

Environmental impact assessment in the San Luis de Alba rock quarry, Puno, Perú

Anibal Sucari-León ^a, Nancy Chambi-Condori ^b & Oscar Eloy Llanque-Maquera ^a

^a Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. asucari@unap.edu.pe, oellanque@unap.edu.pe

^b Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. nchambi@unap.edu.pe

Received: January 22th, 2021. Received in revised form: September 2nd, 2021. Accepted: December 14th, 2021.

Abstract

The Environmental Impact Assessment is a preventive tool that allows harmonizing the economic, social and environmental development promoted by the execution of projects. The objective of this research was to evaluate the significance of the environmental impacts generated by the exploitation of rocks in the San Luis de Alba quarry (Puno, Peru), using the Integrated Relevant Criteria (CRI) methodology. According to the results obtained, the terrestrial fauna and flora components obtained total impact indices equal to -36.16 and -27.94, respectively, the physical components soils and topography registered negative impacts, in the same order, with indices of -23.29 and -23.26; while, in the case of the socioeconomic components, the employment generation component registered a positive index equal to 25.18. It is concluded that the exploitation of the San Luis de Alba rock quarry generates significant negative impacts that must be minimized or mitigated.

Keywords: sustainable development; non-metallic mining; relevant integrated criteria.

Evaluación del impacto ambiental en la cantera de roca San Luis de Alba, Puno Perú

Resumen

La Evaluación de Impacto Ambiental es una herramienta preventiva que permite armonizar el desarrollo económico, social y ambiental propiciado por la ejecución de proyectos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la significancia de los impactos ambientales generados por la explotación de rocas en la cantera San Luis de Alba (Puno, Perú), mediante la metodología de Criterios Relevantes Integrados (CRI). Según los resultados obtenidos, los componentes fauna y flora terrestre obtuvieron índices de impacto total igual a -36.16 y -27.94, respectivamente, los componentes físicos suelos y topografía registraron impactos negativos, en el mismo orden, con índices de -23.29 y -23.26; mientras que, en el caso de los componentes socioeconómicos, el componente generación de empleo registró un índice positivo igual a 25.18. Se concluye que la explotación de la cantera de roca San Luis de Alba genera impactos negativos significativos que deben ser minimizados o mitigados.

Palabras clave: desarrollo sostenible; minería no metálica; criterios relevantes integrados.

1. Introducción

Actualmente, muchos países cuyo motor de desarrollo económico es la extracción y explotación de recursos naturales, están implementando mecanismos de regulación que exijan a las empresas la inclusión del componente ambiental y social en el desarrollo de sus distintas actividades [1-3]. Ante ello, las empresas y organizaciones a las cuales

se les concede el permiso para aprovechar los recursos naturales deben realizar una evaluación que permita conocer las condiciones ambientales del entorno antes de la ejecución del proyecto, identificar los posibles impactos que generarán durante su ejecución y proponer medidas que permitan restaurar el entorno degradado al final del proyecto [4,5].

El procedimiento referido es conocido en la legislación ambiental como el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), el

cual es un instrumento preventivo que tiene importantes implicaciones administrativas y jurídicas, cuyo propósito fundamental consiste en identificar, predecir e interpretar el alcance ambiental de actividades derivadas de la ejecución de un proyecto de inversión [6,7]. Sobre la base de este instrumento se busca que los promotores de un proyecto se enfoquen en la prevención de los riesgos ambientales, a fin de ser sometido a la valoración de las distintas instituciones administrativas de carácter público o privado, encargadas de otorgar los permisos pertinentes [8,9].

La trascendencia de la evaluación de impacto ambiental radica en que dentro de este instrumento están inmersas varias disciplinas científicas que permiten tener una proyección más sólida del alcance de los impactos ambientales que se puedan generar durante la ejecución del proyecto. Esto permite a las empresas y organizaciones a tomar decisiones tempranas y anticiparse a eventos que podrían tener implicancias graves sobre la calidad de vida de las personas, los seres vivos y los ecosistemas [10,11].

Particularmente, el caso de interés que se pretende abordar en este artículo es la extracción de rocas en canteras, dado que, tal como se ha reportado en numerosas investigaciones [12-14], actividades como la remoción y extracción de rocas, afectan severamente componentes como el entorno paisajístico, el aire, el suelo y las fuentes de agua. Para ello es necesario utilizar una metodología adecuada que permita identificar y valorar todas las interacciones posibles entre todos los componentes ambientales y las actividades que formarán parte del proyecto [15,16].

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es identificar, evaluar y valorar los impactos ambientales generados por la explotación de la Cantera de San Luis de Alba ubicada en la Provincia de Puno, República del Perú., empleando una metodología apropiada para el caso de estudio como es el método de los Criterios Relevantes Integrados (CRI).

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la cantera San Luis de Alba, situada a una altura de 4042 msnm y a una distancia aproximada de 10 Km de la localidad de Puno (Distrito de Puno), con coordenadas geográficas 15°52'48.24" al sur, y 70°03'19.28" al oeste (Fig. 1); su principal vía de acceso es la nueva carretera Puno-Juliaca. La cantera de San Luis de Alba se caracteriza por presentar rocas de tipo volcánicas de la era Cenozoica, y sus propiedades las hace aptas para ser explotadas y empleadas en el mercado de la construcción. Por otra parte, cerca de la cantera hay zonas con regimientos de agua situadas al suroeste y al oeste, que pueden ser afectadas por la remoción de material rocoso [17].

