

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“APLICACIÓN DE LA FOTOCATÁLISIS
HETEROGENEA PARA LA REMOCIÓN DE
COBRE Y HIERRO EN LOS DRENAJES ACIDOS
DE MINA EN LA ZONA MINERA MICHICUILLAY
2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera de minas

Autora:

Jenny Lisbeth Hernández Becerra

Asesor:

Mg. Julián Díaz Ruiz

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

A mis padres por el apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales económicamente por sus consejos y apoyo incondicional que me brindaron durante este proceso.

Jenny

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarnos en el camino del bien y fortalecernos
espiritualmente y empezar un camino lleno de éxito.

A mi familia por el apoyo incondicional, amor, paciencia y apoyo
incondicional, y comprensión

Jenny

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Realidad problemática	8
1.2. Formulación del problema	19
1.3. Objetivos	19
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	19
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	19
1.4. Hipótesis	20
1.4.1. <i>Hipótesis general</i>	20
1.5. Justificación	21
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	22
2.1. Tipo de investigación.....	22
2.2. Población y muestra.....	22
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	22
2.3.1 Técnicas de análisis de datos	23
2.4. Procedimiento	25
2.5. Aspectos éticos	32
CAPÍTULO III. RESULTADOS	33
3.1. Características fisicoquímicas del agua del drenaje ácido en la zona minera de Michiquillay.....	33
3.2. Comparación de los resultados del análisis de las aguas residuales del drenaje ácido de mina en la zona minera de Michiquillay con los Límites Máximos Permisibles	35
CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	37
4.1. Discusión	37
4.2. Conclusiones.....	38
REFERENCIAS	39
ANEXOS	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Resultado de laboratorio de metales totales de la muestra antes del tratamiento...	33
Tabla 2	Grafico comparativo de resultados de ensayo 1 comparado con los LMP.....	34
Tabla 3	resultados de los metales totales despues de la aplicación de tratamiento ensayos 01,02,03.....	34
Tabla 4	Gráfico comparativo de resultados de los tres ensayos	35
Tabla 5	Comparación de los resultados obtenidos después del tratamiento de las aguas residuales del drenaje ácido de mina con LMP (DS N°010-2010-MINAM).....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mecanismo de activacion foto inducida del dióxido de titanio con presencia de contaminantes.....	10
Figura 2 Procedimiento de reutilizacion del dióxido de titanio.....	11
Figura 3 Formato instrumento 01 – Resultados de ensayos de laboratorio.....	24
Figura 4 Formato instrumento 02 – Limites maximos permisibles.....	24
Figura 5 Coordenadas UTM del punto de muestreo.....	226
Figura 6 Ubicación de campo en Geocatmin.....	27
Figura 7 Toma de muestras y Medicion de Ph.....	27
Figura 8 pH inicial d ela mueysra toma In-Situ.....	28
Figura 9 Caja de aluminio para el tratamiento.....	29
Figura 10 Capsula Pirex para el tratamiento.....	30
Figura 11 Rotacion de Caspsula despues de 6 horas de tratamiento.....	30
Figura 12 Muestras del taratmiento inial y final.....	31
Figura 13 Muestras selladas para enviar a laboratorio.....	31

RESUMEN

La investigación trató de la aplicación de la Fotocatálisis heterogénea para la purificación de aguas residuales en la zona minera de Michiquillay, en la que primero se analizó en el laboratorio regional del agua, la concentración de metales como arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, zinc y pH; del drenaje ácido de mina de Michiquillay. Los resultados se compararon con los LMP (D.S. N° 010-2010-MINAM) donde se pudo observar que la concentración de Cu es 1.247 mg/L, Hierro 19.7 mg/L; asimismo el agua es acida que se reporta con un pH promedio de 4.34 por lo que es necesario realizar tratamiento del agua previo en la etapa de regadío. El tratamiento con fotocatalisis heterogénea por las características del efluente grado de concentración y tipos de contaminantes. En los experimentos, se ubicó el fotorreactor dentro de la caja de papel aluminio en conjunto con el agua a tratamiento en la capsula pírex, se llenó con 1 L del efluente y se agregó TiO₂ (2,0 g/L). Para la evaluación, se muestreo y analizó antes para tomar muestra piloto y después de 3 y 6 horas de tratamiento para su análisis respectivo de metales que sobrepasaron los LMP como el hierro y cobre. A estas condiciones se obtuvo un porcentaje de remoción de Cu fue 66% y del hierro un 87 % en base a los LPM.

Palabras clave: (Drenaje acido, fotocatalisis heterogénea, purificación de aguas)

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En nuestro país actualmente se generan una gran cantidad de drenajes ácidos de mina, en gran parte debido a la minería y es un problema la cual tenemos que prestarle gran importancia. Según Vera (2016) “La contaminación por metales pesados es uno de los problemas ambientales más serios, la industria minera produce gran cantidad de residuos que contienen metales pesados, y estos son expuestos al medio ambiente se debe generalmente por un incorrecto tratamiento de estos mismos. En la zona minera de Michiquillay en Cajamarca, nos encontramos con este problema a causa de que existen labores antiguas que constituyen pasivos ambientales sin remediación, los cuales, en contacto con filtraciones de agua, son descargados a los canales y estos en su mayoría conducen a los ríos y reservorios de consumo de agua para los pobladores; esto nos lleva a un problema para la población de la zona a que consumen dicha agua con metales pesados.

En este sentido se desarrolla la investigación donde se buscar aplicar fotocatalisis heterogénea para la purificación de drenaje ácido en la zona de estudio, como una propuesta de tratamiento de remoción de metales como Cu y Fe.

En los últimos años la fotocatalisis heterogénea es una interesante alternativa para el diseño de sistemas para el tratamiento de aguas (Chavez, 2018).

El tratamiento de las aguas con fotocatalisis se ha incrementado de forma considerable en la última década, en respuesta a la necesaria solución de los

contaminantes atmosféricos, así como los residuos industriales de complejo tratamiento. (Elcoro, 2015, p. 1)

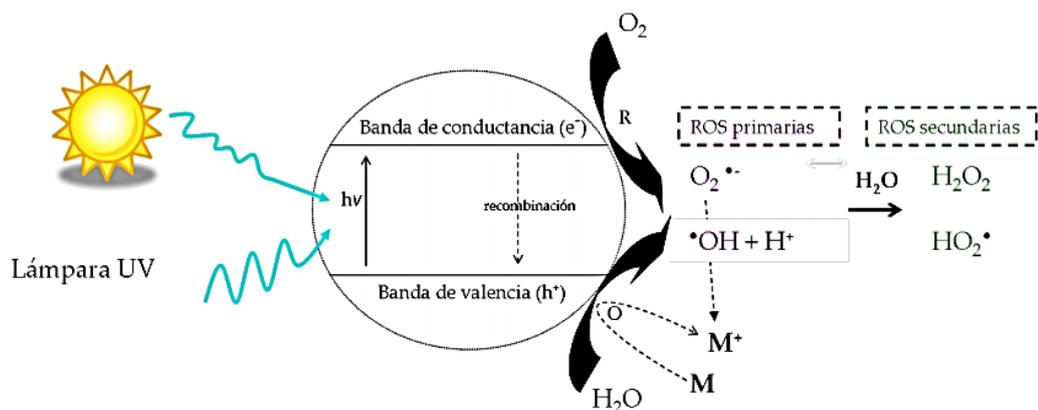
La fotocatalisis heterogénea es la potencial solución para la previsión de agua en el largo término con técnicas como la filtración, el empleo de nanopartículas en catálisis y la desalineación. Más aún, con el desarrollo de la nanotecnología, se pueden potenciar técnicas convencionales usadas en el tratamiento de aguas como la adsorción, floculación y coagulación. Ha sido eficiente usada en el pasado para remediación de aguas subterráneas, en biorremediación, remoción de tintas y en procesos de filtración.

