



ARTÍCULO DE REVISIÓN

# DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO METÁLICO DEL YACIMIENTO DE HEMATITA EN LATAPUQUIO, LIRCAY, PARA CLASIFICARLO ECONOMICAMENTE

Determination of the metal content of the hematite deposit in Latapuquio, Lircay, for its economic classification.

Jorge Washington Rodriguez Deza<sup>1</sup>

Recibido: 17 de abril del 2025 / Aceptado: 12 de noviembre del 2025

## Resumen

El objetivo del estudio fue determinar el contenido metálico del yacimiento de hematita en el anexo Latapuquio (Lircay, Angaraes) y clasificarlo según su viabilidad económica. Se aplicó una metodología cuantitativa, descriptiva y transversal, analizando muestras del yacimiento mediante espectrometría de absorción atómica (EAA) en el laboratorio RCJ Labs Universal (Huancayo, Perú). Los resultados revelaron un contenido promedio de hierro (Fe) del 50.55%. Este valor sitúa al mineral en la categoría de media ley (estándar 30-60% Fe), encontrándose por debajo del umbral de rentabilidad económica para extracción directa (Direct Shipping Ore), que exige leyes  $>60\%$  Fe. No obstante, la literatura científica reciente confirma la viabilidad técnica de procesar minerales con esta ley mediante tecnologías de beneficiación, como la tostación reductora seguida de separación magnética o flotación inversa, para alcanzar concentrados comerciales. Adicionalmente, el historial de uso local y sus propiedades mineralógicas sugieren un potencial industrial alternativo como pigmento para pinturas anticorrosivas. Se concluye que, si bien el yacimiento no es rentable para explotación directa, representa un recurso con potencial de valorización a través de procesos metalúrgicos secundarios o aplicaciones industriales específicas que ameritan estudios de viabilidad técnica y económica.

**Palabras claves:** Hematita, Contenido metálico, Ley de mineral, Clasificación económica, Beneficiación, Lircay.

## ABSTRACT

The objective of this study was to determine the metal content of the hematite deposit in the Latapuquio annex (Lircay, Angaraes) and classify it according to its economic viability. A quantitative, descriptive, and cross-sectional methodology was applied, analyzing samples from the deposit using atomic absorption spectrometry (AAS) at the RCJ Labs Universal laboratory (Huancayo, Peru). The results revealed an average iron (Fe) content of 50.55%. This value places the ore in the medium-grade category (standard 30-60% Fe), falling below the economic profitability threshold for direct shipping ore extraction, which requires grades  $>60\%$  Fe. However, recent scientific literature confirms the technical feasibility of processing ores with this grade using beneficiation technologies, such as reducing roasting followed by magnetic separation or reverse flotation, to obtain commercial concentrates. Additionally, its history of local use and mineralogical properties suggest an alternative industrial potential as a pigment for anti-corrosive paints. It is concluded that, while the deposit is not profitable for direct exploitation, it represents a resource with potential for valorization through secondary metallurgical processes or specific industrial applications that warrant technical and economic feasibility studies.

**Keywords:** Hematite, Metal content, Ore grade, Economic classification, Beneficiation, Lircay.

## 1. INTRODUCCIÓN

El hierro (Fe) es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre y el pilar fundamental de la civilización industrial moderna. Su extracción proviene principalmente de óxidos como la magnetita ( $Fe_3O_4$ ) y, de forma predominante, la hematita ( $Fe_2O_3$ ), que constituye la principal mena de hierro a nivel global y es vital para la industria siderúrgica, la construcción y la manufactura.

 Jorge Washington Rodriguez Deza  
jorge.rodriguez@unh.edu.pe

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Huancavelica.  
Huancavelica. Perú.

