el flanco sur, el tractor de orugas realiza el empuje de relaves que, por gravedad, desciende hacia el interior del vaso. El acceso al interior del vaso está restringido por vía inhabilitada, el depósito desde el vaso en ascenso de cotas requiere que el contenido de humedad sea del 20% que corresponde a la humedad óptima que permite el manejo con equipos de movimiento de tierra para efectuar la compactación (Lara, 2013).

Según el registro histórico, desde junio 2014 hasta julio 2019, en la relavera comunitaria se ha depositado 1.626.853 m<sup>3</sup> de relaves (ver Tabla 1).

**TABLA 1**  
Registro histórico relaves junio 2014 - julio 2019 depositados en la relavera comunitaria

| Año   | Metros cúbicos | N° de volquetas |
|-------|----------------|-----------------|
| 2014  | 46532          | 4163            |
| 2015  | 217692         | 18607           |
| 2016  | 357656         | 29518           |
| 2017  | 333465         | 28082           |
| 2018  | 448604         | 37395           |
| 2019  | 222904         | 18573           |
| Total | 1626853        | 136338          |

### Caracterización de relaves

Según el Reglamento Ambiental para actividades mineras (Ministerio de Ambiente, 2014), se prohíbe la disposición de desechos generados en plantas de beneficio tales como relaves, soluciones, aguas de procesos, químicos y otros, directamente a los cursos de agua y suelo que eviten derrame de relaves en la vía (ver Figura 1).



**FIGURA 1**  
Derrame de relaves

Se puede observar (ver Tabla 2) que los parámetros: arsénico, cadmio, cobre, plomo, selenio y zinc superan los criterios de remediación (Ministerio del Ambiente, 2015). Los valores son superiores a los reportados en estudios realizados en una relavera de la zona de Serra de Santa Cruz, Brasil (De Andrade Lima et al., 2008) principalmente para metales recuperables como el Cu (87 mg/kg). Sin embargo, los relaves de la relavera El Tablón tienen menor concentración de As comparado con los relaves de la mina de oro de Barramiya, Egipto (Redwan y Bamousa, 2019) donde se reporta concentración de 2936 mg/kg.

TABLA 2  
Caracterización de relaves

| Parámetro | Unidad | Resultado | Criterios de remediación |           |            |          |
|-----------|--------|-----------|--------------------------|-----------|------------|----------|
|           |        |           | Residencial              | Comercial | Industrial | Agrícola |
| Arsénico  | mg/kg  | 957       | 12                       | 12        | 12         | 12       |
| Cadmio    | mg/kg  | 25        | 4                        | 10        | 10         | 2        |
| Cobre     | mg/kg  | 984       | 63                       | 91        | 91         | 63       |
| Plomo     | mg/kg  | 1339      | 140                      | 150       | 150        | 60       |
| Selenio   | mg/kg  | 9         | 5                        | 10        | 10         | 2        |
| Zinc      | mg/kg  | 3808      | 200                      | 380       | 360        | 200      |

Prefectura de El Oro

## Humedad de relaves

Las mediciones de humedad de los relaves transportados por volquetas reflejan la variación de la consistencia de relave; esta consistencia se determina en función porcentaje de sólidos mientras que el contenido de agua está representado por el porcentaje de humedad (Lara, 2013). La tabla 3 presenta el porcentaje de volquetas que transportan el relave según la consistencia (ver Tabla 3).

TABLA 3  
Consistencia de relave muestreo marzo 2019

| Consistencia de relave | Humedad (%) | Transporte por volquetas |
|------------------------|-------------|--------------------------|
| Espesado               | >25-35      | 10%                      |
| Pasta                  | 15-25       | 76%                      |
| Filtrado               | <15         | 14%                      |

Prefectura de El Oro

El factor principal en el comportamiento de depósito de relaves es el contenido de humedad (Salas Moscoso, 2019), además, está comprobado que cuando el grado de saturación supera el 85% implica menor estabilidad geotécnica en el almacenamiento de relaves (Rodríguez y Oldecop, 2011). Cuando se compara mediante el Análisis de Ciclo de Vida, el espesado con otras opciones de consistencia de relaves se reflejan ventajas (Alvarez Cabal et al., 2013): menor uso de materiales para las presas, se evade el riesgo de licuefacción, aumento de estabilidad sísmica, reducción de pérdidas de agua por infiltración.