En 2018, Gonzales en su investigación menciona que dependiendo del agua residual que se disponga y de manera general, el proceso de fotocatalisis consiste en aprovechar la energía solar provocando la aceleración de una reacción fotoquímica que da lugar a la remoción de materia orgánica y metales pesados disueltos en las aguas residuales, así mismo la fotocatalisis heterogénea es una nanotecnología capaz de oxidar la materia orgánica disuelta en el agua a tratar. Este proceso se basa principalmente en la reacción Fenton a la que se aumenta la eficiencia mediante iluminación, produciéndose la fotocatalisis de hidróxidos complejos de Fe^{3+} ; el proceso ayuda a la degradación de materia orgánica que contengan cationes metálicos en su estructura; se concluye que el tratamiento con fotocatalisis tiene un amplio intervalo de efectividad en contaminantes, purifica el agua y permite su reciclaje, puede generar aguas potables.

En la última década los avances han permitido desarrollar nuevos productos con base de TiO_2 , que han aumentado su efectividad. El dióxido de titanio en medio acuoso y en presencia de luz solar es capaz de excitarse, con una energía equivalente al salto energético, de esta forma los electrones de la banda de valencia migran a la banda de conducción dejando su correspondiente hueco en la banda de valencia y generándose los denominados pares hueco-electrón ($h^+ - e^-$). La energía necesaria para excitar el dióxido de titanio es de 3,2 V y como consecuencia sólo es capaz de absorber luz ultravioleta ($\lambda < 385$ nm). Los pares hueco-electrón pueden recombinarse o bien desplazarse a la superficie de catalizador. Para que no se produzca la recombinación de los pares $h^+ - e^-$ es importante que exista un oxidante que actúe como aceptor de electrones. Generalmente este papel lo desempeña el O_2 produciéndose el ion superóxido (O_2^-). Por otro lado, moléculas de agua son adsorbidas en los huecos produciéndose radicales hidroxilos. También se puede producir la oxidación de una molécula M (por ejemplo, un contaminante orgánico) adsorbida en los huecos mediante transferencia de electrones, tal y como se muestra en la figura 1. (Escuadra & Gómez, 2016)

Figura 1

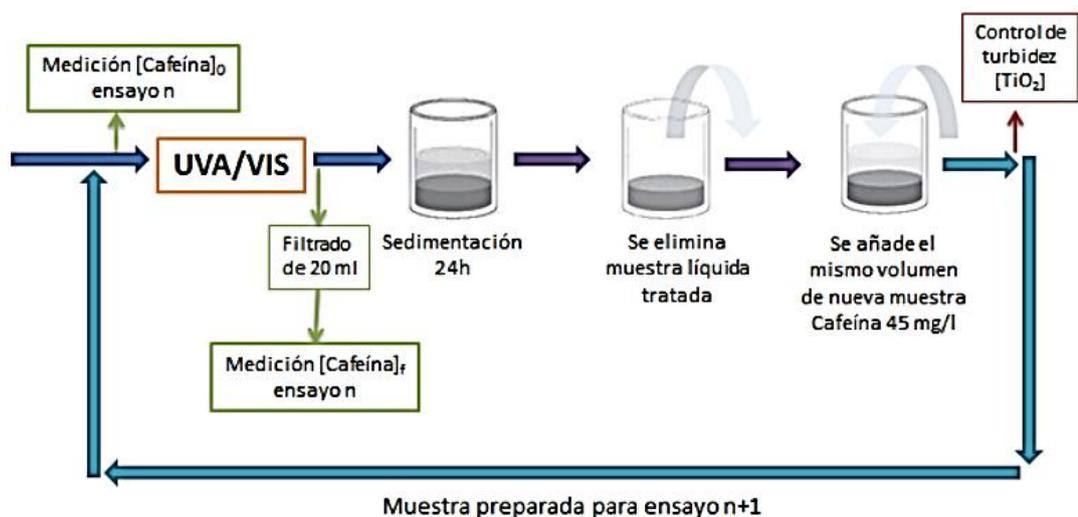
Mecanismo de activación foto inducida del dióxido de titanio con presencia de contaminantes (M)



Nota: Tomado de Oppenländer, 2003.

En los últimos procedimientos experimentales se ha comprobado la posibilidad de la reutilización del TiO_2 , para lo cual se adiciona a las muestras una dosis determinada del dióxido de titanio. El catalizador se mantiene en suspensión mediante agitación magnética continua durante el tratamiento en la cámara solar. En los ensayos de oxidación y desinfección se analizan la influencia de diversas variables de operación como son el tiempo de tratamiento (30-240 minutos), dosis de TiO_2 (0.2 a 0.4 mg/l) Así mismo, en los ensayos de oxidación se analizan además variables como la concentración inicial de contaminante orgánico (30 - 500 mg/l de cafeína), la temperatura y la reutilización del dióxido de titanio. Para evaluar la capacidad de reutilización del dióxido de titanio, se utiliza la concentración de cafeína como parámetro indicador y se sigue el procedimiento descrito en la siguiente figura 2. (Escuadra & Gómez, 2016)

Figura 2 Procedimiento de reutilización del dióxido de titanio



Nota: Tomado de Oppenländer, 2003.

Según Guerra, Higayon 2012 en su investigación da un alcance según sus estudios aplicativos la fotocatalisis da un resultado mayor a la 80% en el tratamiento y purificación de aguas residuales de minería. Por lo que en la presente investigación se trató las aguas residuales de la industria textil artesanal por fotocatalisis heterogénea.

La utilización de energías renovables, especialmente la energía solar, en el tratamiento de aguas residuales es una tecnología limpia. En el tratamiento de aguas residuales por fotocatalisis heterogénea, en 4 horas, se alcanza un porcentaje de degradación promedio de DQO de 86,20% y 57,14%. La fotocatalisis heterogénea, en un día claro o soleado y 4 horas de tratamiento de las aguas residuales textiles artesanales se alcanza una mayor degradación de materia orgánica y decoloración de 86,20% y 93,02%. A estas condiciones se cumple con la concentración establecida por límites permisibles de los efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales. Quiere decir, que la fotocatalisis heterogénea esencialmente necesita mayor tiempo de tratamiento. (Aquino, 2017).