2.2 Metodología

La evaluación del impacto ambiental en la cantera de San Luis de Alba se llevó a cabo en dos etapas. La primera etapa consistió en una visita técnica para conocer diversos aspectos sobre el proceso de las actividades desarrolladas en la cantera

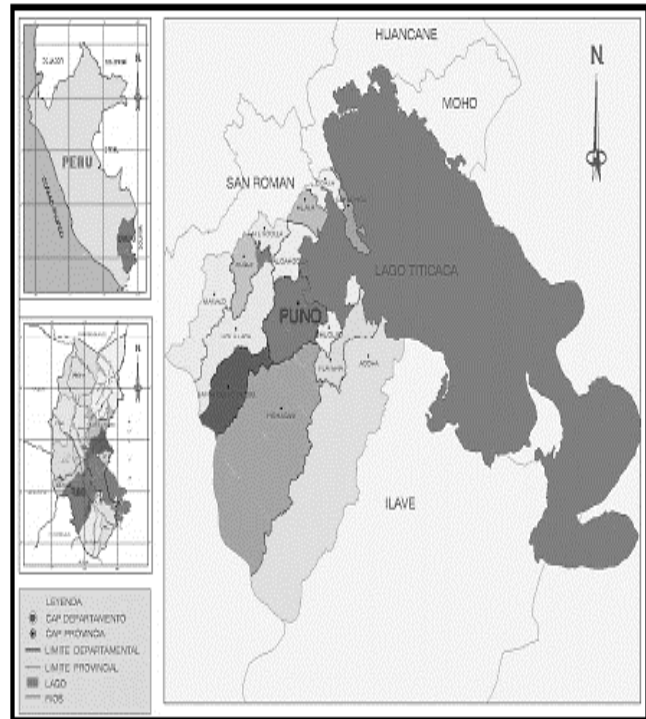


Figura 1. Zona de estudio.

Fuente: Elaborado por los autores.

y así poder aplicar un diagnóstico ambiental en base a los componentes físicos, bióticos y socioeconómicos presentes en la zona. En la segunda etapa se diseñaron varias actividades, en las que se recopilaban todos los datos necesarios para el desarrollo del proyecto, las cuales se muestran a continuación:

- Caracterización y descripción de las acciones que se desarrollan en la cantera de San Luis de Alba.
- Caracterización de los componentes ambientales presentes en la cantera de San Luis.
- Elaboración de la matriz de caracterización del impacto ambiental.
- Empleo del método Criterios Relevantes Integrados (CRI) propuesta por Buroz (1994) [18], para la cuantificación y valoración del impacto ambiental

El CRI utiliza el índice de valor del impacto ambiental o índice de valoración (IV), el cual especifica los efectos que puede ocasionar un proyecto durante las actividades planificadas en su ejecución. El índice IV es la suma ponderada de ciertos indicadores que miden el impacto tales como intensidad, carácter, duración, reversibilidad, extensión, magnitud y riesgo: este índice clasifica el impacto en virtud del Riesgo de ocurrencia. Las relaciones causas y efectos son planteadas en las matrices de tipo Leopold, en las que se describen actividades del proyecto que tienen impacto y producen efectos en el ambiente. Partiendo del trabajo de [6], se describirá de manera breve, el método CRI, que fue empleado para esta investigación, definiendo principalmente los términos que se asocian a las variables o indicadores consideradas en el estudio, antes mencionados.

2.2.1 Carácter de impacto (+/-)

Este indicador identifica el impacto de cada una de las acciones de un proyecto, para ello toma el signo menos cuando la actividad produce un impacto desfavorable, si la valoración es favorable está se identifica por un signo positivo; si las acciones no producen algún impacto, entonces, no se le asocia ninguna calificación.

2.2.2 Intensidad de impacto (I)

Este indicador mide el grado de peligro que posiblemente puede derivarse de las acciones del proyecto sobre la observación de los componentes ambientales, y está comprendido en un rango de 1 a 10, el cual caracteriza el nivel de severidad del impacto estudiado (ver Tabla 1).

2.2.3 Influencia o extensión espacial del impacto (E)

La variable E mide, de forma directa o indirecta, el grado de influencia del impacto ambiental sobre las extensiones de superficie que han experimentado variaciones en todos sus componentes ambientales, asociadas con las acciones ejecutadas por el proyecto.

2.2.4 Duración de impacto (D)

La variable D da una estimación de la duración de los efectos que se producen sobre los componentes ambientales analizados, debido a las acciones desarrolladas en el proyecto.

Tabla 1. Escala de valoración de las variables intensidad, extensión y duración de impacto.

Intensidad	Descripción	Valor
Alta	Si se producen daños significativos en las condiciones iniciales del entorno	10
Media	Si los daños o modificaciones son notorias en comparación a las condiciones iniciales, manteniendo rangos aceptables	5
Baja	Si apenas se producen pequeños daños o modificaciones de las condiciones iniciales del entorno; son poco perceptibles a ser medidos	1
Extensión	Descripción	Valor
Extenso	Si el efecto del impacto involucra el entorno donde es llevado a cabo el proyecto, pero está fuera del área de administración	10
Local	Si el efecto del impacto involucra el entorno donde es ejecutado el proyecto, pero está dentro de su zona administrativa	5
Puntual	Si el efecto del impacto sólo involucra el área interna donde se desarrolla el proyecto.	1
Duración	Plazo	Valor
Más de 10 años	Largo	10
Más de 5 años	Mediano	5
Menos de 5 años	Corto	1

Fuente: Elaborado por los autores.

2.2.5 Magnitud del impacto ambiental

Para el caso de la variable M o magnitud del impacto ambiental, su medición es realizada de forma indirecta, es decir, a partir de la relación entre la intensidad de impacto, la extensión espacial del impacto y la duración del impacto y está dada por la siguiente expresión:

$$M_i = \pm \sum_{i=1}^n [(I_i \times W_I) + (E_i \times W_E) + (D_i \times W_D)] \quad (1)$$

Donde M, I, E y D representan, respectivamente la magnitud, intensidad, extensión y duración del impacto, y W_I , W_E y W_D , son variables adimensionales que ponderan el peso de incidencia sobre cualquiera de las variables; la suma de estos tres coeficientes de peso debe ser igual a 1, y se le asigna valores arbitrarios a cada una de las variables en el intervalo (0, 1). Para esta investigación los valores asignados fueron $W_I = 0.4$, $W_E = 0.4$ y $W_D = 0.2$ [18].

