

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DE PERÓXIDO DE
HIDRÓGENO Y TIEMPO DE AGITACION SOBRE LA CANTIDAD
TOTAL DE CIANURO LIBRE EN AGUAS DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE ORO, CAJAMARCA 2020**

Bach. Leonor Angélica Chávez Salazar

Bach. Milagros Marleni Villanueva Alaya

Asesor: Dr. Persi Vera Zelada

Cajamarca – Perú

Octubre – 2020

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



**Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de
Riesgos**

**INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DE PERÓXIDO DE
HIDRÓGENO Y TIEMPO DE AGITACIÓN SOBRE LA CANTIDAD
TOTAL DE CIANURO LIBRE EN AGUAS DE PLANTA DE
TRATAMIENTO DE ORO, CAJAMARCA 2020**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar
el Título Profesional de Licenciado en Ingeniería Ambiental y Prevención
de Riesgos

**Bach. Leonor Angélica Chávez
Salazar**

Bach. Milagros Marleni Villanueva Alaya

Asesor: Dr. Persi Vera Zelada

Cajamarca – Perú

Octubre – 2020

COPYRIGHT © 2020 by LEONOR ANGÉLICA

CHAVEZ SALAZAR MILAGOS MARLENI

VILLANUEVA ALAYA

Todos los derechos reservados

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL

INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO
Y TIEMPO DE AGITACIÓN SOBRE LA CANTIDAD TOTAL DE
CIANURO LIBRE EN AGUAS DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE ORO,
CAJAMARCA 2020

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

Dedicatoria

A mis padres, que son pilares fundamentales en mi vida que con su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo de seguir.

Leonor Angélica Chávez Salazar

A mis padres por mostrarme el camino hacia la superación, por su amor y apoyo en todos estos años por sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mis hermanas, por su apoyo, cariño y por estar en los momentos más importantes de mi vida.

Milagros Marleni Villanueva Alaya.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios por bendecirnos en todo momento, guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, apoyarnos en todo momento, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la carrera profesional ingeniería ambiental y prevención, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión. De manera especial al Dr. Persi Vera Zelada, asesor de nuestra tesis quien con su experiencia, conocimientos y motivación nos guio para realizar correctamente nuestro trabajo de investigación.

Resumen

Las plantas procesadoras de oro emiten efluentes con características altamente peligrosas para el hombre y su medio ambiente, debido a su gran contenido de sustancias tóxicas, entre ellas, el Cianuro. Cajamarca no resulta ajena a esta realidad, pues se conoce su elevado potencial extractivo; sin embargo, el tratamiento que reciben estas aguas es costoso, genera subproductos, gases y no asegura la calidad estándar requerida sobre el preciado recurso. Es por ello, que se propone el uso de Peróxido de Hidrógeno como alternativa frente al actual proceso de destrucción del Cianuro aplicado en nuestra ciudad; pues se trata de un potente oxidante, cuyas propiedades no resultan corrosivas para la salud ni el entorno. Se planteó como problema de investigación ¿En qué medida influye la dosificación del peróxido de hidrogeno sobre el contenido total de cianuro libre en aguas de planta de tratamiento de oro en la ciudad de Cajamarca, 2020?, como objetivo General: Determinar la influencia de la dosificación de peróxido de hidrógeno y tiempo de agitación sobre el contenido total de cianuro libre en aguas de planta de tratamiento de oro. El tipo de investigación cuantitativo de diseño experimental, la muestra fue de 30 litros de efluentes líquidos de las aguas de las escorrentías del río Llaucano, se acondicionó la prueba de jarras (Jar Test) con 3 vasos de precipitación y se programó para una velocidad de agitación de 360 RPM, así mismo para la contrastación de la hipótesis se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) factorial medidas repetidas. El tratamiento que más cianuro removió fue el que se realizó con de 2 ml de peróxido de hidrógeno con 255 minutos de agitación a una velocidad de 360 RPM removiendo hasta llegar a un total de 17,05 ppm de cianuro total de 130.2 ppm de contenido inicial, removiendo hasta 113.15 ppm en promedio; esto representa una remoción del 86.9 %. Se concluye que la dosificación de peróxido de hidrógeno y tiempo de agitación influyen significativamente sobre el contenido total de cianuro libre en aguas de planta de tratamiento de oro.

Palabras clave: Peróxido de Hidrógeno, Cianuro, tratamiento del oro.

Abstract

Gold processing plants emit effluents with highly dangerous characteristics for man and his environment, due to their high content of toxic substances, including cyanide. Cajamarca is no stranger to this reality, as its high extractive potential is known; however, the treatment that these waters receive is expensive, generates by-products, gases and does not ensure the standard quality required of the precious resource. That is why the use of Hydrogen Peroxide is proposed as an alternative to the current cyanide destruction process applied in our city; because it is a powerful oxidant, whose properties are not corrosive to health or the environment. The research problem was raised: To what extent does the dosage of hydrogen peroxide influence the total content of free cyanide in water from the gold treatment plant in the city of Cajamarca, 2020?, as a general objective: Determine the influence of the Hydrogen peroxide dosage and depression time on the total content of free cyanide in gold treatment plant water. The type of quantitative research of experimental design, the sample was 30 liters of liquid effluents from the runoff waters of the Llaucano River, the Jar Test was conditioned with 3 beakers and was programmed for a speed of confounding of 360 RPM, likewise for the verification of the hypothesis, the analysis of variance (ANOVA) factorial repeated measures was extracted. The treatment that removed the most cyanide was the one that was carried out with 2 ml of hydrogen peroxide with 255 minutes of anguish at a speed of 360 RPM, stirring until reaching a total of 17.05 ppm of total cyanide of 130.2 ppm of content. initial, removing up to 113.15 ppm on average; this represents a removal of 86.9%. It is concluded that the dosage of hydrogen peroxide and the time of alteration significantly influenced the total content of free cyanide in water from the gold treatment plant.

Keywords: Hydrogen Peroxide, Cyanide, gold treatment.

INDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE TABLAS	X
GRÁFICOS	XI
LISTA DE FIGURAS	XII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1. Planteamiento del problema	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Definición del problema	2
1.3. Objetivos	2
1.4. Justificación e importancia	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	3
2. Fundamentos teóricos de la investigación	3
2.1. Antecedentes teóricos	3
2.2. Marco teórico	6
2.3. Discusión teórica	13
2.4. Definición en términos básicos	13
2.5. Marco conceptual	14
2.6. Hipótesis de la investigación	15
2.7. Operacionalización de las variables	17
CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	18
3.1. Tipo de investigación	18
3.2. Diseño de investigación	18
3.3. Área de investigación	19
3.4. Población	21
3.5. Muestra	21
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21
3.7. Materiales, instrumentos y métodos	23
3.8. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	24
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1. Resultados	26
En la Tabla 6 se aprecia que, con un volumen de 1.0 ml de H ₂ O ₂ , el mayor porcentaje de degradación del efluente cianurado que se obtiene es de 86.44 %, en un tiempo de 255 minutos.	35
En la Tabla 7 se aprecia que, con un volumen de 2.0 ml de H ₂ O ₂ , el mayor porcentaje de degradación del efluente cianurado que se obtiene es de 87.5 % con un pH de 10.5 en un tiempo de 255 min.	37
Estos datos expuestos se proceden a plasmarlos en la siguiente gráfica (figura 7).	37
Análisis e interpretación de resultados	39
4.2. Discusión de Resultados	42
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
5.1. Conclusiones	44
5.2. Recomendaciones	44
REFERENCIAS	45
LISTA DE ABREVIATURAS	50
ANEXOS	51



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Registro del agua tratada del punto 1 –Puente Hualgayoc con una dosis de H ₂ O ₂ 1.0ml	38
Tabla 2. Registro del agua tratada del punto 1 –Puente Hualgayoc con una Dosis de H ₂ O ₂ 2.0 ml	40
Tabla 3: Registro del agua tratada del punto 2 –Intersección del Río Llaucano y Hualgayoc con una Dosis de H ₂ O ₂ de 1.0 ml.	42
Tabla 4. Registro del agua tratada del punto 2 –Intersección Río Llaucano y Hualgayoc con una Dosis de H ₂ O ₂ de 2.0 ml.	44
Tabla 5 Registro del agua tratada del punto 3 –Puente Principal con una Dosis de H ₂ O ₂ de 1.0 ml.	46
Tabla 6. Registro del agua tratada del punto 3 –Puente Principal con una Dosis de H ₂ O ₂ de 2.0 ml.	48
Tabla 7 Tabla de datos del punto 3 para trabajar en ANOVA.	50

GRÁFICOS

Gráfica 1: Mapa de Ubicación de los Monitoreos realizados en el río Hualgayoc- Llaucano, provincia de Hualgayoc	30
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Propiedades de los Productos estándares de Peróxido de Hidrógeno	34
Figura 2. Dispersión de CN Libre con una dosis de 1.0 ml de H ₂ O ₂ de la muestra tomada en el Puente Hualgayoc.	39
Figura 3. Dispersión de CN Libre con una dosis de 2.0 ml de H ₂ O ₂ de la muestra tomada en el Puente Hualgayoc	41
Figura 4. Dispersión de CN Libre con una dosis de 1.0 ml de H ₂ O ₂ de la muestra tomada en la intersección Río Llaucano y Hualgayoc.	43
Figura 5. Dispersión de CN Libre con una dosis de 2.0 ml de H ₂ O ₂ de la muestra tomada en la intersección Río Llaucano y Hualgayoc	45
Figura 6. Dispersión de CN Libre con una dosis de 1.0 ml de H ₂ O ₂ de la muestra tomada en el Puente Principal.	47
Figura 7. Dispersión de CN Libre con una dosis de 2.0 ml de H ₂ O ₂ de la muestra tomada en el Puente Principal.	49

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción de la realidad problemática

El sector minero es considerado como una de las actividades extractivas más importantes que determinan el desarrollo del país, pues se caracteriza por tener una amplia diversidad de recursos minerales metálicos y no metálicos. Asimismo, el auge de la minería trajo consigo grandes problemas que se ven ligados actualmente al sector económico y sobre todo medioambiental. (Dammert & Aristondo, 2007).

El Perú ocupa el primer lugar en producción de oro a nivel de Latinoamérica (Minero, 2020). La presente tesis se ha realizado en la zona de Hualgayoc, el cual está ubicado en el departamento Cajamarca, se encuentra a una altitud de 3500 m.s.n.m. Asimismo, ocupa el segundo lugar con mayor número de pasivos ambientales mineros a nivel nacional y a nivel de cuencas, la del Llaucano como la segunda más afectada a nivel nacional; con 1,080 pasivos mineros identificados en toda la cuenca del Llaucano. Además, también están afectados los ríos Tingo-Maygasbamba, Hualgayoc-Arascorgue. (Echeva, 2019).

En el siglo XXI, el precio del oro empezó a tener mayor demanda (...), junto con ello la producción de Oro. (Gonzalez, 2020). Este desarrollo trajo grandes ventajas y desventajas, las cuáles se ven reflejadas actualmente en el sector minero y ambiental. Existen diversos entes reguladores, organismos de Evaluación y Fiscalización Ambiental, tales como la OEFA, MINAM y otras entidades, que buscan controlar y mitigar los impactos generados por la industria minera. (MINAM, 2008)

Otro de los grandes problemas que afectan al Perú es la minería informal e ilegal, generando problemas socioambientales, (...) tales como, la sobreexplotación de los recursos, el manejo y tratamiento inadecuado de los mismos, las que son vertidas al medio ambiente sin previo tratamiento alguno. (Gonzalez, 2020).

Cabe resaltar que para la producción del oro se hace uso del Cianuro, pues se caracteriza por ser tóxico para el medio ambiente. Se necesita urgentemente una solución rápida, rentable y respetuosa con el medio ambiente, (...) generadas por la extracción de oro. (Claudia, María, & J, 2020).

Los métodos químicos convencionales utilizados para tratamiento de los efluentes con cianuro tienen inconvenientes, costos elevados, uso de infraestructura

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

especial y el uso de reactivos químicos que son en sí mismos peligros ambientales (Akciil, 2003). Por ello proponemos el uso de tecnologías limpias que permitan la degradación del cianuro. (Roshan, Gaur, & Balomajunder, 2009).

El uso del Peróxido de Hidrógeno es una alternativa para el proceso de destrucción del Cianuro; pues se trata de un potente oxidante, cuyas propiedades no resultan corrosivas para la salud ni el entorno, se recolectarán datos en base a muestras tomadas en efluentes aguas arriba y abajo en la zona intermedia, en las cuales se analizará el contenido de Cianuro total. Luego se procesará la información de acuerdo a la evolución de la dosificación de H_2O_2 , usando ecuaciones químicas balanceadas, y se determinará la presencia de CN^- . (Logsdon, Hagelstein, & Terry, 2001)

1.2. Definición del problema

¿En qué medida influye la dosificación del peróxido de hidrogeno sobre el contenido total de cianuro libre en aguas de planta de tratamiento de oro en la ciudad de Cajamarca, 2020?