La fotocatalisis heterogénea se aplica como tratamiento principal para aguas de procedencia minero metalúrgicas y aguas residuales de origen doméstico e industrial, permite aprovechar directamente la energía solar que llega a la superficie de la tierra para provocar una serie de reacciones químicas (REDOX), que dan lugar a la eliminación de compuestos orgánicos en las aguas de vertidos urbanos, industriales y agrícolas, lográndose así cambiar el estado de oxidación de los metales pesados, de tal forma que pasan de estar disueltos a una forma insoluble, en presencia de Dióxido

de Titanio (TiO_2) de 0.5 g/L en un tiempo total de 120 min mediante fotocatalisis heterogénea se logró una remoción de 87.4% (Machaca , 2017).

Finalmente tenemos como antecedentes locales en la absorción, el porcentaje con mejores resultados para el mortero foto catalítico fue el que estuvo entre el 3% TiO_2 - 100% A.E. (13.82%) y el de 3% TiO_2 - 90% A.E. (13.05%). Ecuación: $y = -0.8508x + 15.624$, $R^2 = 0.9949$, al utilizar dióxido de titanio de 3 a 4% y agua de 105 a 110% del peso del cemento dosificado se optimizarán las propiedades de absorción, permeabilidad y resistencia a la compresión del mortero autolimpiadle C: A 1:5 con dióxido de titanio mediante fotocatalisis heterogénea (Medina, 2019).

La fotocatalisis es una de las tecnologías nuevas que ha llegado a nuestras vidas, ¿por qué la tecnología de la aplicación de fotocatalisis está revolucionando nuestro día a día? En este sentido, son varios los estudios que demuestran que la fotocatalisis en concreto posee con propiedades morfológicas más pequeñas que un micrómetro en al menos una dimensión, pueden ayudar a resolver los inconvenientes con los que se encuentran los sistemas actuales de tratamiento de las aguas: potabilización, desalinización, desinfección, depuración, etc. Estos estudios se centran, de manera general, en: uso de nanomateriales como adsorbentes, uso de membranas con nanomateriales, uso de nanopartículas catalíticas para fotocatalisis uso de nanomateriales como sensores de la calidad del agua; gracias a su gran área superficial y la reactividad de la superficie, los nanomateriales permiten retener una mayor tasa de contaminantes que los adsorbentes convencionales. Por otra parte, la fijación de nanomateriales a membranas poliméricas permite aumentar la

permeabilidad de las membranas, mejorar su selectividad, y conseguir superficies más resistentes al ensuciamiento (fouling y scaling), reduciendo con ello el consumo de energía. Además, los nanomateriales presentan una alta fotoactividad, destacando las nanopartículas catalíticas de dióxido de titanio, que permiten tasas de degradación de contaminantes superiores a las de los productos catalíticos comerciales. Como sensores, los nanomateriales presentan fascinantes propiedades luminiscentes que permiten su uso como sondas ópticas, presentando una mayor fluorescencia que los sensores tradicionales.

El dióxido de titanio, muestra actividades antimicrobianas superiores que los desinfectantes comúnmente utilizados, permitiendo acabar con aquellos microorganismos no deseados presentes en las aguas. Además, son varios los nanomateriales que muestran altas capacidades de adsorción para retirar del agua metales pesados, aceites, disolventes orgánicos y contaminantes emergentes que en ocasiones escapan de los sistemas actuales de tratamiento. Por otra parte, los nanomateriales también permiten hacer frente al fouling y scaling de las membranas mediante un aumento de la hidrofilia, la permeabilidad y la rugosidad de la superficie. (baltazar, 2015).

La fotocatalisis podrían paliar los problemas del agua si resuelven los retos técnicos que presenta la remoción de contaminantes como bacterias, virus, arsénico, mercurio, pesticidas y sal, muchos investigadores e ingenieros sostienen que las nanotecnologías ofrecen alternativas más económicas, eficaces, eficientes y duraderas, en particular porque el uso de nanopartículas para el tratamiento de aguas

permitirá que los procesos de fabricación contaminen menos en comparación con los métodos tradicionales y porque se necesita menos mano de obra, capital, tierra y energía (Grimshaw, 2019).

Los drenajes ácidos son aquellos cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. La disposición de drenajes ácidos sin tratamiento alguno y las aguas residuales tratadas inadecuadamente contaminan los cuerpos de agua natural. A su vez, por infiltración en el subsuelo contaminan las aguas subterráneas, por lo que se convierten en focos infecciosos para la salud de las poblaciones, así como para la flora y fauna del lugar el Perú genera aproximadamente 2 217 946 m³ por día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado de las EPS Saneamiento. El 32% de estas recibe tratamiento. (OEFA, 2014).

Los drenajes ácidos contienen una gran cantidad de sustancias (químicas, biológicas), que son nocivas o dañinas para el ser humano y que han sido utilizadas o manipuladas de alguna manera por el humano sin importar que su origen sea de características (doméstica, industrial, pecuaria, agrícola o recreativa). Los drenajes ácidos presentan diferentes características Fisicoquímicas las cuales se pueden tener en cuenta para poder tener un manejo del agua para ser tratadas, de acuerdo a esto si no se el buen manejo obedecería a una mala caracterización de las aguas, ya que impide seleccionar correctamente los tratamientos y aplicar criterios adecuados para el diseño. (Miranda & Pulido, 2015)

Las aguas residuales industriales son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras. (OEFA, 2014).

El Oxígeno disuelto es un parámetro fundamental que se contempla en el ecosistema acuático y su valor debería estar por encima de los 4 mg/L para así mismo asegurar la sobrevivencia de los organismos superiores. (Miranda , Pulido, 2015).

La OEFA, (2014) menciona en el Artículo 121°, en el ítem del vertimiento de aguas residuales: El Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.”

Con respecto los drenajes ácidos de mina, se enfoca que los relaves mineros son la principal fuente de contaminación debido a la presencia de metales pesados, que repercuten en el sistema ecológico y en la salud humana; de allí que el objetivo fue tratar las aguas de efluentes mineros-metalúrgicos aplicando métodos activos y pasivos (Rimarachin & Huranga, 2015).

La OEFA ejerce funciones de evaluación, supervisión y fiscalización en lo referido al tratamiento de drenajes ácidos provenientes de las actividades económicas de sectores como la mediana y gran minería, hidrocarburos en general, electricidad, procesamiento industrial pesquero, acuicultura de mayor escala, así como producción de cerveza, papel, cemento y curtiembre de la industria manufacturera. (OEFA, 2014)

Además, la minería utiliza enormes volúmenes de agua en sus procesos y a su vez la contamina de manera irreparable. La actividad minera, produce daños ambientales con efectos nocivos sobre la salud pública. Falta de regulación en el sector minero lo que ocasiona contaminación en ríos y un alto impacto ambiental. (ruta medellin, 2016, p. 15).