2.2.6 Reversibilidad de impacto (R)

La reversibilidad de impacto analiza la capacidad que tiene el sistema de recuperar las condiciones iniciales después de desarrollarse las actividades que produjeron el impacto ambiental.

2.2.7 Riesgo o probabilidad del suceso (P)

Por último, se mide la probabilidad de ocurrencia del impacto ambiental sobre los componentes ambientales presentes en de alcance del proyecto tanto internos o externos, según sea el caso. La escala de valoración de la reversibilidad de impacto y la probabilidad de ocurrencia se muestra a continuación en la Tabla 2. Una vez realizada la caracterización del impacto ambiental a través de la cuantificación de las variables antes mencionadas, se procede a determinar el índice de valoración de impacto ambiental IV, el cual toma en cuenta la relación directa entre la reversibilidad, el riesgo y la magnitud, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

Tabla 2. Escala de valoración de las variables reversibilidad y probabilidad.

Reversibilidad	Capacidad de reversibilidad	Valor
Irreversible	Irrecuperable o baja	10
Parcialmente Reversible	Se pueden recuperar las condiciones iniciales, pero a largo plazo (>30 años) y a costos elevados	8
Parcialmente Reversible	Recuperable a mediano y largo plazo (<30 años)	5
Reversible	Impacto reversible que es recuperable a corto plazo o de manera inmediata	1
Probabilidad	Rango de ocurrencia	Valor
Alta	Si la probabilidad de ocurrencia es $\geq 50\%$	10
Media	Si la probabilidad de ocurrencia está en el intervalo [10, 50] %	5
Baja	Si la probabilidad de ocurrencia está en el intervalo [0, 10] %	1

Fuente: Elaborado por los autores.

$$I_{V_i} = \prod_{i=1}^n [R^{W_R} \times P^{W_P} * \times] \quad (2)$$

Siendo R, la reversibilidad, P el riesgo o probabilidad de ocurrencia, M la magnitud del impacto ambiental, W_R , W_P y W_M son ponderadores de la reversibilidad, el riesgo y la magnitud de impacto, respectivamente, y son cantidades adimensionales.

Similarmente como ocurre en la ec. (1) estos coeficientes toman valores, de manera arbitraria, en el rango (0, 1), considerando que la suma de los tres coeficientes debe ser estrictamente 1. El mínimo valor que puede tomar el I_V es 0, indicando que sobre la variable no existe impacto, y el máximo valor que puede tomar es 10, reflejando un impacto muy significativo sobre la variable en estudio. El efecto lo determinará el signo que arroje el resultado de las expresiones (1) y (2), bien sea negativo o positivo. Para esta investigación los valores seleccionados de los coeficientes fueron los siguientes: $W_{RV} = 0.3$, $W_{RG} = 0.3$ y $W_M = 0.4$ [18]

Después de obtener el I_V de cada uno de los impactos evaluados en el proyecto los resultados son tabulados para su respectivo análisis. En base a los resultados del I_V , se realiza una calificación cualitativa, la cual permitirá tomar decisiones sobre las medidas de mitigación que deben aplicarse de manera prioritaria, y para ello, se toma en cuenta un criterio de significancia dado a continuación: En el intervalo (0, 2) el impacto es no significativo; de (2, 4) el impacto es poco significativo; entre (4, 6), es medianamente significativo; en el rango (6, 8), es significativo; y entre 8 y 10 el impacto es muy significativo [6].

3. Resultados y discusiones

Una vez registrada toda la información se procedió a realizar la respectiva codificación de todos y cada uno de los elementos considerados en el proceso de evaluación, siguiendo la estrategia de trabajo diseñada en el apartado anterior.

- De acuerdo con lo observado en la primera etapa del proyecto, se pudo identificaron y codificaron nueve actividades esenciales llevadas a cabo en la cantera durante el proceso de extracción de roca (Tabla 3).
- Posteriormente también se identificaron y codificaron 16 componentes ambientales presentes en el área de influencia de la cantera de San Luis de Alba (Tabla 3).
- Seguidamente se generó la matriz de identificación de los impactos ambientales de la cantera de San Luis de Alba, la cual suministra información sobre la interacción entre las actividades identificadas y los componentes ambientales presentes en la zona de explotación (Tabla 4).
- Posteriormente, se hace una representación porcentual de los componentes ambientales que interactúan con las actividades desarrollados en la cantera, de modo que se pueda estimar qué actividad tuvo más incidencia sobre un componente (Tabla 5).

Tabla 3. Codificación de las actividades y componentes ambientales.

Actividades	A _i	Componentes	C _i
Físico			
Preparación/vías de acceso	A ₁	Topografía	C ₁
		Calidad de aire	C ₂
Áreas de servicio/Mantenimiento	A ₂	Ruido	C ₃
		Vibraciones	C ₄
Exploración <i>in situ</i>	A ₃	Calidad del agua	C ₅
		Hidrología	C ₆
Extracción	A ₄	Hidrogeología	C ₇
		Suelos	C ₈
Biológico			
Acumulación/lavado	A ₅	Flora terrestre	C ₉
Clasificación granulométrica	A ₆	Fauna terrestre	C ₁₀
		Fauna acuática	C ₁₁
Carguío y transporte	A ₇	Flora acuática	C ₁₂
		Biodiversidad	C ₁₃
Socioeconómico			
Almacenamiento	A ₈	Generación de empleo	C ₁₄
		Dinamización del comercio local	C ₁₅
Comercialización	A ₉	Paisaje visual	C ₁₆

Fuente: Elaborado por los autores.

