

# REVISTA O UNIVERSO OBSERVÁVEL

RECUPERACIÓN DE ORO ALUVIAL POR MESA GRAVIMETRICA EN  
MADRE DE DIOS

RECOVERY OF ALLUVIAL GOLD BY GRAVIMETRIC TABLE IN  
MADRE DE DIOS

Marcelino Vargas Quea<sup>1</sup>  
Gloria Silva Laura<sup>2</sup>  
Oswaldo Luzver Maynas Condori<sup>3</sup>  
Yana Gerutza Silva<sup>4</sup>

Revista O Universo Observável  
DOI: 10.69720/29660599.2025.000104  
[ISSN: 2966-0599](https://doi.org/10.69720/29660599)

<sup>1</sup>Ingeniero metalurgista, Magister Scientiae Tecnologías de Protección Ambiental, Doctor en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

E-mail: [mvargas@epg.unap.edu.pe](mailto:mvargas@epg.unap.edu.pe)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2670-495X>

<sup>2</sup>Licenciada en Topografía y Geodesia Universidad Mayor de San Andrés, Master en Tecnologías de la información Geográfica para ordenación del Territorio España, Universidad de Zaragoza, España.

E-mail: [g2129laura@gmail.com](mailto:g2129laura@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6295-2300>

<sup>3</sup>Ingeniero Metalurgista, Magister Scientiae en Seguridad Industrial y Ambiental, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.

E-mail: [oswaldoluzverma@gmail.com](mailto:oswaldoluzverma@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6900-7049>

<sup>4</sup>Ingeniero Ambiental de Universidad Amazónica de Pando, Bolivia.

E-mail: [benjhoss1907902016@gmail.com](mailto:benjhoss1907902016@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3953-3230>



## RECUPERACIÓN DE ORO ALUVIAL POR MESA GRAVIMETRICA EN MADRE DE DIOS: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Marcelino Vargas Quea, Gloria Silva Laura, Oswaldo Luzver  
Maynas Condori e Yana Gerutza Silva



Fonte: <https://amagazine.cl/enami-y-seremis-de-mineria-realizaron-actividad-para-el-desarrollo-de-oro-aluvial-en-el-sur/>

**PERIÓDICO CIENTÍFICO INDEXADO INTERNACIONALMENTE**

ISSN  
International Standard Serial Number  
2966-0599

[www.ouniversoobservavel.com.br](http://www.ouniversoobservavel.com.br)

Editora e Revista  
O Universo Observável  
CNPJ: 57.199.688/0001-06  
Naviraí – Mato Grosso do Sul  
Rua: Botocudos, 365 – Centro  
CEP: 79950-000

## RESUMEN

La recuperación ineficiente de oro en los concentrados de esclusas por la amalgamación con mercurio resulta, en pérdida de partículas finas de oro en relave y la liberación de mercurio al medio ambiente. No se evaluó el efecto del diseño y la operación de la mesa gravimétrica, en la recuperación del oro aluvial en concentrado de esclusa en MAPE. El objetivo de la investigación fue determinar el efecto de la mesa gravimétrica en la recuperación de oro aluvial de concentrados de esclusas en la región de Madre de Dios. La investigación es cuantitativa experimental con análisis de varianza (ANOVA), para ello se tomó muestras de concentrados de esclusas en tres unidades mineras, para evaluar la recuperación del oro por mesa gravimétrica. El contenido de oro se determinó a través del método de ensayos al fuego. La recuperación de oro aluvial mediante mesa gravimétrica alcanzó el 86.98 %, para tamaños de partícula entre 250  $\mu\text{m}$  y 75  $\mu\text{m}$ , con una pendiente de 2° y un caudal de agua de 9 l/min. Sin embargo, al aumentar el caudal a 14 litros por minuto, la recuperación de oro aluvial bajó al 63%. La alimentación de agua se realizó en circuito cerrado con una bomba centrífuga de 0.75 HP. Se concluye que la mesa gravimétrica demostró una mejora significativa en la recuperación de oro aluvial superando la eficiencia del método de amalgamación. El análisis de varianza (ANOVA) respaldó esta efectividad y viabilidad como alternativa tecnológica para la minería artesanal a pequeña escala.

**Palabras clave:** Concentrado, concentración gravimétrica, esclusas, mesa gravimétrica, oro.

## ABSTRACT

*Inefficient recovery of gold in lock concentrates by amalgamation with mercury results in loss of fine gold particles in tailings and the release of mercury into the environment. The effect of the design and operation of the shaking table on the recovery of alluvial gold in sluice concentrate in MAPE was not evaluated. The objective of the research was to determine the effect of the shaking table on the recovery of alluvial gold from lock concentrates in the Madre de Dios region. The research is experimental quantitative with analysis of variance (ANOVA), for which samples of lock concentrates were taken in three mining units, to evaluate the recovery of gold by gravimetric table and amalgamation. The gold content was determined through the fire test method. Gold recovery by shaking table reached 86.98%, for particle sizes between 250  $\mu\text{m}$  and 75  $\mu\text{m}$ , with a slope of 2° and a water flow of 9 l/min. To this end, samples of lock concentrates were taken in three mining units, in order to evaluate the recovery of gold by shaking table. The research had an experimental and quantitative approach. The results show that gold recovery through the use of a shaking table reached 84.82%, with particle sizes between 250  $\mu\text{m}$  and 75  $\mu\text{m}$ , slope of 2° and a water flow of 9 liters per minute. However, when the flow rate increased to 14 liters per minute, the recovery of alluvial gold dropped to 63%. The water supply was carried out in a closed circuit with a 0.75 HP centrifugal pump. It is concluded that the shaking table demonstrated a significant improvement in the recovery of alluvial gold exceeding the efficiency of the amalgamation method. The analysis of variance (ANOVA) supported this effectiveness and viability as a technological alternative for small-scale artisanal mining.*

**Keywords:** Concentrate, gravimetric concentration, sluices, gravity table, gold.

## INTRODUCCIÓN

Las mesas gravimétricas son utilizadas en la extracción de oro aluvial en Madre de Dios. Estas mesas separan el oro de otros minerales mediante la fuerza de la gravedad. La extracción de sedimentos auríferos implica la mezcla con agua, lo que permite la estratificación de las partículas de oro.