La fotocatalisis es el área que se encarga del desarrollo de nuevos procesos sintéticos empleando la luz como fuente de energía. La mayoría de las moléculas no son capaces de absorber en la región del espectro de la luz visible. Los diversos métodos de activación que ofrece la fotocatalisis dan acceso a una gran variedad de transformaciones químicas. Uno de los principales modos de activación de la fotocatalisis es la transferencia de electrones a o desde un fotocatalizador en su estado excitado, dando lugar a aniones o cationes radicales (o radicales neutros cuando los materiales de partida son cationes o aniones), que en ciertos casos van seguidos de la extrusión de un grupo saliente para dar lugar a un radical que inicia la posterior reacción radicalica. Este tipo de procesos se describen como catálisis foto redox. Estos radicales pueden ser generados también mediante el uso de iniciadores en procesos térmicos, por lo que, desde un punto de vista teórico, el fotocatalizador puede ser considerado formalmente como un iniciador de radicales. (Martinez & Leyre, 2018).

Este tipo de procesos se inician siempre con la absorción de un fotón por el fotocatalizador al ser irradiado con luz visible, promocionando un electrón del homo al Lumo y alcanzando así su estado excitado, proporcionándole un potencial redox mayor que en su estado fundamental. Desde el estado excitado existen cuatro mecanismos posibles de transferencia electrónica (Martinez & Leyre, 2018).

Las reacciones del tipo Fenton se basa en la descomposición del peróxido de hidrógeno en presencia de iones Fe^{+2} en medio ácido generando radicales hidroxilos ($OH\cdot$), los cuales poseen un alto poder oxidante (Potencial de oxidación=2.8 V vs. Eh. En la reacción Fenton, sales de hierro reaccionan con peróxido de hidrógeno para generar los radicales hidroxilos. El proceso Fenton ha resultado efectivo para la degradación de compuestos como fenoles, fenoles clorados y formaldehído, además, se ha aplicado exitosamente en la reducción de DQO de aguas municipales y subterráneas y en el tratamiento de lixiviados. Es útil como pre tratamiento de compuestos no biodegradables, ya que disminuye apreciablemente la carga orgánica original, aumentando la biodegradabilidad (Arroyabe, Guitierrez, 2008).

La fotocatalisis heterogénea aprovecha la radiación solar disponible y renovable, y se presenta como una alternativa económica y sencilla. Esta tecnología para degradar y mineralizar colorantes puede abrir una ruta alternativa a los procesos tradicionales de oxidación, debido a las ventajas de la fotocatalisis que son: es el único método que destruye sustancias tóxicas hasta compuestos totalmente inocuos (agua y CO_2), destruye prácticamente cualquier tipo de sustancia orgánica (incluye mezclas

complejas), funciona en el caso de metales pesados, los contaminantes son eliminadas en un único proceso y puede combinarse con cualquier otro proceso como el biológico. (Guitierres,2008)

Este tipo de procesos se inician siempre con la absorción de un fotón por el fotocatalizador al ser irradiado con luz visible, promocionando un electrón del homo al Lumo y alcanzando así su estado excitado, proporcionándole un potencial redox mayor que en su estado fundamental. Desde el estado excitado existen cuatro mecanismos posibles de transferencia electrónica (Martinez y Leyre, 2018).

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera la fotocatalisis heterogénea contribuirá en el tratamiento para la remoción de cobre y hierro en los drenajes ácidos de mina en la zona minera Michiquillay- Cajamarca 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Aplicar la fotocatalisis heterogénea para la remoción de cobre y hierro en los drenajes ácidos de mina en la zona minera Michiquillay, Cajamarca 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de cobre y hierro del drenaje ácido de mina en la zona minera de Michiquillay antes del tratamiento.
- Determinar la concentración de cobre y hierro del drenaje ácido de mina en la zona minera de Michiquillay después del tratamiento.

- Comparar los resultados del drenaje ácido de mina en la zona minera de Michiquillay con los Límites Máximos Permisibles.
- Evaluar el porcentaje de remoción de cobre y hierro después de la aplicación de fotocatalisis heterogénea.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La aplicación de fotocatalisis heterogénea permitirá la remoción de cobre y hierro en el drenaje ácido de mina en Michiquillay- Cajamarca 2021.

1.4.2. Hipótesis específicas.

Al determinar la concentración de cobre y hierro del drenaje ácido de mina en la zona de estudio antes del tratamiento se compara con los LMP para la aplicación de fotocatalisis heterogénea.

Determinar la concentración de cobre y hierro del drenaje ácido de mina en la zona de estudio después del tratamiento y evaluar el porcentaje de remoción.

El uso de fotocatalisis heterogénea mediante la aplicación de TiO_2 permitirá obtener un porcentaje adecuado de remoción de cobre y hierro.

El uso de fotocatalisis heterogénea alcanzara reducir la concentración de cobre y hierro encontrados en el agua tomada de la zona.

1.5. Justificación

La presente investigación está ligada al estudio de preservar el medio ambiente en entornos relacionados con las explotaciones mineras que han llegado a su fin, lo cual ha llevado a la búsqueda de nuevos métodos para la eliminación eficiente de los compuestos químicos que alteran la estabilidad de nuestros recursos, la contaminación del agua es un hecho de gran importancia ya que los contaminantes pueden acumularse y transportarse tanto por las aguas superficiales como subterráneas para las cuales la fuente principal de daño son los drenajes ácidos de mina que si nos enfocamos y analizamos la mayor parte es causa de las grandes minerías, para esto se propone esta nueva tecnología como un tratamiento que elimina contaminantes presente dentro de los drenajes ácidos mediante luz ultravioleta del sol, demostrando que puede ser eficiente y de gran contribución para la industria minera, así mismo es de gran importancia para las comunidades ya que estas consumen agua que contienen cierto grado de metales presentes y ocasionando enfermedades, por eso se presenta la investigación para una propuesta a futuro para dicha comunidad.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es Aplicada, con Diseño Descriptivo, Experimental. La investigación es Aplicada porque según Castro (2016)., la investigación es de tipo aplicada porque se busca adquirir nuevos conocimientos y analizar el procedimiento. La investigación descriptiva busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier fenómeno que sea sometido a análisis. El diseño es la investigación que obtiene datos a través de la experimentación y los compara con variables constantes, a fin de determinar las causas y/o los efectos de los fenómenos en estudio para (Hernandez, 2007; pág. 100). El diseño transversal, es donde se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables e incidencia de interrelación en un momento dado.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Todos los drenajes ácidos de mina generados por los pasivos ambientales ubicados en la zona minera Michiquillay.

2.2.2. Muestra

1 litro de muestra del drenaje ácido de mina generado en el pasivo ambiental bocamina San Luis - Michiquillay (la muestra fue calculada en base al número de pruebas).

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas fueron la observación y la experimentación.

- **Observación Directa**

Con la observación nos permitió visualizar y cerciorarse de la descarga del drenaje acido en el punto tomado Michiquillay – Cajamarca y la constante contaminación hacia un canal de agua potable.