## Calidad de aire

En la tabla 4 se muestran los resultados para el punto de monitoreo denominado Puente Negro. Se observa que los valores de material particulado PM10 y PM25 sobrepasan los límites máximos permisibles (Ministerio del Ambiente, 2015). El clima es un parámetro importante que afecta a los relaves de las minas, ya que controla la mayor parte de la dirección de la movilidad de los fluidos, las fluctuaciones de la capa freática (Redwan y Bamousa, 2019); por lo tanto, la cantidad de material particulado afectará también al desenvolvimiento de la actividad de la relavera y la seguridad de las personas que habitan en los alrededores (ver Tabla 4).

**TABLA 4**  
**Datos de campo del monitoreo de calidad de aire**

| Empresa             | GAD Provincial de El Oro |  | Hora inicial    | 11H00             |                   |             |                 |
|---------------------|--------------------------|--|-----------------|-------------------|-------------------|-------------|-----------------|
| Fecha de inicio     | 13 de febrero 2013       |  | Hora final      | 11H00             |                   |             |                 |
| Fecha final         | 12 de febrero 2019       |  | Presión atm     | 708 mmHg          |                   |             |                 |
| Punto de Monitoreo: |                          | Relavera Comunitaria Sector Puente Negro |                 |                   |                   |             |                 |
| CO                  | NO                       | NO <sub>2</sub>                          | SO <sub>2</sub> | PM <sub>10</sub>  | PM <sub>2,5</sub> | Temp.       | Hora            |
| ppm                 | ppm                      | ppm                                      | ppm             | µg/m <sup>3</sup> | µg/m <sup>3</sup> | °C          | hh:mm           |
|                     |                          |  | 0,001           | 176               | 51                | 27,4        | 12:00           |
| 0,59                |                          |  | 0,007           | 26                | 41                | 29,9        | 13:00           |
| 0,65                |                          |  | 0,001           | 230               | 107               | 31,6        | 14:00           |
| 0,62                |                          |  | 0,011           | 193               | 79                | 30,5        | 15:00           |
| 0,68                | 0,021                    | 0,012                                    | 0,003           | 180               | 25                | 26,4        | 16:00           |
| 0,62                |                          |  | 0,005           | 43                | 2                 | 26,6        | 17:00           |
|                     |                          |  | 0,005           | 85                | 3                 | 25,9        | 18:00           |
|                     |                          |  | 0,003           | 27                | 12                | 24,9        | 19:00           |
|                     |                          |  | 0,005           | 11                | 14                | 24,1        | 20:00           |
|                     |                          |  | 0,001           | 22                | 13                | 24,4        | 21:00           |
|                     |                          |  | 0,001           | 22                | 0                 | 23,9        | 22:00           |
|                     |                          |  | 0,005           | 8                 | 7                 | 23,7        | 23:00           |
|                     |                          |  | 0,007           | 5                 | 15                | 23,6        | 0:00            |
|                     |                          |  | 0,003           | 76                | 12                | 23,3        | 1:00            |
|                     |                          |  | 0,001           | 5                 | 2                 | 23,2        | 2:00            |
|                     |                          |  | 0,005           | 90                | 7                 | 23,1        | 3:00            |
|                     |                          |  | 0,003           | 5                 | 0                 | 23,1        | 4:00            |
|                     |                          |  | 0,003           | 14                | 12                |             | 5:00            |
|                     |                          |  | 0,001           | 9                 | 4                 | 23,1        | 6:00            |
|                     |                          |  | 0,001           | 22                | 6                 | 23,1        | 7:00            |
|                     |                          |  | 0,003           | 100               | 46                | 23,1        | 8:00            |
|                     |                          |  | 0,003           | 302               | 107               | 24,9        | 9:00            |
|                     |                          |  | 0,004           | 243               | 89                | 23,7        | 10:00           |
|                     |                          |  | 0,003           | 106               | 151               | 24,6        | 11:00           |
| <b>0,73</b>         | <b>0,021</b>             | <b>0,012</b>                             | <b>0,004</b>    | <b>83</b>         | <b>34</b>         | <b>25,1</b> | <b>Promedio</b> |