En marcado contraste con esta importancia estratégica, la región de estudio enfrenta serios desafíos socioeconómicos. La provincia de Angaraes, y en particular el distrito de Lircay en Huancavelica, presenta indicadores de vulnerabilidad significativos. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), la provincia de Angaraes reporta una de las tasas de analfabetismo más altas de la región (21.1%) y su población rural, como la del anexo de Latapuquio, depende en gran medida de una agricultura de subsistencia. El distrito de Lircay, según los censos de 2017, tiene una población de 22,991 habitantes, con una ligera predominancia rural (CENEPRAED, 2019).

En este contexto, el yacimiento de hematita de Latapuquio representa un recurso endógeno subutilizado. Históricamente, la comunidad ha empleado este mineral de forma artesanal como pigmento rojo (ocre) para el revestimiento de viviendas, pero su potencial económico real como mena de hierro no ha sido cuantificado. La explotación de recursos minerales, si bien presenta desafíos, es también una de las principales actividades económicas de la región de Huancavelica, caracterizada por sus depósitos polimetálicos (INGEMMET, 2005).

La problemática central es la ausencia de datos cuantitativos sobre la calidad del mineral en Latapuquio. Sin una caracterización de su ley de hierro, el recurso permanece inerte, sin posibilidad de atraer inversión, generar empleo o diversificar la precaria economía local. El presente estudio busca cerrar esta brecha de conocimiento.

El objetivo de esta investigación fue determinar el contenido metálico (ley de Fe) del yacimiento de hematita de Latapuquio y,

basado en este resultado, realizar una clasificación económica preliminar de su viabilidad.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Hematita ( $Fe_2O_3$ )

La hematita (o hematites) es un óxido férrico ( $Fe_2O_3$ ) que cristaliza en el sistema trigonal. Es el principal mineral utilizado en la producción de hierro. Su contenido teórico de hierro es de 69.9%. Una de sus propiedades electromagnéticas clave es que es paramagnética (o débilmente magnética), a diferencia de la magnetita ( $Fe_3O_4$ ) que es ferrimagnética (fuertemente magnética). Esta distinción es crucial, ya que la hematita no puede ser concentrada eficientemente por métodos de separación magnética simples.

### 2.2. Clasificación Económica por Ley de Corte (Cut-Off Grade)

En la minería del hierro, la "ley" o "tenor" (el porcentaje en peso de metal de interés) define la viabilidad del yacimiento. Aunque los valores varían ligeramente, la industria clasifica las menas de la siguiente manera:

- Mineral de Alta Ley (DSO - Direct Shipping Ore): Contiene >60% Fe. Se considera rentable para extraer, triturar y enviar directamente a la acería con un procesamiento mínimo (De la Torre, 2011). Algunos estándares sitúan este corte en >55% Fe (ASIMET, 2020).
- Mineral de Media Ley: Contiene entre 30% y 60% Fe. El yacimiento de este estudio (50.55%) cae en esta categoría. No es rentable para envío directo y requiere un proceso de beneficiación para "enriquecerlo" y elevar su concentración a niveles comerciales.
- Mineral de Baja Ley: Contiene <30% Fe.

### 2.3. Tecnologías de Beneficiación para Hematita

Dado que la hematita de media ley no es directamente comercializable, debe ser procesada. Debido a sus propiedades débilmente magnéticas, las dos rutas tecnológicas más comunes son:

- ✓ **Flotación Inversa:** Es un proceso fisico-químico donde, en lugar de flotar el hierro (hematita), se

- añaden reactivos para flotar la ganga (el material estéril, comúnmente sílice). El concentrado de hierro se recupera por el fondo.
- ✓ **Tostación Magnetizante (o Reductora):** Es un proceso pirometalúrgico donde la hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , débilmente magnética) se calienta en una atmósfera reductora (con carbón o gas) para convertirla artificialmente en magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , fuertemente magnética). Una vez convertida, el mineral puede ser separado y concentrado fácilmente mediante separadores magnéticos de baja intensidad, una técnica más barata y eficiente que la flotación.

### 3. ANTECEDENTES

La literatura científica existente proporciona un contexto crucial para evaluar los hallazgos de Latapuquio, tanto en su viabilidad como mena de hierro como en sus usos alternativos.