- **Experimentación**

Con la experimentación permitió tomar datos in situ con GPS de las coordenadas de los puntos de muestreo. Utilizando el equipo de medición del pH, a lo cual nos dio como resultados un agua con una acides media de las muestras liquidas en los puntos de muestreo, en el mes de septiembre 2020.

Para las mismas pruebas experimentales de fotocatalisis heterogénea, la técnica utilizada es el test instrumental (metrología). Esencialmente se medirá el pH y se usará espectrofotometría de absorción atómica llevada a cabo en el laboratorio regional del agua para determinar la concentración de Cu y Fe del drenaje acido de Mina Michiquillay, al inicio y final del tratamiento.

2.3.1 Técnicas de análisis de datos

Los resultados de los ensayos de metales, el potencial de Hidrógeno (pH); han sido tabulados e interpretados con gráficos, utilizando el software Microsoft Excel. Para organizar la información de los resultados obtenidos del análisis en laboratorio se utilizó formatos de tablas, los cuales se consideran como instrumentos adaptados según el tipo de información.

Figura 3

Formato Instrumento 01 - Resultados de ensayos de laboratorio

Parámetro	Unidad	Informe de Ensayo N° IE 1020473		Informe de Ensayo N° IE 0920412	Promedios
		1020473-01	1020473-02	0920412-01	
Arsénico (As)	mg/L				
Cadmio (Cd)	mg/L				
Cromo (Cr)	mg/L				
Cobre (Cu)	mg/L				
Hierro (Fe)	mg/L				
Plomo (Pb)	mg/L				
Zinc (Zn)	mg/L				
° pH a 25 °c	mg/L				

Nota: Adaptado del formato del laboratorio regional y modificado de acuerdo al problema de estudio.

Figura 4

Formato Instrumento 02 - Límites Máximos Permisibles

Parámetro	Unidad	Promedios	LMP para descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas (D.S. N° 010-2010- MINAM)
Arsénico (As)	mg/L		0.100
Cadmio (Cd)	mg/L		0.050
Cromo (Cr)	mg/L		0.100
Cobre (Cu)	mg/L		0.500
Hierro (Fe)	mg/L		2.000
Plomo (Pb)	mg/L		0.200
Zinc (Zn)	mg/L		1.500
° pH a 25 °c	mg/L		6 - 9

Nota: Adaptado de acuerdo al problema de estudio.

Los resultados de las pruebas desde el inicio y término de la aplicación de fotocatalisis heterogénea serán tabulados e interpretados con gráficos, utilizando el software Microsoft Excel. Para el análisis y resumen de datos

cuantitativos, se utilizarán medidas de Tendencia Lineal, que fue calculado con el Excel, así mismo también se presentara el porcentaje de remoción de metales como Cu y Fe.

2.4.Procedimiento

- **Primera etapa: Gabinete**

Se realizaron los estudios previos de investigaciones sobre la aplicación del método de fotocatalisis heterogénea, para lo cual se recurrió a bibliotecas y repositorios virtuales de las distintas universidades Nacionales e Internacionales, además se seleccionó información relevante acerca de los diferentes tratamientos de nanotecnología haciendo el uso de fotocatalisis heterogénea y se analizó la información del análisis de laboratorio correspondiente a la muestra en tres etapas al inicio, medio y final con el fin de determinar si es factible el estudio realizado.

- **Segunda etapa: Toma de datos Campo**

Se realizó la toma de muestras de acuerdo al protocolo del decreto supremo N.º 002-2008 del MINAM, del drenaje ácido de mina en la zona minera Michiquillay- Cajamarca, de la antigua labor encontrada en la zona donde constantemente se observa el flujo de agua que contamina a ríos y quebradas de la zona, lugar donde se realizó la toma preliminar de medición del potencial de Hidrógeno (pH), con cintas MERCK. Durante el recojo de muestras se observó el color a simple a vista presentando óxidos como también la posas que se observan donde hay presencia de metales pesados, se elaborara una maqueta para pruebas piloto analizar para obtener datos para definir si el método es eficiente.

Inicialmente se realizó a toma de coordenadas del punto en el que se seleccionó para realizar el muestreo.

Figura 5

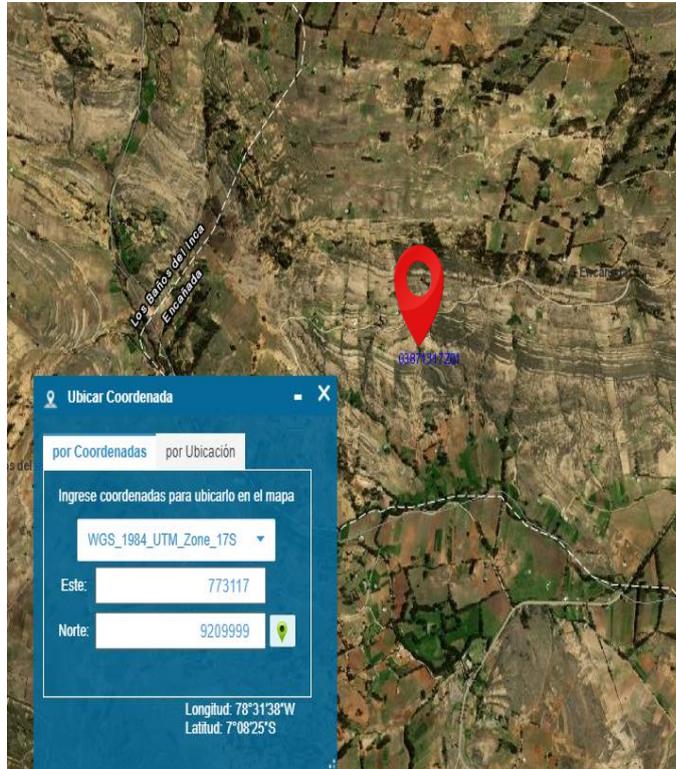
Coordenadas UTM del punto de muestreo



Nota: Coordenadas del punto de muestro

Figura 6

Ubicación de campo en Geocatmin



Nota: Tomado de Google Maps.

Figura 7

Toma de muestras y medición de pH



Nota: Toma de muestras de pH.

Figura 8

pH inicial de la muestra tomada In - Situ



Nota: de las pruebas de campo

Los materiales o reactivos que se utilizaron son: TiO_2 , papel de filtro, un embudo, un matraz de 250 ml, un tanque de almacenamiento, un recipiente de vidrio, un agitador manual, un medidor de nivel y diversos accesorios para las conexiones.

- **Tercera etapa: Controles de pH, calibración de equipos**

Para la medición de pH, antes de leer las muestras, el pH metro digital se debe colocar en un vaso con una solución amortiguadora que tiene pH 7. Luego en un vaso de precipitado se vacía un volumen de 50 ml de cada solución de cada columna, se introduce el electrodo en la muestra de tal manera que no toque el fondo, agitando el electrodo, se realiza la medición anotando las lecturas de pH en el display del equipo. Para una adecuada medición del pH, se recomienda calibrar el pH metro con soluciones buffer 4,7y 10, ajustando el pH en el equipo.