Prefectura de El Oro

## Calidad de agua

El costo de manejar los residuos líquidos y sólidos es elevado; las empresas mineras intentan localizar las presas de relaves lo más cerca posible a la planta de procesamiento (Rodríguez Córdova, 2002), minimizando coste de transporte y reutilizando el agua contenida en ellos mediante procesos de decantación y acumulación en lagunas de decantación o depósito aledaño. El agua de la laguna puede ser bombeada o evacuada mediante sistema de drenes y el cual es evacuado hacia una poza o laguna de donde es enviado nuevamente a la planta de tratamiento de mineral.

En las observaciones in situ de la operación de la Relavera Comunitaria El Tablón, no se visualizaron descargas líquidas a la quebrada El Salado. Sin embargo, en relaveras de Ghana (Bansah et al., 2018) sí se observan presencia de lixiviados que son arrastrados a corrientes de agua, se reporta que se debe a que los desechos se desbordan causando daños al ecosistema circundante.

La tabla 5 presenta los resultados del monitoreo de agua del año 2019, los valores en rojo indican que sobrepasan los límites permisibles (Ministerio del Ambiente, 2015), se evidencia principalmente que los parámetros que superan los metales que en caso de que sean eliminados a cauces de agua pueden asentarse en organismos acuáticos y terrestres, matándolos en esas condiciones; los metales pesados tóxicos pueden llegar a la cadena alimentaria a través de la absorción por las plantas y pueden ser un problema de salud para los consumidores y la población local (ver Tabla 5).

TABLA 5  
Monitoreo de calidad de agua

| Parámetros            | Unidad | Laguna interior<br>vaso | Agua desarena-<br>dor | Aguas arriba | Aguas abajo |
|-----------------------|--------|-------------------------|-----------------------|--------------|-------------|
| Aluminio              | mg/l   | <LOQ                    | 0,3                   | 0,05         | <LOQ        |
| Antimonio             | mg/l   | 0,015                   | <LOQ                  | 0,05         | <LOQ        |
| Boro                  | mg/l   | 1,6                     | <LOQ                  | <LOQ         | <LOQ        |
| Cobalto               | mg/l   | 0,025                   | 0,028                 | <LOQ         | <LOQ        |
| Cromo                 | mg/l   | <LOQ                    | <LOQ                  | <LOQ         | <LOQ        |
| Sodio                 | mg/l   | 72,93                   | 64,45                 | <LOQ         | 40,6        |
| Arsénico              | mg/l   | 0,024                   | 0,018                 | 0,007        | 0,00739     |
| Cadmio                | mg/l   | 0,013                   | 0,033                 | 0,002        | 0,001549    |
| Cobre                 | mg/l   | <LOQ                    | 0,781                 | <LOQ         | <LOQ        |
| Estaño                | mg/l   | <LOQ                    | <LOQ                  | <LOQ         | <LOQ        |
| Hierro                | mg/l   | <LOQ                    | <LOQ                  | <LOQ         | <LOQ        |
| Manganeso             | mg/l   | 0,113                   | 0,112                 | 0,157        | 0,1583      |
| Mercurio              | mg/l   | <LOQ                    | <LOQ                  | <LOQ         | <LOQ        |
| Niquel                | mg/l   | <LOQ                    | 0,049                 | <LOQ         | <LOQ        |
| Plata                 | mg/l   | <LOQ                    | <LOQ                  | <LOQ         | <LOQ        |
| Plomo                 | mg/l   | <LOQ                    | 0,010                 | 0,009        | <LOQ        |
| Zinc                  | mg/l   | 0,45                    | 8,67                  | <LOQ         | 0,43        |
| Tensoactivos          | mg/l   | <0,5                    | <0,5                  | <0,5         | <0,5        |
| Cianuro               | mg/l   | <0,01                   | <0,01                 | <0,01        | <0,01       |
| Cloro libre residual  | mg/l   | 0,5                     | 0,06                  | 0            | 0           |
| Fluoruros             | mg/l   | <0,01                   | 0,59                  | <0,1         | <0,1        |
| Magnesio              | mg/l   | 0,113                   | 0,112                 |              |             |
| Sólidos Sedimentables | mg/l   | <1                      | <1                    | <1           | <1          |
| Sulfuros              | mg/l   | <0,1                    | <0,1                  | <0,1         | <0,1        |
| Aceites y grasas      | mg/l   | 0,6                     | 0,2                   | 1,2          | 1,4         |
| DBO5                  | mg/l   | 7                       | 2                     | 2            | 4           |
| DQO                   | mg/l   | <25                     | <25                   | 26           | <25         |
| Nitritos              | mg/l   | 6,8                     | 0,12                  | 0,12         | 0,12        |
| pH                    | N/A    | 6,78                    | 6,79                  | 7,49         | 7,51        |
| Sólidos totales       | mg/l   | 1930                    | 1690                  | 260          | 1150        |

