

Impactos ambientales generados en minería artesanal de carbón en Sanagorán, Huamachuco

Environmental impacts generated by artisanal coal mining in Sanagorán, Huamachuco

Marco A. Cotrina-Teatino^{1,*} ; Alvaro I. Riquelme-Sandoval² ; Jose A. Guartan-Medina³ ; Jairo J. Marquina-Araujo¹ ; Yiye J. Henriquez-Sanchez¹ 

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

² Queen's University, Robert M. Buchan Department of Mining, Kingston, Ontario, Canada.

³ Departamento de Ingeniería Geológica y Minas. Universidad Católica de Loja, Loja, Ecuador.

* Autor correspondiente: mcotrinat@unitru.edu.pe (M. Cotrina-Teatino)

DOI: [10.17268/rev.cyt.2025.01.07](https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2025.01.07)

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo evaluar los impactos ambientales derivados de la explotación de carbón en minas artesanales en Agopampa y Huacchac ubicadas en Sanagorán en Huamachuco. Para ello, se realizaron visitas técnicas y consultas en campo con mineros y habitantes de la zona. Se aplicó una metodología de observación directa y recolección de datos, identificando los impactos ambientales en el componente abiótico (agua, suelo y aire) y en el componente biótico (deforestación de árboles). La evaluación se basó en criterios de intensidad del impacto ambiental: alto, medio y bajo. En total, se identificaron 21 impactos ambientales, donde el 40% con intensidad alta, el 40% con intensidad media y el 20% con intensidad baja. Uno de los hallazgos más alarmantes fue el consumo diario en promedio de 5424 kg de madera en las minas. Además, el incremento en el precio del carbón generó dos efectos principales: un aumento en la producción de residuos sólidos, elevando las preocupaciones ecológicas y la comercialización de estériles, reduciendo su impacto contaminante en el suelo. En conclusión, la extracción manual de carbón en la zona tiene graves consecuencias para el ecosistema y la salud de la población, también presenta una fuente económica crucial para muchas familias mineras.

Palabras clave: Impacto ambiental; minería artesanal; deforestación; contaminación del suelo y agua; minería de carbón.

ABSTRACT

The research aims to assess the environmental impacts resulting from coal extraction in artisanal mines located in Agopampa and Huacchac, within Sanagorán, Huamachuco. To achieve this, technical visits and field consultations were conducted with miners and local inhabitants. A methodology based on direct observation and data collection was applied, identifying environmental impacts on the abiotic components (water, soil, and air) and the biotic component (tree deforestation). The evaluation was based on environmental impact intensity criteria: high, medium, and low. A total of 21 environmental impacts were identified, with 40% classified as high intensity, 40% as medium intensity, and 20% as low intensity. One of the most alarming findings was the daily average consumption of 5424 kg of wood in the mines. Additionally, the increase in coal prices led to two main effects: a rise in solid waste production, heightening ecological concerns, and the commercialization of sterile materials, reducing their contaminating impact on the soil. In conclusion, the manual extraction of coal in the area has severe consequences for the ecosystem and public health, while also serving as a crucial economic source for many mining families.

Keywords: Environmental impact; artisanal mining; deforestation; soil and water pollution; coal mining.

1. INTRODUCCIÓN

La minería artesanal focalizada en la extracción de minerales no metálicos como el carbón representa una actividad predominante en la zona norte del Perú, consolidándose como un eje clave de producción. Este mineral, valorado por su alto poder calorífico, abastece tanto a la demanda industrial local en sectores como la fabricación de cemento, azúcar y fundición, como a mercados internacionales (Agwa y Anup, 2018).



Asimismo, su uso se extiende a las comunidades locales y mineros, quienes lo emplean como fuente primaria de calor y cocción. Sin embargo, su extracción plantea desafíos de sostenibilidad, debido a su dependencia de recursos no renovables y a la falta de prácticas ambientalmente responsables (Leguizamo y Ruiz, 2019; Zhao et al., 2018).

En regiones como Agopampa y Huacchac en Sanagoran, la explotación de carbón ha sido una actividad constante desde el año 2000. Hasta 2012, su desarrollo estuvo condicionado por factores económicos y la calidad del mineral extraído (ProActivo, 2023). No obstante, en los años posteriores, el incremento de la demanda favoreció la proliferación de minas artesanales, lo que generó impactos ambientales cada vez más evidentes (Katz-Lavigne, 2019). Las características geológicas de la zona, sumadas a la necesidad de realizar excavaciones extensivas, han intensificado el consumo de madera utilizada en los procesos de sostenimiento, lo que agrava las problemáticas medioambientales (Kirchner et al., 2019; Spinardi, 2010).

Desde una perspectiva socioeconómica, la minería representa una fuente fundamental de ingresos para las comunidades aledañas. No obstante, este beneficio ha traído consigo repercusiones adversas, como el abandono de prácticas sostenibles tradicionales y una limitada adopción de protocolos de minería responsable (Barrera, 2020; Bernal et al., 2021). A esto se suma la falta de formalización y regulación efectiva del sector, lo que ha propiciado que la mayoría de las minas operen sin cumplir los marcos legales establecidos, generando un mayor impacto ambiental (Wu et al., 2022; Widana, 2019).

La minería artesanal se caracteriza por el uso de métodos rudimentarios para la extracción de minerales, incluyendo metales y piedras preciosas, así como recursos no metálicos como el carbón (García, 2022). Este tipo de minería se lleva a cabo en vetas superficiales o epitermales, utilizando herramientas simples para su explotación, como en el caso de las minas aluviales (Canon y Quiñón, 2020; Andrew y Gulley, 2017).