La calibración debe hacerse antes de realizar cualquier medición al inicio de la jornada. Para el control del pH en las pruebas ejecutadas, estas mediciones se realizaron semanalmente.

Los certificados de calibración de estos equipos no existen porque son de uso manual y no computarizados, y no son registrados en archivo por la empresa minera en estudio donde se realizaron las pruebas.

- **Cuarta etapa: Aplicación del tratamiento**

Se preparó la capsula pírex de litro, la lampara ultravioleta, una caja cerrada de papel aluminio para evitar que se escape la radiación y también se hace la medición del dióxido de titanio en polvo se lleva a cabo en una balanza analítica tomándose como total 2 gramos.

Figura 9

Caja aluminio para tratamiento



Nota: Elaboración propia.

Se prepara 1 litros del total de muestra para el análisis inicial donde se obtendrá la muestra de control se tendrá el resultado de metales totales para proceder con el tratamiento.

Se agrega el dióxido de titanio 2 gramos por litro se agita.



Después de la aplicación de dióxido de titanio a la muestra se agrega a la capsula pírex.

Figura 10

Capsula pírex para el tratamiento



Se lleva la capsula pírex a la caja cerrada de papel aluminio y se expone a la radiación ultravioleta mediante la lámpara.

Se realiza una rotación de sistema cada hora mediante un agitador manual.

Figura 11

Rotación de capsula después de 6 horas de tratamiento.



Se toma la muestra N°1 después de 3 horas de interacción, una cantidad inicial de 50 ml en un frasco sellado para enviar al laboratorio.

Figura 12

Toma de muestras inicial y final



Se toma después de 6 del inicio del procedimiento la muestra N° 2, en un frasco sellado para enviar a laboratorio.

Figura 13

Muestras selladas para enviar a laboratorio



- **Quinta etapa: Post tratamiento.**

Se obtuvo la muestra y se envió al laboratorio (ver anexo 01) para analizar si había presencia de metales pesados para poder disolver con el método de fotocatalisis heterogénea presentando una cantidad fuera de los límites permisibles en los resultados obtenidos.

Al aplicar el método y se evaluó el procedimiento se tomó la primera muestra el 08/10/20 a las 2:00 pm, la siguiente muestra se tomó el 08/10/20 a las 5:00 pm para

poder analizar datos y comparar con la primera muestra analizando los límites permisibles de acuerdo al D.S. N° 004-2017.MINAM.

2.5. Aspectos éticos

La presente investigación se realizará de acuerdo al formato establecido por la Universidad Privada del Norte, por ello la investigación está sujeta a cumplir la normatividad institucional que rigen una investigación como derechos de autor, también se considera revelar las fuentes y hallazgos informativos considerados para el presente trabajo como las citas respectivas de las investigaciones encontradas para evitar plagio, brindar información abierta y completa en beneficio de la comunidad científica, cuyos resultados serán mostrados y compartidos para nuevas y futuras investigaciones con el fin de algún momento se mejore el método aplicado o sea más eficiente con nuevas tecnologías futuras, presentar un contenido entendible de todo el trabajo, recalcando metodología, análisis e interpretación de resultados, se orienta a la ética medioambiental, así mismo todas las muestras fueron tomadas y cubiertas cualquier costo de la tesista, debido a que se basa en la relación entre el ser humano – naturaleza, para que reflexionemos acerca de las acciones negativas que estamos llevando a cabo, además de incentivar este tipo de investigaciones para informar, conocer, y sea de ayuda en la minería para tratar aguas residuales ocasionadas por sí mismo y evitar conflictos sociales a causa de esto, además el uso de datos confiables obtenidos por un laboratorio debidamente acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL-DA con registro N° LE-084, así mismo las muestras fueron tomadas personalmente y siguiendo los protocolos establecidos para asegurar que sean representativas para el trabajo de investigación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Características fisicoquímicas del agua del drenaje ácido en la zona minera de Michiquillay

En a tabla 1 se presentan los resultados de las características físico químicas de las muestras del DAM ubicado en Michiquillay.

Tabla 1

Resultados de laboratorio metales totales de la muestra antes del tratamiento.

Parámetro	Unidad	Informe de	LMP
		Ensayo N° IE 0920412 0920412-01	
Cobre (Cu)	mg/L	1.247	0.2
Hierro (Fe)	mg/L	19.7	1.0
° pH a 25 °c	mg/L	4.5	6.0 - 8.5

Nota: Laboratorio Regional del Agua Gobierno Regional Cajamarca.

En la tabla 01 se observa que en el ensayo realizado el parámetro con los valores más superiores es el Cu mg/L, 8.318 mg/L y Fe 19.7 mg/

Tabla 2

Gráfico comparativo de resultados del ensayo 01 comparado con los limites permisibles.

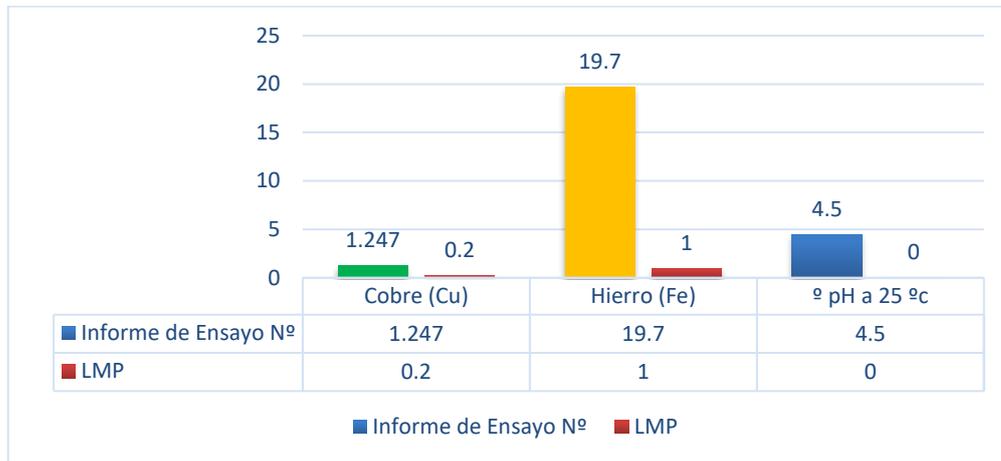
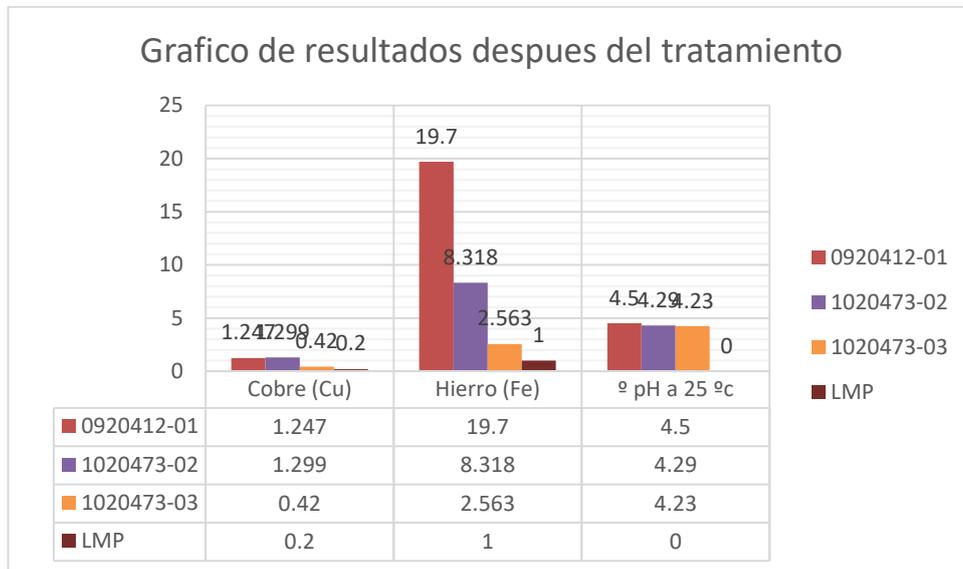