#### 3.1. Contexto Histórico y Usos Alternativos

El uso de la hematita como pigmento en Perú, similar al uso artesanal en Latapuquio, tiene profundas raíces históricas. Eerkens et al. (2007) documentaron la extracción de hematita en Mina Primavera (Nasca, Perú) por las culturas Nasca y Wari hace 2,000 años, donde se trajeron miles de toneladas para uso como pigmento en cerámica y rituales. Este uso no siderúrgico sigue siendo un campo de investigación activo; Hashimoto et al. (2020) han desarrollado con éxito pigmentos rojos-amarillentos de alto rendimiento basados en hematita y alúmina, confirmando su potencial industrial más allá del acero.

#### 3.2. Viabilidad de Yacimientos y Parámetros de Alta Ley

Para que un yacimiento sea considerado de alta rentabilidad (DSO), debe compararse con referentes globales. El estándar de oro es el yacimiento de Carajás en Brasil. Gutierrez (1991), en su tesis doctoral, analizó este proyecto, caracterizado por sus vastas reservas de alta ley. Estudios más recientes en Carajás, como el de Da Cruz Barbosa et al. (2022), confirman leyes de hematita que oscilan entre 64% y 68% Fe. Estos valores ( $>60\%$  Fe) establecen el punto de referencia que Latapuquio (50.55% Fe)

no alcanza para extracción directa. No todos los yacimientos requieren este nivel; Kumar y Kaji (2019), por ejemplo, determinaron que una extracción de hematita en Pokhari, Nepal, era económicamente rentable bajo sus condiciones específicas.

### 3.3. Estudios de Beneficiación de Minerales de Media Ley

La investigación más relevante para Latapuquio se centra en la valorización de minerales de media ley (similares a 50.55% Fe). La viabilidad de la tostación magnetizante y la flotación ha sido demostrada extensamente:

- **Dash et al. (2019)** trabajaron con un mineral de hematita de baja ley (53.17% Fe) y, mediante tostación magnetizante seguida de separación magnética, lograron un concentrado de 65.25% Fe, apto para la venta.
- **Liu et al. (2022)** demostraron que, combinando separación magnética y flotación inversa, minerales de 40-50% Fe pueden ser enriquecidos a concentrados de  $>62\%$  Fe.
- **Zhu et al. (2022)** y Baquer et al. (2024) han investigado los mecanismos y la optimización del proceso de tostación reductora, confirmando que es una ruta tecnológicamente robusta para convertir minerales de baja y media ley (desde ~30-50% Fe) en productos de alto valor ( $>60\%$  Fe).

Estos antecedentes demuestran que un mineral con 50.55% Fe, aunque no es viable para exportación directa, es una materia prima ideal para un proceso de beneficiación.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Área de estudio

La comunidad de Latapuquio es un anexo del distrito de Lircay, provincia de Angaraes, región Huancavelica, República Perú. Sus coordenadas geográficas son: latitud:  $12^{\circ}59'00"S$  Longitud:  $74^{\circ}42'50"W$ , a una altitud de 3595 msnm. Este anexo se encuentra a 3,10 Km de la plaza del barrio pueblo viejo, donde se encuentra el municipio de Lircay. Está a una distancia de 75,651 km. de la ciudad de Huancavelica y a 460,65 Km. de la ciudad de Lima.

Se puede observar en la figura 1. Dentro de la jurisdicción de Angaraes existen varias minas: Mina Julcani de la CIA

minera Buenaventura, Compañía minera Lircay S.A. Compañía minera Kolpa. Corporación minera Castrovirreyna S.A., minas candelaria y Reliquias. Compañía Minera Catrovirreyna, mina San Genaro.

Todas las minas nombradas se dedican a la explotación de yacimientos polimetálicos. Fundamentalmente de Plata, Cobre, Plomo, Zinc, etc.