Dada la importancia de esta actividad en la región, el presente estudio tiene como objetivo evaluar los impactos ambientales generados por la explotación de carbón en Agopampa y Huacchac. Para ello, se empleó un enfoque basado en visitas técnicas y diálogos con los mineros, con el fin de identificar las principales áreas de afectación, especialmente en relación con la contaminación del agua, suelo y aire (López y Salazar, 2016). El análisis permitirá comprender la magnitud de estos impactos y sentar las bases para futuras estrategias de mitigación, contribuyendo así al desarrollo de prácticas de extracción más sostenibles y equilibradas con el entorno.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en las minas artesanales de carbón ubicadas en Agopampa y Huacchac, en el distrito de Sanagorán, provincia de Sánchez Carrión, Región La Libertad en el Perú. Estas localidades se caracterizan por la presencia de pequeñas explotaciones mineras informales dedicadas a la extracción de carbón, actividad que ha cobrado relevancia en la economía local, pero que también ha generado impactos ambientales significativos. Sanagorán se encuentra en la sierra norte del Perú, con una altitud promedio de 3200 metros sobre el nivel del mar y un clima templado-frío. La geología de la zona favorece la presencia de vetas de carbón bituminoso, explotadas mediante minería subterránea artesanal. En la **Figura 1** se muestra una cartografía del área de estudio.

2.2 Diseño y enfoque metodológico

El estudio adoptó un enfoque descriptivo y cuantitativo, con el objetivo de evaluar y clasificar los impactos ambientales generados por la minería artesanal de carbón en la zona de estudio. La investigación se realizó durante los meses de octubre y noviembre de 2022, periodo en el cual se efectuaron visitas técnicas a las minas para la recopilación de datos ambientales y sociales. Para garantizar un análisis integral, se evaluaron los impactos ambientales en dos componentes: i) componente abiótico: agua, suelo y aire. ii) componente biótico: pérdida de cobertura vegetal debido a la deforestación.

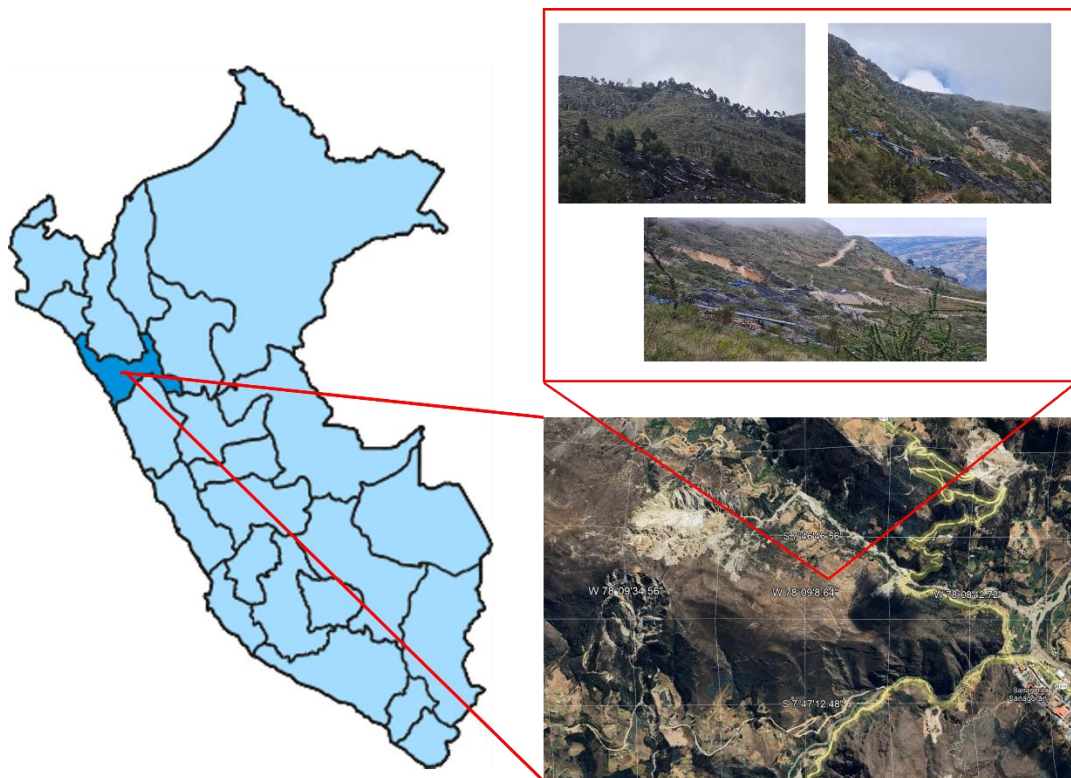


Figura 1. Ubicación del área de estudio de las minas artesanales de carbón en Sanagoran.

2.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la identificación y evaluación de los impactos ambientales, se emplearon diversas técnicas e instrumentos: Observación directa y listas de chequeo: durante las visitas a campo, se aplicaron listas de chequeo estructuradas para registrar impactos ambientales en agua, suelo y aire /Zheng et al., 2020, Hernandez, 2020). Estas listas permitieron documentar: presencia de contaminantes del agua por lixiviados. Erosión y compactación del suelo debido a actividades mineras. Emisiones de partículas en suspensión y acumulación de residuos sólidos (Covre et al., 2022).

Para evaluar la magnitud e importancia de los impactos ambientales, se empleó la **Matriz de Leopold**, una herramienta semi-cuantitativa ampliamente utilizada en estudios de impacto ambiental. Se consideraron los siguientes criterios de valoración:

- Intensidad del impacto: Alto, Medio, Bajo.
- Extensión geográfica: Local, Regional.
- Duración del efecto: Corto, Mediano, Largo plazo.
- Reversibilidad: Reversible, Irreversible.

