



Artículo original / Original article

Actividad minera y suelos contaminados en el sector de km 100 La Pampa región Madre de Dios

Mining activity and contaminated soils in the sector of km 100 La Pampa region Madre de Dios

Lastenia Cutipa-Chávez ^{1*}; Virne Mego-Mego ¹; Jaime Cuse-Quispe ¹; Miguel Chávez-Pinchi ¹; Jesualdo Mamani-Condori ¹; Javier Galindo-Pacherres ¹; Janet Gonzales-Bellido ¹

¹ Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú

Recibido: 28/11/2021

Aceptado: 30/12/2021

Publicado: 25/01/2022

*Autor de correspondencia: lcutipa@unamad.edu.pe

Resumen: El objetivo de la investigación fue realizar un estudio de suelos y sus efectos de la minería en el sector 100 de la Pampa de la provincia de Tambopata, Región Madre de Dios. La investigación fue de carácter experimental, para ello, se tomaron cuatro muestras de suelos erosionados del km 100 correspondiente a la pampa además una muestra del suelo no erosionado como testigo. En laboratorio obtuvimos resultados que determinaron los parámetros físicos y químicos otros como nitrógeno, metales y otros elementos. Concluimos que la textura de los suelos donde existe la actividad minera han perdido considerable cantidad de limo y arcilla, además la acidez de los suelos se ve incrementada ligeramente por dicha actividad.

Palabras clave: contaminación; degradación de suelos; parámetros físicos; parámetros químicos

Abstract: The objective of the research was to carry out a study of soils and their effects of mining in sector 100 of the Pampa in the province of Tambopata, Madre de Dios Region. The investigation was of an experimental nature, for this, four samples of eroded soils were taken from km 100 corresponding to the pampas, in addition to a sample of non-eroded soil as a control. In the laboratory, we obtained results that determined the physical and chemical parameters, others such as nitrogen, metals and other elements. We concluded that the texture of the soils where there is mining activity have lost a considerable amount of silt and clay, in addition, the acidity of the soils is slightly increased for said activity.

Keywords: chemical parameters; physical parameters; pollution; soil degradation

1. Introducción

La industria minera es una de las fuentes de ingresos más importantes de muchos países diferentes, ya que el crecimiento de las industrias mineras a menudo regula el potencial de adquisición de recursos y el crecimiento económico de los países (Moscheni, 2019). Según las diferentes características de las industrias mineras, esta industria podría clasificarse en industrias geofísicas o industrias químicas, sin embargo, la minera tiene un impacto considerable en el medio ambiente, como la contaminación del suelo por elementos potencialmente nocivos debido a las actividades que se realizan (Dong et al., 2019).

Según la minería puede contaminar el aire y el agua potable, dañar la vida silvestre y el hábitat y dejar cicatrices permanentes en los paisajes naturales. Las minas modernas, así como las minas abandonadas, son responsables de daños ambientales significativos. Los productos químicos que se utilizan para separar metales y minerales valiosos del mineral también pueden filtrarse en arroyos, ríos y aguas subterráneas (Peña Neira & Araya Meza, 2021). Algunas de estas sustancias químicas, como el mercurio, persisten en el medio ambiente durante décadas, siendo perjudiciales para la salud humana (Cadavid-Muñoz & Arango-Ruiz, 2020).

En el Perú las actividades extractivas si bien generan grandes beneficios económicos, también crean externalidades negativas. El más importante de ellos es la degradación y contaminación ambiental, que pueden afectar negativamente la salud de las poblaciones locales, los medios de subsistencia de los trabajadores y la producción agrícola (Astete et al., 2014).

En la región de Madre de Dios catalogado como capital de la biodiversidad tiene como una actividad económica de mayor desarrollo la minería que debería realizarse en el corredor minero sin embargo la zona denominada la Pampa es una zona de amortiguamiento de la reserva de Tambopata, esta actividad ya no es artesanal sino se emplea motobombas carrancheras hasta dragas que son maquinaria pesada, esta actividad consiste en lavar el suelo donde hay contenido de oro, lo que hace que el suelo es prácticamente degradado por el lavado de todo el material orgánico así como la arcilla y el limo quedando prácticamente montículos de arena y cascajo en muchos lugares que se realizó esta actividad lo mismo ocurre una deforestación si en dichos suelos encuentran algún rastro de oro y quedando a su paso suelos eriazos (Villagra, 2021)(Cerón et al., 2021).

La Ruta Interoceánica sobre la que se asienta el campamento separa las dos realidades de la minería del oro en Madre de Dios. Al sur queda la minería ilegal y algunas pequeñas explotaciones cooperativas. Al norte está el llamado "corredor minero", la zona habilitada para la extracción en la que se aglutina la minería informal (Osoreo Plenge et al., 2012). La diferencia entre informal e ilegal, aunque parezca sutil en el lenguaje, alumbró dos realidades sociales totalmente diferentes. La minería ilegal carece de todo tipo de permisos y se desarrolla en zonas prohibidas. La informal es la que se hace en lugares permitidos, pero solo cumple algunos de los requisitos establecidos por la ley (Salas Carreño & Diez Hurtado, 2018). La mayoría de los más de 40.000 mineros informales cuentan con títulos de concesión otorgados por el Estado.