1.3. Objetivos**1.3.1. Objetivo General**

Determinar la influencia de la dosificación de peróxido de hidrógeno y tiempo de agitación sobre el contenido total de cianuro libre en aguas de planta de tratamiento de oro.

1.3.2. Objetivos específicos

- Describir estadísticamente los diferentes tratamientos debido a las variables dosis y tiempo.
- Determinar la mejor dosificación del peróxido de hidrógeno para disminuir el contenido final de cianuro en agua de planta de tratamiento de oro.

1.4. Justificación e importancia

Diversas actividades productivas emiten efluentes contaminantes al medio ambiente; en especial, plantas donde se procesa oro, mineral altamente comercial e impulsor de la economía; sin embargo, su obtención implica el sacrificio o afectación de recursos naturales vitales como lo es el agua.

Por sus características, estas emisiones suelen contener altos grados de sustancias químicas peligrosas como el cianuro, cuya dosis excesiva es mortal. Esta situación empeora al no realizarse un adecuado tratamiento que permita la erradicación del contaminante en su totalidad.

Es por ello, que surge el peróxido de hidrogeno como alternativa más limpia en comparación al actual proceso de destrucción del cianuro aplicado en Cajamarca; pues se trata de un potente oxidante no contaminante, cuyo uso se ha extendido a lo largo de los años, siendo utilizado en numerosas instalaciones metalúrgicas de todo el mundo (sobre todo para tratamientos de efluentes cianurados residuales).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. Fundamentos teóricos de la investigación

2.1. Antecedentes teóricos

La investigación realizada por (Jonny Ariel Fajardo, 2010) se centró en los de métodos químicos de remoción de cianuro presente en residuos de cianuración provenientes del proceso de extracción de oro de veta en el departamento de Nariño; cuyo objetivo fue estudiar la neutralización a nivel de laboratorio de residuos cianurados provenientes de la mina Nueva Esparta ubicada en el municipio de los Andes-Sotomayor (Nariño), con tres neutralizantes de tipo comercial en distintas relaciones en peso (gramos de neutralizante/gramos de CN- libre/total a neutralizar): peróxido de hidrógeno H_2O_2 2/1, 5/1 y 8/1, hipoclorito de sodio NaOCl 7/1, 12/1 y 17/1 y sulfato ferroso 6/1, 12/1 y 18/1.

Después del análisis estadístico y teniendo en cuenta consideraciones técnicas, económicas y ambientales, se encontró que los mejores tratamientos para la remoción de cianuro libre y total son respectivamente las relaciones 2/1 y 5/1 del H_2O_2 . En la evaluación de los metales Fe, Cu, Ni, Zn, Mn y Pb se observó que luego de la neutralización con H_2O_2 , los metales analizados disminuyeron su concentración; con NaOCl se presentó un incremento en la mayoría, con una remoción mínima de plomo y manganeso. Con $FeSO_4$, se obtuvo remoción para la mayoría, pero plomo y manganeso se incrementaron.

Por otro lado, el trabajo realizado por (Quispe L. e., 2011) : Eliminación de cianuro mediante sistema combinado UV/ H_2O_2 /TiO₂ manifiesta que la eliminación de cianuro en medio acuoso es posible gracias a la adición del H_2O_2 como agente oxidante, mediante el proceso de la fotocatalisis heterogénea con óxido de titanio activado con radiación UV.

Se evaluó el efecto de la cantidad de peróxido de hidrógeno (%V H_2O_2 /VCN-=0,1; 0,5; 1,0 y 3%) en la eliminación de CN-. encontrando que el tiempo para la eliminación del mismo es menor comparado a los sistemas independientes.

Otro estudio relevante en el ámbito internacional se titula El tratamiento de soluciones de cianuro y precipitación de metales cianicidas por reacción con peróxido

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

de hidrógeno y soda caústica, denominado “método perso” por (Victor B. Ascuña R., 2018), da como resultado la formación de un oxidante fuerte, que es eficaz en la desintoxicación del cianuro total mediante la precipitación de metales cianídicos complejos que se encuentran en las soluciones.

Además, se muestra la viabilidad técnica de reutilizar el agua de los relaves de oro en lugar del agua dulce (como en la agricultura o en el proceso de extracción) evitando la saturación de metales cianídicos en el circuito de operación. Después de un tratamiento químico a un pH óptimo, sigue la obtención de una solución con una menor cantidad de metales cianídicos, lo que repercute favorablemente en la producción de barras doré de mejor calidad.

Analizando investigaciones nacionales; (Edgar Alonso Bejarano Pinto, 2014) presenta la Evaluación de la oxidación química con peróxido de hidrógeno y ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes de minera Coimolache, cuya estructura contrasta de manera significativa con el objetivo del presente proyecto; sirviendo como una de las principales bases para la obtención de nuestros resultados.

Dicha investigación tuvo por objetivo evaluar la eficiencia de remoción de cianuro y metales pesados mediante la utilización de los métodos combinados de oxidación química con peróxido de hidrógeno y ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes de la Planta de Procesos Metalúrgicos de Cia. Minera Coimolache S. A. Y su comparación con los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normatividad ambiental vigente.

Para evaluar la eficiencia de tratamiento en la remoción de cianuro y metales pesados (arsénico, cobre y mercurio) se midió la concentración de estos elementos en el efluente de la planta de procesos, antes de proceso alguno de tratamiento, luego se comparó con los resultados obtenidos después del tratamiento por filtración con ósmosis inversa.

Los resultados muestran que con la combinación de los dos métodos se cumple satisfactoriamente todos los parámetros exigidos por la normatividad ambiental vigente; asimismo, se obtiene una alta eficiencia de remoción: 100% en cianuro y aproximadamente 99,9% en arsénico, cobre y mercurio. Se recomienda la implementación de la ósmosis inversa, como complemento a la actual planta de

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

tratamiento de los efluentes de procesos, como método combinado, eficiente y de fácil operación.

Otro estudio, con similares resultados, fue elaborado por (Mego, 2016) : "Efecto de la concentración del peróxido de hidrógeno y de sulfato de cobre en la destrucción del cianuro en los efluentes mineros de minas Arasis S.A.C."; en el cual se analiza el efecto de concentración del peróxido de hidrógeno y de sulfato de cobre en la destrucción del cianuro en los efluentes que contienen subproductos de cianuro provenientes de los tratamientos utilizados en la industria Minera son emitidos a cuerpos receptores.

En las pruebas realizadas en laboratorio se encontró que la concentración óptima de peróxido de hidrógeno y catalizador sulfato de cobre son tanto (0.8 mg/l) y (0.09 mg/l) respectivamente; con lo cual se logró una eficiencia de 99.68%.

Dichos resultados reafirman la eficiencia del peróxido de hidrogeno en el tratamiento de aguas cianuradas, con un alto porcentaje de confiabilidad.

Finalmente (Hanco, 2017) presenta el Manejo ambiental de efluentes del proceso de cianuración de oro en la planta de beneficio de la corporación minera Ananea S.A.; Este trabajo está enfocado en la reducción de la cantidad de cianuro de aguas residuales mediante un proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno coadyuvado con sales de hierro y/o cobre, provista de agitación durante un periodo de tiempo a un pH alcalino.

Cuyos resultados evidenciaron nuevamente que el mejor tratamiento con un rendimiento del 99% se presenta a los 60 minutos. Las condiciones óptimas necesarias para lograr este resultado son un pH de 11, agitación constante para homogenizar los componentes y la aplicación de una proporción de sulfato de hierro, sulfato de cobre y peróxido de hidrógeno de 2.0, 3.0 y 2.5, respectivamente. Concluyendo que las concentraciones actuales de aniones de cianuro el promedio máximo es de 1541.21mg/l en las muestras de los efluentes del proceso y la degradación de cianuro con peróxido de hidrogeno, resulto más eficiente que las demás pruebas que nos permitió manejar cianuros totales y libres, para alcanzar valores por debajo del límite máximo permisible (0.020 ppm), siendo los resultados en la degradación óptima alcanzada de 99.5% en promedio.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Cianuro

El cianuro es una sustancia química, potencialmente letal, que actúa rápidamente y puede existir de varias formas. Además, se describe con un olor a “almendras amargas”, pero no siempre emana un olor y no todas las personas pueden detectarlo. El cianuro puede ser un gas incoloro como el cianuro de hidrógeno (HCN), o el cloruro de cianógeno ($ClCN$), o estar en forma de cristales como el cianuro de sodio ($NaCN$) o el cianuro de potasio (Carranza López & Zambrano Crespín, 2014)

2.2.2. Usos de Cianuro

El cianuro está presente en forma natural en algunos alimentos y en ciertas plantas como el cazabe. Se encuentran en los productos de combustión de los materiales sintéticos como los plásticos y en el humo del cigarrillo. En el sector industrial, el cianuro se utiliza para producir papel, textiles y plásticos.

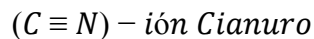
Las sales de cianuro son utilizadas en la metalurgia para galvanización, limpieza de metales y la recuperación del oro del resto de material removido. El gas de cianuro se utiliza para exterminar plagas de insectos en barcos y edificios.

2.2.3. Toxicidad del cianuro

Si bien el cianuro reacciona con rapidez en el medio ambiente y se degrada o forma complejos y sales de estabilidades variables, es tóxico para muchos organismos vivientes, incluso en concentraciones muy bajas (Hernández, 2010).

2.2.4. Aspectos generales sobre la química del cianuro

El término cianuro sirve para referenciar a una familia de compuestos químicos que se caracterizan por la presencia de un átomo de carbono enlazado a un átomo de nitrógeno mediante un enlace covalente triple (Rupay Guere, 2016).



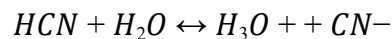
El complejo comportamiento del cianuro se explica por el conjunto de los siguientes factores:

- ✓ Comportamiento pseudohalógeno del anión cianuro.
- ✓ Enlace recíproco mediante utilización de los orbitales anti enlazantes desocupados que explican la estabilidad de las formaciones complejas. Un enlace triple puede romperse fácilmente, que explica la formación de cianato/tiocianato.

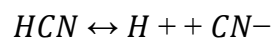
2.2.5. Clasificación del Cianuro

2.2.5.1. Cianuro libre

Los cianuros libres se definen como una forma de cianuro molecular e iónico liberados en disolución acuosa por la disolución y disociación (o ionización) de compuestos cianurados simples o complejos (Quispe L. e., 2011) Por consiguiente, el término cianuro libre se limita a dos especies, el ion cianuro (CN^-) y el ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno (HCN) que es un ácido débil en soluciones acuosas. La proporción relativa de estas dos formas dependen del pH del sistema. La relación entre el ion cianuro y el agua se expresa por la siguiente ecuación (Fajardo, Burbano, Burbano, Apraez, & Rosero Moreano, 2010):



O simplemente:



Para un pH y temperatura determinados, el sistema está en equilibrio y las cantidades relativas de cada uno pueden determinarse mediante la siguiente expresión:

$$K_a = [H^+][CN^-] / [HCN] = 6.2 \times 10^{-10}$$

$$pK_a = 9.31 \text{ (a } 25^\circ C)$$

Donde:

K_a: Constante de disociación ácida,

y pK_a = - log K_a.

2.2.5.2. Compuestos Simples del Cianuro.

Los cianuros simples se definen como las sales del ácido cianhídrico (KCN y $NaCN$, etc.) los cuales se disuelven completamente en solución produciendo cationes alcalinotérreos libres y aniones cianuros (Fajardo, Burbano, Burbano, Apraez, & Rosero Moreano, 2010).

2.2.5.3. Compuestos Complejos del Cianuro.

Cianuros de hierro, ferrocianuros, en el cual el hierro reducido con la valencia +2 y los Ferricianuros, en donde el hierro se encuentra oxidado con valencia + 3.

El ferrocianuro es la forma usual en solución a potenciales redox ambientales, pero, rápidamente se puede oxidar a ferricianuro. Los cianuros de hierro desde el punto de vista ambiental requieren especial atención debido a su gran estabilidad en ausencia de

luz y su tendencia a disociarse en su presencia. Aunque esos complejos resisten la degradación natural hasta la disipación total del cianuro libre y de los complejos de cianuro metálico más rápidamente degradables, los Ferricianuros son capaces de desprender niveles tóxicos de ácido cianhídrico cuando se exponen a intensa radiación ultravioleta (Pilar, C. R., Soledad, E. S., Angeles, F. M., Mart, 2013).