La aplicación de esta metodología permitió clasificar y jerarquizar los impactos más significativos generados por la minería artesanal en la zona.

Para cuantificar la deforestación causada por el uso de madera en el sostenimiento de galerías mineras, se realizó un cálculo del consumo diario de madera en kilogramos. Se aplicó la formula de Huber para la cubicación de madera, considerando: Volumen del material utilizado por mina y la densidad y tipo de madera empleada en el sostenimiento subterráneo. Este análisis permitió estimar la cantidad total de madera utilizada y su impacto en la cobertura vegetal de la zona.

Se realizaron registros fotográficos durante las visitas de campo para evidenciar la contaminación del agua superficial, depósitos de estériles y acumulación de residuos sólidos y la generación de partículas en suspensión en las minas.

Los datos recopilados fueron procesados en **Microsoft Excel**, permitiendo la estructuración de los impactos ambientales identificados y la representación gráfica de los resultados. Para garantizar la validez y fiabilidad de los instrumentos utilizados se implementó la siguiente estrategia donde la lista de chequeo y la matriz de Leopold fueron revisadas por especialistas en minería, asimismo, se contrastó la información obtenida de las

listas de chequeo y la matriz de Leopold y los registros fotográficos, minimizando sesgos en la interpretación de impactos ambientales. En la **Figura 2** se muestra el flujograma de la investigación.

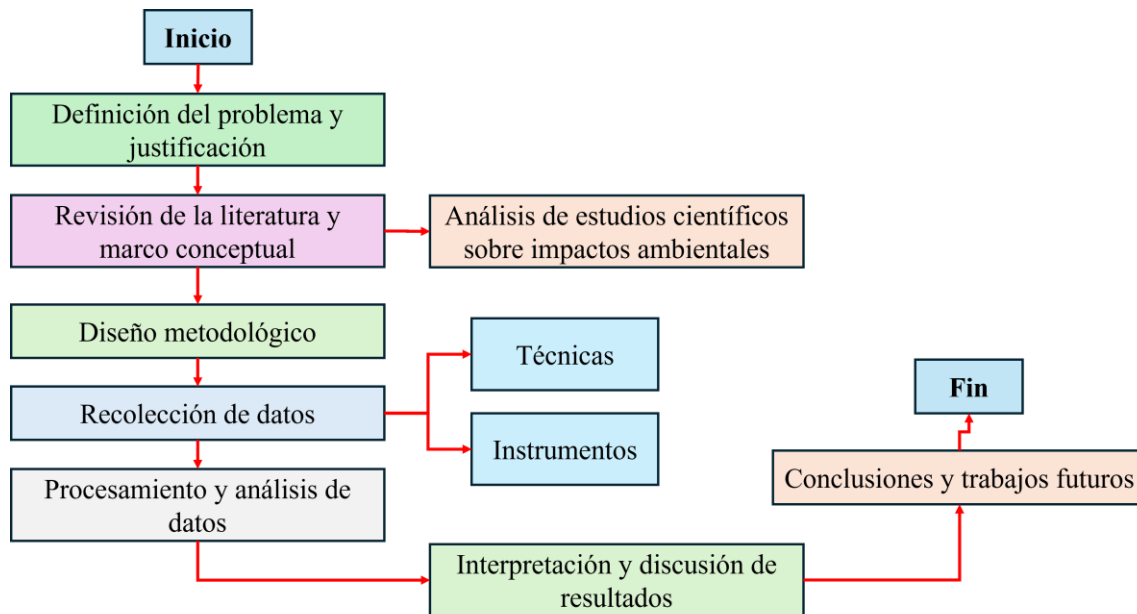


Figura 2. Flujograma de investigación

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Actividades en la extracción de carbón

El estudio se centró en evaluar los impactos ambientales generados por la minería artesanal de carbón en las minas ubicadas en Agopampa, Huacchac y Sanagoran. A lo largo de la investigación, se identificaron diez actividades fundamentales en el proceso de explotación del carbón, las cuales incluyen exploración, arranque, sostenimiento pasivo confinado, carguío y acarreo, operaciones auxiliares, almacenamiento en canchones y tolvas, transporte, reforzamiento estructural, disposición de material estéril en botaderos y manejo de agua subterránea.

En la fase de exploración, se realizan cortes en promedio de 30 metros en arena para identificar la veta de carbón. Cada propietario gestiona una o dos minas, aplicando un sostenimiento pasivo confinado mediante cuadros de madera con marchavantes y costilleros de avance. Estos elementos cumplen la función de evitar el colapso del material y permitir la continuidad de las excavaciones. El avance en esta etapa es limitado, alcanzando como máximo un metro por día debido a las condiciones geológicas del terreno.

La fase de arranque se ejecuta de forma manual utilizando herramientas como pico y chotana para separar el carbón del material estéril, principalmente pizarra. Debido a la presión generada por la configuración pandeada de la veta, se requiere un diseño estructural específico para garantizar la estabilidad de la galería, la cual tiene un recorrido promedio de 150 a 180 metros desde la entrada principal. A medida que se profundiza, se emplea el método de corte y relleno con material estéril, evitando la necesidad de dejar pilares estructurales.

El sostenimiento pasivo confinado es una actividad complementaria que se realiza de manera simultánea con el arranque. Para ello, se instalan cuadros cónicos de madera conformados por postes y sombreros de entre 8 y 10 pulgadas de diámetro. Adicionalmente, se emplean marchavantes distribuidos en distintos niveles y costilleros que refuerzan la estabilidad lateral de la estructura. Para prevenir desprendimientos en el techo de la mina, se coloca leña entre los elementos estructurales, permitiendo una mejor distribución de la carga y reduciendo el riesgo de colapsos.