Prefectura de El Oro

## Ruido

Los resultados del monitoreo de ruido realizados en horario diurno se muestran en la tabla 6, el límite permisible es 65 dB (Ministerio del Ambiente, 2015); en este caso, el ruido podría ser mitigado con barreras naturales como la siembra de árboles nativos lo cual además permitirá mejorar la calidad del aire (ver Tabla 6).

**TABLA 6**  
Monitoreo de ruido ambiental

| Punto | Lugar de monitoreo | Coordenadas Datum WG S84 |         | Nivel de presión sonora equivalente corregido L <sub>keq</sub> (dB A) |
|-------|--------------------|--------------------------|---------|---|
|       |                    | Este                     | Norte   |   |
| P1    | Área desarenador   | 651942                   | 9587157 | 80  |
| P2    | Hito Plataforma 2  | 652236                   | 9586835 | 62  |
| P3    | Frente al tractor  | 652436                   | 9586650 | 65  |
| P4    | Área de campamento | 652488                   | 9586639 | 48  |
| P5    | Puente negro       | 621763                   | 9588048 | 66  |

Prefectura de El Oro

## Identificación y evaluación de impactos

La matriz de Leopold para la identificación de los impactos ambientales en la fase de operación de la Relavera Comunitaria El Tablón se presenta en la tabla 7; en este caso, se realizó la identificación y evaluación de las actividades relacionadas al transporte de los relaves que involucran principalmente la carga de relaves en la planta de beneficio, movimiento de relaves en volquetas, pesaje de relaves, descarga en las plataformas, distribución de los relaves con maquinaria pesada, la presencia de lixiviados producto del almacenamiento, y finalmente el monitoreo de la infraestructura (ver Tabla 7).