Posteriormente, se utilizan los rifles para atrapar el oro, seguido del lavado del concentrado en la mesa y la recolección del oro. Para extraer las partículas de oro del concentrado de la esclusa, se debe mezclar con agua, separar las partículas de oro utilizando una mesa gravimétrica con rifles, lavar y recolectar el oro (Falconer 2003). La separación del oro de la ganga en mesas gravimétricas se basa en la diferencia de densidad entre el oro (19,3 g/cm<sup>3</sup>) y los materiales de ganga (2,65 g/cm<sup>3</sup>) (Martínez et al. 2021).

Durante la recuperación del oro aluvial se logra separándolo de los minerales con los que está mezclado, utilizando la mesa gravimétrica. La eficiencia de la recuperación de oro aluvial es afectada por los factores como el tamaño de las partículas de oro, la mineralogía del mineral aluvial (Dominy et al. 2008). La pendiente, longitud de carrera, la frecuencia de golpes y el movimiento longitudinal de la mesa gravimétrica permite separar partículas de oro aluvial por su densidad, tamaño y forma de manera eficiente (Kannan et al. 2017).

La pendiente permite que las partículas pesadas se desplacen hacia la parte inferior, mientras que las partículas ligeras son arrastradas hacia la parte superior de la mesa gravimétrica (Arief 2022). La longitud de carrera evita que las partículas se adhieran a la mesa, permite a estratificarse y la distribución de un flujo

continuo de mineral en la mesa gravimétrica (Silva et al. 1986).

La combinación de la pendiente y la longitud de carrera facilita la distribución y separación efectiva de las partículas de oro aluvial según su densidad, tamaño y forma (Yadav et al. 2022). La mesa gravimétrica es un equipo que utiliza la fuerza de la gravedad para separar minerales por su densidad. Consiste en una plataforma inclinada donde se vierte una mezcla de agua y concentrado de esclusa llamada pulpa.

En la parte superior de la mesa gravimétrica, las partículas más pesadas, como el oro, se sedimentan más rápidamente debido a su densidad (Nasiha & Shanmugam 2018). La superficie de la mesa cuenta con riffles que retienen las partículas de oro mientras permiten el paso de las partículas menos densas (Ulusoy & Atagun 2023). Funciona aprovechando la diferencia de densidades entre los minerales presentes en la alimentación, partículas más densas son separadas de las menos densas (Vieira 2006). Cuentan con una superficie diseñada con ranuras y recubrimientos para facilitar la estratificación de las partículas por densidad.

Además, tienen una ligera inclinación, la longitud de carrera para concentrar las partículas más densa en cierta área. Utilizan un flujo constante de agua para mantener las partículas de oro aluvial en movimiento y genera fuerza de arrastre diferencial según su densidad (Prasetya et al. 2020). Son ampliamente utilizadas en la industria minera artesanal a pequeña escala para el procesamiento de minerales, la concentración y recuperación de oro aluvial, gracias a su eficiencia en la separación del oro aluvial basada en diferencia de densidad (Veiga & Gunson, 2020). Consta de superficie plana inclinada intersecada por riffles. La pulpa que se alimenta a la mesa fluye cuesta abajo. Los materiales más pesados, como el oro, se transportan a través de la base de la mesa mediante estratificación de la densidad de las partículas debido a la gravedad, mientras que los materiales más ligeros son transportados por el agua (Andò 2020).

Por otro lado, la separación de materiales se basa en diferencias de velocidad de sedimentación como las partículas de oro aluvial que su densidad permite que se hunda y sedimento rápidamente hacia la base de la mesa gravimétrica (Veiga & Gunson, 2020). La mesa gravimétrica es efectiva para recuperar oro aluvial por sedimentación diferencial que permite separar, concentrar, por diferencia de densidad los minerales (Teschner et al. 2017).

Las ventajas son la alta ratio de recuperación para oro aluvial de mayor a malla 200, diseño simple, bajo costo y amigable con el medio ambiente. Sin embargo, su eficiencia está en función de factores como tamaño, forma y densidad, que es crucial optimizar para lograr una recuperación eficiente. La investigación y desarrollo continuo permitió adecuar y mejorar el diseño a cada realidad de yacimiento, haciéndolas cada vez más efectivas en la industria minera del oro aluvial (Teniola et al. 2022).

Su funcionamiento se basa en la diferencia de densidades entre las partículas y la superficie que las permite estratificar, separar, concentrar (Burt, 1999). La eficiencia está en función de factores como la densidad, tamaño y forma de las partículas, caudal de agua, longitud de carrera, ángulo de inclinación de la mesa. Identificar estos factores es crucial para lograr una recuperación eficiente de oro aluvial, que permitirá mejorar el diseño, operación de la mesa gravimétrica, contribuyendo a una mayor precisión y eficiencia en la recuperación de oro (You & Liu 2023).

La mesa gravimétrica tiene limitaciones en la recuperación de oro menores a malla 200, especialmente de baja ley y minerales complejos. El tamaño de las partículas es un factor clave que determina la estratificación, separación por diferencia densidad (José et al. 2018). La comprensión de la mineralogía de un yacimiento es esencial para lograr una separación eficaz utilizando mesa gravimétrica (Mkandawire et al. 2020).

Como la composición mineralógica, la densidad, la liberación, forma, tamaño, la asociación mineralógica, las texturas y los recubrimientos superficiales influyen en la eficiencia de la separación (Waterman & Eko Hardiyanto 2017). La velocidad de sedimentación es influenciada por la forma, tamaño y densidad de las partículas de oro aluvial (Veiga & Gunson 2020). Las partículas esféricas tienden a sedimentarse más rápidamente que las partículas irregulares, alargadas y planas (Ferdana et al. 2018). Esto se debe a que las partículas esféricas tienen una menor resistencia al movimiento del fluido, que les permite caer más rápidamente. La densidad del mineral y el caudal de agua determina la velocidad de sedimentación que permite la separación del oro aluvial por gravedad (Ernawati et al., 2018). La diferencia de densidad entre el mineral y la ganga es esencial para una separación efectiva del oro (Marion et al. 2017).