Tabla 3

Resultados de laboratorio metales totales después de la aplicación de tratamiento de los 3 ensayos.

Parámetro	Unidad	Informe de Ensayo N°			LMP
		Informe de Ensayo N°			
		IE 0920412	IE 1020473		
		0920412-01	1020473-02	1020473-03	
Cobre (Cu)	mg/L	1.247	1.299	0.42	0.2
Hierro (Fe)	mg/L	19.7	8.318	2.563	1
° pH a 25 °c	mg/L	4.5	4.29	4.23	6-8.5

Tabla 4 Gráfico comparativo de resultados de los ensayos 01, 02 y 03



Nota: Elaboración propia.

Las características de las aguas de drenaje ácido de mina de Michiquillay, en comparación de las mediciones realizadas, presentan una reducción de 0.827 mg/L en Cobre, 17.137 mg/L en Hierro y un pH de 4.23. Actualmente, con estas características se dice que el tratamiento si es eficaz.

3.2. Comparación de los resultados del análisis de las aguas residuales del drenaje ácido de mina en la zona minera de Michiquillay con los Límites Máximos Permisibles

A continuación, se presentan los resultados del análisis de laboratorio de las aguas residuales del DAM en la zona minera de Michiquillay con los límites Máximos Permisibles establecidos en la normativa peruana.

Tabla 5 Comparación de los resultados obtenidos después del tratamiento de las aguas residuales del drenaje ácido de mina con LMP (DS N°010-2010-MINAM)

Parámetro	Unidad	Resultados obtenidos	LMP para descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas (D.S. N° 010-2010-MINAM)
Cobre (Cu)	mg/L	0.42	0.2
Hierro (Fe)	mg/L	2.563	1.0
° pH a 25 °C	mg/L	4.23	6.0 - 8.5

Nota: Datos de laboratorio.

Según se muestra en la Tabla 2, el resultado de los análisis de laboratorio realizado en el laboratorio regional del agua de Cajamarca, las muestras recolectadas de las aguas residuales del drenaje ácido de mina de Michiquillay, revelan que esta agua es acida (pH=4.34) y están por debajo de los LMP; asimismo están contaminadas por la presencia de Cobre y Hierro; por lo que es necesario realizar tratamiento del agua previo al consumo humano.

CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

4.1. Discusión

De los resultados obtenidos del monitoreo realizado en las aguas residuales del drenaje ácido de mina en la zona minera de Michiquillay, se concluye que los contaminantes por metales pesados en las tres muestras, sólo el Cu y el Fe sobrepasan los LMP y el pH en este punto de monitoreo es ácida con un valor final de 4.5

Estos resultados de la investigación permiten apoyar lo señalado con Hinojosas (2002), el cuál reveló indicios de contaminaciones parcialmente en la zona de escombreras de San Quintín Este y proximidades. Comparando los valores de pH y conductividad, se aprecia que generalmente las aguas más ácidas presentan mayor conductividad y por tanto mayor contenido en sales. Los valores más altos en metales pesados se encontraron en muestras de agua procedentes de las escombreras (pH más bajos), a excepción del Pb que presenta mayor concentración en muestras con pH más altos; y los valores más bajos se obtuvieron en muestras de agua de zonas más alejadas de las escombreras (a mayor distancia menor concentración en metales).

Con el tratamiento de fotocatalisis heterogénea se tienen valores de concentración de Cu es 0.42mg/L, Hierro 2.563 mg/L en el agua, además un porcentaje de remoción de Cu fue 66% y del hierro un 87 %.

4.2. Conclusiones

- Se concluye que se aplicó la fotocatalisis heterogénea para la remoción de cobre y hierro en el drenaje ácido de mina Michiquillay Cajamarca 2021.
- Se determinó la concentración inicial de Cu es 1.247 mg/L, Hierro 19.7 mg/L en el agua del drenaje ácido de mina de Michiquillay; asimismo el agua es ácida que se reporta con un pH de 4.25 de acuerdo al resultado obtenido en el análisis de laboratorio, por lo que es necesario realizar tratamiento del agua previo al consumo humano.
- Se concluye que después de aplicar el tratamiento de fotocatalisis heterogénea la concentración de Cu es 0.42mg/L, Hierro 2.563 mg/L en el agua del drenaje ácido de mina de Michiquillay; asimismo el agua es ácida que se reporta con un pH de 4.5 por lo que el tratamiento si es factible.
- El agua tratada con la aplicación de fotocatalisis heterogénea, es un tratamiento que es factible ya que se redujo en 6 horas la concentración de Cu un 0.42 mg/l que comparado con los LMP debería ser de 2 y de Fe es de 2.563mg/l. que al comparar con los LMP debería ser 1 lo cual se puede explicar que si hay un gran porcentaje de remoción.
- Finalmente concluimos que el porcentaje de remoción de Cu fue de 82.7 % y la Fe se logró 86.98 % así podemos decir que el método es eficiente.