El carguío y acarreo del material extraído se efectúa de manera manual. Se utiliza una palana para llenar carretillas con carbón, las cuales son transportadas hasta las tolvas o canchones. Estas estructuras de almacenamiento cuentan con una capacidad aproximada de 65 a 70 toneladas y facilitan la carga del carbón en camiones mediante un sistema de gravedad, optimizando el proceso de traslado.

Las operaciones auxiliares incluyen diversas actividades de soporte que garantizan el funcionamiento eficiente de la explotación minera. Entre ellas, destaca la ventilación del interior de las minas, la cual se realiza a través de mangas de 4 pulgadas y el uso de un ventilador centrífugo BUFALO de 15 hp. Para la generación de energía, se emplean generadores con una capacidad de 5000 watts, permitiendo el uso de herramientas como motosierras eléctricas dentro de la mina y motosierras a gasolina en superficie. Asimismo, se dispone de equipos de desquinche para la fragmentación de la veta de carbón en zonas de difícil acceso.

El transporte del mineral se realiza en camiones y volquetes con una capacidad promedio de 30 toneladas. Estos vehículos trasladan el carbón desde las minas hasta la ciudad de Trujillo, principal centro de comercialización. Debido a la alta demanda del mineral, el flujo de transporte ha incrementado significativamente en los últimos años, contribuyendo al deterioro de las vías rurales y al incremento de emisiones contaminantes. El reforzamiento estructural es una de las actividades más exigentes en términos de inversión y mantenimiento. Debido a la presión generada por la configuración geológica de la veta, los elementos estructurales de madera tienden a deformarse con el tiempo. Como medida preventiva, se realiza un monitoreo constante de los cuadros de sostenimiento, sustituyendo los postes y sombreros deteriorados. La madera en mal estado es retirada a la superficie para evitar la acumulación de gases en el interior de la mina, lo que representa un riesgo para la seguridad de los trabajadores.

El manejo de los botaderos constituye otro aspecto relevante en el proceso de extracción. Durante la excavación de nuevas galerías, el material estéril es inicialmente depositado en la superficie. Sin embargo, en la fase de recuperación del mineral, se implementa un método de corte y relleno, reutilizando estos materiales para estabilizar las estocadas vacías, reduciendo así el impacto visual y estructural del desmonte.

Finalmente, el manejo del agua subterránea es una actividad fundamental para garantizar la operatividad de las minas. En algunos sectores, se han identificado acumulaciones de agua que interfieren con las labores de extracción. Para su remoción, se emplean bombas de drenaje que extraen el agua hacia la superficie. En aquellos casos donde no se dispone de equipo mecanizado, el agua es retirada manualmente en carretillas, lo que incrementa el esfuerzo y tiempo de trabajo requerido. En la **Tabla 1** se muestra la descripción de las actividades de explotación de carbón en Agopampa.

Tabla 1. Descripción de las actividades de explotación de carbón en Agopampa

Actividad	Descripción
Exploración	Cortes en promedio de 30 m para encontrar la veta.
Arranque	Se hace directamente con pico y chotana para extraer el carbón y separar el estéril (pizarra).
Sostenimiento pasivo confinado	Cuadros cónicos con marchavantes y costilleros de avance esta actividad se realiza en conjunto con el arranque.
Carguío y Acarreo	Se realiza directamente con palana y carretilla desde el frente hasta canchones o tolvas.
Operaciones auxiliares	Ventilación con un ventilador centrífugo Búfalo 15hp y manga de 4".
Canchones y tolvas	Almacenamiento del carbón para posteriormente cargar a los camiones capacidad 65 a 70 toneladas.
Transporte	Generalmente en camiones y volquetes de capacidad 30 toneladas
Reforzamiento	Cambio de cuadros pandeados por el fuerte confinamiento del techo (veta pandeada).
Botadero	Material estéril (pizarra) y madera deteriorada.
Agua subterránea	Bombeada a superficie o sacada en carretillas.

3.2 Identificación de impactos ambientales según actividades realizadas en la explotación de carbón.

El estudio permitió identificar 21 impactos ambientales en el componente abiótico (agua, suelo y aire) asociados a las actividades de explotación de carbón en las minas artesanales de Agopampa. Para su identificación y clasificación, se utilizó una lista de chequeo estructurada basada en parámetros de alteración ambiental, complementada con observación directa y análisis documental. Posteriormente, los impactos fueron

evaluados mediante la Matriz de Leopold, permitiendo jerarquizarlos según su intensidad, extensión y reversibilidad. Los resultados revelaron que el recurso atmosférico (aire) fue el más afectado, seguido del suelo y el agua. Estos impactos tienen repercusiones significativas no solo en el entorno inmediato, sino también en las comunidades aledañas y en la salud del personal minero expuesto a emisiones contaminantes y partículas en suspensión.

La literatura especializada respalda estos hallazgos. (Mendoza, 2020) señala que las actividades mineras, desde la exploración hasta la transformación del carbón, generan impactos ambientales de diversa magnitud. Entre los más críticos, menciona la dispersión de partículas que afectan la vegetación, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, y la alteración del paisaje. (Dinas y Prieto, 2019) también destacan que la minería del carbón es una de las principales fuentes de degradación ambiental, impactando la calidad del aire y los ecosistemas hídricos, además de contribuir a la deforestación y la fragmentación del hábitat de especies locales.