Por otro lado, el caudal de agua debe ser adecuado para transportar las partículas de menor

densidad (Yıldırım Gülsoy & Gülcan 2019). Identificar el caudal óptimo es crucial para mejorar la recuperación, considerando factores como el tamaño, forma y la densidad de las partículas y el diseño de la mesa gravimétrica (Jiga et al. 2022).

La relación entre la velocidad del agua y la eficiencia de la separación por gravedad es compleja en la concentración por mesa gravimétrica. Un flujo rápido ayuda a eliminar la ganga, pero el caudal excesivo afecta negativamente a la eficiencia de la recuperación del oro aluvial (Li et al., 2015).

Sin embargo, las partículas de tamaño menores a 75  $\mu\text{m}$  no se logrará recuperar si no se mejora la tensión superficial del agua, ya que las partículas tienden a flotar en la superficie del agua (Das & Sarkar 2018).

La densidad de los minerales es importante en el proceso de separación por gravedad ya que las partículas más densas se sedimentan más rápidamente debido a una mayor fuerza gravitacional (Abbireddy & Clayton 2009). Sin embargo, cuando las partículas densas se agrupan, su velocidad de sedimentación disminuye en comparación con partículas individuales de la misma densidad. Sin embargo, al quedar atrapadas dentro de agrupaciones de partículas menos densas, estas no pueden sedimentar adecuadamente, lo que resulta en una separación ineficiente.

Este fenómeno se debe al efecto de encapsulamiento, que impide que las partículas densas se separen de manera efectiva de las menos densas. Es importante tener en cuenta la longitud de la carrera y el flujo de agua en la mesa gravimétrica para evitar la acumulación de partículas, asegurar un movimiento constante, una distribución uniforme, y generar una fuerza de arrastre diferencial que facilite la separación por densidad por movimiento longitudinal.

Es importante encontrar un equilibrio adecuado en la inclinación de la mesa gravimétrica y el caudal de agua para evitar perjudicar la recuperación de oro. A medida que las partículas se vuelven más pequeñas, la separación gravimétrica se vuelve más eficiente debido a su mayor área superficial en relación con su volumen. Sin embargo, la recuperación de partículas de oro extremadamente finas puede ser un desafío y a menudo se necesitan técnicas adicionales.

La configuración de la superficie de separación es un aspecto crucial en la eficiencia de las mesas gravimétricas. Esta superficie incorpora elementos específicos como ruffles y contornos que facilitan la estratificación de partículas según su densidad y tamaño.

Durante la operación, la acción combinada del agua y la gravedad sobre estos elementos permite concentrar las partículas más densas en áreas específicas mientras elimina las más ligeras. La separación por gravedad del oro aluvial en mesa gravimétrica se basa en la diferencia de densidad entre el oro aluvial y la ganga, que dependerá de factores como tamaño, forma, densidad, caudal y la pendiente (Manser et al., 1991).

La recuperación es más eficaz en partículas de oro aluvial de 75  $\mu\text{m}$  a 250  $\mu\text{m}$ , se preconcentra el mineral aurífero y se monitorean los parámetros del proceso, incluyendo la separación por gravedad (Ferdana et al. 2018). El oro aluvial libre se refiere a partículas de oro no unidas a otros minerales, que facilita su separación por gravedad en mesas gravimétricas. A pesar de la presencia de oro no libre, estas mesas siguen siendo populares por su rentabilidad y capacidad para procesar diferentes tamaños y materiales (Ateh et al. 2021).

La separación por gravedad es un método eficiente para separar partículas de oro de la ganga. En la mesa vibratoria, las partículas más densas se acumulan en la parte inferior y las menos densas en la superficie (Santana et al. 2021).

La eficacia de la separación por gravedad depende de factores, como la disparidad de densidad, el tamaño y la forma de las partículas, el caudal de agua, la frecuencia y la longitud de carrera, la pendiente del tablero y el diseño. Este método se basa en las diferencias de densidad entre los materiales presentes en una mezcla, sedimentando los más densos más rápidamente.

El tamaño de las partículas y la viscosidad del fluido también influyen en la velocidad de sedimentación (Nasiha & Shanmugam 2018).

La recuperación de oro por la mesa gravimétrica es un proceso sencillo, de bajo costo y capaz de procesar grandes cantidades de material, pero no es selectivo para materiales con densidades similares, por lo que suele combinarse con otras tecnologías (Teniola et al. 2022). La gravimetría es una técnica utilizada en la minería aluvial para extraer oro de depósitos aluviales. Es un método sencillo y económico que permite la concentración de minerales pesados, siendo efectivo tanto en condiciones húmedas (Arief 2022).

La mineralogía de un yacimiento es fundamental para lograr una separación eficiente a través de la mesa gravimétrica, ya que factores como la composición mineralógica, densidad, liberación, asociaciones minerales, texturas y

recubrimientos superficiales influyen en la eficacia de la separación. Estos aspectos se consideran como etapas previas en las operaciones mineras (Mkandawire et al. 2020).

La separación por gravedad en la minería se ve afectada por la densidad del material y el caudal de agua. La velocidad de sedimentación depende de la densidad, siendo el oro ideal por su alta densidad. La diferencia de densidad entre el oro y la ganga es clave para una separación eficaz (Jiga et al. 2022). El objetivo general de este estudio fue evaluar la recuperación de oro por mesa gravimétrica en Madre de Dios.

Para responder a esta pregunta, se propusieron objetivos específicos para determinar el efecto del tamaño de partícula, caudal de agua y la pendiente en la recuperación de oro aluvial por la mesa gravimétrica.

La propuesta busca solucionar la recuperación de oro aluvial mediante la mesa gravimétrica reduciendo el uso de mercurio en la minería artesanal a pequeña escala. Además, busca mejorar la calidad ambiental y reducción de la contaminación por mercurio del agua, suelo con relaves de amalgamación, para las comunidades locales y promover el cumplimiento de los estándares de calidad del agua, suelo y aire por parte de la minería artesanal a pequeña escala.

## MÉTODOS

Ámbito o lugar de estudio.