En los humedales como la Pampa, el problema ecológico es aún mayor, porque para llegar al oro hay que arrancar el bosque y remover la capa de tierra que se conoce como greda. En términos ambientales hay un impacto bastante significativo, estamos hablando de 40 000 a 50 000 hectáreas deforestadas. Lugares donde antes había bosques primarios, secundarios. Una riqueza en biodiversidad única en el mundo, donde la contaminación del aire, del suelo y del agua por mercurio (Huamán-Paredes et al., 2020).

Los suelos degradados donde la forestación se ha arrasado cambiando el paisaje y el ecosistema de dichos lugares, como no existe programas de reforestación de dichas zonas devastadas por la actividad minera en la zona la Pampa, por tal motivo el objetivo del estudio fue realizar un estudio de dichos suelos en sus parámetros físicos, químicos y contenido de elementos pesados.

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en La Pampa km 100 en el distrito de Inambari provincia de Tambopata departamento de Madre de Dios. El estudio es experimental, donde se tomaron cuatro muestras en zona de actividad minera; las cuatro muestras se recogieron de suelo erosionado donde se realizó la actividad minera, una de ellas se tomó cerca de una pequeña masa de agua denominada como muestra N° 03; y las otras tres muestras son: muestra N° 01, muestra N° 02 y muestra N° 04 se tomaron lejos de la masa de agua, dicha masa de agua se observó que fue producto de la actividad minera porque estaba atrapada en medio de suelos erosionados. La muestra de referencia o denominada muestra patrón también testigo dicha muestra se extrajo de una zona de bosque natural, se trata de una sola muestra denominada como muestra N° 05.

2.1. Metodología de análisis de los parámetros físicos y químicos

2.1.1. Toma de muestra de un suelo

Para el estudio se tomó la muestra al azar de cuatro puntos cercanos a una profundidad de 20 cm los mismos que se mezclan y se hace el cuarteo correspondiente eso para las cinco muestras de los cuales uno es un testigo (muestra N° 05) y los otros erosionados tres de ellos similares (muestra N° 01, muestra N° 02, muestra N° 04) y el tercero (muestra N° 03) cerca de una masa de agua artificial producto de la actividad antrópica.

2.1.2. Preparación de la muestra para el análisis

La muestra unitaria debe ser preparada antes del análisis.

Secado al Aire: las muestras de material de suelos deben ser secado al aire a temperatura ambiente mínimo 24 horas. Si hubiera terrones mayores de 2 mm se puede proceder a desmenuzar con un rodillo u otro similar.

Tamizado: agrónomicamente tienen verdadero interés las partículas que tienen un tamaño inferior medio, en cuya superficie se verifica la totalidad de las reacciones del suelo.

2.1.3. Determinación de humedad de un suelo

La capacidad de campo, así como el punto de marchitez según la textura los valores más adecuados se muestran en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Valores óptimos en suelos según la textura

Textura del suelo	Capacidad del campo	Punto de marchitamiento	Humedad disponible
Arenoso	9%	2%	7%
Arenoso - franco	14%	4%	10%
Franco arenoso - limoso	23%	9%	14%
Franco arenoso + materia orgánica	29%	10%	19%
Franco	34%	12%	22%
Franco - arcilloso	30%	16%	14%
Arcilloso	38%	34%	14%
Arcilloso con buena estructura	50%	30%	20%

La humedad del suelo se determinó por el método clásico gravimétrico. Determinando la humedad por evaporación del agua contenida, en una estufa a 105 ° C expresando los resultados en forma de porcentajes, respecto al peso del suelo desecado.

2.1.4. Determinación de la densidad de los suelos

Determinación de la densidad aparente

Refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, para que incluya tanto a la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella. Para establecerla debemos tomar un volumen suficiente para que la heterogeneidad del suelo quede suficientemente representada y su efecto atenuado. Es muy variable

Según el suelo, incluso en cada uno de los horizontes porque depende del volumen de los poros. Si el suelo es compacto, la densidad sube. Su valor en los horizontes A suele estar comprendido entre 1 y 1.25, mientras que en los horizontes B puede alcanzar hasta 1.5 o más alto. Su valor nos permite establecer equivalencias entre las relaciones masa/masa, que son la forma habitual de medir los parámetros del suelo, y las masa/superficie que son las utilizadas en la aplicación de aditivos al mismo para corregir sus deficiencias.

Tabla 2. Valores de densidad aparente

Textura	Densidad aparente (g/cm ³)
Arenoso	1.50 - 1.80
Franco arenoso	1.40 - 1.60
Franco	1.30 - 1.50
Franco arcilloso	1.30 - 1.40
Arcilloso	1.20 - 1.30

Asimismo, se realizó la determinación de la densidad real o peso específico, el cálculo del volumen real del suelo, el cálculo de la porosidad del suelo, la determinación del coeficiente de actividad (higroscopicidad), la determinación del contenido del agua en el suelo (empleando el método de Emmert, determinando la humedad equivalente, el agua capilar, el agua gravitacional), también se determinó la capacidad de campo, la textura de los suelos, el pH del suelo (en el punto de saturación con agua), asimismo se determinó la cal o caliza activa (empleando el método de campo reaccionado los carbonatos del suelo con HCl y el método de laboratorio (método volumétrico (Neutralización)), también se empleó la determinación de la capacidad total de cambio catiónico C.I.C (aplicando el método del acetato de amonio, determinando sales solubles, determinando el total de bases intercambiables), por otra parte, también se determinó el contenido en carbono y materia orgánica de los suelos (empleando el método de Walkley y Black, el método de pérdida por ignición), además se realizaron determinaciones aproximadas de N, P, K (determinando el contenido de nitrógeno de los suelos, determinado el fósforo (tabla 3) y determinado el potasio).