**TABLA 7**  
Matriz Leopold-identificación de impactos ambientales

| factores ambientales           | Carguito de relaves          | Transporte de relave     |                         | Pesaje de volquetas            |                        |                            |                               | Descarga de relaves | Esparcido de relaves | Tratamiento de líquidos    | Monitoreo       | Evaluación        |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       |                    |                    |                        |                         |                      |      |
|--------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|--------|----------------------|------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|------|
|                                | Ingreso de volqueta a planta | Cargado de volquetas con | Salidas de volquetas de | Colocación de ganchos manuales | Incorporación de carpa | Circular a velocidad de 40 | Derrames de relaves en la vía | Ingreso a báscula   | Pesaje volquetas     | Retiro de ganchos manuales | Retiro de carpa | Salida de báscula | Volteo | Retorno de volquetas | Empuje de relave | Resanteo de plataformas | Almacenamiento de líquidos en | Bombeo de líquidos | Descarga de líquidos | Medición de puntos | Monitoreo de agua, suelo, aire, Ruido | Impactos negativos | Impactos positivos | Agregación de impactos | % de impactos negativos | % impactos positivos |      |
| Calidad de aire                | -1                           | -1                       | -1                      | 2                              | 2                      |                            | -35                           | -4                  | 1                    | -2                         | -2              | -2                | -12    | -6                   | -18              | -18                     |                               |                    |                      |                    | 8                                     | 12                 | 4                  | -91                    | 11,5%                   | 3,8%                 |      |
| Ruido                          | -1                           | -1                       | -1                      |                                |                        | -1                         |                               | -1                  | 1                    |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               | -8                 |                      |                    | 8                                     | 11                 | 2                  | -9                     | 10,6%                   | 1,9%                 |      |
| Calidad de suelo               | -6                           | -6                       | -6                      | 2                              | 2                      |                            | -36                           | -4                  | 1                    | -1                         | -1              | -1                | -1     | -6                   | -18              | -18                     |                               |                    |                      |                    | 8                                     | 12                 | 4                  | -91                    | 11,5%                   | 3,8%                 |      |
| Calidad de aguas superficiales |                              | -5                       |                         | 2                              | 2                      |                            | -36                           |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         | 2                             | -1                 | -20                  |                    | 8                                     | 4                  | 4                  | -48                    | 3,8%                    | 3,8%                 |      |
| Calidad de aguas subterráneas  |                              | -5                       |                         | 2                              | 2                      |                            | -36                           |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         | 2                             | -1                 | -20                  |                    | 8                                     | 4                  | 4                  | -48                    | 3,8%                    | 3,8%                 |      |
| Patrón de drenajes             |                              |                          |                         |                                |                        |                            | -36                           |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         | 2                             | -1                 | -20                  |                    | 8                                     | 3                  | 2                  | -47                    | 2,9%                    | 1,9%                 |      |
| Imundaciones                   |                              |                          |                         |                                |                        |                            |                               |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       |                    |                    | 0                      | 0,0%                    | 0,0%                 |      |
| Sismología                     |                              |                          |                         |                                |                        |                            |                               |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      | 15                 |                                       |                    | 1                  | 15                     | 0,0%                    | 1,0%                 |      |
| Vegetación terrestre           |                              |                          |                         |                                |                        |                            | -1                            |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       | 2                  |                    | -8                     | 1,9%                    | 0,0%                 |      |
| Mastofauna                     |                              |                          |                         |                                |                        |                            | -1                            |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       | 2                  |                    | -8                     | 1,9%                    | 0,0%                 |      |
| Omitofauna                     |                              |                          |                         |                                |                        |                            | -1                            |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       | 2                  |                    | -8                     | 1,9%                    | 0,0%                 |      |
| Herpetofauna                   |                              |                          |                         |                                |                        |                            | -1                            |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       | 2                  |                    | -8                     | 1,9%                    | 0,0%                 |      |
| Ictiofauna                     |                              |                          |                         |                                |                        |                            | -1                            |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       | 2                  |                    | -8                     | 1,9%                    | 0,0%                 |      |
| Pastos                         |                              |                          |                         |                                |                        |                            |                               |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       |                    |                    | 0                      | 0,0%                    | 0,0%                 |      |
| Residencial                    |                              |                          |                         |                                |                        |                            |                               |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       |                    |                    | 0                      | 0,0%                    | 0,0%                 |      |
| Comercial                      |                              |                          |                         |                                |                        |                            |                               |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       |                    |                    | 0                      | 0,0%                    | 0,0%                 |      |
| Industrial                     | -1                           | -1                       | -1                      |                                |                        |                            | -1                            |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       |                    |                    | 5                      | -5                      | 4,8%                 | 0,0% |
| Zonas recreación               |                              |                          |                         |                                |                        |                            |                               |                     |                      |                            |                 |                   |        | -1                   |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       |                    |                    |                        | 0                       | 0,0%                 | 0,0% |
| Red vial                       | -8                           |                          | -8                      | 2                              | 2                      |                            | -35                           |                     |                      |                            |                 |                   |        | -8                   |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       |                    | 4                  | 2                      | -55                     | 3,8%                 | 1,9% |
| Desarrollo económico social    | 3                            | 3                        | 3                       |                                |                        |                            |                               |                     |                      |                            |                 |                   |        | 3                    |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       |                    |                    | 4                      | 12                      | 0,0%                 | 3,8% |
| Empleo                         | 20                           | 20                       |                         |                                |                        |                            |                               |                     | 4                    |                            |                 |                   |        |                      |                  | 4                       |                               | 4                  | 4                    | 4                  | 4                                     |                    | 7                  | 60                     | 0,0%                    | 6,7%                 |      |
| Mejoramiento de servicios      |                              |                          |                         |                                |                        |                            |                               |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       |                    |                    | 0                      | 0,0%                    | 0,0%                 |      |
| Intervención recurso arque     |                              |                          |                         |                                |                        |                            |                               |                     |                      |                            |                 |                   |        |                      |                  |                         |                               |                    |                      |                    |                                       |                    |                    | 0                      | 0,0%                    | 0,0%                 |      |
| Cambio paisaje                 | -1                           | -1                       | -1                      |                                |                        |                            |                               |                     |                      |                            |                 |                   |        | -1                   | -3               |                         |                               |                    |                      |                    |                                       |                    |                    | 5                      | -7                      | 4,8%                 | 0,0% |
| Afectaciones negativas         | 6                            | 7                        | 6                       |                                |                        | 1                          | 12                            | 3                   |                      | 2                          | 2               | 3                 | 3      | 6                    | 3                | 4                       |                               | 4                  | 8                    |                    |                                       |                    |                    | 70                     |                         | 67,3%                |      |
| Afectaciones positivas         | 2                            | 2                        | 1                       | 5                              | 5                      |                            |                               |                     | 4                    |                            |                 |                   |        | 1                    |                  | 1                       | 3                             | 1                  | 2                    | 7                  |                                       |                    |                    | 34                     |                         | 32,7%                |      |
| Agragación de impactos         | 5                            | 3                        | -15                     | 10                             | 10                     |                            | -220                          | -9                  | 7                    | -3                         | -3              | -6                | -14    | -20                  | -37              | -36                     | 6                             | -7                 | -95                  | 19                 | 52                                    |                    |                    |                        | -354                    | 100,0%               |      |