La investigación se realizó con muestras de concentrado de esclusas de unidad minera Raúl I coordenadas latitud 12°51'41.75" longitud 70°34'39.09", Rivaldo coordenadas latitud 12°47'53.96" longitud 70°34'73.67" ubicada en Centro poblado Pukiri, Madre de Dios, Manu, Madre de Dios, unidad minera Paolita II coordenadas latitud 12°40'29.39" longitud 69°37'45.12" ubicado en Laberinto, Tambopata, Madre de Dios.

### Descripción de métodos

Considerar los 4 puntos siguientes:

#### a) Periodo de estudio o frecuencia de muestreo.

Se recogieron muestras de concentrado de esclusa de 10 kg por concesión para preparar una muestra compuesta de 30 kg en el mes de diciembre del año 2023. La muestra se tomó 10 kg por concesión haciendo un total de 30 kg de muestra de concentrado. Todas las muestras se deslamaron los sólidos totales suspendidos presentes en el

concentrado, y se almacenó en un balde limpio para evitar la contaminación.

#### b) Descripción detallada de los materiales, insumos e instrumentos utilizados en la ejecución de la investigación.

Se extrajo una muestra de 10 kg de concentrado de esclusa durante 8 horas de las tres concesiones. Posteriormente, se procedió a trasladar a laboratorio en donde se procedió al secado, homogeneizado y partición de la muestra con un divisor tipo Jones hasta obtener una muestra representativa de 24 muestras de 1 kg cada una, 1 kg para análisis granulométrico, 1 muestra para análisis de malla valorada, 250 gramos para análisis de contenido en alimento a la mesa gravimétrica. Esta muestra fue sometida a ensayos al fuego para determinar el contenido de oro, realizándose tres mediciones por triplicado.

La determinación del tamaño de las partículas en las muestras de concentrado se llevó a cabo utilizando mallas tyler 60, 100, 150, 200 y 325. Primero, se lavó la muestra a través de la malla Tyler 325 y luego se realizó un cribado en seco utilizando un Ro tap marca Duratap adavantech. Se pesó y registró el material retenido en los tamices de malla 60, malla 100, malla 150, malla 200 y malla 325, en la balanza PG 5002-S de legibilidad 0.01 g, repetibilidad 0.08 g y linealidad de 0.02 g.

El peso retenido en cada en las mallas 60, 100, 150, 200 y 325 se analizó por ensayos al fuego por oro, fundiéndolo a una temperatura de 1064 °C en un horno de fundición y copelación obteniendo el doré de oro y plata, se separó la plata del oro con ácido nítrico al 20%, finalmente el peso el oro fino en una ultramicrobalanza RPR2U, de capacidad 2.1 g, legibilidad 0.1 µg, repetibilidad 0.15 µg.

#### c) Variables analizadas, indicar que variables intervinieron en el objetivo.

Las variables que intervinieron en el objetivo son: Las variables independientes son tamaño de partícula de oro de 250 a 44 µm, caudal de agua 10 a 14 l/minuto, pendiente de la mesa gravimétrica de 1 a 6 ° y la variable

dependiente es la recuperación de oro en (%).

**d) Prueba estadística aplicada, solo colocar la probabilidad (p) o nivel de significancia estadística.**

Se utilizó un diseño factorial  $2^3$  para analizar diferencias significativas entre los factores a través de un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de

confianza del 95%. Se evaluó la independencia e interacción de un factor, la interacción de dos factores y tres factores, determinando su significancia. También se realizaron pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas de Bartlett. El software estadístico empleado fue RStudio v4.3.2.

**Tabla 1** Análisis de varianza (ANOVA) para la recuperación de oro (%)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	$F_0$	Valor - p
A	$SC_A$	(a-1)	$CM_A$	$CM_A/CM_E$	P(F>F <sub>0</sub> )
B	$SC_B$	(b-1)	$CM_B$	$CM_B/CM_E$	P(F>F <sub>0</sub> )
C	$SC_C$	(c-1)	$CM_C$	$CM_C/CM_E$	P(F>F <sub>0</sub> )
AB	$SC_{AB}$	(a-1)(b-1)	$CM_{AB}$	$CM_{AB}/CM_E$	P(F>F <sub>0</sub> )
AC	$SC_{AC}$	(a-1)(c-1)	$CM_{AC}$	$CM_{AC}/CM_E$	P(F>F <sub>0</sub> )
BC	$SC_{BC}$	(b-1)(c-1)	$CM_{BC}$	$CM_{BC}/CM_E$	P(F>F <sub>0</sub> )
ABC	$SC_{ABC}$	(a-1)(b-1)(c-1)	$CM_{ABC}$	$CM_{ABC}/CM_E$	P(F>F <sub>0</sub> )
Error	$SC_E$	$abc(n-1)$	$CM_E$		
Total	$SC_T$	$abn-1$			

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados de la muestra extraída de las 3 concesiones mineras del departamento de madre de Dios que fue ensayada en el laboratorio se presenta los resultados de caracterización.

### - Tamaño de partícula

La tabla 2 muestra la distribución de oro en malla 60, 100, 140 y 200 contiene 498.20 g (49.82 %) y representa la mayor distribución de oro con 90.48 % de las partículas del concentrado se encuentran en el rango de tamaño de 75  $\mu\text{m}$  a 250  $\mu\text{m}$ , mientras que el 9.52 % se encuentra en el rango de -75  $\mu\text{m}$  a -44  $\mu\text{m}$ . El 9.52 % de partículas pertenece a oro muy fino, de -44  $\mu\text{m}$  a -75  $\mu\text{m}$ , requirió método de recuperación avanzados, por las limitaciones de recuperación de la mesa gravimétrica por la hidrofobicidad del oro (Veiga & Gunson, 2020).