Tabla 4. Matriz de identificación de impactos ambientales.

	Actividades del proyecto									Total	
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉		
Componentes ambientales	C ₁	x			x	x					3
	C ₂	x	x		x	x	x				6
	C ₃	x	x		x	x	x	x			7
	C ₄	x	x		x	x	x				6
	C ₅	x			x			x			3
	C ₆	x			x				x		3
	C ₇		x		x						2
	C ₈	x	x		x			x			4
	C ₉	x		x	x			x			4
	C ₁₀	x	x		x	x		x			5
	C ₁₁	x			x			x			3
	C ₁₂	x			x				x		3
	C ₁₃	x		x	x				x		4
	C ₁₄	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9
	C ₁₅									x	1
	C ₁₆	x	x		x	x		x			5
Total	14	8	3	15	7	4	13	2	2	68	

Fuente: Elaborado por los autores.

De acuerdo con lo observado en la Tabla 4, se determinó el nivel de afectación de cada componente ambiental mediante el recuento de sus interacciones con cada actividad desarrollada. Lo anterior se observa en la Tabla 5, donde el 50% de los indicadores evaluados corresponden a los componentes ambientales físicos, el 28% está representado por los indicadores de los componentes biológicos, y el 22% a los indicadores de los componentes socioeconómicos.

De los componentes físicos, los que tuvieron mayor número de interacciones con las actividades fueron el componente ruido con 7, el componente vibraciones y calidad de aire con 6 cada uno.

Table 5.
Porcentajes de impacto por componente ambiental.

Componente ambiental		Interacciones	%
Componentes ambientales	Físico	Topografía	C ₁ 3
		Calidad de aire	C ₂ 6
		Ruido	C ₃ 7
		Vibraciones	C ₄ 6
		Calidad del agua	C ₅ 3
		Hidrología	C ₆ 3
		Hidrogeología	C ₇ 2
		Suelos	C ₈ 4
	Total		34
	Biológico	Flora terrestre	C ₉ 4
		Fauna terrestre	C ₁₀ 5
		Fauna acuática	C ₁₁ 3
		Flora acuática	C ₁₂ 3
Biodiversidad		C ₁₃ 4	
Total		19	
Socioeconómico	Generación de empleo	C ₁₄ 9	
	Dinamización del comercio local	C ₁₅ 1	
	Paisaje visual	C ₁₆ 5	
Total		15	
Total		68	100

Fuente: Elaborado por los autores.

Con respecto a los componentes biológicos, los que tuvieron más interacciones fueron el componente fauna terrestres con 5, el componente flora terrestre y biodiversidad con 4 cada uno. Por su parte, el componente generación de empleo, fue el de mayor número de actividades con 9, mientras que el paisaje visual con 5, representando los componentes ambientales biológicos, que fueron evaluados en el proyecto.

En la Fig. 2 se contrastan los resultados de las actividades ejecutadas en el proyecto y el análisis de cada uno de los componentes con las variables que consideró el modelo, particularmente se muestran los componentes físicos. Se observa que, todos los componentes físicos que se registraron están expuestos a más de un impacto negativo.

El grado de intensidad de impacto es alto para el componente topográfico; a pesar de que su extensión de afectación es local, los efectos negativos son muy significativos, la probabilidad de ocurrencia de estos efectos es alta, y el proceso de recuperación o regreso a sus condiciones iniciales es nula. En cuanto al componente aire, la probabilidad de causar efectos negativos es alta, sin embargo, son reversibles y de corta y mediana duración, la intensidad de impacto causada es media y baja.

El componente suelo, registra una intensidad de impacto alta en relación con la preparación de vías y la extracción de material de la cantera, y un impacto bajo para las actividades de servicio y transporte. Sin embargo, la probabilidad de ocurrencia de los efectos negativos es alta, y los daños causados al componente suelo por la actividad de extracción son irreversibles, puesto que, los valores del índice IV para la actividad de extracción es de -8.67, por lo que, produce un efecto negativo muy significativo.