La identificación de estos factores es indispensable para fallas como la presentada en la relavera Karamkem, Rusia, en el 2009 (Glotova et al., 2018), en la cual la falta de control técnico, junto con las desviaciones del proyecto original, contribuyeron a los riesgos de inestabilidad de la presa tras 16 años de operación.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con el método matriz de Leopold se identificaron las actividades del proyecto, evaluando las interacciones entre las acciones y los factores ambientales, proporcionando valores para ponderar los factores afectados.

En la figura 2 se representa el porcentaje de interacciones por componente ambiental, el componente físico presenta mayor porcentaje de incidencia (64%) debido a que la calidad del aire y suelo tienen mayor incidencia en este componente, con un porcentaje de impactos negativos 11,5% cada uno. El componente biótico tendría menor implicación en la cual cada uno de sus factores tendría solo un impacto negativo de 1,9% (ver Figura 2).

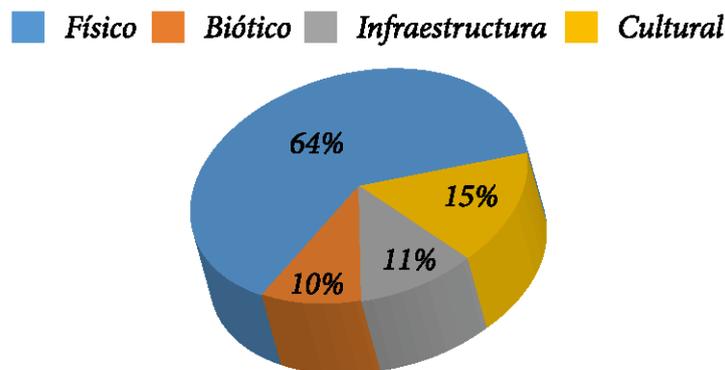


FIGURA 2  
Interacción por componente

El análisis de impactos positivos y negativos con la matriz de Leopold se demuestra en la figura 3, donde predominan los impactos negativos; siendo el componente socioeconómico cultural el que se vería beneficiado con la operación de la relavera debido principalmente a la generación de empleo (ver Figura 3).