**Tabla 2** Balance de malla valorada

Malla	Abertura ( $\mu\text{m}$ )	Peso (g)	Porcentaje (%)	Ley Au (g/t)	Contenido metálico Au (g)	Distribución Au (%)
60	250	4.00	0.40	0.000	0.00	0.00
100	150	18.60	1.86	0.568	105.65	2.16
140	105	456.00	45.60	0.910	4149.60	84.82
200	75	19.60	1.96	0.874	171.30	3.50
325	44	497.20	49.72	0.093	462.40	9.45
-325	-44	4.60	0.46	0.076	3.50	0.07

La tabla 3 muestra el balance de recuperación de oro por mesa gravimétrica que a continuación se describe, muestra cabeza con un peso de 1000.00 g y un peso fino de 48.920 mg, presenta una ley de oro de 4892.000 g/TM, representando el 100% del material a procesar. En la etapa de concentración, se obtiene un producto concentrado de 60.00 g con un peso fino de 42.551 mg y una ley significativamente mayor de 42,551.000 g/TM, alcanzando una recuperación de 86.98% del oro y una ratio de concentración de 16.67.

El relave resultante del proceso tiene un peso de 940.00 g con un peso fino de 6.369 mg y una ley de 636.90 g/TM, representando una pérdida de solo 13.02% del oro inicial, que demuestra la eficiencia del proceso de concentración gravimétrica para la recuperación de oro.

**Tabla 3** Balance de recuperación de oro por mesa gravimétrica

Muestra	Peso de muestra (g)	Peso fino (mg)	Ley Au (g/TM)	Recuperación	Ratio
Cabeza	1000.00	48.920	4892.000	100.00	
Concentrado	60.00	42.551	42 551.000	86.98	16.67
Relave	940.00	6.369	636.90	13.02	

#### - Caudal de agua

La optimización del caudal de agua fue un parámetro clave para mejorar la recuperación de oro mediante concentración en mesa gravimétrica (Yıldırım Gülsoy & Gülcan, 2019). Se observó que un caudal de 14 L/min, con un número de Reynolds superior a 1500, tuvo un efecto significativo en la velocidad de sedimentación de partículas de oro menores de 250  $\mu\text{m}$ .

En estas condiciones, la transición del flujo laminar al flujo turbulento creó fluctuaciones que impedían la sedimentación de las partículas, aunque la alta densidad del oro permitió que sus partículas se sedimentaran más rápido que las de menor densidad. Para la recuperación de partículas de oro libre menores de 75  $\mu\text{m}$ , se encontró que un flujo laminar con número de Reynolds de 1000 y un caudal de 9 L/min proporcionó una recuperación más eficiente.

De hecho, el caudal de 9 L/min mostró una mejor recuperación de oro en comparación con el de 14 L/min. Por lo tanto, se recomienda realizar pruebas a diferentes flujos de agua para

determinar el caudal óptimo que maximice la recuperación de oro.

#### Pendiente de la mesa gravimétrica

La pendiente de la mesa gravimétrica tuvo un efecto significativo en la concentración del oro aluvial.

La pendiente longitudinal permitió separar las partículas de oro aluvial de la ganga, mientras que la pendiente transversal controló la velocidad de desplazamiento lateral de las partículas de oro aluvial sobre la superficie de la mesa.

Para lograr una recuperación del 90% del oro aluvial en el concentrado, se calculó una pendiente óptima de 2° que era la más adecuada. Bajo estas condiciones, el agua fluyó uniformemente sobre la superficie de la mesa, siguiendo las estrías y la inclinación.

Este resultado concuerda con lo planteado por (Veiga & Gunson, 2020) quienes destacan la importancia de ajustar adecuadamente la pendiente de la mesa gravimétrica para mejorar la recuperación de oro fino (10 a 100  $\mu\text{m}$  muy fino), que suelen perderse en los relaves durante el procesamiento.

#### Análisis de varianza – ANOVA

Se empleó el análisis de varianza (ANOVA) para determinar la significancia de los efectos de los tres factores tal como se presenta en la tabla 4.

Tabla 4 Resultados de análisis de varianza ANOVA recuperación de oro por mesa gravimétrica

Source	Df	SumSq	Mean Sq	F Value	Pr (>F)
f_tamaño	1	308.2	308.2	28.015	7.28e-05 ***
f_caud	1	816.7	816.7	74.242	2.09e-07 ***
f_pendiente	1	24.0	24.0	2.182	0.159
f_tamaño*f_caudal	1	24.0	24.0	2.182	0.159
f_tamaño*f_pendiente	1	1014.0	1014.0	92.182	4.82e-08 ***
F_caudal*f_pendiente	1	504.2	504.2	45.833	4.50e-06 ***
F_tamaño*f_caudal*f_pend	1	1.5	1.5	0.136	0.717
Residuals	16	176	11.0		

Signif. codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#### a- Factores principales:

**El tamaño:** El tamaño de partícula demuestra ser un factor determinante en la eficiencia de recuperación de oro, como lo confirman los resultados del análisis estadístico con valores altamente significativos ( $p = 7.28e-05$ ,  $F =$

28.015). Estos parámetros estadísticos indican una fuerte correlación entre el tamaño de las partículas y la cantidad de oro recuperado, evidenciando que la eficiencia del proceso de recuperación está directamente influenciada por las dimensiones de las partículas de oro presentes en el material.

**Caudal:** El análisis estadístico reveló que el caudal de agua es un parámetro crítico en el proceso de recuperación de oro, como lo demuestran los valores altamente significativos ( $p = 2.09e-07$ ,  $F = 74.242$ ). Estos resultados estadísticos indican una influencia sustancial del flujo de agua sobre la eficiencia del proceso de separación del oro, evidenciando que las variaciones en el caudal tienen un impacto directo y significativo en la cantidad de oro recuperada durante el proceso de concentración.

**Pendiente:** El análisis estadístico demostró que la pendiente de la mesa no es un factor determinante en el proceso de recuperación de oro aluvial, como lo evidencian los valores estadísticos obtenidos ( $p = 0.159$ ,  $F = 2.182$ ). Estos resultados, al estar por encima del nivel de significancia establecido ( $p > 0.05$ ), indican que las variaciones en la pendiente de la mesa no ejercen una influencia estadísticamente significativa sobre la eficiencia del proceso de recuperación de oro.

#### b- Interacciones:

**Tamaño: caudal:** La interacción de estos factores mostró una influencia estadísticamente significativa ( $p = 0.159$ ,  $F = 2.182$ ), indicando que el efecto del tamaño de partícula sobre la recuperación está condicionado por el flujo de agua utilizado.