Componentes	Carácter	I	E	D	M	R	P	I _v	Significación
C ₁	Topografía								
A ₁	-	Alta	Local	Largo	-8	Irreversible	Alta	-7.43	Significativo
A ₄	-	Alta	Local	Mediano	-7	Irreversible	Alta	-8.11	Muy significativo
A ₅	-	Alta	Local	Corto	-6.2	Irreversible	Alta	-7.72	Significativo
C ₂	Calidad del aire								
A ₁	-	Media	Local	Corto	-6.2	Reversible	Alta	-4.14	Medianamente sig.
A ₂	-	Media	Puntual	Corto	-2.6	Reversible	Alta	-2.92	Poco significativo
A ₄	-	Media	Local	Mediano	-9	Reversible	Alta	-4.81	Medianamente sig.
C ₃	-	Baja	Puntual	Corto	-1	Reversible	Alta	-2	No significativo
A ₆	-	Baja	Puntual	Corto	-1	Reversible	Alta	-2	No significativo
A ₇	-	Media	Puntual	Mediano	-7	Reversible	Alta	-4.35	Medianamente sig.
C ₃	Ruido								
A ₁	-	Alta	Local	Corto	-6.2	Reversible	Alta	-4.14	Medianamente sig.
A ₂	-	Media	Puntual	Corto	-2.6	Reversible	Media	-2.92	Poco significativo
A ₄	-	Alta	Extenso	Mediano	-9	Reversible	Media	-4.81	Medianamente sig.
A ₅	-	Media	Puntual	Mediano	-3.4	Reversible	Alta	-3.26	Poco significativo
A ₆	-	Media	Puntual	Mediano	-3.4	Reversible	Alta	-3.26	Poco significativo
A ₇	-	Media	Local	Mediano	-5	Reversible	Media	-3.8	Poco significativo
A ₈	-	Baja	Puntual	Mediano	-1.8	Reversible	Media	-2.52	Poco significativo
C ₄	Vibraciones								
A ₁	-	Alta	Local	Corto	-6.2	Reversible	Alta	-4.14	Medianamente sig.
A ₂	-	Baja	Puntual	Corto	-1	Reversible	Media	-1.62	No significativo
A ₄	-	Alta	Local	Mediano	-7	Reversible	Media	-4.35	Medianamente sig.
A ₅	-	Baja	Puntual	Corto	-1	Reversible	Alta	-1.62	No significativo
A ₆	-	Baja	Puntual	Corto	-1	Reversible	Alta	-1.62	No significativo
A ₇	-	Baja	Local	Mediano	-3.4	Reversible	Media	-3.26	Poco significativo
C ₅	Calidad del agua								
A ₁	-	Alta	Local	Corto	-6.2	Reversible	Alta	-3.36	Poco significativo
A ₄	-	Alta	Puntual	Corto	-4.6	Reversible	Alta	-2.98	Poco significativo
A ₇	-	Baja	Local	Corto	-2.6	Reversible	Media	-2.92	Poco significativo
C ₆	Hidrología (aguas superficiales)								
A ₁	-	Media	Local	Corto	-4.2	Reversible	Alta	-2.88	Poco significativo
A ₄	-	Media	Local	Corto	-4.2	Reversible	Alta	-2.88	Poco significativo
A ₇	-	Baja	Local	Corto	-2.6	Reversible	Alta	-2.92	Poco significativo
C ₇	Hidrogeología (aguas subterráneas)								
A ₂	-	Baja	Puntual	Corto	-1	Reversible	Alta	-1.62	No significativo
A ₄	-	Media	Local	Corto	-4.2	Reversible	Alta	-2.88	Poco significativo
C ₈	Suelos								
A ₁	-	Alta	Local	Corto	-6.2	Irreversible	Alta	-6.71	Significativo
A ₂	-	Baja	Puntual	Corto	-1	Irreversible	Alta	-2.63	Poco significativo
A ₄	-	Alta	Local	Mediano	-7	Irreversible	Alta	-8.67	Muy significativo
A ₇	-	Baja	Local	Mediano	-3.4	Irreversible	Alta	-5.28	Medianamente sig.

Figura 2. Matriz de las actividades y componentes ambientales físicos.
Fuente: Elaborado por los autores.

En la Fig. 3, se registran los resultados para los componentes biológicos y socioeconómicos. Se observa, con respecto al componente biológico, que los efectos que se producen debido a las actividades de la cantera, causaron daños irreversibles a la flora y fauna terrestre, y a la biodiversidad. Respecto a la flora, la construcción de vías de acceso a la cantera, ha causado la desaparición de una parte de la vegetación, evidenciado por el IV cuyo valor fue de -7.43, representando un impacto significativo, pero la actividad que más ha repercutido negativamente ha sido el proceso de extracción, ya que, se registró un índice de impacto igual a -10.0, caracterizando un impacto negativo muy significativo. También actividades como la exploración in situ, y el transporte de material extraído de la cantera han producido a un efecto medianamente significativo, y registraron un índice de impacto de -4.66 y -5.85, respectivamente.

La fauna notablemente también sufrió un impacto negativo producto de las actividades de extracción en la cantera, registrando un índice de impacto de -8.55 tanto para la actividad relacionada al acceso a la cantera como en la actividad de extracción como consecuencia de los daños en la vegetación y suelos de la zona, causando un impacto local posiblemente irreversible. El impacto negativo, también causó importante afectación a la biodiversidad local al registrar índices de impacto de -7.41 y -8.11, en la actividad relativas al acceso y la actividad de extracción, respectivamente, lo que representa un impacto significativo, con características irreversibles, al igual que en los componentes topografía, suelos, flora y fauna terrestre.

Por otra parte, en el componente socioeconómico, el impacto es positivo, por la generación de empleo y la dinamización de la economía, y los efectos negativos son de alta probabilidad de ocurrencia, pero, son reversibles y pueden disiparse a corto plazo. Otro componente socioeconómico es la dinamización comercial local, en el que el efecto adverso tiene una probabilidad de ocurrencia alta, y poco significativa. Sin embargo, para el componente paisaje visual el impacto causado por las actividades es irreversible, y en este caso se obtuvieron índices de impacto de -7.43, para la actividad vías de acceso, -8.67 para la actividad de extracción y -7.04 para la actividad relacionada al transporte.

En la Fig. 4, se muestra la distribución de porcentajes de significancia del impacto ambiental con los componentes ambientales presentes en la cantera de San Luis de Alba. Se observa que el componente fauna terrestres es el que sufrió el mayor impacto ambiental como consecuencia de la extracción de rocas (o ruptura de la roca) y la preparación de vías de acceso a la cantera de San Luis de Alba, al registrarse un índice IV total de -36.16; y la afectación de este componente, también se vio afectada directamente, por el daño producido a los componentes topografía (C1) y suelo (C8), evidenciado en el índice IV total -23.26 y -23.29, respectivamente. Pero cabe señalar, además, que la flora terrestre también, sufrió un impacto negativo registrando un IV negativo igual a -27.94.