Tabla 3. Calibración para determinar fósforo

Nro de tubo	Patron P (ml)	Muestra problema (ml)	Molibdato deamonio (ml)	Ácido Ascórbico	Absorbancia	Transmitancia
Blanco	-	-	2.5	2.5		
1	0.01	-	2.5	2.5		
2	0.03	-	2.5	2.5		
3	0.05	-	2.5	2.5		
4	0.10	-	2.5	2.5		
5	0.15	-	2.5	2.5		
6	-	1.0	2.5	2.5		

Finalmente se realizó un análisis cualitativo de contenido de metales, donde las determinaciones se realizaron para cada una de las muestras por una repetición de tres como mínimo, para obtener un promedio por muestra.

Tabla 4. Propuesta de concentraciones máximas aceptables (MAC) de metales traza considerados como fitotóxicos en suelos agrícolas (mg/kg)

Metal	Austria	Canadá	Polonia	Japón	Gran Bretaña	Alemania
As	50	25	30	15	20	40 (50)
Be	10		10			10 (20)
Cd	5	8	3		1 (3)	2 (5)
Co	50	25	50	50		
Cr	100	75	100	50		200 (500)
Cu	100	100	100	150	50 (100)	50 (200)
Hg	5	0,3	5		2	10 (50)
Mo	10	2	10			
Ni	100	100	100	100	30 (50)	100 (200)
Pb	100	200	100	400	50 (100)	500 (1000)
Zn	300	400	300	250	150(300)	300(600)

3. Resultados y discusión

3.1. Determinación de humedad

A continuación, los valores de humedad obtenidos en el presente trabajo de investigación se detallan en la tabla 5.

Tabla 5. Porcentaje de humedad

Muestra	% Humedad (luna de reloj)	% Humedad (Crisol)	% Humedad promedio
Muestra N° 01	7.55	7.38	7.47
Muestra N° 02	6.87	7.08	6.98
Muestra N° 03	28.52	27.31	27.92
Muestra N° 04	7.525	7.478	7.50
Muestra N° 05	25.558	28.539	27.05

Al realizar la comparación de la muestra patrón (muestra N° 05) y las muestras N° 01, 02, 04 y 03 (extraída de un lugar cercano a un banco de agua), por el método T Student de comparación de pares se tiene los siguientes resultados.

Se observa que la humedad de la muestra patrón es 27.05 % y la media de las muestras (01, 02, 03 y 04) de suelos erosionados es 12.46%; esto nos hace ver que existe una variación considerable. Dado que el estadístico $t = 2.83$ por tanto menor que el valor crítico $= 3.18$ y que la probabilidad de estadístico 2.3534 es superior a 0,05, podemos asumir que las varianzas no presentan diferencias estadísticamente significativas. También presenta una buena correlación cuyo valor es de 0.81.

La muestra N° 03 de entre la N°01, N° 02 y N°04, se extrajo de un lugar cercano a agua estancada por lo que es razonable dicha humedad de 27.92 %. Sin embargo, la muestra N°05 es el suelo de comparación porque el lugar donde se extrajo es un suelo de bosque primario con árboles forestales. Nos hace ver que la erosión producto de la acción antrópica y la textura que presentan se ve afectado en la humedad disponible que deberían tener si dicha actividad no hubiese cambiado la textura de los suelos.

3.2. Determinación de la densidad de los suelos

3.2.1. Determinación de la densidad aparente

Se realizó tres determinaciones para cada muestra de suelo, encontrándose el promedio para cada uno, siendo el patrón la muestra N°05 y las demás muestras de suelo erosionado donde se realizó la actividad minera los Valores encontrados se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Densidad aparente

Muestra	Densidad aparente	Densidad aparente	Densidad aparente	Densidad aparente promedio
Muestra N° 01	1.449 g/ml	1.437 g/ml	1.454 g/ml	1.447 g/ml
Muestra N° 02	1.396 g/ml	1.415 g/ml	1.409 g/ml	1.407 g/ml
Muestra N° 03	2.004 g/ml	1.748 g/ml	1.791 g/ml	1.848 g/ml
Muestra N° 04	1.338 g/ml	1.341 g/ml	1.358 g/ml	1.346 g/ml
Muestra N° 05	1.119 g/ml	1.143 g/ml	1.133 g/ml	1.132 g/ml

La muestra patrón (N°05) tiene menor densidad aparente es razonable dicho valor debido a que en su textura la cantidad de arena, limo, arcilla son los que corresponden al tipo de suelo en bosque primario. El número N°03 presenta un valor elevado por la presencia de mayor cantidad de agua (humedad) y arena lo que se ve claramente su valor elevado respecto a la muestra N°01; 02; 03.

Dado que el estadístico $t = -3.33$ por tanto menor que el valor crítico $= 3.18$ y que la probabilidad de estadístico 2.3534 es superior a 0,05, podemos asumir que las varianzas no presentan diferencias estadísticamente significativas. La correlación se muestra que es adecuada cuyo valor es 0.83. Por otro la muestra 03 se obtuvo de una zona donde existía una masa de agua es decir el suelo tiene mayor humedad lo que hace que varíe la densidad para esa muestra.