2.2.5.4. Cianuro Total.

El cianuro total es la suma de los cianuros orgánicos, iones de cianuro libre, complejos cianurados y cianuro ligado a metales simples (excepto el cianuro en complejos de cobalto), pero no incluye a los tiocianatos (SCN^-). La determinación de cianuro total en una muestra se realiza aspirando un volumen reducido de la misma (2 ml) y sometiénolo a una digestión automática en medio ácido asistida por una luz UV-B, lo que evita la conversión del tiocianato en cianuro, pero asegurando que el cianuro total esté como cianuro de hidrógeno (HCN). Este compuesto se separa por destilación en línea y al condensado se lo hace reaccionar en forma automática y reproducible con los reactivos arriba detallados para generar un compuesto rojo cuya absorbancia se mide a 600 (Sacher, W., 2011).

2.2.6. Otros compuestos derivados del cianuro

2.2.6.1. Tiocinato

La presencia de tiocianato, SCN^- en efluentes resulta de la reacción del cianuro con iones sulfuros desprendidos de los sulfuros metálicos durante la lixiviación (Quispe L. e., 2011)

2.2.6.2. Cianato Amónico

La oxidación del cianuro se puede realizar con oxidantes tales como el cloro, ozono, oxígeno y peróxido de hidrogeno para convertirlo a cianato. A temperatura ambiente, el cianato y tiocinato reaccionan lentamente con el agua para formar amoniaco, ion formato, y/o carbonato ((Quispe L. e., 2011).

2.2.6.3. Cianato (CNO^-)

El cianato (CNO^-) es un producto generado durante el procesamiento de minerales, debido a la reacción entre el ión cianuro libre y el ión metálico.

El cianato se equilibra en el agua para formar el isocianato, que puede reaccionar con varios compuestos orgánicos e inorgánicos (Quispe L. e., 2011).

2.2.6.4. *Tiocianato (SCN⁻)*

El tiocianato se forma de la reacción del cianuro, del oxígeno y de sustancias que contienen azufre. Estas últimas pueden hallarse en forma de minerales o polisulfuros. El tiocianato es un pseudohalógeno, ya que forma sales insolubles con la plata, el mercurio, el plomo, el cobre y el zinc. Además, puede formar complejos similares al cianuro con los metales de transición (Quispe L. e., 2011).

2.2.7. **Determinación del contenido de cianuro**

Existen varias normas internacionales que son utilizadas para la determinación de cianuros; sin embargo, se resumen los siguientes métodos como los más usados (Fajardo, Burbano, Burbano, Apraez, & Rosero Moreano, 2010):

- Destilación con NaOH Un procedimiento común es la destilación para medir el cianuro total, que consiste en volatilizar todas las formas de cianuro para luego condensarlas con NaOH (Fajardo, Burbano, Burbano, Apraez, & Rosero Moreano, 2010):

- Método espectrofotométrico.

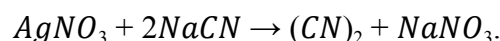
Este método es usado para determinar la concentración de cianuros inorgánicos en aguas residuales, potables y naturales. El método detecta los cianuros tanto en forma de sales simples solubles como de radicales complejos (Fajardo, Burbano, Burbano, Apraez, & Rosero Moreano, 2010)

- Método potenciométrico

Los cianuros son determinados potenciométricamente en el destilado alcalino del tratamiento preliminar usando un electrodo selectivo de ión específico para cianuros, en combinación con un electrodo de referencia y un potenciómetro que cuente con una escala expandida en milivoltios o un medidor específico de iones (Fajardo, Burbano, Burbano, Apraez, & Rosero Moreano, 2010).

- Método volumétrico

El CN^- presente en la muestra se valora con nitrato de plata ($AgNO_3$), en presencia de yoduro de potasio (KI) como indicador, para formar el complejo de cianuro soluble ($(CN)^2^-$). En cuanto se halla acomplejado todo el CN^- y exista un pequeño exceso de plata (Ag^+) añadido, este exceso es detectado por el indicador de yoduro de potasio (KI), sensible a la plata y ocasiona un viraje en la solución (Fajardo, Burbano, Burbano, Apraez, & Rosero Moreano, 2010).



2.2.8. Métodos para la degradación del cianuro

Se han empleado varios métodos que en general se pueden clasificar en:

- Degradación natural.
- Degradación por recuperación del cianuro.
- Degradación por precipitación.
- Degradación por conversión a formas menos tóxicas.
- Degradación por oxidación.
- Degradación por dilución.
- Biodegradación.

2.2.9. Peróxido de Hidrogeno

El peróxido de hidrógeno es una sustancia química manufacturada, aunque pequeñas cantidades de peróxido de hidrógeno gaseoso pueden ocurrir naturalmente en el aire. La exposición a bajos niveles ocurre a raíz de su uso doméstico; las exposiciones a niveles más altos pueden ocurrir debido a su uso industrial. La exposición al peróxido de hidrógeno puede producir irritación de los ojos, la garganta, las vías respiratorias y la piel. Beber el líquido concentrado puede causar efectos gastrointestinales leves o severos. (ATSDR Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de enfermedades , 2016).

2.2.10. Usos del Peróxido de hidrogeno

El peróxido de hidrógeno se utiliza como:

- Decolorante o desinfectante en productos de consumo como tintes decolorantes para el pelo, productos para la permanente, alisadores de pelo, gotas para los oídos, en colutorios antisépticos, productos para tratar las llagas bucales, pastas de dientes y blanqueamiento dental (Solvay, 2015).
- Se utiliza en soluciones para la desinfección de lentes de contacto y heridas.
- Sus aplicaciones industriales son principalmente la fabricación de productos químicos y el blanqueamiento de pulpa de celulosa y tejidos.

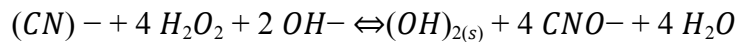
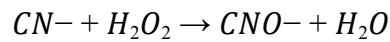
2.2.11. Oxidación con Peróxido de Hidrógeno

Se han desarrollado dos procesos los cuales utilizan el peróxido de hidrógeno para la destrucción oxidante del cianuro libre y los complejos de cianuro (Arévalo C., 2011).

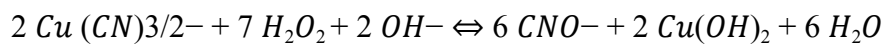
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Este proceso utiliza una solución de peróxido de hidrógeno al 41% con unos pocos mg/l de formaldehído y cobre. El segundo proceso fue desarrollado por Degussa Corporation, empleando una solución de peróxido de hidrogeno y sulfato de cobre en varias concentraciones (Arévalo C., 2011).

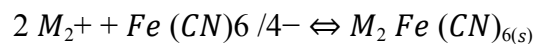
Aunque es común no emplear las sales de cobre, debido a la presencia de este metal dentro de los minerales tratados, las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



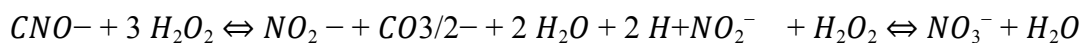
Complejos cianurados de metales como el Cu y Zn son oxidados, permitiendo la precipitación espontánea de los hidróxidos correspondientes en el rango de pH 9:



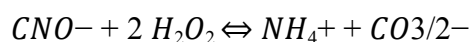
En el caso de los ferrocianuros no son oxidados, pero precipitan como sales de metal insoluble (Fe, Cu, Zn) junto con los precipitados de hidróxido:



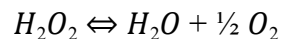
Una presencia de peróxido en exceso durante el proceso puede favorecer la formación de iones carbonato y nitrito. Éste último, a su vez, puede derivar en nitrato:



El cianato formado durante el proceso se hidroliza espontáneamente formando ión amonio e ión carbonato (la reacción sólo ocurre de forma apreciable a temperatura ambiente y a valores de pH por debajo de 7) Se estima que, entre un 10 % y un 15 % de los iones cianato generados, reaccionan de este modo:



Finalmente, cualquier nivel residual de oxidante se descompone espontáneamente generando oxígeno:



El tiocianato no es oxidado, lo que puede constituir una ventaja en plantas donde no es necesario este control, porque así se evita el consumo excesivo de reactivo. Para las instalaciones donde se hace necesario la destrucción del tiocianato serán necesarios procesos oxidativos más drásticos.

Todo el proceso se realiza en tanques abiertos. Aunque la reacción es homogénea (la cinética no se ve afectada por la agitación), la agitación es necesaria para realizar una buena mezcla del oxidante con el efluente, y evitar además la acumulación de precipitados en los tanques de reacción. Se requieren 1.31 gramos de H_2O_2 por gramo de

CN oxidado, aunque actualmente, el consumo es de 2 – 8 gramos de H_2O_2 por gramo de CN (Arévalo C., 2011)

La reacción cinética de oxidación está marcadamente afectada por la presencia de pequeñas concentraciones de iones de Cu (10-20 mg/l) que actúan como catalizadores. Por tanto, está indicado especialmente para el tratamiento de efluentes que contienen iones Cu en solución por encima de 20 mg/l. En ausencia de dichos iones, la reacción de oxidación tiende a hacerse lenta, necesiándose un elevado exceso de H_2O_2 para acelerar el proceso o bien añadirlos en forma de $CuSO_4$. La lentitud de dicha reacción es incluso mayor que la que tendría lugar usando UV-foto activación, Ácido Caro o Hipoclorito (Arévalo C., 2011)

2.2.12. Proceso de tratamiento de aguas en plantas de procesamiento de oro en Cajamarca

2.2.12.1. Plantas de tratamiento de aguas de exceso convencionales y de osmosis inversa

Las aguas de exceso se originan en la temporada de lluvias que transcurre entre los meses de octubre y abril. El agua que cae en grandes cantidades sobre la zona de operaciones, ingresando a las pilas de lixiviación y a las pozas de procesos, genera un excedente de agua en el sistema que es necesario liberar ya que afecta el proceso de producción y puede poner en riesgo su capacidad de contención. Previamente tratada, el agua es enviada de regreso al medio ambiente.

La planta de procesamiento de oro en Cajamarca trata sus aguas de exceso mediante Ósmosis Inversa. El agua de exceso, empujada por la presión de un sistema de bombeo, se hace pasar por unas membranas que atrapan el contenido de metales y otras sustancias.

2.2.12.2. Plantas de tratamiento de aguas ácidas

En el tratamiento de aguas ácidas se utilizan reactivos tales como la cal, que permite neutralizarlas. Esto tiene que ver con el pH, que es una unidad de medida de la acidez de los líquidos. La legislación ambiental vigente establece que el pH adecuado para cualquier uso debe estar entre 6 y 9 unidades; valores menores a este rango son considerados aguas ácidas.

2.2.12.3. Plantas de tratamiento de aguas servidas

Todas estas aguas son debidamente tratadas antes de ser devueltas al medio ambiente. Por ello, se cuenta con la autorización de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) para descargar esta agua, previamente tratada, en puntos específicos.

2.3. Discusión teórica

La utilización del cianuro en dosis variables para la descontaminación de aguas residuales no es un concepto relativamente nuevo; este ha sido estudiado con anterioridad por un número considerable de autores, entre ellos; resalta un proyecto realizado por Víctor B. & Ascuña R. en el 2018, titulado “Tratamiento de soluciones de cianuro y precipitación de metales cianicidas por reacción con peróxido de hidrógeno y soda caustica, el método perso; obtención de lodos económicamente útiles” donde se resalta la eficacia de la solución en la desintoxicación del cianuro total, cuyo resultado contrasta con la investigación experimental elaborada por Alonso Bejarano Pinto en el 2014: “Evaluación de la oxidación química con peróxido de hidrógeno y ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes de minera Coimolache” donde señala la eficiencia de remoción: 100% en cianuro y aproximadamente 99,9% en arsénico, cobre y mercurio.

El contar con antecedentes nacionales e internacionales que comprueban la eficacia del uso de H_2O_2 en tratamiento de aguas residuales de plantas de procesamiento de oro; motiva la ejecución del presente proyecto, a fin de obtener resultados positivos que reafirmen teorías anteriormente expuestas.

2.4. Definición en términos básicos

2.4.1. Peróxido de Hidrógeno

El peróxido de hidrógeno (conocido también como agua oxigenada) es un líquido incoloro a temperatura ambiente con sabor amargo. Pequeñas cantidades de peróxido de hidrógeno gaseoso ocurren naturalmente en el aire. El peróxido de hidrógeno es inestable y se descompone rápidamente a oxígeno y agua con liberación de calor. Aunque no es inflamable, es un agente oxidante potente que puede causar combustión espontánea cuando entra en contacto con materia orgánica ((Muñoz M. L. A., 2011).

2.4.2. Cianuro

El cianuro es un grupo químico que consiste de un átomo de carbono conectado a un átomo de nitrógeno por tres enlaces (C≡N). Los cianuros son compuestos (sustancias formadas por la unión de dos o más átomos) que contienen el grupo cianuro pueden (típicamente expresado como CN). Los cianuros ocurren en forma natural o ser manufacturados; la mayoría son venenos potentes y de acción rápida. El cianuro de hidrógeno (HCN), que es un gas, y las sales simples de cianuro (cianuro de sodio y cianuro de potasio) son ejemplos de compuestos de cianuro.