De acuerdo con los resultados de los indicadores evaluados, el proceso de restauración o regeneración de los componentes topografía y suelo es irreversible; y, en consecuencia, también lo es para los componentes fauna (C9)

y flora terrestre (C10). El componente aire registra un IV -22.22, resultado similar al reportado por [19], los cuales determinaron un valor de -22 e indicaron que dichos efectos

Componentes	Carácter	I	E	D	M	R	P	I _v	Significación
C ₉ Flora terrestre									
A ₁	-	Alta	Local	Largo	-8	Irreversible	Alta	-7.43	Significativo
A ₃	-	Media	Local	Corto	-4.2	Irreversible	Alta	-4.66	Medianamente sig.
A ₄	-	Alta	Extenso	Largo	-10	Irreversible	Alta	-10	Muy significativo
A ₇		Baja	Local	Largo	-4.4	Irreversible	Alta	-5.85	Medianamente sig.
C ₁₀ Fauna terrestre (aves, mamíferos, reptiles, entre otros)									
A ₁	-	Alta	Local	Largo	-8	Irreversible	Media	-8.55	Muy significativo
A ₂	-	Baja	Puntual	Mediano	-1.8	Irreversible	Media	-4.71	Medianamente sig.
A ₄	-	Alta	Local	Largo	-8	Irreversible	Media	-8.55	Muy significativo
A ₅	-	Media	Puntual	Largo	-4.4	Irreversible	Media	-6.73	Significativo
A ₇	-	Media	Local	Largo	-6	Irreversible	Alta	-7.62	Significativo
C ₁₁ Fauna acuática									
A ₁	-	Alta	Puntual	Corto	-4.6	Reversible	Baja	-1.84	No significativo
A ₄	-	Baja	Puntual	Corto	-1	Reversible	Baja	-1	No significativo
A ₇	-	Baja	Puntual	Corto	-1	Reversible	Baja	-1	No significativo
C ₁₂ Flora acuática									
A ₁	-	Alta	Puntual	Corto	-8	Reversible	Baja	-1.84	No significativo
A ₄	-	Baja	Puntual	Corto	-4.2	Reversible	Baja	-1	No significativo
A ₇	-	Baja	Puntual	Corto	-7	Reversible	Baja	-1	No significativo
C ₁₃ Biodiversidad									
A ₁	-	Alta	Local	Largo	6.2	Irreversible	Alta	-7.43	Significativo
A ₃	-	Media	Local	Corto	6.2	Irreversible	Alta	-5.74	Medianamente sig.
A ₄	-	Baja	Local	Mediano	2.6	Irreversible	Alta	-8.11	Muy significativo
A ₇	-	Alta	Local	Mediano	6.2	Irreversible	Alta	-6.07	Significativo
C ₁₄ Generación de empleo									
A ₁	+	Media	Extenso	Corto	6.2	Reversible	Alta	3.36	Poco significativo
A ₂	+	Media	Extenso	Corto	6.2	Reversible	Alta	3.36	Poco significativo
A ₃	+	Baja	Local	Corto	2.6	Reversible	Alta	2.38	Poco significativo
A ₄	+	Media	Extenso	Corto	6.2	Reversible	Alta	3.36	Poco significativo
A ₅	+	Baja	Puntual	Corto	1	Reversible	Alta	1.92	No significativo
A ₆	+	Baja	Local	Corto	2.6	Reversible	Alta	2.38	Poco significativo
A ₇	+	Media	Extenso	Corto	6.2	Reversible	Alta	3.36	Poco significativo
A ₈	+	Baja	Local	Corto	2.6	Reversible	Alta	2.38	Poco significativo
A ₉	+	Media	Extenso	Corto	4.2	Reversible	Alta	2.98	Poco significativo
C ₁₅ Dinamización del comercial local									
A ₉	+	Baja	Extenso	Corto	4.6	Reversible	Alta	2.98	Poco significativo
C ₁₆ Paisaje visual									
A ₁	-	Baja		Largo	-8	Irreversible	Alta	-7.43	Significativo
A ₂	-	Baja		Mediano	-1.8	Irreversible	Alta	-4.09	Medianamente sig.
A ₄	-	Alta		Mediano	-7	Irreversible	Alta	-8.67	Muy significativo
A ₅	-	Alta		Corto	-6.2	Reversible	Alta	-4.14	Medianamente sig.
A ₇	-	Media		Mediano	-7	Irreversible	Alta	-7.04	Significativo

Figura 3. Matriz de las actividades y componentes biológicos y socioeconómicos.

Fuente: Elaborado por los autores.

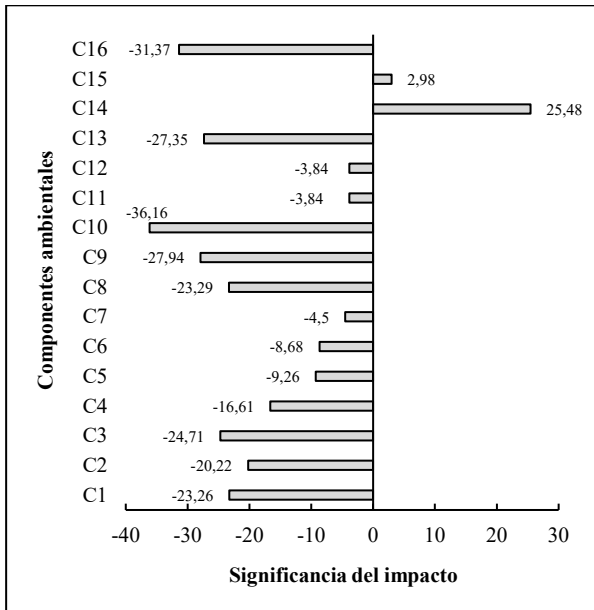


Figura 4. Significancia del impacto sobre los componentes ambientales en la cantera SLA-Puno.

Fuente: Elaborado por los autores.