**Tamaño: pendiente:** La interacción entre el tamaño de partícula de oro y la pendiente de la mesa gravimétrica es estadísticamente significativa ( $p = 4.82e-08$ ,  $F = 92.182$ ), sugiriendo una fuerte interdependencia entre estos factores en el proceso de recuperación de oro.

**Caudal: pendiente:** La interacción entre el caudal de agua y la pendiente de la mesa gravimétrica es estadísticamente significativa ( $p = 4.50e-06$ ,  $F = 45.833$ ), evidenciando que el efecto del flujo de agua sobre la recuperación varía según la inclinación de la mesa gravimétrica.

**Tamaño: caudal: pendiente:** La interacción entre los tres factores no es significativa ( $p = 0.717$ ,  $F = 0.136$ ), lo que sugiere que, aunque estos factores influyen individualmente y en pares sobre la recuperación de oro, su interacción simultánea no produce efectos significativos adicionales en el proceso.

#### c- Residuales:

La variabilidad residual (176) es la variabilidad en la

La hipótesis nula ( $H_0$ ) plantea que el tamaño de oro, caudal y la pendiente no ayudan en la recuperación de oro aluvial. Esta hipótesis se rechazaría si el p-valor ( $\Pr(>F)$ ) es menor o igual a 0.05 para alguno de los factores considerados. Para evaluar esta hipótesis, analizamos los p-valores ( $\Pr(>F)$ ) de cada efecto en la tabla ANOVA:

recuperación de oro que no se puede explicar por los factores analizados.

#### - Prueba de normalidad

La prueba de normalidad Shapiro-Wilk aplicada a los residuos del modelo arrojó un estadístico  $W = 0.98243$  y un p-valor = 0.936. Dado que el valor de  $W$  es cercano a 1 y el p-valor supera el nivel de significancia establecido ( $\alpha = 0.05$ ), se confirma que los residuos siguen una distribución normal. Esto valida uno de los supuestos fundamentales del análisis estadístico realizado.

#### - Prueba de homocedasticidad

La prueba de Bartlett para prueba de homocedasticidad se aplicó para evaluar la homogeneidad de varianzas en el modelo estadístico. Los resultados ( $K$ -cuadrado = 0.19749,  $df = 1$ , p-valor = 0.6568) indican que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas, ya que el valor  $p$  (0.6568) es mayor que el nivel de significancia típica de 0.05. Esto sugiere que los datos cumplen con el supuesto de homocedasticidad, lo que valida la robustez del análisis estadístico realizado y confirma que la variabilidad de los residuos es constante a través de los diferentes niveles del factor tamaño.

#### - Contrastación de la hipótesis

Se utilizó un diseño factorial  $2^3$  con tres factores, dos niveles y ocho tratamientos, con tres réplicas. El análisis estadístico se realizó mediante el software R 4.3.2, utilizando un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre tratamientos.

#### Las hipótesis planteadas fueron:

$H_0$ : El tamaño, caudal y la pendiente de la mesa gravimétrica no ayuda en la recuperación de oro aluvial.

$H_0: P_{\text{valor}} > 0.05$

$H_a$ : El tamaño, caudal y la pendiente de la mesa sí ayuda en la recuperación de oro aluvial

$H_0: P_{\text{valor}} > 0.05$

Se llevó a cabo un análisis estadístico de los resultados de los valores del efecto de tamaño de oro, tiempo de amalgamación y pérdida de mercurio utilizando la prueba de Análisis de Varianza - ANOVA. Este análisis se realizó utilizando el software estadístico R 4.3.2.

- f\_tamaño: p-valor =  $7.28 \times 10^{-05} < 0.05$  (significativo)
- f\_caudal: p-valor  $2.09 \times 10^{-07} < 0.05$  (significativo)
- f\_pendiente:  $0.159 > 0.05$  (no significativo)

**Interacciones de dos factores:**

- f\_tamaño\*f\_caudal: p-valor =  $0.159 > 0.05$  (no significativo)
- f\_tamaño\*f\_pendiente: p-valor =  $4.82 \times 10^{-08} < 0.05$  (significativo)
- f\_caudal\*f\_pendiente: p-valor =  $4.50 \times 10^{-06} < 0.05$  (significativo)

**Interacciones de tres factores:**

Los valores de p bajos indican que hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ). Esto sugiere que al menos uno de los tres factores mencionados contribuye a la recuperación de oro aluvial.

El análisis de varianza (ANOVA) reveló que los tres factores estudiados (tamaño, caudal y pendiente) tienen un efecto estadísticamente significativo en la recuperación de oro aluvial, lo que llevó al rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la aceptación de la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). Adicionalmente, se encontraron interacciones significativas entre los factores, indicando que el efecto de cada factor está condicionado por los niveles de los otros factores analizados.

**- Tamaño de partícula**

Yıldırım Gülsoy & Gülcan, (2019) realizaron el análisis del comportamiento de tres fracciones de tamaño de  $-1000 \mu\text{m}$ ,  $-800 \mu\text{m}$  y  $-600 \mu\text{m}$  de una muestra de cromita de alta ley, que contenía de 32 a 33 %. Estas fracciones fueron sometidas a una prueba de concentración por mesa gravimétrica utilizando parámetros de operación similares, variando el tamaño de partícula y el caudal de agua de lavado, con el objetivo de evaluar su efecto en la concentración. Los resultados de concentración mostraron que una liberación adecuada a una fracción de  $-600 \mu\text{m}$  resultó en una ley superior. Este hallazgo resaltó la importancia controlar el tamaño de las partículas en la recuperación de oro aluvial por la mesa gravimétrica con las partículas que de  $250 \mu\text{m}$  hasta  $-44 \mu\text{m}$ . El análisis de la distribución de tamaño de las partículas de oro aluvial realizada al concentrado reveló que el 90.48% se encontraba en el rango de  $250 \mu\text{m}$  a  $75 \mu\text{m}$ , lo cual se consideró aceptable para la recuperación con mesa gravimétrica. Según (Ernawati et al, 2018) la recuperación de oro con la mesa gravimétrica alcanza el 90% si el tamaño de los granos de oro es de  $3 \text{ mm}$   $-70 \mu\text{m}$ . Sin embargo, en el concentrado el 9.52% de las partículas de oro aluvial estaban en el rango de  $-74 \mu\text{m}$  a  $-44 \mu\text{m}$ , que resaltó la necesidad de llevar el control del tamaño de partícula para alcanzar la recuperación y minimizar la pérdida de oro en el

relave. (Ernawati et al, 2018) señalan que la forma de las partículas de oro influye en la recuperación de oro en la mesa gravimétrica. El oro en forma escamas, al tener mayor superficie, es más ligero y tiende a arrastrarse al relave junto con el oro hidrofóbico. En el estudio realizado, el oro aluvial se presentó en forma redondeada, los granos forma irregular por su maleabilidad. La forma de oro en escamas redujo la densidad de las partículas, haciéndolas livianas, que provocó que los granos finos floten en la mesa gravimétrica y se pierdan en el relave que coincide con resultado obtenido de (Veiga & Gunson, 2020).