Muchos de los cianuros en el suelo o el agua provienen de procesos industriales. Las fuentes principales de cianuro en el agua son las descargas de algunos procesos de minado de minerales, industrias de sustancias químicas orgánicas, plantas o manufactura de hierro o acero y facilidades públicas para el tratamiento de aguas residuales. (ATSDR Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de enfermedades , 2016)

2.5. Marco conceptual

Metales:

Son los elementos puros que se caracterizan por ser buenos conductores del calor y la electricidad, poseen alta densidad y son sólidos a temperatura ambiente y sus sales forman iones electropositivos (Cationes) en disolución (Colin & Cann, 2014).

Oro:

Símbolo Au, es el metal nativo más conocido, su importancia es casi paralela a la historia del hombre. Los romanos lo denominaban metal amarillo “aurum”. Su interés o importancia se basa en sus propiedades como: color amarillo dorado, es el metal más dúctil y maleable, posee alta conductividad térmica y eléctrica, es el más inerte de todos los elementos metálicos, además, posee gran estabilidad y resistencia a la corrosión (Martinez, 2018).

Cianuro:

Es uno de los únicos agentes químicos que pueden disolver al oro una de las razones que hace a este metal tan caro (Pezantes, 2014). Es una molécula orgánica, cuyo olor característico es semejante a “almendras amargas” aunque no siempre emana olor y no todas las personas pueden detectarlo. Es una sustancia potencialmente letal y puede presentarse en varias formas por ejemplo en forma de gas como el cloruro de cianógeno (ClCN), en fase acuosa como el cianuro de hidrógeno (HCN), y en forma de cristales

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

como cianuro de sodio (NaCN) o cianuro de potasio (KCN). De forma natural el cianuro está presente en cantidades mínimas en algunos alimentos y en ciertas plantas como la yuca. El cianuro se encuentra en el humo del cigarrillo y en los productos de combustión de los materiales sintéticos como los plásticos (Carranza & Zambrano, 2014)

Parámetros que influyen en el tratamiento:

Dentro del tratamiento oxidativo de Cianuro con Peróxido de Hidrógeno, existen parámetros que influyen en este proceso, dentro de ellos están: temperatura, pH, tiempo de retención. A continuación, se describen los de mayor importancia.

pH:

El pH es un parámetro que requiere mayor control en el tratamiento oxidativo ya que las reacciones de oxidación, deben darse a un pH alcalino, siendo este generalmente de 10, para evitar la formación de ácido cianhídrico, puesto que el oxidante actúa cuando el cianuro se encuentra en forma de ion libre (Pérez, 2007).

Tiempo de retención:

En este parámetro se estima que a mayor tiempo de retención la eficiencia de la remoción aumenta puesto que la reacción sigue presentándose en el transcurso del tiempo. (Román et al., 2011).

Relación oxidante/cianuro:

La tasa de eliminación de cianuro con peróxido de hidrógeno varía de horas a minutos dependiendo de la naturaleza del cianuro ya sea que se encuentre formando complejos o libre, las condiciones de tratamiento (pH, Temperatura) y la presencia de otros componentes en el agua residual, pero por regla general parece ser que a mayor cantidad de oxidante hay una mejor eficiencia en la remoción (Román et al., 2011)

Temperatura La temperatura es un parámetro que puede variar dentro del tratamiento oxidativo, teniendo como resultados mayor rendimiento y tiempos de reacción menores a temperatura que están en rango de 40-50 °C (Román et al., 2011).

2.6. Hipótesis de la investigación



CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

- **H_{A1}**: A medida que aumenta la dosificación del peróxido de hidrógeno disminuye el contenido de cianuro libre en aguas de planta de tratamiento de oro en Cajamarca.
- **H₀₁**: A medida que aumenta la dosificación del peróxido de hidrógeno no disminuye el contenido de cianuro libre en aguas de planta de tratamiento de oro en Cajamarca.

2.7.Operacionalización de las variables

Tabla 1 Operacionalización de las variables

Variable	Definición	Indicadores	Instrumentos
V.I Dosificación del Peróxido de Hidrógeno	El peróxido de hidrógeno (conocido también como agua oxigenada) es un líquido incoloro a temperatura ambiente con sabor amargo, es inestable y se descompone rápidamente a oxígeno y agua con liberación de calor. Aunque no es inflamable, es un agente oxidante potente que puede causar combustión espontánea cuando entra en contacto con materia orgánica (Aguilar Muñoz & Durán Torres, 2011).	mg/l	Vasos de precipitación Pipeta volumétrica
V.D Cantidad Total del Cianuro Libre	Los cianuros libres se definen como una forma de cianuro molecular e iónico liberados en disolución acuosa por la disolución y disociación (o ionización) de compuestos cianurados simples o complejos (Quispe L. e., 2011).	Características del efluente	Vasos de precipitación Pipeta volumétrica

CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental cuantitativo aplicado de medición directa, cuya variable independiente fue: la dosificación de Peróxido de Hidrogeno y cuyas unidades se expresan en g/l mediante mediciones volumétricas. La variable dependiente de medición indirecta, cuyas unidades se expresan en g/l, mediante análisis de absorción atómica que se consideró es la concentración final de Cianuro Libre.

Es aplicada, según lo dicho por Vargas (2008), este tipo de investigación es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver. Zoila Rosa Según Vargas Cordero (2008), el tipo de investigación es aplicada ya que se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos.

Es Experimental, según señala Palella y Martins (2010): el diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. La investigación experimental se refiere a aquella en la cual el investigador manipula algunas condiciones, características o fenómenos del objeto o sujeto de estudio, tratando de causar algún cambio en dichas condiciones, es decir, el investigador altera, modifica, cambia, varía, etc., algo para obtener un resultado diferente a la condición original. (Salinas, 2010).

3.2. Diseño de investigación

El Diseño de esta investigación es de tipo experimental, porque se caracteriza por tener un alto grado de control de las variables y porque efectúan asignación aleatoria de los sujetos a los grupos

(experimental y control) participantes en la investigación. Se caracteriza porque se manipula intencionalmente la variable independiente (Peróxido de hidrógeno) para

conocer qué efectos produce esta en la variable dependiente (cantidad total de cianuro libre) y así conocer los cambios que se generan. (Bernal, 2010).

3.3. Área de investigación

El estudio se ejecutó en una planta de tratamiento informal de oro de Colquirrumi en Hualgayoc, las muestras de agua fueron tomadas en las 3 partes principales del río: aguas arriba (Puente Hualgayoc), media (Intersección del Río Llaucano y Hualgayoc) y aguas abajo (desembocadura en el río del Puente Principal).



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Gráfica SEQ Gráfica 1* ARABIC 1: *Mapa de Ubicación de los Monitoreos realizados en el río Hualgayoc- Llaucano, provincia de Hualgayoc*

Fuente: Elaboración propia

3.4. Población

Caudal de los efluentes cianurados de las aguas del Río Llaucano.

3.5. Muestra

30 litros de las muestras de efluentes líquidos de las aguas de las escorrentías del río Llaucano.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a. Recolección de Datos:

Se procedió a realizar la recolección del agua la que fue obtenida del río Llaucano, se tomaron 3 puntos diferentes a lo largo de todo el río

- ✓ Punto inicial (Puente Hualgayoc)
- ✓ Punto medio (Intersección del Río Llaucano y Hualgayoc)
- ✓ Punto final (Puente Principal).

Para realizar la recolección se codificó cada muestra, indicando el lugar, fecha de la toma de muestra. Para la toma de muestras se utilizó frascos para proceder según el protocolo de toma de muestras, posteriormente se recolectó agua en galoneras de 10 litros, para luego hacer las pruebas respectivas.

b. Procedimiento experimental:

Se verificó los instrumentos y el material de vidrio con la finalidad de que estos se encuentren en óptimas condiciones para empezar con el análisis.

Luego se acondicionó la prueba de jarras (Jar Test) con 3 vasos de precipitación y se programe para una velocidad de agitación de 360 RPM (Revoluciones por minuto).

Se vertió 1 L de solución barren a cada vaso de precipitación.

Se preparó la lechada de cal al 10% en peso con cal apagada pulverizada la cual se agregó para regular el pH adecuado de trabajo de un rango de 10.5 y 11.5

Se procedió a analizar la muestra de solución barren para determinar el pH, luego se prepararon las dosificaciones de peróxido de Hidrógeno que se trabajaron 1.0 ml y 2.0 ml. después, los vasos de precipitación son puestos en el test de jarras, se procede a encender enseguida a cada vaso se le agrega su respectiva dosificación de H₂O₂

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

Se utilizó cobre(II) como un catalizador, el cual fue añadido a una concentración de 25 ppm, se observa una modificación en el pH por lo que se le agregaron unas gotas de lechada de cal (Hidróxido de calcio) para mantener el pH adecuado, en un intervalo inicial de 15 minutos, luego en intervalos continuos de 30 minutos (por ser favorable para este procedimiento), se extrajo una muestra de 5ml de cada vaso precipitado hasta obtener 10 muestras por cada dosificación de peróxido de hidrógeno, luego se analizó cada muestra extraída con el equipo de instrumentación (Flow solution FS- 3700) con el cual se determinó la concentración de cianuro libre en ppm. Finalmente, obtenidos estos resultados, se determinó el volumen y el tiempo de agitación óptimo para obtener el máximo porcentaje de destrucción del cianuro, por último, se calcula el beneficio respecto al uso del peróxido de hidrógeno para la degradación del cianuro libre en una planta piloto y así poder llevarlo a gran escala.

Receta Analítica:

Los reactivos químicos utilizados en los análisis de laboratorio de las especies cianuradas para determinar CN Libre, son los siguientes: Yoduro de Potasio, Nitrato de Plata. Se toma muestra de 10 ml y se agrega (KI) Yoduro de Potasio. Se debe diluir dicha muestra entre un 2 y 3% con el fin de solo agregar 3 o 5 gotas como indicador y disminuir riesgos de concentración en defecto y exceso de KI que pueden interferir en el análisis de residuales de dichos contaminantes. Después de tomar la muestra de 10 ml y agregar una pequeña cantidad de (KI) Yoduro de Potasio. Se titula con solución de Nitrato de Plata (según concentraciones altas o bajas de Cianuro Libre o Wad presentes en la muestra de solución).

Figura 1: Propiedades de los Productos estándares de Peróxido de Hidrógeno

TABLA UNO: PROPIEDADES DE PRODUCTOS ESTÁNDARES DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO DE SOLVAY CHEMICALS				
		Porcentaje de H ₂ O ₂ (por peso)		
		35%	50%	70%
Oxígeno activo, por peso		16,5	23,5	32,9
Punto de congelación	° C	-33	-52	-40
Punto de ebullición	° C @ 760 mm HG	108	114	125
Densidad	g/mL @ 20 ° C	1,13	1,20	1,29
	lbs/gal @ 20 ° C	9,44	9,98	10,75
Viscosidad	cP @ 20 ° C	1,11	1,17	1,24
Presión de vapor total	m Hg @ 20 ° C	12,9	10,1	6,9
Calor de descomposición	Kcal/mol H ₂ O ₂ @ 25 ° C	22,7	22,8	23,4
Btu/LB solución	@ 25 ° C	420	603	852
Relación de concentración/volumen	@ 0 ° C, 760 mm Hg	130	198	300
Relación de volumen/expansión		700	1300	2500

Fuente: Solvay Chemicals, Inc

3.7. Materiales, instrumentos y métodos

Materiales en Gabinete:

- Computadoras.
- Visio 2013.
- Libreta de Campo.
- Memoria USB.
- Fichas de Registro.
- Cámara Fotográfica.
- Impresoras.
- Lapiceros.
- Calculadora.
- Juego de reglas.
- Marcadores.
- Cúter.

Materiales en Campo:

- Efluentes de descarga de Hualgayoc.
- Frascos de polietileno.
- Guantes descartables.
- Pizetas o matraz
- Galoneras de 10 Litros.
- Jarra.
- Pipetas.
- Espátula
- Vasos precipitados.
- Agua destilada
- Probeta de 500 ml.
- Tubos de ensayo.
- Rejillas para tubos de ensayo.
- Papel toalla.
- Plumones.

Instrumentos:

- PH-metro.
- Agitador Magnético
- Cronómetro.
- Balanza electrónica y analítica.
- Espectrofotómetro.
- Refrigerador (para evitar degradación de muestras)

3.8. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Las técnicas de investigación que se utilizó fue el análisis de varianza (ANOVA) factorial medidas repetidas:

- ANOVA: Un Análisis de Varianza (ANOVA) prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente (EXCEL, 2010).

Se recolectarán datos en base a muestras tomadas en efluentes mineros informales de la zona de Hualgayoc, en las cuales se analizará el contenido de Cianuro libre. Se procesará la información de acuerdo a la evaluación de la dosificación de peróxido de hidrogeno usando las ecuaciones químicas balanceadas, determinando la presencia de Cianuro libre por el método volumétrico, mostrando una mejor interpretación de los datos a través de gráficas, las cuales nos ayudaran a establecer conclusiones acerca del estudio.