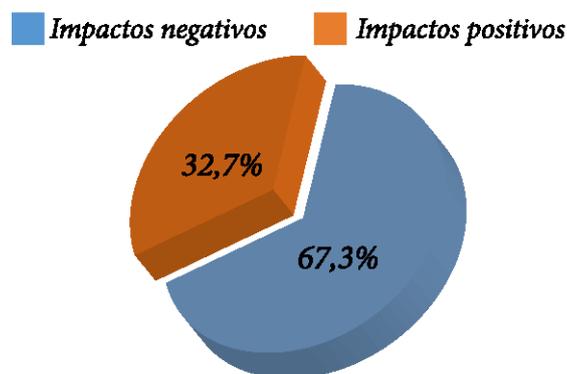


FIGURA 3  
Porcentaje de impactos positivos y negativos

La evaluación de impactos establece que el impacto negativo de mayor relevancia corresponde a la actividad carguío de relaves representado por el 27%, seguido por transporte de relaves que corresponde al 19% y el 17% asignado a la actividad de tratamiento de líquidos (ver Figura 4).

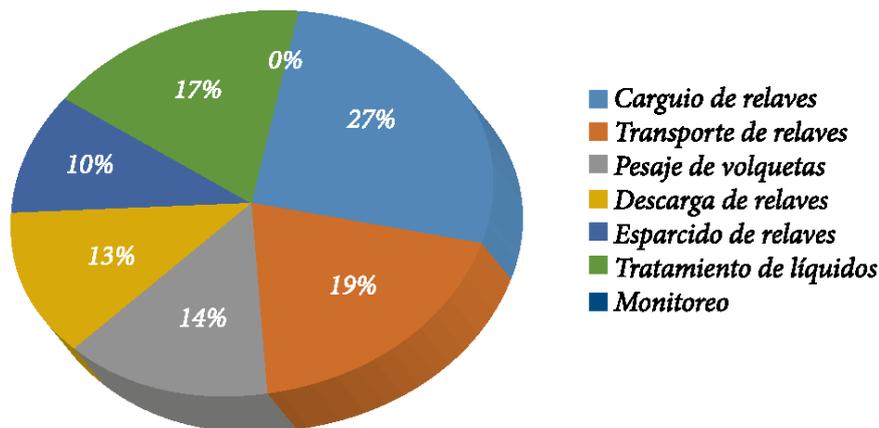


FIGURA 4  
Porcentaje de impactos negativos por actividades

Con los resultados obtenidos, se pueden plantear alternativas para la mitigación de impactos negativos entre los cuales se puede señalar:

- implantar un sistema de gestión de relaves para que, de manera transversal, se actúe en todas las fases de la vida útil del depósito e incorporar estándares internacionales para la vigilancia activa del depósito;
- iniciar los estudios de diseño y elección del área para construcción de la planta de tratamiento de lixiviados; y
- instalar instrumentación geotécnica para obtener una oportuna detección de anomalías que se desarrollen durante la vida útil del depósito.

## CONCLUSIONES

Este trabajo ha permitido establecer las características medioambientales de la operación de la Relavera Comunitaria El Tablón; el estudio evidencia impactos negativos asociados como la presencia de material particulado que afecta la calidad del aire, parámetros químicos del agua fuera de la norma y derrames de relaves en suelo.

Los factores de riesgos identificados con metodología matricial Leopold permitieron un análisis selectivo basado en la caracterización ambiental para cada actividad del proceso, concluyendo que las actividades de carga y transporte de relaves, así como la presencia líquidos, ocasionan el mayor impacto negativo; mientras que se ve beneficiado el factor socioeconómico debido a la generación de empleo.

Para la toma de decisiones apropiada con sostenibilidad ambiental, es imperativo considerar todo el ciclo de vida desde la construcción hasta el postcierre de la relavera El Tablón, por lo cual este trabajo permite tener herramienta de base para plantear alternativas de mitigación de impactos ambientales.