3.2.2. Determinación de la densidad real o peso específico y cálculo del volumen real del suelo

Tabla 7. Densidad real volumen real del suelo

Muestra	Peso fiola vacío	Peso fiola vacío y suelo	Peso suelo	Peso fiola suelo y agua	Peso agua	Volumen de suelo	Densidad real
N°01	37,3	115,4	78,1	131,4	16	34	2,2971
N°02	37,7	115,7	78	131,1	15,4	34,6	2,2543
N°03	37,2	105,3	68,1	121,8	16,5	33,5	2,0328
N°04	35,6	104,2	68,6	124,9	20,7	29,3	2,3413
N°05	37,2	85,9	48,7	111,8	25,9	24,1	2,0207

La densidad del suelo que se analiza como patrón es 2.0207 g/ml casi similar a la muestra N° 03 debido a que este último tiene mayor contenido de agua; sin embargo, las muestras erosionadas (N°01, 02 y 04) existe una variación significativa esto debido a la mayor presencia de arena. Además, la correlación tiene un valor de 0.96 lo que nos indica que existe una buena obtención de los datos experimentales.

Podemos darnos cuenta que los valores de las muestras erosionadas N° 01, 02, 04 tienen elevados valores comparados al patrón de acuerdo a la textura donde el porcentaje de arena es mayor, en el caso de la muestra 03 que proviene de una zona de mayor contenido de agua a pesar de que la textura es similar a las anteriores su valor de densidad es casi semejante a la muestra N° 05 que proviene de una zona no erosionada este parecido de la densidad de la muestra de N° 03.

3.3. Cálculo de la porosidad de un suelo

Tabla 8. Porcentaje de porosidad

Muestra	Densidad aparente g/ml	Densidad real g/ml	% porosidad
N°01	1,447	2,2971	37,006
N°02	1,407	2,2543	37,587
N°03	1,848	2,0328	9,093
N°04	1,346	2,3413	42,510
N°05	1,132	2,0207	43,981

La variación en la porosidad entre la muestra patrón (N°05) y la muestra N° 03 es mayor debido a que la muestra N° 03 fue tomada cerca de una masa de agua y por lo tanto es muy húmeda, sin embargo, entre la muestra patrón (N°05) y los suelos impactados por la actividad minera (N° 01, 02, 04) la variación que existe es razonable el patrón es mayor y eso indica que existe cambios notorios en este parámetro.

3.4. Determinación del coeficiente de actividad

3.4.1. Higroscopicidad

Debido a su carácter dipolar del agua el extremo positivo es atraído por las cargas negativas de las arcillas y otro que forman coloides, formándose una capa de agua y cuya superficie es negativa este a su vez atrae hasta tres o cuatro capas de agua al que se denomina agua higroscópica.

Coficiente de higroscopicidad Es la máxima capacidad del suelo d retener agua de forma higroscópica es el porcentaje de humedad del suelo cuando la atmosfera fuese del 100% húmeda.

Tabla 9. Porcentaje de higroscopicidad

Muestra	Crisol vacío	Peso suelo	Crisol suelo 8Hr A 118°C	Suelo por 48Hr en desecador (a)	Suelo por 48Hr en desecador (b)	% Higros copicidad (a)	% Higros copicidad (b)
Nª01	33,7553	10,0087	43,7478	43,7599	43,7578	0,1209	0,0999
Nª02	32,3571	10,0262	42,3648	42,3761	42,3722	0,1127	0,0738
Nª03	33,0365	10,015	42,541	42,5612	42,5569	0,2017	0,1588
Nª04	36,2204	10,0007	46,2027	46,2123	46,2095	0,0960	0,0680
Nª05	36,7325	10,006	45,2837	45,3787	45,3669	0,9494	0,8315

3.5. Determinación del contenido de agua en el suelo

3.5.1. Determinación de humedad en el suelo método de Emmert

Es la medición de la elevación de la temperatura que se produce al añadir H₂SO₄ (c) con el agua que contiene el suelo. Construcción de la Curva de Emmert. Considerando las variables de % de humedad y temperatura en °C.

Asimismo, para todos los casos de las cinco muestras, por interpolación se obtiene el valor de porcentaje de humedad aplicando la ecuación de una recta de acuerdo al análisis se considera la variable X: Temperatura y variable Y: % humedad, así e tiene: $y = mx + b$, obteniendo como resultado la siguiente consolidación de humedad (tabla 10).

Tabla 10. Consolidada humedad método Emmert

	Muestra N°01	Muestra N°02	Muestra N°03	Muestra N°04	Muestra N°05
% Humedad	4.1956	5.2783	8.6029	5.0302	8.6090

Se puede observar que la muestra N°03 recogida de una zona cercana a una masa de agua la humedad es semejante a la humedad de la muestra patrón o testigo (muestra N° 05).

3.6. Determinación de la humedad equivalente

La humedad equivalente de un suelo en el terreno, es el mínimo contenido de humedad al cual una gota de agua, colocada sobre una superficie alisada del suelo, no será completamente absorbida en 30 segundos por el mismo, si no que se esparcirá sobre la superficie dejando una película fina de humedad.

Tabla 11. Porcentaje de humedad equivalente

N° muestra	Peso buchner vacío	Peso buchner y papel filtro	Peso buchner filtro y suelo	Peso suelo	Peso buchner filtro y suelo Mojado	Peso suelo húmedo	% humedad equivalente
1		374.97	425.28	50.31	434.01	59.04	17.35
2	373.75	375.15	435.57	60.42	443.57	68.42	13.24
3		374.88	466.51	91.63	474.60	99.72	8.83
4		374.73	435	60.27	442.00	67.27	11.61
5		374.59	411.7	37.11	417.90	43.31	16.71

Los valores de la muestra N° 03 difieren de los demás incluso del patrón por su ya abundancia presencia de humedad a pesar de ser un suelo franco arenoso.