Para verificar que técnica de análisis estadístico se va a trabajar, se tiene que tener en cuenta la cantidad de variables a identificar y utilizar, por ello para la presente ha hecho uso de Un análisis de varianza (ANOVA) el cual prueba la hipótesis de que las medias de dos o más poblaciones son iguales. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente.

Para ejecutar un ANOVA, debe tener una variable de respuesta continua y al menos un factor categórico con dos o más niveles. Los análisis ANOVA requieren datos de poblaciones que sigan una distribución aproximadamente normal con varianzas iguales entre los niveles de factores. (ANOVA, 2018).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Descripción de los diferentes tratamientos debido a las variables dosis, tiempo y su interacción dosis*tiempo.

Aplicando dosis de H_2O_2 de 1.0 ml y 2.0 ml, a cada muestra tomada en los tres puntos, con una velocidad de 360 RPM y con 130.20 ppm de cianuro inicial haciendo uso del espectrofotómetro, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2. Registro del agua tratada del punto 1 –Puente Hualgayoc con una dosis de H_2O_2 1.0ml

Dosificación de peróxido	Tiempo	pH	% Degradación	Cianuro Total
Prueba inicial	0	5	0	130,2
Dosificación de peróxido 1ml	15	5,4	33,16	87,02
	45	6	74,34	33,41
	75	6,5	82,62	22,63
	105	7	83,52	21,46
	135	7,8	84,01	20,82
	165	8	84,45	20,25
	195	8,3	84,92	19,63
	225	9	85,02	19,51
	255	9,5	86,12	18,45

En la **Tabla 2** se aprecia que, con un volumen de 1.0 ml de H_2O_2 , el mayor porcentaje de degradación del efluente cianurado que se obtiene es de 86.12 %, en un tiempo de 255. minutos.

Estos datos expuestos se proceden a plasmarlos en la siguiente gráfica. (Figura 2)

Figura 2. Dispersión de CN Libre con una dosis de 1.0 ml de H₂O₂ de la muestra tomada en el Puente Hualgayoc.

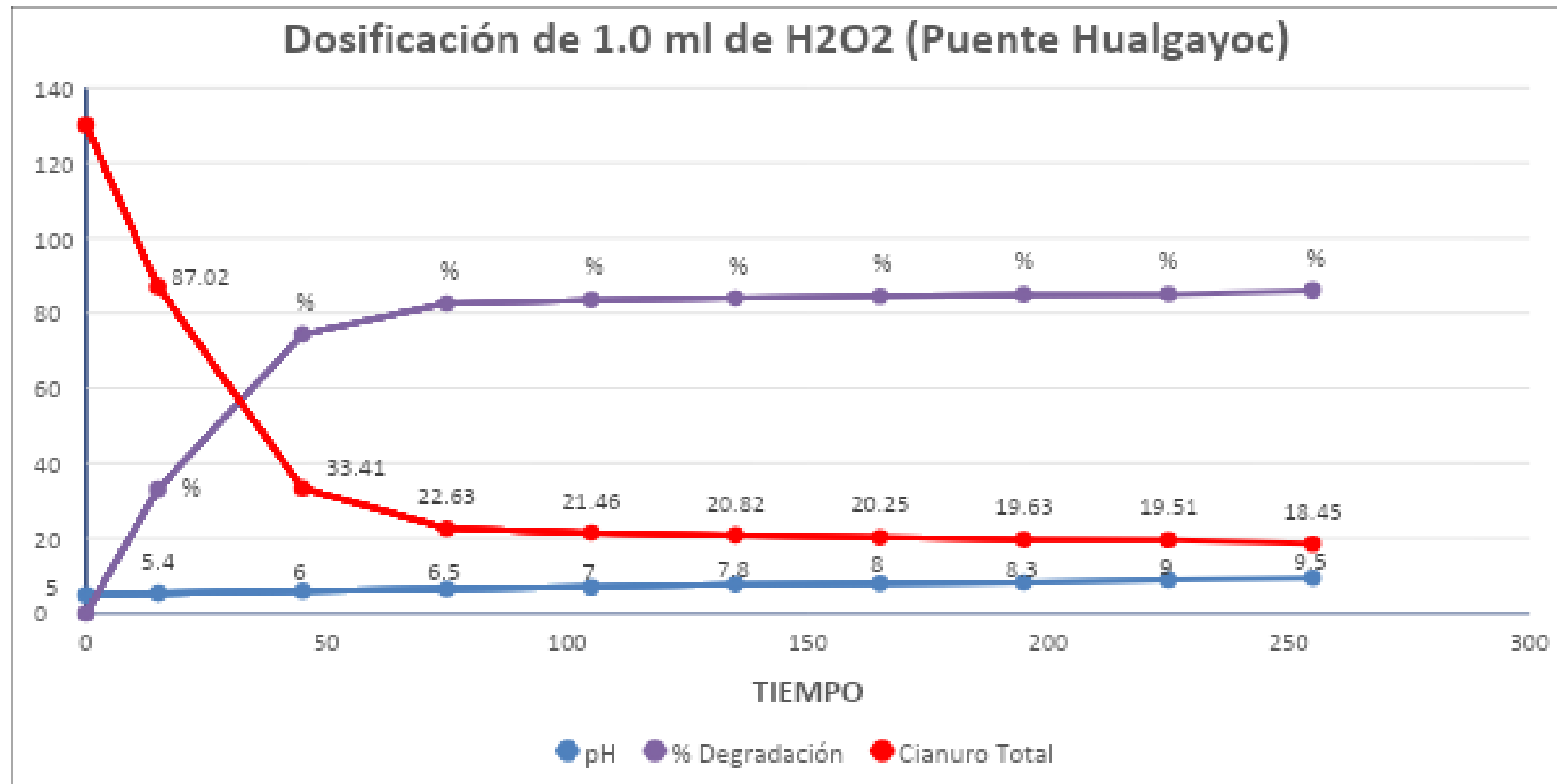


Tabla 3. Registro del agua tratada del punto 1 –Puente Hualgayoc con una Dosis de H_2O_2 2.0 ml

Dosificación de peróxido	Tiempo	pH	% Degradación	Cianuro Total
Prueba inicial	0	5	0	130,2
Dosificación de peróxido 2ml	15	6,2	36,36	82,86
	45	6,5	79,91	26,17
	75	7	83,97	21,13
	105	7,2	84,78	19,65
	135	8,1	85,21	19,05
	165	8,4	85,51	18,76
	195	9,2	85,91	18,18
	225	9,5	85,94	18,31
	255	9,8	86,92	17,35

En la **Tabla 3** Se aprecia que con un volumen de 2.0 ml de H_2O_2 , el mayor porcentaje de degradación del efluente cianurado que se obtiene es de 86.92 %, en un tiempo de 255 minutos.

Estos datos expuestos se proceden a plasmarlos en la siguiente gráfica. (Figura 3)

Figura 3. Dispersión de CN Libre con una dosis de 2.0 ml de H₂O₂ de la muestra tomada en el Puente Hualgayoc

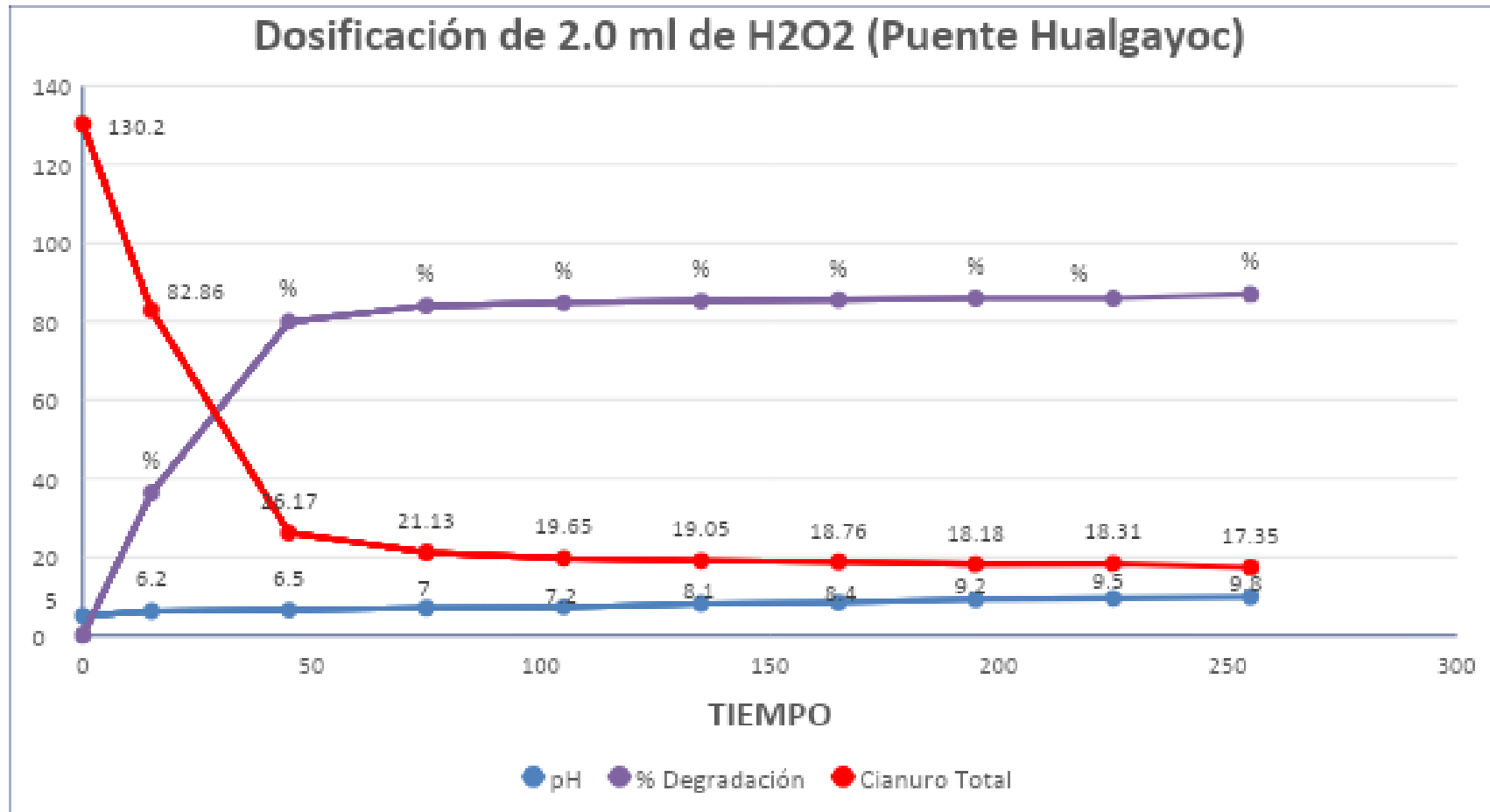


Tabla 4: Registro del agua tratada del punto 2 –Intersección del Río Llaucano y Hualgayoc con una Dosis de H_2O_2 de 1.0 ml.

	Tiempo	pH	% Degradación	Cianuro Total
Dosificación de peróxido				
Prueba inicial	0	5,4	0	130,2
Dosificación de peróxido 1ml	15	5,8	33,28	87,14
	45	6	74,46	33,23
	75	6,8	82,74	22,35
	105	7,3	83,64	21,4
	135	7,5	84,13	20,58
	165	7,8	84,57	20,18
	195	8	85,04	19,57
	225	9,3	85,14	19,45
	255	9,4	86,24	18,41

En la **Tabla 4** se aprecia que con un volumen de 1.0 ml de H_2O_2 , el mayor porcentaje de degradación del efluente cianurado que se obtiene es de 86.24 %, en un tiempo de 255 minutos.

Estos datos expuestos se proceden a plasmarlos en la siguiente gráfica. (Figura 4)

Figura 4. Dispersión de CN Libre con una dosis de 1.0 ml de H₂O₂ de la muestra tomada en la intersección Río Llaucano y Hualgayoc.