## REFERENCIAS

- Acurio, A. (2020) *Análisis de factores de riesgos ambiental de la Relavera Comunitaria El Tablón*, (Tesis maestría) Universidad Internacional del Ecuador, Quito.
- Alvarez Cabal, J. V., Luiña Fernández, R. & Pecharroman Clemente, D. (2013) Environmental indicators for impact assessment in mining. Logroño, 17th *International Congress on Project Management and Engineering*.

- Bansah, K., Dumakor-Dupey, N., Stemnc, E. & Galeckia, G. (2018) Mutualism, commensalism or parasitism? Perspectives on tailings trade between large-scale and artisanal and small-scale gold mining in Ghana. *Resources Policy*, 57(1), 246-254.
- Barcelos, D. et al. (2020) Gold mining tailing: Environmental availability of metals and human health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 122-721.
- De Andrade Lima, L., Bernardez, L. & Barbosa, L. (2008) Characterization and treatment of artisanal gold mine tailings. *Journal of Hazardous Materials*, 150(1), 747-753.
- Glotova, V. E., Chlachula, J., Glotova, L. P. & Little, E. (2018) Causes and environmental impact of the gold-tailings dam failure at Karamken, the Russian Far East. *Engineering Geology*, 245(1), pp. 236-247.
- Lara, J. (2013) *Experiencia de operación de depósito de relaves espesados y filtrados*, Perú: Golder Associates.
- Ministerio de Ambiente (2014) *Reglamento ambiental de actividades mineras*. Quito: Acuerdo Ministerial 37.
- Ministerio del Ambiente (2015) *Reforma del libro VI del texto unificado de legislación ambiental secundaria*, Ecuador: s.n.
- Paredes, D. (2013) *¿Después de la minería qué? Análisis del impacto socioeconómico y ambiental de la minería: caso South American Development Company (SADCO-CIMA), Portovelo y Zaruma-El Oro-Ecuador*. Quito: Flacso, sede Ecuador.
- Prodeminca (2000) *Evaluación de distritos mineros del Ecuador - Sulfuros masivos alojados en volcanitas*. Quito.
- Redwan, M. & Bamousa, A. (2019) Characterization and environmental impact assessment of gold mine tailings in arid regions: A case study of Barramiya gold mine area, Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 160(1), 103644.
- Rodríguez Córdova, R. (2002) *Economía y recursos naturales una visión ambiental en Cuba: apuntes para un libro de texto*. s.l.:Universitat Autònoma de Barcelona.
- Rodríguez, R. & Oldecop, L. (2011) Humedad y estabilidad geotécnica de presas de relaves. Quito, Conference: Universidad Central del Ecuador. Curso de capacitación profesional teórico-práctico en Aspectos relacionados a la hidrogeología e hidroquímica en zonas mineras del sur del Ecuador
- Salas Moscoso, D. J. (2019) *Optimización del proceso de construcción de diques de relave mediante el método en tándem*. Perú: Universidad Tecnológica del Perú.
- Sánchez, A. (2015) *El impacto de la minería en el distrito minero Zaruma-Portovelo, y el manejo de los relaves producidos en las plantas de beneficio, ubicadas a lo largo de los ríos Calera y Amarillo de la cuenca binacional Puyango-Tumbes*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Sobczyk, E. J., Kickia, J., Sobczyk, W. & Szuwarzyński, M. (2017) Support of mining investment choice decisions with the use of multi-criteria method. *Resources Policy*, 51(1), 94-99.
- Valderrama, J., Campusano, R. & Espindola, C. (2019) Minería Chilena: Captura, Transporte, y Almacenamiento de Dióxido de Carbono en Relaves mediante Líquidos Iónicos y Carbonatación Mineral. *Información tecnológica*, 30(5), 357-372.
- Vikentyev, I., & Banda, R. (2005) Mineralogy and formation conditions of Portovelo-Zaruma goldsulphide vein deposit, Ecuador. *Geochemistry, mineralogy and petrology*, 43, 148-154.