3.7. Determinación del agua capilar

Es la determinación del agua retenida por espacios capulosos del suelo (microporosos).

Tabla 12. Porcentaje de capilaridad

N° Muestra	Peso tubo y gasa	Peso tubo gasa y suelo	Peso suelo	Hora inicio	Peso tubo gasa y suelo	Hora final	Peso agua	% Capilaridad
1	37.5	69.4	31.9	12,21	78.3	12,45	8.9	20.38
2	27.4	77.2	49.8	12,22	92.3	12,39	15.1	21.49
3	47.9	101.9	54	12,23	111.1	1,10	9.2	6.11
4	37.5	67.4	29.9	12,25	75.9	12,49	8.5	22.74
5	37.7	63.6	25.9	12,26	67.5	12,53	3.9	5.79

Debido a que los suelos de las muestras N° 01, 02, 04 tienen la misma textura y similar humedad es razonable que su capilaridad sea semejante y difiere de la muestra N° 03 a pesar de tener la misma textura; la muestra N° 05 es el patrón y la capilaridad es semejante a la muestra N° 03 porque esta tiene semejante humedad, pero difieren en su textura.

3.8. Determinación de agua gravitacional

Determinación del porcentaje de agua que se filtra a través del suelo por acción de la fuerza de la gravedad. Llamada también agua superflua o gravitante.

Es la que se elimina del suelo en virtud que los poros que contienen el agua son demasiado grandes para contrarrestar la acción de la gravedad. Se estima que la succión con que es retenida es menor de 0,3 atmósferas, considerándose de poca utilidad por el corto tiempo de permanencia en el suelo.

Tabla 13. Porcentaje de agua gravitacional

N° Muestra	Peso tubo y gasa	Peso tubo gasa y suelo	Peso suelo	Hora inicio	Peso tubo gasa y suelo	Hora final	Peso agua	% gravitacional
1	78.3	12,45	31.9	122.4	201.2	1,01	0.5	1.57
2	92.3	12,39	49.8	123.6	217.8	12,59	1.9	3.82
3	111.1	1,10	54	130.9	244.7	1,13	2.7	5.00
4	75.9	12,49	29.9	119.3	196.3	1,03	1.1	3.68
5	67.5	12,53	25.9	129	203.3	1,04	6.8	26.25

3.9. Determinación de capacidad de campo

Los valores de capacidad de campo obtenidas para las muestras de suelo tanto el testigo como

aquellos que han sufrido erosión por la actividad minera.

Tabla 14. Datos de capacidad de campo

N° muestra	Vaso vacío	Peso vaso y suelo	Peso suelo	Peso suelo y agua	% c.c
O1	32.7	132.7	100	153.7	21.00
O2	33.6	133.6	100	156.6	23.00
O3	29.8	129.8	100	138.5	8.70
O4	30.4	130.4	100	152.6	22.20
O5	31.3	131.3	100	160.3	29.00

3.10. Determinación de la textura de los suelos

En el análisis mecánico de suelos, el primer objetivo es la determinación de la textura de los mismos, es decir la distribución por tamaño de las partículas aisladas que forman. Para lo cual se utilizará el método del densímetro del tipo Bouyoucos, la densidad de una suspensión depende de la cantidad de materia suspendida, por lo que siguiendo la evolución de dicha densidad con el tiempo de sedimentación puede determinarse la distribución de los tamaños de partículas.

Tabla 15. Datos obtenidos de textura

N° muestra	% arcilla	% limo	% arena	Textura
1	7.58	0.67	91.6	Arenosa
2	16.12	2.16	83.88	Arenosa-Franca
3	18.72	2.4	78.88	Franco arenosa
4	16.2	0.24	83.52	Arenosa franca
5	18.12	32	50.12	Franca

Tamaño de las partículas en mm.	
Arena	: 0,050 - 2,00
Limo	: 0,002 - 0,05
Arcilla	: <0,002

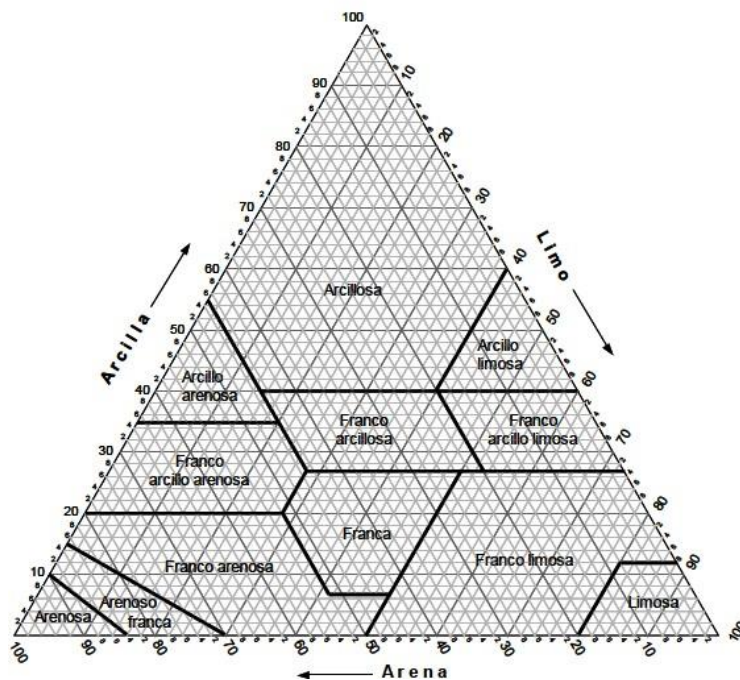


Figura 1: Triángulo textural

Según el gráfico de Triángulo Textural la muestra Patrón es franca al límite franco arenosa (la muestra N° 03 presenta dicha textura); sin embargo, comparando con las muestras N°

01, 02 y 04 estas se encuentran como arenosa y franca arenosa.