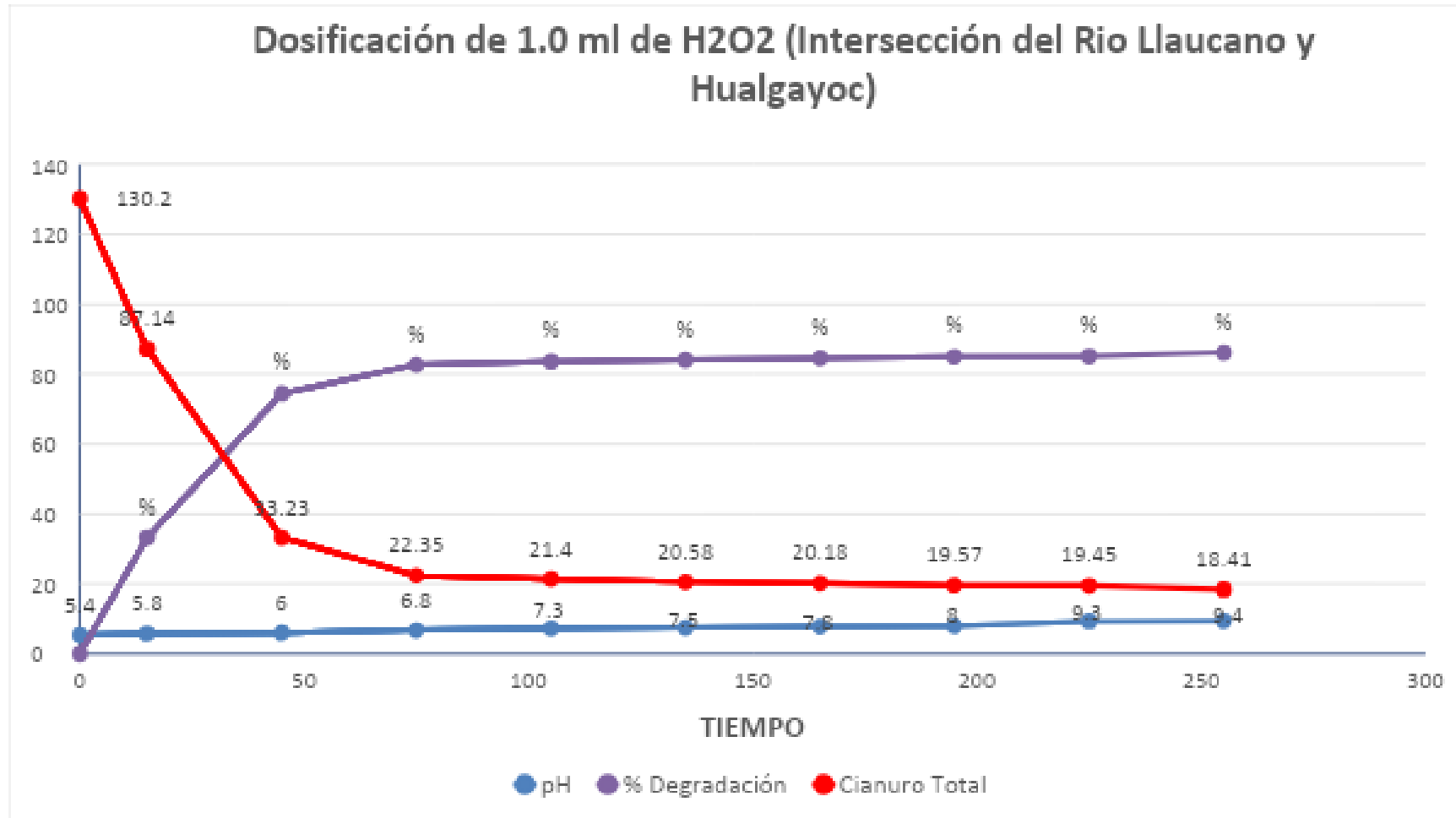


Tabla 5. Registro del agua tratada del punto 2 –Intersección Río Llaucano y Hualgayoc con una Dosis de H₂O₂ de 2.0 ml.

	Tiempo	pH	% Degradación	Cianuro Total
Dosificación de peróxido				
Prueba inicial	0	5,4	0	130,2
Dosificación de peróxido 2ml	15	6,1	36,46	82,76
	45	6,7	80,04	26,06
	75	7	84,13	21,08
	105	7,3	84,88	19,6
	135	8,2	85,31	19
	165	8,3	85,61	18,66
	195	9	86,1	18,09
	225	9,2	86,24	18,01
	255	9,5	87	17

En la Tabla 5 se aprecia que con un volumen de 2.0 ml de H₂O₂, el mayor porcentaje de degradación del efluente cianurado que se obtiene es de 87 %, en un tiempo de 255 minutos.

Estos datos expuestos se proceden a plasmarlos en la siguiente gráfica (figura 5).

Figura 5. Dispersión de CN Libre con una dosis de 2.0 ml de H₂O₂ de la muestra tomada en la intersección Río Llaucano y Hualgayoc

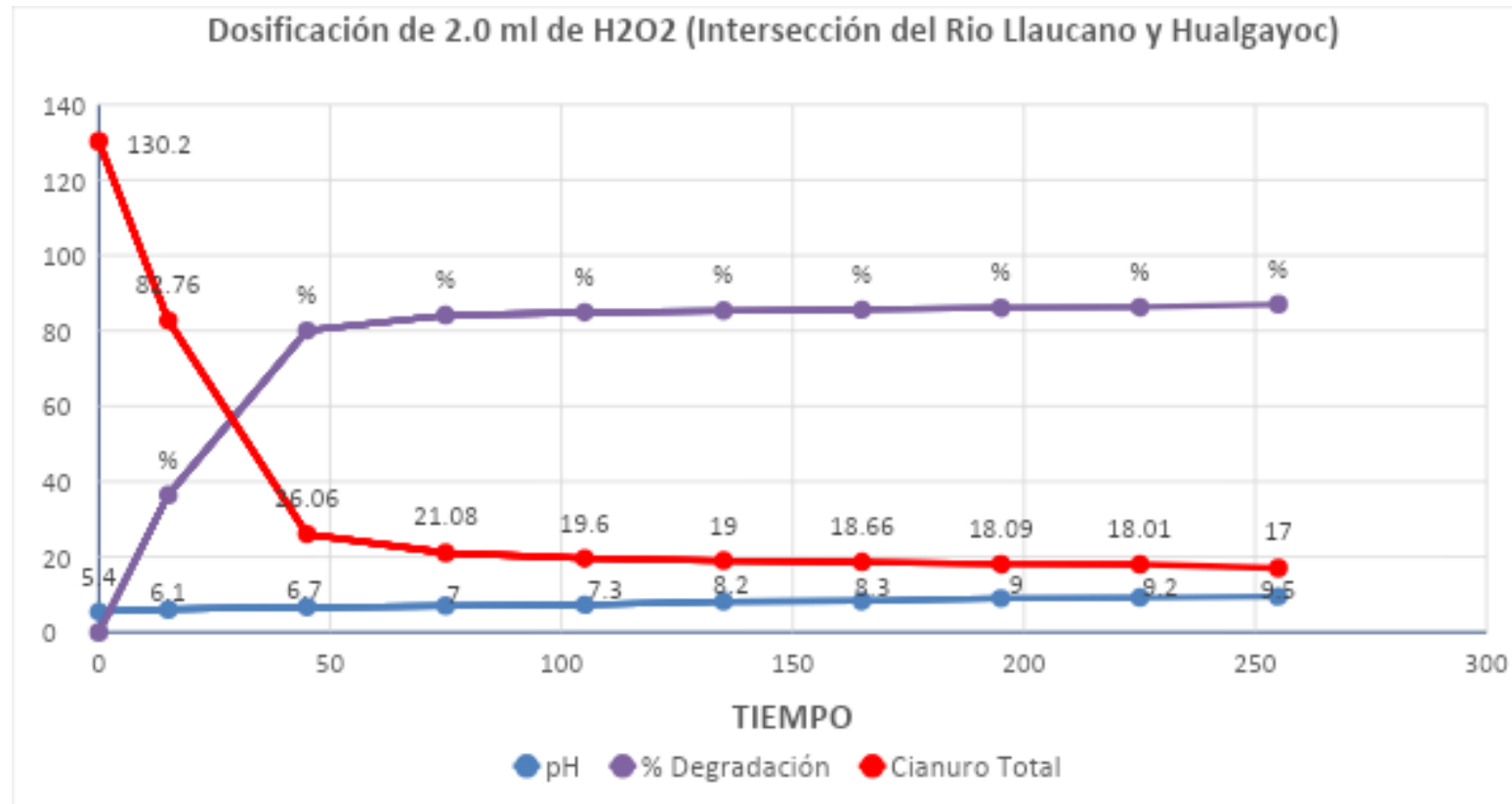


Tabla 6 Registro del agua tratada del punto 3 –Puente Principal con una Dosis de H_2O_2 de 1.0 ml.

Dosificación de peróxido	Tiempo	pH	% Degradación	Cianuro Total
Prueba inicial	0	6	0	130,2
Dosificación de peróxido 1ml	15	6,3	33,4	87
	45	6,5	74,66	33,03
	75	7	82,94	22,25
	105	7,3	83,84	20,84
	135	7,8	84,33	20,38
	165	8	84,77	20
	195	8,3	85,01	19,17
	225	9	85,35	19,25
	255	9,5	86,44	18,12

En la **Tabla 6** se aprecia que, con un volumen de 1.0 ml de H_2O_2 , el mayor porcentaje de degradación del efluente cianurado que se obtiene es de 86.44 %, en un tiempo de 255 minutos.

Estos datos expuestos se proceden a plasmarlos en la siguiente gráfica (figura 6).

Figura 6. Dispersión de CN Libre con una dosis de 1.0 ml de H₂O₂ de la muestra tomada en el Puente Principal.