**- Caudal de agua**

Yıldırım Gülsoy & Gülcan, (2019) evaluaron el efecto del caudal de agua en la recuperación de comita. Los resultados mostraron que, al utilizar un caudal de agua de 1 litro por minuto, se observó una reducción significativa en la recuperación de cromita en tamaños pequeños comparado con el caudal de 0,5 l/min. Sin embargo, un mayor caudal de agua aumentó la recuperación de cromita en la etapa rougher y mejoró la ley del concentrado final. El caudal de 1 litro por minuto incrementó la recuperación de cromita y la calidad del concentrado final en la fracción gruesa ( $-100 \mu\text{m}$ ) comparado con caudal de 0.5 litros por minuto. En el estudio, el agua se suministró a la mesa gravimétrica a través de una tubería de 1 pulgada de diámetro extendida a lo largo del tablero de la mesa. Esta tubería contaba con agujeros perforados de 1/16 pulgada de diámetro, separadas cada una de 1 a 2 pulgadas de distancia, que permitía la distribución uniforme del agua. El caudal de agua de lavado se ajustaba en función del tamaño de las partículas de oro en la alimentación. El caudal de agua de lavado fue un factor fundamental en la concentración y se controló mediante una válvula esférica de 1 pulgada, que resultó en un caudal de 9 l/min con una recuperación del 90% de oro. Sin embargo, al aumentar el caudal a 14 litros por minuto, la recuperación de oro disminuyó al 63%. La alimentación de agua se operó en circuito cerrado con una bomba centrífuga de 0.75 HP con entrada y salida de 1 pulgada.

#### - Pendiente

Los resultados de esta investigación indican que la pendiente de la mesa gravimétrica es de 2 grados, con una concentración de partículas del 90.48% en el rango de tamaño de 75  $\mu\text{m}$  a 250  $\mu\text{m}$ . Este hallazgo permitió mejorar la eficiencia de recuperación de oro aluvial por mesa gravimétrica. Los resultados obtenidos coinciden con el reporte de estudio revelado por Yıldırım & Gülcan, (2019), quienes encontraron que, para muestras de cromita de baja ley, la variación en la eficiencia de recuperación de partículas de cromita de 75  $\mu\text{m}$  se optimizaba con una pendiente de 4 grados en la mesa gravimétrica.

#### CONCLUSIONES

La recuperación de oro aluvial con tamaño de partícula de 75  $\mu\text{m}$  a 250  $\mu\text{m}$  mediante mesa gravimétrica, utilizando un caudal de agua de 9 litros/minuto y una pendiente de 2°, logró una eficiencia del 86.98%. Este proceso contribuye al desarrollo sostenible al promover una recuperación eficiente del oro aluvial y reducir la contaminación del agua, aire y suelo con mercurio.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la escuela de posgrado de la universidad del altiplano Puno, por la oportunidad brindado de realizar el doctorado en ciencia tecnología y medio ambiente.

#### CONFLICTO DE INTERÉS

No me encuentro en una situación de conflicto de interés real.

#### REFERENCIAS

- Abbreddy, C. O. R., & Clayton, C. R. I. (2009). A review of modern particle sizing methods. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Geotechnical Engineering* (Vol. 162, Issue 4, pp. 193–201). <https://doi.org/10.1680/geng.2009.162.4.193>
- Andò, S. (2020). Gravimetric separation of heavy minerals in sediments and rocks. *Minerals*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/min10030273>
- Arief, T. (2022a). Design and Experimentation Shaking Table Tool for Gravity Concentration Metal Mineral Separation. *International Journal of Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.11648/j.ijmpem.20220701.11>
- Arief, T. (2022b). Design and Experimentation Shaking Table Tool for Gravity Concentration Metal Mineral Separation. *International Journal of Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.11648/j.ijmpem.20220701.11>
- Ateh, K. I., Suh, C. E., Shuster, J., Shemang, E. M., Vishiti, A., Reith, F., & Southam, G. (2021). Alluvial gold in the Bétaré Oya drainage system, east Cameroon. *Journal of Sedimentary Environments*, 6(2), 201–212. <https://doi.org/10.1007/s43217-021-00051-w>
- Burt, R. (1999). The role of gravity concentration in modern processing plants\*. In *Minerals Engineering* (Vol. 12, Issue 11).
- Das, A., & Sarkar, B. (2018). Advanced Gravity Concentration of Fine Particles: A Review. In *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review* (Vol. 39, Issue 6, pp. 359–394). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/08827508.2018.1433176>
- Dominy, S., Xie, Y., Dominy, S. C., Xie, Y., & Platten, I. M. (2008). *Characterisation of in situ gold particle size and distribution for sampling protocol optimisation*. <https://www.researchgate.net/publication/289363579>
- Ernawati, R., Idrus, A., & Petrus, H. T. B. M. (2018). Study of the optimization of gold ore concentration using gravity separator (shaking table): Case study for LS epithermal gold deposit in Artisanal Small scale Gold Mining (ASGM) Paningkaban, Banyumas, Central Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 212(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/212/1/012019>
- Falconer, A. (2003). Gravity separation: Old technique/new methods. *Physical Separation in Science and Engineering*, 12(1), 31–48. <https://doi.org/10.1080/1478647031000104293>
- Ferdana, A. D., Petrus, H. T. B. M., Bendiyasa, I. M., Prijambada, I. D., Hamada, F., & Sachiko, T. (2018a). Optimization of gold ore Sumbawa separation using gravity method: Shaking table. *AIP Conference Proceedings*, 1945. <https://doi.org/10.1063/1.5030292>
- Ferdana, A. D., Petrus, H. T. B. M., Bendiyasa, I. M., Prijambada, I. D., Hamada, F., & Sachiko, T. (2018b). Optimization of gold ore Sumbawa separation using gravity method: Shaking table. *AIP Conference Proceedings*, 1945. <https://doi.org/10.1063/1.5030292>
- Jiga, A. P., Pasithbhattarabhorn, J., Juntarasakul, O., Pimolrat, J., Soonthornwiphath, N., & Phengsaart, T. (2022). Gold recovery from the residue of jewelry waste recycling: Pre-treatment using shaking table separation and flotation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1071(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1071/1/012024>