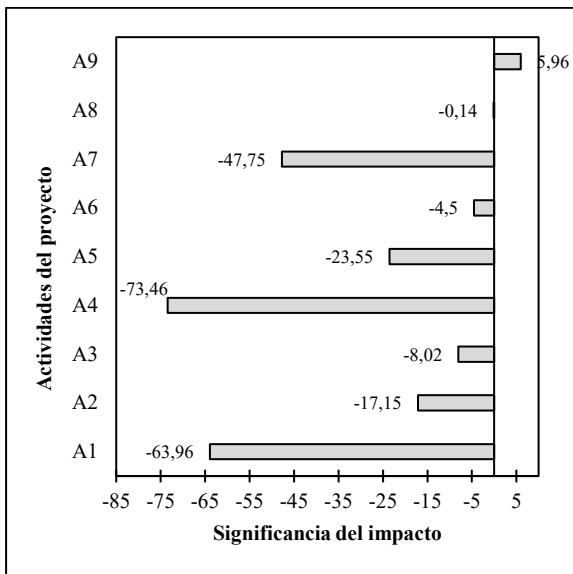


Figure 5. Significancia del impacto causado por las actividades desarrolladas en la cantera SLA-Puno.

Fuente: Elaborado por los autores.

son irrelevantes. También se registró un índice de -24.71, para el componente ruido (C5), el cual afecta de manera local y sus efectos adversos sobre el ambiente son reversibles. Para el componente vibraciones (C4), se resalta, los valores obtenidos del índice IV de -16.61 en las actividades de acceso a la cantera y la actividad de extracción, lo que indica un impacto medianamente significativo y de características reversibles que afectan el ámbito local y puntual, respectivamente.

En relación al componente calidad de agua (C5), el índice obtenido, se obtuvo un IV de -9.26, afectando, en general, el

ámbito local con afectaciones que pueden ser recuperables aun corto plazo. Respecto al componente aguas superficiales (C6) y el componente aguas subterráneas (C7), el impacto ambiental es poco significativo en ambos casos, y obtuvieron IV negativo de 8.68 y 3.90, respectivamente, indicando un impacto local con recuperación de la hidrología a corto plazo.

Se evidencia, entonces, una clara afectación de los componentes físicos y biológicos del ambiente en la cantera de San Luis de Alba, resultado similar, al reportado por [20], en los que determinaron daños negativos moderados en los componentes ambientales suelo y flora, mientras que los daños en los elementos paisajísticos fueron críticos, coincidiendo con la valoración determinada en el presente estudio al obtenerse un IV de -31.37%. García Ubaque et al. (2014), de igual forma, reportaron en su estudio en la cantera de Villa Gloria ubicada al suroccidente de Bogotá, que los componentes físicos y biológicos fueron los más afectados debido a la actividad minera, específicamente, la remoción de tierra y el traslado de masa fueron los indicadores con mayor índice de impacto negativo generando de ese modo un riesgo permanente en los alrededores de la cantera; en cuanto al componente paisajístico, también registró una afectación severa en virtud del cambio geomorfológico.

Por otra parte, en la Fig. 4, se observa, que los componentes socioeconómicos generación de empleo (C15) y la dinamización del comercio (C14), tienen un efecto positivo, que abarca el ámbito local y externo de la cantera San Luis de Alba, en este caso el índice IV fue de 25.18 y 2.98, respectivamente. Nuevamente, estos resultados concuerdan con los encontrados por [20], lo que permite indicar, que la extracción es una de las principales fuentes de ingreso de las personas que viven es la explotación y extracción de rocas, actividad que sirve para abastecer las necesidades de construcción tanto en la zona como a otras regiones del país.

En la Fig.5 se señalan los valores del IV en relación a las actividades diseñadas para el proyecto. De las 9 actividades apenas 1 de ellas obtuvo un índice IV positivo igual 5.96 correspondiente a la actividad de comercialización. Mientras que las actividades de extracción (A4), tienen un impacto negativo de 73.46; la actividad preparación de vías de acceso (A1) registró un índice igual a -63.96, y la actividad carguío y transporte (A7) obtuvo un índice total igual a -47.75. Estos resultados, indican claramente los efectos adversos que tiene la explotación y extracción de los recursos en la cantera de San Luis de Alba, y de la inversión que se requiere para aplicar la medida de mitigación que reduzcan los impactos negativos generado sobre los componentes ambientales presentes en dicha cantera

4. Conclusiones

Los índices de impacto ambiental reportados en esta investigación señalan que los componentes ambientales que padecieron afectaciones más significativas fueron el paisaje visual, la flora y fauna terrestre.

Todas las actividades desarrolladas en la explotación de la cantera de San Luis de Alba que generan mayores impactos negativos sobre los componentes ambientales fueron la preparación de vías de acceso, la extracción y el transporte

de rocas. Sin embargo, es importante destacar que también se generaron impactos beneficiosos que permitieron dinamizar el comercio local y generar puestos de empleo.

Los resultados obtenidos sugieren que se deben planificar acciones preventivas y correctivas antes de la ejecución de estos proyectos de manera que se puedan mitigar los impactos negativos más considerables.