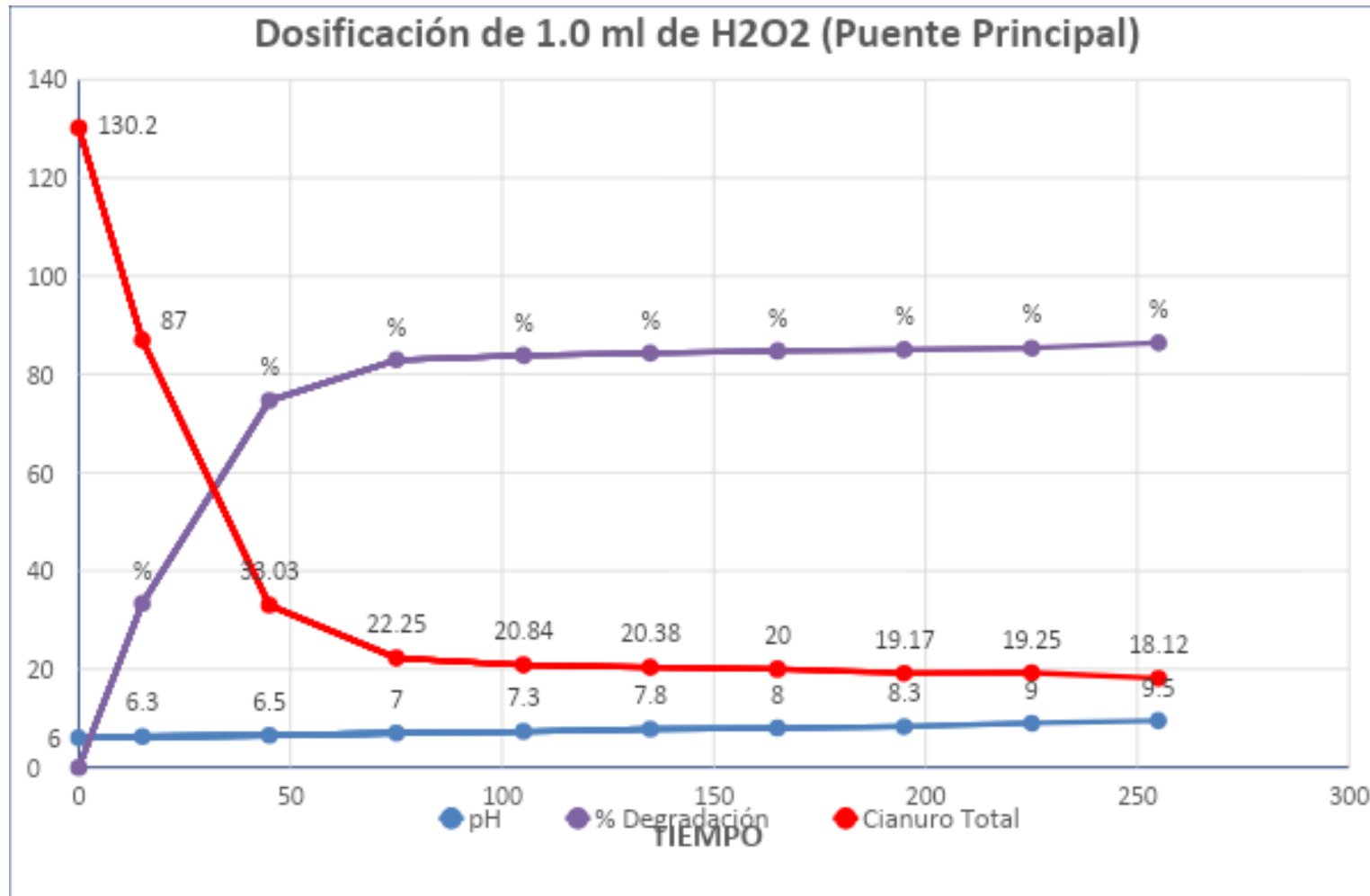


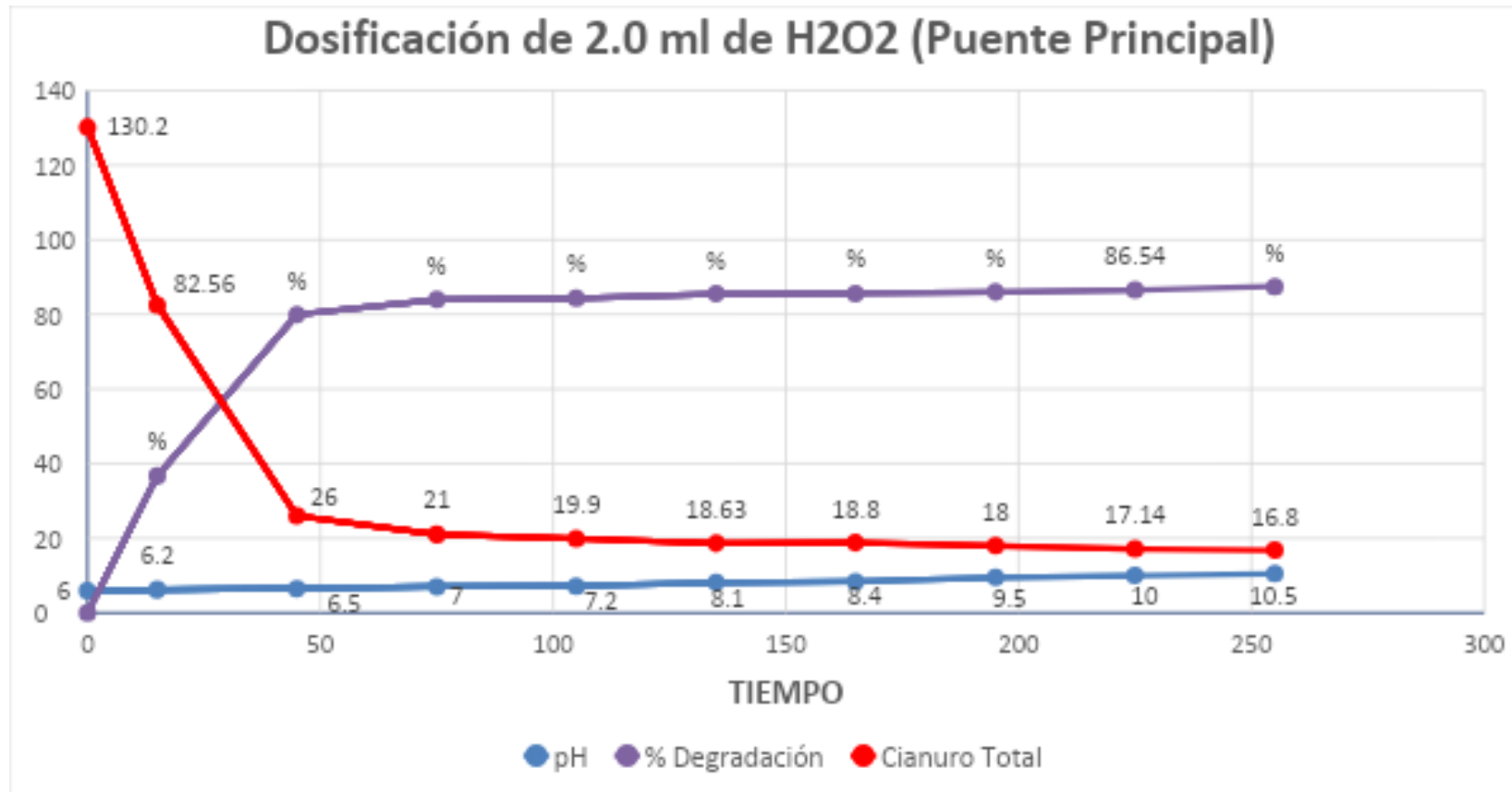
Tabla 7. Registro del agua tratada del punto 3 –Puente Principal con una Dosis de H₂O₂ de 2.0 ml.

	Tiempo	pH	% Degradación	Cianuro Total
Dosificación de peróxido				
Prueba inicial	0	6	0	130,2
Dosificación de peróxido 2ml	15	6,2	36,67	82,56
	45	6,5	80	26
	75	7	84	21
	105	7,2	84,33	19,9
	135	8,1	85,51	18,63
	165	8,4	85,61	18,8
	195	9,5	86	18
	225	10	86,54	17,14
	255	10,5	87,5	16,8

En la **Tabla 7** se aprecia que, con un volumen de 2.0 ml de H₂O₂, el mayor porcentaje de degradación del efluente cianurado que se obtiene es de 87.5 % con un pH de 10.5 en un tiempo de 255 min.

Estos datos expuestos se proceden a plasmarlos en la siguiente gráfica (figura 7).

Figura 7. Dispersión de CN Libre con una dosis de 2.0 ml de H₂O₂ de la muestra tomada en el Puente Principal.



Análisis e interpretación de resultados

Tabla 8 Estadísticos descriptivos para cada dosis (1 ml y 2 ml) y cada uno de los tiempos de tratamiento

	Media	Desviación estándar	N
D1_0	130.2000	0.00000	3
D1_15	87.0533	.07572	3
D1_45	33.2233	.19009	3
D1_75	22.4100	.19698	3
D1_105	21.2333	.34196	3
D1_135	20.5933	.22030	3
D1_165	20.1433	.12897	3
D1_195	19.4567	.25007	3
D1_225	19.4033	.13614	3
D1_255	18.3267	.18009	3
D2_0	130.2000	0.00000	3
D2_15	82.7267	.15275	3
D2_45	26.0767	.08622	3
D2_75	21.0700	.06557	3
D2_105	19.7167	.16073	3
D2_135	18.8933	.22942	3
D2_165	18.7400	.07211	3
D2_195	18.0900	.09000	3
D2_225	17.8200	.60770	3
D2_255	17.0500	.27839	3

En la tabla 8 se puede observar la descripción estadística de cada uno de los tratamientos, tanto para las dosis (1 ml y 2 ml de H₂O₂) y cada uno de los tiempos de tratamiento. Se observa que con 1 ml de peróxido de hidrógeno el tratamiento que remueve más cianuro es el que se trató con 255 min de agitación llegando hasta 18.3 ppm y en el tratamiento con 2 ml de peróxido de hidrógeno el que removió más cianuro fue también el que tuvo 255 min de agitación, el que llegó a 17.05 ppm de 130.2 ppm de contenido inicial de cianuro en la solución.

4.1.2. Determinación de la influencia en el tratamiento a causa de la variación del volumen de dosificación, tiempo de agitación e interacción.

Para el análisis de los resultados se realizó un análisis estadístico para todos los datos hallados empezando por la verificación si cumplen con normalidad de los datos. Donde se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en una tabla.

Tabla 9 Verificación de la Normalidad de los datos a través de la prueba de Shapiro-Wilk

	Kolmogorov-Smirnov ^b			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
D1_15	.337	3		.855	3	.253
D1_45	.181	3		.999	3	.942
D1_75	.286	3		.930	3	.490
D1_105	.354	3		.822	3	.168
D1_135	.191	3		.997	3	.900
D1_165	.279	3		.939	3	.525
D1_195	.341	3		.846	3	.230
D1_225	.301	3		.912	3	.424
D1_255	.345	3		.839	3	.213
D2_15	.253	3		.964	3	.637
D2_45	.243	3		.972	3	.679
D2_75	.227	3		.983	3	.747
D2_105	.328	3		.871	3	.298
D2_135	.346	3		.838	3	.209
D2_165	.276	3		.942	3	.537
D2_195	.175	3		1.000	3	1.000
D2_225	.289	3		.927	3	.476
D2_255	.238	3		.976	3	.702

a. D1_0 es constante. Se ha omitido.

b. Corrección de significación de Lilliefors

c. D2_0 es constante. Se ha omitido.

En la tabla 9 se observa la normalidad de los datos en donde se puede advertir que todas las significancias son mayores que 0.05 por lo que se puede concluir que los datos son normales.

Tabla 10 Prueba de esfericidad de Mauchly

Efecto inter sujetos	W de Mauchly	Aprox. Chi-cuadrado	gl	Sig.	Épsilon ^b		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite inferior
DOSIS	1.000	0.000	0		1.000	1.000	1.000
TIEMPO	0.000		44	0.072	.125	.177	.111
DOSIS * TIEMPO	0.000		44	0.822	.134	.227	.111

a. Diseño : Intersección

Diseño dentro de sujetos: DOSIS + TIEMPO + DOSIS * TIEMPO

b. Se puede utilizar para ajustar los grados de libertad para las pruebas promedio de significación. Las pruebas corregidas se visualizan en la tabla de pruebas de efectos dentro de sujetos.

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

En la tabla 10 se comprueba el cumplimiento de la esfericidad de Mauchly, se observa que la variable dosis no presenta ningún valor puesto que solo hay dos varianzas por lo que solo hay una diferencia de varianzas no habiendo otra con que compararla. Se observa además que las variables TIEMPO y DOSIS*TIEMPO cumplen con el supuesto de homogeneidad de las diferencias de varianzas ($p_valor = 0.072$ y 0.822 , respectivamente). Esto servirá para ceñirnos en la prueba de efectos dentro de sujetos a verificar la significancia en lo que corresponde a la esfericidad asumida.

Análisis de las medias de cada uno de los tratamientos (DOSIS, TIEMPO y DOSIS*TIEMPO)

H0: No existe diferencia significativa entre las medias de cada uno de los tratamientos

H1: Existe diferencia significativa entre las medias de cada uno de los tratamientos

Tabla 11 Pruebas de efectos dentro de sujetos

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Potencia observada ^a
DOSIS	Esfericidad asumida	70.373	1	70.373	7858.553	.000	1.000
	Greenhouse-Geisser	70.373	1.000	70.373	7858.553	.000	1.000
	Huynh-Feldt	70.373	1.000	70.373	7858.553	.000	1.000
	Límite inferior	70.373	1.000	70.373	7858.553	.000	1.000
TIEMPO	Esfericidad asumida	79058.725	9	8784.303	372739.764	.000	1.000
	Greenhouse-Geisser	79058.725	1.129	70056.025	372739.764	.000	1.000
	Huynh-Feldt	79058.725	1.590	49727.930	372739.764	.000	1.000
	Límite inferior	79058.725	1.000	79058.725	372739.764	.000	1.000
DOSIS * TIEMPO	Esfericidad asumida	56.759	9	6.307	188.185	.000	1.000
	Greenhouse-Geisser	56.759	1.207	47.035	188.185	.002	1.000
	Huynh-Feldt	56.759	2.042	27.790	188.185	.000	1.000
	Límite inferior	56.759	1.000	56.759	188.185	.005	1.000

a. Se ha calculado utilizando $\alpha = .05$

De acuerdo a la tabla 10 en donde se verifica el cumplimiento de la esfericidad de Mauchly por lo tanto observamos la significancia en la esfericidad asumida los que indican valores de significancia de 0.000 a 0.005, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, que dice que, si existe diferencia significativa entre las

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

medias comparadas, estos sus las medias de los diferentes tratamientos debido a la dosis y el tiempo correspondiente. Por lo tanto, existe diferencia significativa entre los tratamientos por cada dosis de concentración de peróxido de hidrogeno, existe también diferencia significativa entre las medias de los tratamientos debida a los tiempos y existe diferencia significativa también debida a la interacción entre el tratamiento por dosis y por el tiempo.

4.1.3. Determinación de la mejor dosificación del peróxido de hidrógeno y tiempo de agitación.

Para poder saber cuál es el mejor tratamiento debido a los dos factores (dosis y tiempo) además de la interacción de ambas variables (dosis*tiempo) solo basta con verificar en la tabla de estadísticos descriptivos (tabla 9) cuál de los tratamientos removió mas cianuro, puesto que existe diferencia significativa en los valores arrojados por cada tratamiento. En dicha tabla se observa que el tratamiento que más cianuro remueve es el del tratamiento de 2 ml de peróxido de hidrógeno con 255 minutos de agitación a una velocidad de 360 RPM bajo la prueba de jarras (Jar Test), removiendo hasta llegar a un total de 17,05 ppm de cianuro total de 130.2 ppm de contenido inicial, removiendo hasta 113.15 ppm en promedio; esto representa una remoción del 86.9 %.

4.2. Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos en la Influencia de la dosificación del peróxido de hidrogeno sobre la cantidad total de cianuro libre en aguas de planta de tratamiento de oro - Cajamarca 2020 fueron: Temperatura, potencial de hidrógeno, cianuro libre, peróxido de hidrógeno y tiempo. Según los muestreos realizados en diez oportunidades en tres estaciones (Puente Hualgayoc; Intersección del Río Llaucano y Hualgayoc y Puente Principal), estos dieron concentraciones elevadas para el parámetro de cianuro libre presente, lo cual supera los Límites máximos permisibles, afectando a los estándares de calidad ambiental.