REFERENCIAS

- Aquino, A. (2017). Tratamientos de aguas residuales por fotocatalisis homogénea y heterogénea. *Tratamiento de aguas residuales*. Huancayo, Perú: repositoria uncp. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4606/Aquino%20Tacza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Baltazar. (2015). nanotecnología para el tratamiento de aguas. peru. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/baltasar-penate/nanotecnologia-tratamiento-aguas>
- Chavez, G. A. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales, ventajas y desventajas*. la paz, estado plurinacional de bolivia, Bolivia: Selva Andina. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v9n1/v9n1_a05.pdf
- Elcoro, A. (2015). OPTIMIZACIÓN DE LA APLICACIÓN DE NANOPARTICULAS FOTOCATALITICAS EN MORTEROS. *Nanotecnología*. BARCELONA, ESPAÑA: UPC COMMONS. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26094/TFM-Ander-Elkoro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Escuadra, S., & Gómez, J. (2016). *Aplicación de nano-fotocatálisis con TiO₂ como tratamiento final de agua de salida de depuradora*. España: Universidad de Zaragoza.
- Fundación tecnológica. (abril de 2016). *boletín minero*. Obtenido de http://www.fundaciontecnologica.cl/sonami/wp-content/uploads/2017/05/Art%C3%ADculo-FT-Boletín-Minero-1298_2016_04.pdf
- Gonzales, M. (febrero de 2018). descontaminación y desinfección de aguas residuales mediante tecnología electroquímica. *electroquímica*. Mexico: conacyt. Obtenido de

descontaminación%20y%20desinfección%20de%20aguas%20residuales%20mediante%20tecnología%20electroquímica_rees.pdf

Guerra, A. A., & Hiyagon Arroyo, G. V. (2012). Tratamiento de aguas aplicando nanotecnología. *Scielo*. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3362>

Lopez, M. (2015). Adsorción de arsénico y fluoruros en Nanopartículas y su posterior separación del agua tratada. *Nanopartículas*. Chihuahua, Chic, Mexico: cimav repositorio institucional. Obtenido de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/516/1/Tesis%20Miriam%20Zsazsa%20L%C3%B3pez%20Paraguay.pdf>

Lu, F., & Astruc, D. (2018). *Nanomaterials for removal of toxic elements from water*. *Coord Chem Rev*.

Machaca, D. (2017). remoción de cianuro de aguas residuales minero metalúrgicas por procesos de oxidación avanzada y fotocatalisis solar. Puno, Peru: repositorio unap. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/8803/Machaca_Machacca_David_Eloy_Yana_Hanco_Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Martinez, R., & Leyre, M. (2018). *Breve introducción a la fotocatalisis heterogénea*. España: Anales de química. Obtenido de <http://analesdequimica.com/114-3/1143-fotocatalisis.pdf>

Medina, E. (2019). Optimización de las propiedades físico – mecánicas del mortero autolimpiante con dióxido de titanio. Cajamarca, Peru. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3791/OPTIMIZACION%20DE%20LAS%20PROPIEDADES%20FISICO-MECANICAS%20DEL%20MORTERO%20AUTOLIMPIANTE%20CON%20DIOXIDO%20DE%20TITANIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ruta Medellín. (2016). potencia la innovación. españa. Obtenido de https://www.rutanmedellin.org/images/biblioteca/observatoriocti/05_TECNOLOGIAS_HABILITANTES/VT_NANOTECNOLOGIA-AGUAS_ITM.pdf

Vera, L., Uguña, M., Garcia, N., Florez, M., Vasquez, V., & Aloma, I. (6 de marzo de 2016). Desarrollo de materiales sorbentes para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales mineras. *Dialnet*, 135-139. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=6409>

ANEXOS

Anexo N° 01: Informe de ensayos del Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 0920412

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	JENNY LISBETH HERNANDEZ BECERRA		
Dirección	-		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	hernandezbecerrajenny@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	23.09.20	Hora de Muestreo	07:00
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	01		
Ensayos solicitados	Químicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación		
Referencia de la Muestra:	MICHQUILLAY		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC - 666	Cadena de Custodia	CC - 412 - 20
Fecha y Hora de Recepción	23.09.20 10:57	Inicio de Ensayo	23.09.20 12:00
Reporte Resultado	02.10.20 11:00		

INFORME DE ENSAYO N° IE 0920412

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			Fuente de drenaje ácido-Michiquillay	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			0920412-01	-	-	-	-	-
Matriz			RESIDUAL	-	-	-	-	-
Descripción			Industrial	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Michiquillay	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.025	<LCM	-	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.044	1.165	-	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.007	<LCM	-	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.052	<LCM	-	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.005	0.017	-	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.183	5.576	-	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.004	0.002	-	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.003	0.007	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.026	1.247	-	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.035	19.70	-	-	-	-	-
Mercurio (Hg)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.062	1.067	-	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.033	1.958	-	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.005	0.067	-	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.003	0.004	-	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.081	1.687	-	-	-	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.006	<LCM	-	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.044	0.408	-	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	0.008	-	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.023	<LCM	-	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.137	7.223	-	-	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.007	<LCM	-	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.005	0.030	-	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.028	0.047	-	-	-	-	-
Ceño	mg/L	0.004	0.009	-	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Cajamarca, 02 de Octubre de 2020.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 1020473

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	JENNY LISBETH HERNANDEZ BECERRA		
Dirección	-		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	hernandezbecerrajenny@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	08.10.20	Hora de Muestreo	08:27 a 14:14
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	02		
Ensayos solicitados	Físicoquímico		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación		
Referencia de la Muestra:	MICHICQUILLAY		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC - 713	Cadena de Custodia	CC - 473 - 20
Fecha y Hora de Recepción	09.10.20 11:29	Inicio de Ensayo	09.10.20 11:45
Reporte Resultado	20.10.20 11:20		

INFORME DE ENSAYO N° IE 1020473

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			T1	T2	-	-	-	-
Código Laboratorio			1020473-01	1020473-02	-	-	-	-
Matriz			RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	-
Descripción			Industrial	Industrial	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Michiquillay	Michiquillay	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.019	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.023	0.357	1.140	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.026	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.004	0.008	0.014	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.124	6.721	7.003	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	0.002	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.018	0.420	1.299	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.023	2.563	8.318	-	-	-	-
Mercurio (Hg)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.051	0.622	0.983	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.019	1.107	1.880	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.003	0.022	0.058	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.026	1.866	2.102	-	-	-	-
Niquel (Ni)	mg/L	0.006	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.024	0.071	0.144	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.104	3.896	6.001	-	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.007	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.003	0.045	0.041	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.018	<LCM	0.049	-	-	-	-
Cerio	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	-	-	-	-

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

INFORME DE ENSAYO N° IE 0920412

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra	Fuente de drenaje ácido- Michiquillay		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0920412-01		-	-	-	-	-	-
Matriz	RESIDUAL		-	-	-	-	-	-
Descripción	Industrial		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Michiquillay		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.025	<LCM	-	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.044	1.165	-	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.007	<LCM	-	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.032	<LCM	-	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.005	0.017	-	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.193	5.576	-	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.004	0.002	-	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.003	0.007	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.026	1.247	-	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.035	19.70	-	-	-	-	-
Mercurio (Hg)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.062	1.067	-	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.033	1.958	-	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.005	0.067	-	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.003	0.004	-	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.081	1.687	-	-	-	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.006	<LCM	-	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.044	0.408	-	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	0.008	-	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.137	7.223	-	-	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.007	<LCM	-	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.005	0.030	-	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Taio (Tl)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.026	0.047	-	-	-	-	-
Cerio	mg/L	0.004	0.009	-	-	-	-	-

Legenda: LCM Límite de Cuantificación del Método, veir <LCM significa que la concentración del analito es mínima (traza)

Cajamarca, 02 de Octubre de 2020.