La contaminación se refiere a la presencia de sustancias o partículas ajenas al ambiente natural que alteran la calidad del agua, suelo o aire. En estudio, la contaminación del agua proviene de lixiviados, residuos de carbón y aceites, mientras que la contaminación del suelo se asocia con acumulación de desechos mineros y derrames de combustibles. La erosión es la pérdida de la capa superficial del suelo debido a la remoción del material por acción de la exploración, tránsito vehicular y almacenamiento de carbón. La compactación aumento de la densidad del suelo debido a la presión ejercida por maquinaria y camiones, reduciendo la capacidad de infiltración del agua y afectando la vegetación circundante. La perturbación es la alteración de las condiciones ambientales naturales debido a la actividad minera, en el caso del agua, se refiere a vertidos accidentales, en el suelo, a cambios en la estabilidad de los estratos, y en el aire, a modificaciones en la presión y equilibrio de gases en galerías subterráneas. La **Tabla 2** presenta los problemas ambientales que se presentan en los componentes abióticos.

Tabla 2. Componente abiótica identificada durante la explotación de carbón asociada a impactos ambientales

Actividades	Abióticos		
	Agua	Suelo	Aire
Exploración	Contaminación por infiltración de partículas y sedimentos en aguas subterráneas	Erosión del suelo por remoción de material superficial	Emisión de polvo en suspensión por excavaciones
Arranque	Contaminación por lixiviados de la materia estéril (pizarra) en aguas subterráneas	Depósito de material estéril (pizarra) sobre la superficie	Partículas en suspensión generadas por la extracción manual
Sostenimiento pasivo confinado	Contaminación localizada por contacto de madera en descomposición con la humedad	Exposición de madera deteriorada en la superficie	Emisión de gases por degradación de madera deteriorada
Carguío y Acarreo	Perturbación por derrames accidentales de material estéril en aguas superficiales	Erosión y compactación del suelo por tránsito constante de carretillas	Partículas en suspensión generadas por transporte de carbón
Operaciones auxiliares	Contaminación por derrames de aceites y combustibles en aguas superficiales	Alteración de la calidad del suelo por residuos lubricantes y combustibles	Emisión de gases por maquinaria y recirculación de aire contaminado
Canchones y tolvas	Contaminación por escorrentía de residuos de carbón hacia cuerpos de agua cercanos	Pérdida de vegetación debido a la acumulación prolongada de carbón en almacenamiento	Generación de polvo en suspensión por manipulación de carbón
Transporte	Contaminación por lixiviados de residuos transportados en condiciones inadecuadas	Erosión y compactación del suelo en caminos de acceso debido al tránsito de vehículos	Generación de polvo en suspensión por tránsito de vehículos

Actividades	Abióticos		
	Agua	Suelo	Aire
Reforzamiento	Perturbación por lixiviación de residuos de madera tratada con químicos protectores	Generación de residuos de madera deteriorada que afecta la calidad del suelo	Emisión de gases por degradación de madera deteriorada
Botadero	Contaminación por lixiviación de residuos mineros y escorrentía de sustancias	Compactación del suelo y alteración del paisaje por acumulación de desechos	Generación de polvo en suspensión por manipulación de residuos
Agua subterránea	Contaminación por infiltración de material minero y lixiviados de carbón en acuíferos	Contaminación del suelo por acumulación de residuos mineros y drenaje natural	Alteración del equilibrio de presión de gases en galerías subterráneas

Además de los impactos en el medio físico, el estudio identificó 15 impactos socioambientales, los cuales tienen repercusiones en la salud de los trabajadores, el acceso a recursos naturales y la convivencia en las comunidades cercanas. La **Tabla 3** detalla estos impactos, clasificándolos por severidad y componente afectado. Los resultados muestran que seis impactos fueron clasificados como de alta severidad, destacando la contaminación del agua (superficial y subterránea), la presencia de partículas en suspensión dentro de la mina, la acumulación de residuos sólidos y conflictos entre propietarios de terrenos por la expansión de las actividades mineras.

Tabla 3. Resultados destacados sobre la magnitud de los impactos en Agopampa

Componente	Impacto	Intensidad
Agua	Superficial	Alto
	Subterránea	Alto
Aire	Partículas en suspensión interior mina	Alto
	Polvo en superficie	Medio
	Gas producto madera deteriorada	Medio
	Emisiones	Bajo
Suelo	Residuos sólidos	Alto
	Estériles (pizarra)	Alto
	Erosión	Medio
Flora	Perdida de vegetación	Medio
Fauna	Aves	Bajo
	Animales terrestres	Medio
Socioeconómico	Salud	Medio
	Cultura y educación	Bajo
	Conflictos por expansión	Alto

La **Figura 3** muestra dos ejemplos representativos de la contaminación del agua superficial. A la izquierda, se observa un cuerpo de agua contaminado con material bituminoso, lo que sugiere la presencia de hidrocarburos y compuestos derivados del carbón. A la derecha, se presenta un depósito de agua que ha estado en contacto

con partículas de carbón, afectando su transparencia y potencialmente alterando su composición química.



Figura 3. Contaminación de agua superficial (izquierda: agua contaminada sobre roca bituminosa, derecha: agua contaminada por contacto con carbón)

Seis con impacto medio; dos se relacionan con el componente aire (polvo en superficie y gas producto de madera deteriorada), uno relacionado al suelo (erosión), uno relacionado a la flora (perdida de vegetación), uno relacionado a la fauna (animales terrestres), uno relacionado al componente socioeconómico (salud) y tres de impacto bajo; uno relacionado con el aire (emisiones), uno relacionado con la fauna (aves), finalmente uno relacionado con el componente socioeconómico (cultura y educación).

Generalizando en las minas artesanales de Agopampa, se identificó como se ve en la **Tabla 4** que el 40% de las actividades tuvieron un impacto alto, 40% un impacto medio y 20% un impacto bajo. Según (Prieto y Dinas, 2019), mencionan que las actividades de extracción de carbón, genera contaminación y una alta demanda de agua aproximadamente del 72% en el territorio. (Garcia, 2022) indica que la minería de carbón emite también metano, un gas con 67 veces más poder que el CO₂ para calentar el planeta en un periodo de 20 años y cuyas emisiones son responsables de alrededor del 25% del calentamiento global. En la **Figura 4** se observa la contaminación del suelo por estériles y residuos sólidos. Asimismo, en la **Figura 5** se muestra la contaminación del aire.