**Figura 1**  
*Zona de ubicación de la comunidad de Latapuquio*



Nota 1. La figura muestra una fotografía de la comunidad de Latapuquio, anexo de Lircay. El punto rojo indica ubicación de la comunidad de Latapuquio y en punto amarillo el punto medio del yacimiento de Hematita. fuente: Google earth.

**Figura 2**  
*Ubicación del depósito de Hematita*



Nota 2. La fotografía aérea muestra la ubicación del depósito Hematita (punto amarillo). Fuente: Google earth

#### **4.2. Diseño de Investigación**

Se empleó un diseño de investigación descriptivo, transversal y cuantitativo. El estudio se centró en el afloramiento del yacimiento de hematita en la comunidad de Latapuquio, distrito de Lircay (Angaraes, Huancavelica, Perú). La zona se sitúa a 3595 msnm, en las coordenadas 12°59'00"S, 74°42'50"O.

#### **4.3. Muestra y Recolección**

La población de estudio fue el afloramiento visible del yacimiento (110 m x 40 m). Se realizó un muestreo aleatorio por puntos, recolectando 2.00 kg de 10 puntos distintos, para un total de 20.00 kg de muestra representativa.

#### **4.4. Análisis Químico**

Las muestras consolidadas fueron enviadas al laboratorio RCJ Labs Universal S.A.C. (Huancayo). Se utilizó la Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) para determinar la concentración porcentual de hierro (% Fe). Este método implica la digestión ácida de la muestra y la medición de la absorbancia de luz por los átomos de hierro, lo que permite una cuantificación precisa del metal.

### **5. RESULTADOS**

Los análisis químicos realizados a través de AAS indicaron que el contenido promedio de hierro en las muestras es de 50.55%. Este valor está por debajo del umbral de rentabilidad económica establecido en mayor a 60%.

**Tabla 1***Análisis químico de las muestras de Hematita.*

ID Laboratorio	ID Cliente	Elementos
Elemento		Fe
método		AAS
Unidad		%
Límite de cuantificación		0,01
MIN-19/04213	Mineral	50.55

**Nota:** Datos del análisis mediante AAS del Laboratorio RCJ LABS UNIVERSAL- Huancayo.

### **6. RESULTADOS**

El resultado principal de 50.55% Fe permite una clasificación económica clara: el yacimiento de Latapuquio es de media ley. Este valor se alinea con la definición de De la Torre (2011) (30-60% Fe).

Este hallazgo tiene dos implicaciones directas. Primero, el mineral no es económicamente viable para extracción y venta directa (DSO). Su ley de 50.55% está significativamente por debajo de los referentes comerciales de alta ley, como los depósitos de Carajás (64-68% Fe) (Gutierrez, 1991; Da Cruz Barbosa et al., 2022), y por debajo del cut-off industrial comúnmente aceptado de 55%-60% Fe (ASIMET, 2020).

En segundo lugar, y más importante, el yacimiento es un candidato ideal para procesos de beneficiación. El valor de 50.55% Fe no debe interpretarse como un resultado final, sino como la calidad de la materia prima de entrada (feed). Este contenido es comparable, e incluso superior, al de los minerales investigados en la literatura reciente. El estudio de Dash et al. (2019), que partió de un mineral similar (53.17% Fe) y alcanzó 65.25% Fe,

es una prueba de concepto directa de que la ruta de tostación magnetizante es tecnológicamente viable para un mineral como el de Latapuquio. De igual manera, los éxitos reportados por Liu et al. (2022) (con minerales de 40-50% Fe) y Baqer et al. (2024) refuerzan esta conclusión.

Por lo tanto, la rentabilidad del yacimiento no depende de su ley actual (50.55%), sino de un análisis costo-beneficio de la implementación de una planta de beneficiación (ya sea por tostación o flotación) para elevar la ley por encima del 60%.