Tabla 16. Comparación de valores promedio

Clase de textura	Densidad aparente g/cc %	Porosidad
Arenoso	1.9-1.7	28-33
Franco-arenoso	1.7-1.5	33-42
Franco-limoso	1.5-1.3	42-51
Arcilloso	1.3-1.1	51-59

Según la densidad aparente se encuentra en el rango de la clase de textura franco-arenoso.

3.11. Determinación de pH del suelo

Si consideramos individualmente las diversas propiedades químicas del suelo, encontramos que el pH es la propiedad que por sí sola nos da la mejor indicación sobre el estado de fertilidad del suelo.

3.11.1. Determinación de pH de un suelo en el punto de saturación con agua

Tabla 17. Datos de pH

N° muestra	Ph 1	Ph 2	Ph Promedio
O1	3.31	3.33	3.32
O2	3.38	3.39	3.39
O3	4.35	4.25	4.30
O4	3.88	3.81	3.85
O5	3.3	3.31	3.31

3.12. Determinación de cal o caliza activa

La determinación de carbonatos de un suelo es determinada por diferentes métodos.

3.12.1. Método de laboratorio

Tabla 18. Datos de cálculos de caliza de carbonato

N° muestra	eso muestra suelo (g)	Vol hcl (0.1n) MI	Volume nfiltrado de hcl	Normalida dnaoh	Volumen gastado de naoh	Gramos de caliza	% de caliza de carbo nato	Prom % de caliza De carbo nato
1	5.0083	40	20	0.107	10.3	0.04490	0.89641	0.91
	5.0083	40	10	0.107	5	0.04650	0.92846	
2	5.0862	40	20	0.107	9.8	0.04757	0.93528	0.91
	5.0862	40	10	0.107	5.1	0.04543	0.89320	
3	5.002	40	20	0.1034	10.1	0.04778	0.95528	0.96
	5.002	40	10	0.1034	5	0.04830	0.96561	
4	5.0091	40	20	0.1034	9.2	0.05244	1.04681	0.98
	5.0091	40	10	0.1034	5.2	0.04623	0.92296	
5	5.0001	40	20	0.107	9.25	0.05051	1.01023	0.99
	5.0001	40	10	0.107	4.8	0.04864	0.97278	

3.13. Determinación de capacidad de intercambio de cationes

3.13.1. Determinación de la capacidad total de cambio catiónico C.I.C

Método del acetato de amonio

El amonio NH^+ es el catión que se usa para ser absorbido por intercambio. Luego por destilación de este, reemplazándolo con iones Mg^{2+} .

3.13.2. Bases intercambiables

Tabla 18. Capacidad de intercambio catiónico

Nº muestra	Peso suelo	Volumen hcl 0.1n gastado	C.I.C	CIC promedio
1	10.021	10.6	10.58	10.48
		10.2	10.18	
		10.7	10.68	
2	10.0014	5.00	5.00	5.33
		5.3	5.30	
		5.7	5.70	
3	10.0271	30.9	30.82	31.49
		31.3	31.22	
		31.9	31.81	
		32.2	32.11	
4	10.0321	6.05	6.03	6.20
		6.1	6.08	
		6.5	6.48	
5	10.0639	10.3	10.23	11.18
		10.9	10.83	
		11.5	11.43	
		12.3	12.22	

Tabla 19. Porcentaje de bases

Muestra	Peso suelo	Capsula vacío	Capsula y residuo	Peso residuo	% bases
1	10.021	95.9848	96.3857	0.4009	4.001
2	10.0014	87.4708	87.9038	0.433	4.329
3	10.0026	99.916	99.9238	0.0078	0.078
4	10.321	94.6333	95.1948	0.5615	5.440
5	10.0639	94.1788	94.8801	0.7013	6.968

La extracción con acetato de amonio permite intercambiar a los cationes alcalinos de Na y K y los alcalinos térreos Ca y Mg que son los más solubles y por ende los más intercambiables.

3.13.3. Determinación de sales solubles

Tabla 20. Datos de sales solubles

Muestra	Peso suelo	Vaso vacío	Vaso y residuo	Peso residuo	% sal soluble
1	10.021	101.9454	101.9516	0.0062	0.062
2	10.0014	100.5328	100.5465	0.0137	0.137
3	10.0026	105.8042	105.8265	0.0223	0.223
4	10.321	108.5429	108.5538	0.0109	0.106
5	10.0639	108.3629	108.381	0.0181	0.180

3.13.4. Determinación total de bases intercambiables (s)

Las bases intercambiables están presentes en el filtrado en la determinación de C.I.C como acetatos, se transforma por ignición a óxidos para luego obtener en forma de Cl^- al añadir HCl. El exceso de ácido que no reacciona se titula con una base de factor conocido.