- José, F. D. S., Barcelos, H. O., & Pereira, C. A. (2018). Combination of gravity concentration variables to increase the productivity of the Brucutu mineral processing plant. *Journal of Materials Research and Technology*, 7(2), 158–164. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.06.002>
- Kannan, A. S., Jareteg, K., Lassen, N. C. K., Carstensen, J. M., Hansen, M. A. E., Dam, F., & Sasic, S. (2017). Design and performance optimization of gravity tables using a combined CFD-DEM framework. *Powder Technology*, 318, 423–440. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.05.046>
- Li, L., Rimmelgas, J., van Wachem, B. G. M., von Corswant, C., Johansson, M., Folestad, S., & Rasmuson, A. (2015). Residence time distributions of different size particles in the spray zone of a Wurster fluid bed studied using DEM-CFD. *Powder Technology*, 280, 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.04.031>
- Manser, R. J., Barley, R. W., & Willst, B. A. (1991). The shaking table concentrator-the influence of operating conditions and table parameters on mineral separation-the development of a mathematical model for normal operating conditions. In *Minerals Engineering* (Vol. 4, Issue 4).
- Marion, C., Williams, H., Langlois, R., Kökkılıç, O., Coelho, F., Awais, M., Rowson, N. A., & Waters, K. E. (2017). The potential for dense medium separation of mineral fines using a laboratory Falcon Concentrator. *Minerals Engineering*, 105, 7–9. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.12.008>
- Martinez, G., Restrepo-Baena, O. J., & Veiga, M. M. (2021). The myth of gravity concentration to eliminate mercury use in artisanal gold mining. In *Extractive Industries and Society* (Vol. 8, Issue 1, pp. 477–485). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.01.002>
- Mkandawire, N. P., McGrath, T., Bax, A., & Eksteen, J. (2020). Potential of the dense media cyclone for gold ore preconcentration. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy*, 129(1), 87–95. <https://doi.org/10.1080/25726641.2019.1669982>
- Nasiha, H. J., & Shanmugam, P. (2018). Estimation of settling velocity of sediment particles in estuarine and coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 203, 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.02.001>
- Prasetya, A., Ahsa, W. M., Gustiana, H. S. E. A., Astuti, W., & Petrus, H. T. B. M. (2020). Effect of Particle Size and Shaking Speed on Enhancing Concentration of Manganese using Shaking Table. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 742(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/742/1/012027>
- Santana, V., García Blanco, Y. J., Germer, E. M., & Franco, A. (2021, December 15). *Analysis of particles sedimentation in shear-thinning fluid: settling velocity, drag coefficient, and settling trajectories comparison*. <https://doi.org/10.26678/abcm.cobem2021.cob2021-0957>
- Silva, M., Van Vleck, G. K., Deukmejian, G., & Blubaugh, D. L. (1986). *Placer gold recovery methods*. <https://doi.org/10.13960/t39037680>
- Teniola, O. S., Adeleke, A. A., Ibitoye, S. A., & Shitu, M. D. (2022). Effectiveness of Gravity Separation of Low Grade Nigerian Gold Ore Using Shaking Table. *International Journal of Nonferrous Metallurgy*, 10(02), 15–22. <https://doi.org/10.4236/ijnm.2022.102002>
- Teschner, B., Smith, N. M., Borrillo-Hutter, T., John, Z. Q., & Wong, T. E. (2017). How efficient are they really? A simple testing method of small-scale gold miners' gravity separation systems. *Minerals Engineering*, 105, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.01.005>
- Ulusoy, U., & Atagun, O. N. (2023). Particle shape characterization of shaking table streams in a Turkish chromite concentration plant by using dynamic imaging and microscopical techniques. *Particulate Science and Technology*, 41(2), 141–150. <https://doi.org/10.1080/02726351.2022.2046666>
- Veiga, M. M., & Gunson, A. J. (2020). Gravity concentration in artisanal gold mining. In *Minerals* (Vol. 10, Issue 11, pp. 1–50). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/min10111026>
- Vieira, R. (2006). Mercury-free gold mining technologies: Possibilities for adoption in the Guianas. *Journal of Cleaner Production*, 14(3–4), 448–454. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.007>
- Waterman Sulistyana Bargawa, & Eko Hardiyanto. (2017). Characterization of the Gold Ore to Acquire an Optimum Degree of Liberation. *Journal of Environmental Science and Engineering B*, 6(6). <https://doi.org/10.17265/2162-5263/2017.06.006>
- Yadav, S., Sieffert, Y., Vieux-Champagne, F., Debove, L., Decret, D., Malecot, Y., & Garnier, P. (2022). Optimization of the Use Time of a Shake Table with Specimen Preparation outside the Table Surface. *Buildings*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/buildings12030319>
- Yıldırım Gülsoy, Ö., & Gülcan, E. (2019a). A new method for gravity separation: Vibrating table gravity concentrator. *Separation and Purification Technology*, 211, 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.074>

- Yıldırım Gülsoy, Ö., & Gülcan, E. (2019b). A new method for gravity separation: Vibrating table gravity concentrator. *Separation and Purification Technology*, 211, 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.074>
- You, K., & Liu, H. (2023). Research on optimization of control parameters of gravity shaking table. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28171-5>