Referencias

- [1] Cherni, J., Medio ambiente y globalización: desarrollo sustentable modernizado, *Economía y Desarrollo*. [en línea]. 129(2), pp. 193-213, 2001. Disponible en: <https://bit.ly/2XvLLea>
- [2] Fernández, R., Las verdades más incómodas del cambio climático no son climáticas, *Ecología Austral*, 25(2), pp. 149-157, 2015. DOI: <https://doi.org/10.25260/EA.16.25.2.0.160>
- [3] Yáñez, P., Núñez, M., Carrera, F. y Martínez, F., Posibles efectos del cambio climático global en zonas silvestres protegidas de la Zona Andina de Ecuador, *La Granja*, 14(2), pp. 24-44, 2011. DOI: <https://doi.org/10.17163/lgr.n14.2011.03>
- [4] Narváez, I.S., Caldera, D. y Sánchez, M.E., Análisis de políticas ambientales en la Universidad de Guanajuato, México, *Inquietud Empresarial*. [en línea]. 19(2), pp. 87-103, 2019. Disponible en: <https://bit.ly/2Z2RatE>
- [5] De Prada, J.D., Gil, H.A., Pereryra, C.I. y Becerra, V.H., La inclusión de la dimensión económica en la Evaluación de Impacto Ambiental, *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. [en línea]. 39(3), pp. 259-266, 2013. Disponible en: <https://bit.ly/31MAoH1>
- [6] Morales, D. y Roux, R., Efectos esperados de la extracción de gas shale en el noreste de México: un enfoque cualitativo, *Región y Sociedad*, 30(72), pp. 1-28, 2018. DOI: <https://doi.org/10.22198/rys.2018.72.a378>
- [7] Van Eldik, M.A., Vahdatikhaki, F., Dos Santos, J.M.O., Visser, M. and Doree, A., BIM-based environmental impact assessment for infrastructure design projects, *Automation in Construction*, 120, art. 103379, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103379>
- [8] George, T.E., Karatu, K. y Edward A., An evaluation of the environmental impact assessment practice in Uganda: challenges and opportunities for achieving sustainable development, *Heliyon*, 6(9), 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04758>
- [9] Perevochtchikova, M., La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales, *Gestión y política pública*. [en línea]. 22(2), pp. 283-312, 2013. Disponible en: <https://bit.ly/3Cf8tGb>
- [10] Alonso, A., Leyva, C.J. y Campos, E., Evaluación de impacto ambiental: herramienta en la formación ambiental del arquitecto, *Arquitectura y Urbanismo*. [en línea]. 33(3), pp. 38-51, 2012. Disponible en: <https://bit.ly/3CkpYom>
- [11] Agboola, O., Babatunde, D.E., Isaac, O.S., Sadiku, E.R., Popoola, P., Moropeng, L., Yahaya, A. and Mamudu, O.A., A review on the impact of mining operation: monitoring, assessment and management, *Results in Engineering*, 8, art. 100181, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100181>
- [12] Gallardo, D., Bruguera, N., Díaz, J.A. y Cabrera, I., Impacto provocado por la minería en la zona de Santa Lucía: evaluación fisico-química, *Minería y Geología*. [en línea]. 31(4), pp. 100-120, 2015. Disponible en: <https://bit.ly/3hAgihx>
- [13] Montero, J., Otaño, J. y Guerrero, D., Procedimiento para el cierre de canteras de materiales para construcción en Cuba, *Minería y Geología*. [en línea]. 32(1), pp. 106-120, 2016. Disponible en: <https://bit.ly/3kh4yly>
- [14] Jatib, N.H., Carcasés, M.U., Carmenate, Y.A. y Ferrer, Y.R., Evaluación ambiental asociada a la explotación del yacimiento de materiales de construcción La Inagua, Guantánamo, Cuba, *Revista Luna Azul*. [en línea]. 38, pp. 146-158, 2015. Disponible en: <https://bit.ly/39dpcNC>
- [15] Viloria, M.I., Cadavid, L. y Awad, G., Metodología para evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura en Colombia, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 28(2), pp. 121-156, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.18359/rcin.2941>
- [16] Gallón, J.C., Modelo Gallón para la evaluación de impactos ambientales, *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 13, pp. 103-108, 2003. Disponible en: <https://bit.ly/3hCe41g>
- [17] Cornejo, W.R., Evaluación de características en canteras de roca por prospección geofísica y laboratorio para el empleo en obras viales de la ciudad de Puno al 2036, Tesis (Licenciado en Ingeniería Civil), Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca, Perú. [en línea]. 2017. Disponible en: <https://bit.ly/2XAtgFg>
- [18] Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura (FAO). Impacto Ambiental de las Prácticas de Cosecha Forestal y Construcción de Caminos en Bosques Nativos Siempreverdes de la X Región de Chile. [en línea]. 1995. Disponible en: <https://bit.ly/3luDQFS>
- [19] Ubaque, C.A., García, M.C. and Agudelo, C.F., Assessment and diagnosis of mining environmental liabilities in Villa Gloria Quarry in Ciudad Bolívar, Bogotá D.C., *Tecnura*. [en línea]. 18(42), pp. 90-102, 2014. Disponible en: <https://bit.ly/3lzXssp>
- [20] Marchevsky, N.J., Giubergia, A.A. y Ponce, N.H., Evaluación de impacto ambiental de la cantera “La Represa”, en la provincia de San Luis, Argentina, *Tecnura*, 22(56), pp. 51-61, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.12907>

Sucari, L., es MSc. en Gestión de la Seguridad, Salud y Medio Ambiente en Minería, Ing. de Minas, Lic. en Educación en la especialidad de matemática, con experiencia laboral en minería subterránea como jefe de guardia, jefe de servicios auxiliares, ingeniero de seguridad y actualmente docente nombrado en la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú.
ORCID: 0000-0003-3746-9761

Chambi, N., es Dra. y MSc. en Administración de la Educación, Lic. en Educación Inicial, Lic. en Educación en Secundaria: especialidad computación e informática y Diplomados en educación ambiental, experiencia en educación básica regular como directora y docente de aula, docente en Instituto de Educación Superior Pedagógico Puno, Perú. Actualmente docente auxiliar nombrada en la Escuela Profesional de Educación Inicial en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú.
ORCID: /0000-0002-4520-4707

Llanque, O., es Dr. en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, MSc. en Ciencias, Ing. de Minas, me desempeñé en los cargos como Decano de la Facultad de Ingeniería de Minas, Director de Estudios en la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, actualmente docente nombrado en la categoría principal en la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno-Perú.
ORCID: 0000-0003-1502-856X