Tabla 21. Datos de total de bases intercambiables

N° muestra	Peso suelo	Volumen hcl 0.1n gastado prom	N hcl	Volumen naoh gastado prom	N naoh 0.098	S meq/100g
1	10.021	10.5	0.1	9.3	0.098	1.3830955
2	10.0014	5.33	0.1	4.6	0.098	0.8252178
3	10.0271	31.575	0.1	11.5	0.098	20.2501222
4	10.0321	6.22	0.1	5.5	0.098	0.82402156
5	10.0639	11.25	0.1	8	0.098	3.38834845

Denominados bases solubles de Na, K, Ca, Mg que no necesariamente son la totalidad que hayan sido extraídos con el acetato de amonio.

3.13.5. Cálculo del % saturación de bases

Tabla 22. Porcentaje de saturación de bases

N° muestra	S meq/100g	CIC promedio	V (%)
1	1.3830955	10.48	13.2
2	0.8252178	5.33	15.475
3	20.2501222	31.49	64.307
4	0.82402156	6.20	13.298
5	3.38834845	11.18	30.307

3.14. Determinación del contenido en carbono y materia orgánica de los suelos

3.14.1. Método de Walkley y Black

Consiste en la oxidación de la materia orgánica del suelo por medio del dicromato de potasio, con ayuda del calor producido por acción del ácido sulfúrico concentrado. Valoración del exceso de dicromato que no fue reducido por el carbono orgánico usando sulfato ferroso amónico valorado, para hallar por diferencia la cantidad de dicromato reducido por el carbono orgánico.

Tabla 23. Datos de materia orgánica

N°	% M.O	% M.O Promedio
1	1.62	1.50
	1.51	
	1.37	
2	1.77	1.41
	1.25	
	1.22	
3	2.42	1.94
	1.94	
	1.47	
4	2.28	1.75
	1.50	
	1.47	
5	3.47	3.39
	3.36	
	3.35	

Tabla 24. Datos de carbono reactivo

N°	% C Reactivo	% C Reactivo promedio
1	2.41	2.23
	2.24	
	2.04	
2	2.66	2.12
	1.88	
	1.83	
3	3.42	2.75
	2.75	
	2.07	
4	3.41	2.62
	2.25	
	2.20	
5	5.19	5.08
	5.04	
	5.01	

3.14.2. Método de pérdida por ignición

Es una forma de evaluar aproximadamente, la materia orgánica de los suelos y se basa en la pérdida de peso por ignición.

Tabla 25. Datos de materia orgánica por ignición

N° muestra	Peso crisol vacío	Peso crisol y suelo	Peso suelo	Peso suelo a 500°C x 8hr	Peso materia orgánica	% materia orgánica
1	33.7568	43.7578	10.001	43.7107	0.0471	0.471
2	32.3577	42.3722	10.0145	42.327	0.0452	0.451
3	33.0355	42.5569	9.5214	42.4662	0.0907	0.953
4	36.2203	46.2095	9.9892	46.1646	0.0449	0.449
5	36.7325	45.3668	8.6343	44.911	0.4558	5.279

3.15. Determinación del contenido de nitrógeno de los suelos

El contenido de nitrógeno en los suelos está estrechamente relacionado con la fertilidad; los cultivos son muy sensibles a las variaciones de la cantidad de nitrógeno disponible.

Su determinación se realiza, generalmente, por el método de Kjeldahl, de conversión de nitrógeno en $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, este método se emplea en macro, micro y ultra micro escala.

Se obtuvo:

$\%N \times 6.25 = 0.56\%$ de proteínas crudas en los tejidos vegetales.

$\%N \times 20 = 1.78\%$ de materia orgánica del suelo.

$\%N \times 20\ 000 = 1780$ libras de nitrógeno en el suelo por acre.

$\%N \times 17\ 857 = 1\ 589.3$ Kg de nitrógeno en el suelo por hectárea.

3.16. Determinación de fósforo

El método de Olsen modificado es extensamente usado y emplea como solución extractora NaHCO_3 0.5M a pH 8.5. Esta solución es capaz de extraer fósforo de los fosfatos cálcicos insolubles, regulando el calcio, por la presencia de iones carbonato.

3.17. Determinación de potasio

La muestra obtenida mediante el procedimiento de extracción contiene también el potasio y de allí puede determinarse este elemento.

Tabla 26. Determinación de N P K

N° muestra	Nitrógeno %	Fosforo Ppm p ₂ O ₅	Potasio Ppm K ₂ O
01	0.020	0.31	19.20
02	0.011	0.17	12.60
03	0.025	0.39	3.80
04	0.022	0.34	6.20
05	0.036	0.56	59.40

3.18. Determinación de metales

Datos espectroscópicos

Tabla 27. Datos de elementos Fe, K, P, Ti, Zn

Elemento	M 01 ppm	M 02 ppm	M 03 ppm	M 04 ppm	M 05 ppm
Fe	5277.0	6114.8	8200.0	6218.4	9180.0
K	4746.3	6270.3	8109.0	5856.6	8286.0
P	3067.5	2770.0	2513.5	3847.9	2485.0
Ti	1722.0	2639.7	3309.0	3771.0	6424.0
Zn	164.0	279.3	247.0	632.2	555.0