Figura 4. Contaminación del suelo por estériles y residuos sólidos (izquierda: madera podrida arrojada al medioambiente, derecha: contaminación al medio ambiente con plásticos).

Tabla 4. Criterios de clasificación de la intensidad de los impactos ambientales

Intensidad	Descripción	Criterios específicos	Porcentaje
Alto	Impacto severo con alteración significativa del medio, persistente en el tiempo y con difícil reversibilidad.	Modificación drástica del ecosistema Persistencia del impacto en el largo plazo (>10 años) Difícil o imposible de mitigar Afectación de recursos naturales esenciales Puede generar problemas de salud pública	40%
Medio	Impacto moderado con alteraciones detectables, pero con posibilidad de mitigación parcial	Afectación del ecosistema con recuperación parcial Persistencia en el mediano plazo (5-10 años) Requiere medidas correctivas para reducir su severidad Puede impactar actividades económicas locales	40%
Bajo	Impacto leve con efectos poco significativos y reversibles en el corto plazo	Alteración mínima del ecosistema Persistencia menor a 5 años Reversible mediante acciones simples de recuperación No afecta actividades económicas ni salud humana	20%

**Figura 5.** Izquierda: suspensión de partículas interior mina, derecha: generación polvo en superficie en el carguío de carbón

3.3 Impacto ambiental del uso de madera en la minería artesanal de carbón

El uso de madera en la minería artesanal de carbón en Agopampa constituye un aspecto ambiental crítico que requiere análisis detallado. La madera es empleada principalmente para el sostenimiento pasivo confinado en las galerías de explotación, lo que incluye la instalación de postes, sombreros, marchavantes y costilleros. Según estudios previos, el sostenimiento de galerías con madera es común en minas artesanales debido a su disponibilidad y bajo costo. No obstante, esta práctica genera un consumo diario significativo de recursos forestales, contribuyendo a la deforestación y alteración del equilibrio ecológico local.

La **Tabla 5** muestra el cálculo de kilogramos de madera utilizados para cada componente del sostenimiento pasivo, considerando una densidad del 20% de humedad. La fórmula empleada para el cálculo del volumen de madera es la fórmula de Huber: ($V_h = S_m \cdot L$), donde V_h = Volumen, S_m = Área de la sección transversal media y L = Longitud del fuste o troza (Aira, y otros, 2019). Según (Meza, 2018) señaló que en la mina la mayor parte del sostenimiento se hace con madera tipo pino (*Pinus spp*), pino ciprés (*Cupressus sempervirens*)

o eucalipto (*Eucalyptus spp*), la madera para sostenimiento de mina debe ser de fibras largas de tal manera que tengan elasticidad, así como resistencia.

Tabla 5. Cálculo de kilogramos para cada pieza del sostenimiento pasivo confinado a un 20% humedad.

Madera de eucalipto	Longitud (m)	Diámetro mayor (plg)	Diámetro menor (plg)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Masa (Kg)
Poste	2.40	8" - 10"	7" - 9"	0.037	0.089	805	71.65
Sombrero	2.40	8" - 10"	7" - 9"	0.037	0.089	805	71.65
Marchavante	2.40	5" - 6"	5" - 5,5"	0.015	0.036	805	28.98
Costillero	2.40	4"	3.5"	0.007	0.017	805	13.69
Marchavante para leña	2.40	5" - 6"	5" - 5,5"	0.015	0.036	805	28.98

En términos generales cada galería en proceso de exploración utiliza 530.53 kg de madera por día (**Tabla 6**), mientras que, durante la fase de producción, el consumo promedio es de 396.61 kg diarios (**Tabla 7**).

Tabla 6. Cálculo de kilogramos de madera por día para la actividad de exploración.

Cantidad/día	Descripción	Peso c/u	Kg/día
2	Poste	71.65	143.30
1	Sombrero	71.65	71.65
6	Marchavantes	28.98	173.88
4	Costilleros	13.69	54.76
3	Marchavantes para leña	28.98	86.94
	Total		530.53

Tabla 7. Cálculo de kilogramos de madera por día para la actividad de producción.

Cantidad/día	Descripción	Peso c/u	Kg/día
2	Poste	71.65	143.30
1	Sombrero	71.65	71.65
3	Marchavantes	28.98	68.94
4	Costilleros	13.69	54.76
2	Marchavantes para leña	28.98	57.96
	Total		396.61

En la minería los niveles y subniveles son estructuras fundamentales para la organización de la extracción subterránea. Un nivel representa una sección principal de explotación, definida por la profundidad de la veta de carbón, mientras que los subniveles son divisiones dentro de un mismo nivel que facilitan el acceso y optimizan la recuperación del mineral. En la **Tabla 8**, se presenta el cálculo consolidado de madera consumida diariamente en todas las minas artesanales de la zona de estudio de Agopampa. El resultado de 5423.77 kg de

madera diaria destaca la preocupante tasa de deforestación vinculada a la minería artesanal, lo que subraya la urgencia de implementar prácticas sostenibles en la actividad extractiva. Comparado con estudios previos en regiones similares, como los reportes de (Meza, 2018) y (Aira et al., 2019), el uso excesivo de madera es una constante que contribuye significativamente a la degradación ambiental.

Tabla 8. Cálculo de consumo de madera para toda la zona de minas artesanales de Agopampa.