Finalmente, no debe descartarse la ruta de industrialización alternativa como pigmento. El uso histórico local, respaldado por la investigación arqueológica en la región (Eerkens et al., 2007) y la investigación moderna en materiales (Hashimoto et al., 2020), sugiere un mercado de nicho para pinturas anticorrosivas que podría ser más accesible y requerir menor inversión de capital que una planta metalúrgica.

### **7. CONCLUSIONES**

El yacimiento de hematita de Latapuquio no es económicamente rentable para la explotación directa de hierro debido a su ley de 50.55% Fe,

que está por debajo del umbral mínimo económico de 60 %. Sin embargo, es viable para aplicaciones industriales, como pigmentos anticorrosivos, aprovechando sus propiedades mineralógicas.

## 8. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar estudios adicionales para identificar contaminantes, realizar muestreos a mayor profundidad y emplear técnicas avanzadas de beneficiación como: tostación reductora, flotación inversa o separación magnética. Con los cuales se incrementaría sustancialmente el contenido de Fe de la hematita. Adicionalmente, se sugiere explorar otras aplicaciones del mineral en industrias químicas y pigmentarias mediante análisis geoquímicos y mineralógicos detallados. Esto permitirá maximizar la utilización de un recurso subutilizado, generando valor económico en principio a la comunidad que la posee a la región y país.

## 9. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- ASIMET. (2020, 7 de enero). *Mineral de hierro en Latinoamérica*. Asociación de Industrias Metalúrgicas y Metalmecánicas.
- Baqer, A. H., Abdul-Zahra, M. H., & Al-Shuwaiat, R. K. (2024). *Processing of Hematite Ore by using Magnetizing Reduction Roasting and Magnetic Separation*. Universidad de Petróleo y Gas de Basora
- CENEPRAED. (2019). *Escenario de riesgo por COVID-19 de la ciudad de Lircay, provincia de Angaraes y departamento de Huancavelica*. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.
- Da Cruz Barbosa, D., da Silva, L. F. N., de Jesus, E. B., & Pires, G. G. (2022). *Características mineralógicas e aplicações do minério de ferro oriundo da província mineral de Carajás: uma revisão*. Universidade Federal do Pará.
- Dash, N., Rath, S. S., & Angadi, S. I. (2019). Thermally assisted magnetic separation and characterization studies of a low-grade hematite ore. *Powder Technology*, 346, 70-77.
- <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.02.008>
- De la Torre, L. (2011). *Natural resources sustainability: Iron ore mining* [Tesis de Ingeniería de Minas]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Eerkens, J. W., Vaughn, K. J., Tripcevich, N., & Linares, M. (2007). Hematite mining in the ancient Americas: Mina Primavera, a 2,000-year-old Peruvian mine. *JOM: The Journal of the Minerals, Metals & Materials Society*, 59(12), 16-20. <https://doi.org/10.1007/s11837-007-0150-z>
- Gutierrez, M. B. G. P. S. (1991). *The Carajás Iron Ore Project: A cost-benefit assessment* [Tesis Doctoral, Ph. D]. University College London.
- Hashimoto, H., Iwamoto, Y., & Iwasaki, T. (2020). *Bright yellowish-red pigment based on hematite and alumina with a unique porous disk shape*.
- INGEMMET. (2005). *Potencial minero en la Región Huancavelica*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2018, 14 de noviembre). *En Huancavelica se censó a 347 639 personas - Censos Nacionales 2017*. INEI.
- Kumar, A., & Kaji, R. (2019). *Evaluación técnica y financiera de la extracción de hematita en los depósitos de Pokhari, Nepal*.
- Liu, S., Sun, Y., Han, Y., & Li, Y. (2022). *Beneficios de minerales*. Academia China de Ciencias y Universidad de Ciencia y Tecnología de Beijing.
- Zhu, X., Li, G., Zhang, Y., & Tang, H. (2022). Reduction mechanism of the porous hematite in limonite ore. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 43(7), 749-758. <https://doi.org/10.1080/08827508.2022.2121920>