Tabla 28: Datos de otros elementos

Elemento	M 01 ppm	M 02 ppm	M 03 ppm	M 04 ppm	M 05 ppm
Mn	42.0	82.6	83.0	115.6	37.7
V	18.5	25.7	40.7	32.7	63.0
Sr	23.4	23.9	33.9	26.7	54.4
Rb	17.1	19.9	37.3	24.9	61.6
Th		33.0	26.3	37.0	49.5
Cr	10.4	21.4	24.0	22.4	33.7
Y	8.0	8.0	13.9	13.8	32.7
Nb	6.2	7.8	12.4	13.6	31.7
Zn	8.4	11.5	18.0	12.0	17.1
Cu	8.2	7.5	11.7	11.2	10.7
Pb	4.4	5.0	5.3	5.4	12.0
As	3.1	3.2	4.7	3.2	7.6
Ni			14.0	13.0	
Mn					37.7
Cl		92.0			
Pd		14.0			
Rh		1.3			

Límites permisibles

Tabla 29: Propuesta de concentraciones máximas aceptables (mac) de metales traza considerados como fitotóxicos en suelos agrícolas (mg/kg)

Metal	Austria	Canadá	Polonia	Japón	Gran Bretaña	Alemania
As	50	25	30	15	20	40 (50)
Be	10		10			10 (20)
Cd	5	8	3		1 (3)	2 (5)
Co	50	25	50	50		
Cr	100	75	100	50		200 (500)

Cu	100	100	100	150	50 (100)	50 (200)
Hg	5	0,3	5		2	10 (50)
Mo	10	2	10			
Ni	100	100	100	100	30 (50)	100 (200)
Pb	100	200	100	400	50 (100)	500 (1000)
Zn	300	400	300	250	150(300)	300(600)

4. Conclusiones

La humedad de todas sus formas sufre una alteración en las zonas alejadas de masa de agua, dado que las plantas obtienen del agua disponible que existe en el suelo, observamos que los suelos erosionados no pueden retener el agua que necesitaría las plantas.

La textura de los suelos donde se realizó la actividad minera han perdido considerable cantidad de limo y arcilla.

La materia orgánica que de por si es poca es lamentable la perdida por la actividad de la minería que se observa en los resultados.

La acidez de los suelos se ve incrementada ligeramente por dicha actividad

En cuanto al contenido de metales no se observa una presencia considerable comparando con los límites permisibles por ello se debe realizar de forma más exhaustiva.

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autores

C-C, L: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, curación de datos escritura (preparación del borrador final).

M-M, V: metodología, investigación, curación de datos y supervisión.

C-Q, J: investigación y curación de datos.

C-P, M: investigación, análisis formal y validación.

M-C, J. y G-P, J: investigación y visualización.

G-B, J. S: curación de datos y análisis formal.

Referencias bibliográficas

- Astete, J., Gastañaga, M. del C., & Pérez, D. (2014). Niveles de metales pesados en el ambiente y su exposición en la población luego de cinco años de exploración minera en Las Bambas, Perú 2010. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31(4), 695-701. <https://www.scielosp.org/article/rpmpesp/2014.v31n4/695-701/>
- Cadavid-Muñoz, N., & Arango-Ruiz, Á. (2020). El mercurio como contaminante y factor de riesgo para la salud humana. *Revista Lasallista de Investigación*, 17(2), 280-296. <https://doi.org/10.22507/RLI.V17N2A21>
- Cerón, L., Miranda, N., & Rubin-de-Celis, E. (2021). Deforestación por actividad minera en el departamento de Madre de Dios-Perú para los años 2000 y 2017. *Anales Científicos*, 82(1),

- 122-129. <https://doi.org/10.21704/AC.V82I1.1748>
- Dong, L., Tong, X., Li, X., Zhou, J., Wang, S., & Liu, B. (2019). Some developments and new insights of environmental problems and deep mining strategy for cleaner production in mines. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1562–1578.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.10.291>
- Huamán-Paredes, F. E., Palma-Figueroa, G. U., & Flores-del Pino, L. (2020). Caracterización preliminar de residuos de minería aluvial en la región Madre de Dios - Perú. *Revista Cubana de Química*, 32(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212020000200232
- Moscheni, M. (2019). La minería y el desarrollo insostenible. El estudio de caso en San Juan, Argentina. *Problemas Del Desarrollo*, 50(196), 113–138.
<https://doi.org/10.22201/IIEC.20078951E.2019.196.64823>
- Osores Plenge, F., Rojas Jaimes, J. E., & Lara Estrada, C. H. M. (2012). Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública. *Acta Médica Peruana*, 29(1).
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172012000100012
- Peña Neira, S., & Araya Meza, P. (2021). Aguas de contacto, efectos en la minería y el medioambiente. *Revista de La Facultad de Derecho*, 50, 20215006.
<https://doi.org/10.22187/RFD2020N50A6>
- Salas Carreño, G., & Diez Hurtado, A. (2018). Estado, concesiones mineras y comuneros. Los múltiples conflictos alrededor de la minería en las inmediaciones del Santuario de Qoyllurit'i (Cusco, Perú). *Colombia Internacional*, 93(93), 65–91.
<https://doi.org/10.7440/COLOMBIAINT93.2018.03>
- Villagra, M. E. (2021). *Intervención del Estado peruano en La Pampa: Un esfuerzo integral pendiente | Centro de Estudios Estratégicos del Ejército del Perú*.
<https://ceeep.mil.pe/2021/05/18/intervencion-del-estado-peruano-en-la-pampa-un-esfuerzo-integral-pendiente/>