Minas en producción				
Minas	Niveles	Subniveles	Según actividad (Kg/día)	Total, por mina (kg/día)
Sr. Campos	1	4	396.61	1586.44
Carbonífera y minerales “Mi Henriquez”	1	2	396.61	793.22
Sr. Santiago	1	2	396.61	793.22
Sr. Wilson	1	2	396.61	793.22
Sr. Américo	1	1	396.61	396.61
Minas en exploración				
Sr. No identificado	1	-	530.53	530.53
Sr. No identificado	1	-	530.53	530.53
Total				5423.77

3.4 Identificación de generación de residuos sólidos

Los residuos sólidos generados por los mineros, como se observa en la **Figura 6**, incluyen botellas de bebidas, empaques de golosinas, botellas de vidrio de bebidas alcohólicas, pilas de focos, calzado en desuso, colchones deteriorados, platos descartables, latas de conservas, carretillas en mal estado, llantas de carretilla y herramientas dañadas, entre otros. (Burgos, 2016) señala la importancia de implementar un manejo seguro de los residuos sólidos para mitigar su impacto ambiental, garantizando el cumplimiento de la normativa vigente. Asimismo, recomienda establecer lineamientos específicos para la gestión de residuos domésticos e industriales, asegurando su correcta disposición y minimizando los efectos negativos en el entorno minero.



Figura 6. Residuos sólidos generados por los mineros artesanales.

Otros tipos de residuos sólidos son generados por los camiones que transportan el mineral, como se observa en la **Figura 7**. Entre estos destacan llantas en desuso, desechos transportados desde Trujillo a Huamachuco, bolsas plásticas utilizadas para embalaje, cartones y, en algunos casos, residuos domésticos que son arrojados

cerca de las minas. (Hernández, 2020) señala que el principal impacto ambiental de estos desechos es la contaminación del suelo, el aire y las fuentes hídricas, ya que la descomposición de los residuos puede liberar sustancias contaminantes que se infiltran en el subsuelo o son arrastradas por los drenajes naturales hasta ríos y quebradas, afectando tanto los ecosistemas como la calidad del agua.



Figura 7. Residuos (cartón, plástico y neumáticos) generados por los camiones que cargan el carbón.

3.5 Incremento de impactos a causa del alza de precio de carbón

Durante los meses de octubre y noviembre de 2022, se registró un aumento significativo en el precio del carbón, sin precedentes en años anteriores, como se muestra en la **Tabla 9**. Este incremento tuvo consecuencias tanto negativas como positivas en términos ambientales.

Por un lado, el impacto negativo se reflejó en el incremento en la generación de residuos sólidos, debido a un mayor nivel de producción, un aumento en la cantidad de personal empleado y un uso más intensivo de insumos. La **Tabla 10** muestra una comparación con los precios anteriores, cuando los materiales estériles o residuos contaminantes eran descartados sin aprovechamiento.

Por otro lado, el impacto positivo radicó en la comercialización de los materiales estériles (pizarra y bituminosos), lo que redujo su acumulación y, en consecuencia, su impacto contaminante en el suelo. Este fenómeno se produjo porque el incremento del precio del carbón incentivó la revalorización de estos materiales, que anteriormente eran considerados desechos.

El principal factor que impulsó esta fluctuación en los precios fue la crisis energética global generada por el conflicto entre Rusia y Ucrania en 2022. Como consecuencia de las sanciones impuestas a Rusia, muchos países restringieron la importación de carbón proveniente de este país, lo que generó una mayor demanda de carbón de otras regiones, incluyendo Perú.

Sin embargo, esta situación también llevó a que los mineros artesanales incrementaran la producción sin realizar una adecuada selección del material extraído. En muchos casos, el carbón se vendía junto con materiales estériles, lo que afectó la calidad del mineral en el mercado y eventualmente provocó una disminución en los precios tras el pico registrado a finales de 2022.

Tabla 9. Alza de precio por porcentaje de ceniza y los precios de estériles.

% ceniza	Precio (s/)	
	Octubre	Noviembre
0 - 12	700	800
12 - 15	400	500
15 - 20	300	400
20 - 25	280	380

% ceniza	Precio (s/)	
	Octubre	Noviembre
25 - 30	180	280
30 - 40	120	150
Estéril o contaminantes		
Pizarra	120	150
Bituminoso	200	220

Tabla 10. Precios antiguos por porcentaje de ceniza.

% Ceniza	Precio (S/)
0 - 12	150
12 - 15	130
15 - 20	120
20 - 25	90
25 - 30	N/R

4. CONCLUSIONES

El estudio evidenció 21 impactos ambientales significativos derivados de la minería artesanal de carbón en Agopampa, afectando principalmente el agua, suelo y aire, con un 40% de actividades generando impactos de alta intensidad. Aunque esta actividad representa una fuente económica clave para las comunidades locales, sus costos ambientales son elevados, destacando el consumo intensivo de 5.424 kg/día de madera, que contribuye a la deforestación y a la alteración del ecosistema. Asimismo, el incremento del precio del carbón en 2022 incentivó una mayor producción, lo que amplificó la generación de residuos sólidos y la degradación ambiental. Entre las limitaciones del estudio, se encuentra su alcance geográfico restringido, la falta de mediciones fisicoquímicas precisas, la variabilidad en las condiciones operativas de las minas y la ausencia de un análisis detallado de factores económicos y normativos. Para mitigar estos efectos, se recomienda la implementación de prácticas sostenibles, el uso de materiales alternativos al sostenimiento de madera, la regulación de la extracción y el fortalecimiento del manejo de residuos sólidos. Futuros estudios deberían incluir mediciones cuantitativas de calidad ambiental, análisis comparativos con otras regiones y una evaluación integral de políticas de formalización minera para lograr un equilibrio entre desarrollo económico y sostenibilidad ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agwa-Ejon, J., & Anup, P. (2018). Life cycle impact assessment of artisanal sandstone mining on the environment and health of mine workers. *Environmental Impact Assessment Review*, 72, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.005>.
- Aira, J., Ponce, C., Castillo, O., Huanca, A., Trinidad, C., & Aguirre, M. (2019). Cubicacion de madera en troza. *Tingo Maria: Universidad nacional agraria de la selva*.
- Andrew L. & Gulley. (2017). Valuing environmental impacts of mercury emissions from gold mining: Dollar per troy ounce estimates for twelve open-pit, small-scale, and artisanal mining sites. *Resources Policy*, 52, 266-272. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.03.009>.
- Barrera, Y. (2020). Impacto ambiental generado por la mina de carbón santa Ana en el municipio de Motavita. Bogotá D. C.: *Fundación Universitaria Los Libertadores*.

- Bernal-Castillas, J., Ramires-Meda, W., López-Castillo, R., Íñiguez-Cavarrubias, G., & López-Tejeda, L. (2021). Impactos ambientales por la explotación de minas de obsidiana ubicadas en Jalisco, México. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería*, 6(2), 41-43.
- Burgos, A. (2016). La contaminación invisibilizada. Percepciones, representaciones y discursos sobre la contaminación ambiental en la Oroya y Esmeraldas. FLACSO Ecuador, Tesis de maestría. <http://hdl.handle.net/10469/9796>.
- Canon, A., & Quiñón, A. (2020) Superposición del régimen general formal y la minería artesanal informal en el Perú: Explorando las condiciones para su integración, Perú. <https://sisisemail.up.edu.pe/sisisemail/docs/2021/646/Superposicion-del-RegimenGeneralformal-y-la-MineriaArtesanal-informal-en-el-Peru.pdf>.
- Covre, W., Ramos, S., Perira, W., Souza, E., Martins, G., Texeira, O., & Fernandes, A. (2022). Impact of copper mining wastes in the Amazon: Properties and risks to environment and human health. *Journal of Hazardous Materials*, 421. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126688>.
- Dinas, N., & Prieto, M. (2019). Impactos socioambientales del extractivismo de carbón para los campesinos de la vereda Salamanca en Samacá, Boyacá. Universidad Santo Tomás, tesis de licenciatura. Bogotá, Colombia. <http://hdl.handle.net/11634/17788>.
- Garcia, D. (2022) Razones para ponerle fin a la extracción y uso de carbon. Blog AIDA, Americas. <https://aida-americas.org/es/blog/5-razones-para-ponerle-fin-la-extraccion-y-uso-de-carbon>
- Hernandez, M. (2020). Análisis del plan de manejo de residuos sólidos y propuesta de mejora en la unidad minera americana, Compañía Minera Casapalca S. A. – 2019. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8373/3/IV_FIN_107_TE_Hernandez_Egoa_vil_2021.pdf.
- Katz-Lavigne, S. (2019). Artisanal copper mining and conflict at the intersection of property rights and corporate strategies in the Democratic Republic of Cong. *The Extractive Industries and Society*, 6(2), 399-406. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.12.001>.
- Kirchner, M., Schmidt, J., & Wehrle, S. (2019). Exploiting Synergy of Carbon Pricing and Other Policy Instruments for Deep Decarbonization. *Joule*, 3(4), 891-893. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.03.006>.
- Leguizamo, T., & Ruiz, J. (2019). Impactos ambientales de la minería de carbón sobre el recurso hídrico en el departamento de Boyaca. *Universidad Distrital de la ciudad de Bogotá*, 25.
- López, D., & Salazar, M. (2016). Evaluación de impacto ambiental en la mina artesanal de arcilla, Santa Cruz en el municipio de Manaure, la Guajira. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 4 (2).
- Mendoza, J. (2020). Análisis del impacto socio - Ambiental de la minería de carbon en el departamento del César. *Especialización en planeación ambiental y manejo integral de los recursos naturales*. <https://repositorio.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6503/articulo%20espec.planeaon%20ambiental.pdf;jsessionid=76158355592fd06d347c99e865e6a349?sequence=1>.
- Meza, J. (2018). Evaluación de sostenimiento de labores para minería artesanal. Universiada nacional de Piura. file:///C:/Users/HP/Downloads/scribd.vdownloaders.com_sostenimiento-de-madera.pdf
- ProActivo. (2023). Antracita: El carbón combustible de la minería ilegal en la Libertad. <https://proactivo.com.pe/antracita-el-carbon-combustible-de-la-mineria-ilegal-en-la-libertad/>.
- Spinardi, G. (2010). Industrial Exploitation of Carbon Fibre in the UK, USA and Japan. *Technology Analysis & Strategic Management*, 381-398. <https://doi.org/10.1080/0953732022000028809>.
- Widana, A. (2019). Environmental Impacts of the Mining Industry : A literature review. Literature Review.
- Wu, J., Fan, Y., Timilsina, G., & Xia, Y. (2022). Exploiting Complementarity of Carbon Pricing Instruments for Low-Carbon Development in the People's Republic of China. *ADB Working Paper* 1329, 27.
- Zhao, R., Liu, Y., Tian, M., Ding, M., Cao, L., Zhang, Z., Chuai, X., Xiao, L., & Yao, L. (2018). Impacts of water and land resources exploitation on agricultural carbon emissions: The water-land-energy-carbon nexus. *Land Use Policy*, 72, 480-492. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.029>.
- Zheng, Y.; Xiao, J.; & Cheng, J. (2020). Industrial Structure Adjustment and Regional Green Development from the Perspective of Mineral Resource Security. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 6978. <https://doi.org/10.3390/ijerph17196978>.