Los resultados obtenidos en la presente investigación tras analizar las 2 dosificaciones en un total de 60 muestras con volúmenes de 1.0 y 2.0 ml demuestran que los porcentajes de degradación mayores se obtienen con las muestras de mayor volumen de 2.0 ml H₂O₂ efluente cianurado en 86,9 %. lo cual guarda relación con lo dicho por (Carranza & Zambrano, 2014), en su investigación titulada “influencia de la dosificación de cloro y peróxido de hidrógeno sobre el contenido final de Cianuro total

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

en el tratamiento de aguas en Minera Yanacocha S.R.L”, donde se puede concluir que a medida que aumenta la dosificación del peróxido de hidrógeno de (0,13 a 0,17) g/l; el contenido final de cianuro total disminuye, de igual manera se observa que al aumentar la dosificación del cloro

de (0,03 a 0,07) g/l el contenido final de cianuro total disminuye. Finalmente, a un nivel de confianza del 95%, el análisis de varianza ratifica que las variables que afectan significativamente son las dos en estudio, la dosificación de peróxido de hidrógeno y cloro; quedando demostrado la factibilidad económica del uso de estos reactivos.

Según Cahuana Hanco, E. J. (2016). Manejo ambiental de efluentes del proceso de cianuración de oro en la planta de beneficio de la Corporación Minera Ananea SA. Se analizó el efecto de la adición de H_2O_2 en la eliminación de cianuro, a medida que se va incrementando la cantidad y el tiempo de residencia del H_2O_2 la remoción de cianuros también va incrementándose, observándose alta eliminación de cianuro hasta una concentración de 0.03 ppm, teniendo que en 4 horas se puede reducir un 95%. Discusión con la que estamos de acuerdo ya que en las 02 dosificaciones se observa que a medida que aumenta el tiempo de agitación en cada una de las 60 pruebas realizadas, también aumenta el porcentaje de degradación del efluente variable cianurado. Por lo tanto, se puede afirmar que hay una relación directa entre las variables “tiempo de agitación” y “porcentaje de degradación” del efluente cianurado, cuando se usa el peróxido de hidrogeno (H_2O_2) como reactivo.

Según Cahuana. (2017), en su investigación hecha sobre “Manejo ambiental del efluente del proceso de cianuración de oro en la planta de beneficio de la Corporación Minera Ananea S.A”, tiene como resultado que la degradación óptima alcanzada es de 99.5% en promedio, en un periodo de tiempo de 60 min, demostrando que mientras mayor sea el tiempo de retención, mejor será el resultado, discusión con la que estamos de acuerdo ya que en nuestra investigación se demostró que tras 255 min se logró una degradación promedio de 86.9%, entonces se puede afirmar que en un lapso mayor la degradación puede aumentar.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El tratamiento que remueve más cianuro es el que se trató con 1 ml de peróxido de hidrógeno fue el que tuvo 255 min de agitación llegando hasta 18.3 ppm y en el tratamiento con 2 ml de peróxido de hidrógeno el que removió más cianuro fue también el que tuvo 255 min de agitación, el que llegó a 17.05 ppm de 130.2 ppm de contenido inicial de cianuro en la solución.

La dosis de peróxido de hidrógeno, el tiempo de agitación y la interacción de ambos influyen en la remoción de cianuro total, El tratamiento que más cianuro remueve es el que tuvo como tratamiento de 2 ml de peróxido de hidrógeno con 255 minutos de agitación a una velocidad de 360 RPM bajo la prueba de jarras (Jar Test), removiendo hasta llegar a un total de 17,05 ppm de cianuro total de 130.2 ppm de contenido inicial, removiendo hasta 113.15 ppm en promedio; esto representa una remoción del 86.9 %.

La dosificación de peróxido de hidrógeno y tiempo de agitación influyen significativamente sobre el contenido total de cianuro libre en aguas de planta de tratamiento de oro en Cajamarca 2020

5.2. Recomendaciones

Se recomienda difundir esta investigación ya que hemos corroborado la eficiente degradación del cianuro y así podemos contribuir en la conservación medio ambiental.

Se recomienda utilizar este método para mitigar y controlar los LMP que son emanados al medio ambiente, pues se caracteriza por ser de bajo costo, sencillo y eco amigable.

Se recomienda hacer uso de esta investigación para posteriores tratamientos no sólo aplicados a la industria minera sino también a aguas residuales e industriales.

REFERENCIAS

- Aguilar Muñoz, M. L., & Durán Torres, C. (2011). Química recreativa con agua oxigenada. *Revista Eureka, sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 8, noviembre.
- Akcil, A. (Octubre de 2003). *Destrucción de cianuro en efluentes de molinos de oro: tratamientos biológicos versus químicos*. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(03\)00099-5](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(03)00099-5). [Links]
- ANOVA. (2018). *Soporte de Minitab 18*. Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/analyzing-a-repeated-measures-design/>
- Arévalo C. (2011). *Control de efluentes cianurados mediante la oxidación con Peróxido*. Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ascuña R., V. B., Zela O., J. G., Bolaños S., H. G., Mamani C., P. L., Huamani B., R. P., & Huanca Z., P. K. (2018). Tratamiento de soluciones de cianuro y precipitación de metales cianicidas por reacción con peróxido de hidrógeno y soda caustica, el método perso; obtención de lodos económicamente útiles. *Revista boliviana de química*, vol. 35.
- ATSDR Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de enfermedades . (2016). *Peroxido de Hidrogeno* . Departamento de Salud y Servicios Humanos .
- Bejarano Pinto, E. A., & Chavez Romero, D. G. (2014). *""Efecto de la concentración del peróxido de hidrógeno y de sulfato de cobre en la destrucción del cianuro*. Arequipa.
- Cahuana, H. E. (2017). *Manejo ambiental de efluentes del proceso de cianuración de oro en la planta de beneficio de la corporación minera ananea s.a*. Puno.
- Carranza López, J., & Zambrano Crespín, F. (2014). Influencia de la dosificación de cloro y peróxido de hidrógeno sobre el contenido final de cianuro total en el tratamiento de aguas en Minera Yanacocha S.R.L.
- Claramunt Vallespí Rosa, . R. (2013). *Principales Compuestos Químicos*.
- Claudia, V. S., María, L. C., & J, A. P. (2020). Biodegradación de cianuro mediante cianuro deshidratasa recombinante de *Bacillus pumilus* expresada heterológicamente en *Escherichia coli*. *Colombiana de Biotecnología*, 1.
- Dammert, L. A., & Aristondo, F. M. (Setiembre de 2007). *Osinermin*. Obtenido de https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro_Panorama_de_la_Minera_en_el_Peru.pdf
- Díaz Vera, M. M. (2016). Experimentación para la destrucción de cianuro en pulpa y solución de lavado del espesador de relave Minera Inmaculada.

- Echeva, J. D. (2019). Los asivos mineros de Hualgayoc. *COOPERAcción*, 1.
- Edgar Alonso Bejarano Pinto, D. G. (2014). *Efecto de la concentración del peróxido de hidrógeno y de sulfato de cobre en la destrucción del cianuro*. Arequipa.
- Estela, E. M. (2016). Evaluación de la oxidación química con peróxido de hidrógeno y ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes de minera coimolache. Cajamarca.
- Fajardo, J. y. (2010). Estudio de métodos químicos de remoción de cianuro . *Manizales, Colombia, Universidad de Caldas, Departamento de Química*.
- Fajardo, J. y. (2010). *Estudio de métodos químicos de remoción de cianuro*.
- Fajardo, J., Burbano, D. C., Burbano, E. J., Apraez, N. J., & Rosero Moreano, M. (2010). *Estudio de Métodos Químicos De Remoción De Cianuro Presente en Residuos de Cianuración Provenientes del Proceso de Extracción de Oro de Veta en el Departamento De Nariño*.
- Gonzalez, M. A. (01 de Abril de 2020). *Scielo*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.17533/udea.espo.n58a07>
- Guere, F. R. (2016). *Remocion del cianuro con el complejo*. Lima.
- Hanco, E. J. (2017). *Manejo ambiental de efluentes del proceso de cianuración de oro en la planta de beneficio de la corporación minera ananea S.A*. Puno.
- Iriarte García, A. (11 de Junio de 2010). *Tesis Doctorals en Xarxa*. Obtenido de Evaluación de estrategias de producción de biodiesel en Chile en base a criterios ambientales:
<https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/5819/aig1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jonny Ariel Fajardo, D. C. (2010). Estudio de métodos químicos de remoción de cianuro presente en residuos de cianuración provenientes del proceso de extracción de oro de veta en el departamento de nariño. *Luna Azul*, 8-16.
- Logsdon, M. J., Hagelstein, K., & Terry, M. I. (2001). *El manejo del cianuro en la extracción del oro*. Canada: Consejo internacional de metales y medio ambiente.
- Medina Ramírez, I., Chávez Vela, N., & Jáuregui Rincón, J. (2012). Biodiesel, un combustible renovable. *Investigación y Ciencia*, 62.
- Mego, E. E. (2016). *Concytec*. Obtenido de https://plu.mx/concytec/a/?repo_url=http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNC_998213cde8e4122fa9398b073cb3caee/Description
- MINAM. (2008). *MINAM*. Obtenido de <https://www.gob.pe/minam>
- Minero, T. (15 de Enero de 2020). *CÁMARA MINERA DEL PERÚ*. Obtenido de <https://camiper.com/tiempominero/peru-en-primer-lugar-en-produccion-de-oro-en-america-latina/>

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

- Muñoz M. L. A., & T. (2011). Química recreativa con agua oxigenada. *Revista Eureka, sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 8, noviembre.
- Navarro Nuñez, W. (Abril de 2014). *Estado situacional del manejo del aceite lubricante usado en la*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de Piura: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2792/MAS_GAA_018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pilar, C. R., Soledad, E. S., Angeles, F. M., Mart. (2013). *Principales Compuestos Químicos*.
- Quispe, L., Arteaga, M., Cárdenas, E., López, L., Satenlices, C., Palenque, E., & Cabrera, S. (2011). Eliminación de Cianuro mediante Sistema Combinado UV/H₂O₂/TiO₂. *Revista boliviana de química*, 113-118.
- R., V. B. (2018). “*Tratamiento de soluciones de cianuro y precipitación de metales cianicidas por reacción con peróxido de hidrógeno y soda caustica, el método perso; obtención de lodos económicamente útiles*”.
- Roshan, D. R., Gaur, A., & Balomajunder, C. (2009). *Cianuro en aguas residuales industriales y su eliminación: una revisión sobre el biotratamiento*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.051>
- Rupay Guere, F. (2016). *Remoción del cianuro con el complejo*. Lima.
- Sacher, W. (2011). *Cianuro, la cara tóxica del Oro. Observatorio de Conflictos Mineros - Latina*.
- Salinas, P. (2010). *Metodología de la Investigación Científica*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de los Andes: http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/34398/metodologia_investigacion.pdf?sequence=1
- Sanaguano Salguero, H. (07 de Mayo de 2018). *Conversión de los aceites residuales de la industria de alimentos en biodiesel*. Obtenido de Cybertesis, Repositorio de Tesis Digitales UNMSM: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/7315/Sanaguano_sh.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sanca Tinta, M. D. (2011). Tipos de investigación científica. *Revistas Bolivianas*, 622. Obtenido de http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/raci/v12/v12_a11.pdf
- Solvay. (2015). *PERÓXIDO DE HIDRÓGENO*.
- Tejada Tovar, C., Tejada Venítez, L., Villabona Ortiz, Á., & Monroy Rodríguez, L. (2013). Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. *Luna Azul*, 11. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a02.pdf>
- Victor B. Ascuña R., J. G. (2018). Tratamiento de soluciones de cianuro y precipitación de metales cianicidas por reacción con peróxido de hidrógeno y soda caustica, el método perso; obtención de lodos económicamente útiles. *Revista boliviana de química*, vol. 35.

Willam, S. (2012). Cianuro, la cara tóxica del Oro. *Observatorio de Conflictos Mineros - Latina*.

Zanchett Groth, M., Bellé, C., Zanchett Groth, M., Flores Roza Gomez , M., & Cericato, A. (2016). Producción y viabilidad del uso de biodiesel proveniente de aceite residual de fritura. *Agrociencia Uruguay*, 2.

LISTA DE ABREVIATURAS

DIRESA: Dirección Regional de Salud Ambiental

LMP: Límite Máximo Permissible ECA: Estándar de Calidad Ambiental

LCM: Límite de cuantificación del método Pb: Plomo

Fe: Hierro

Cd: Cadmio

pH: Potencial de Hidrógeno

INIA: Instituto Nacional de Innovación Agraria

GLCF: Gold Fields La Cima

MINAM: Ministerio del Ambiente

OMS: Organización Mundial de la Salud

AMD: Drenaje Ácido de Mina

DS: Decreto Supremo.



ANEXOS

ANEXO A: Estándares de Calidad Ambiental- DS N° 004-2017 MINAM

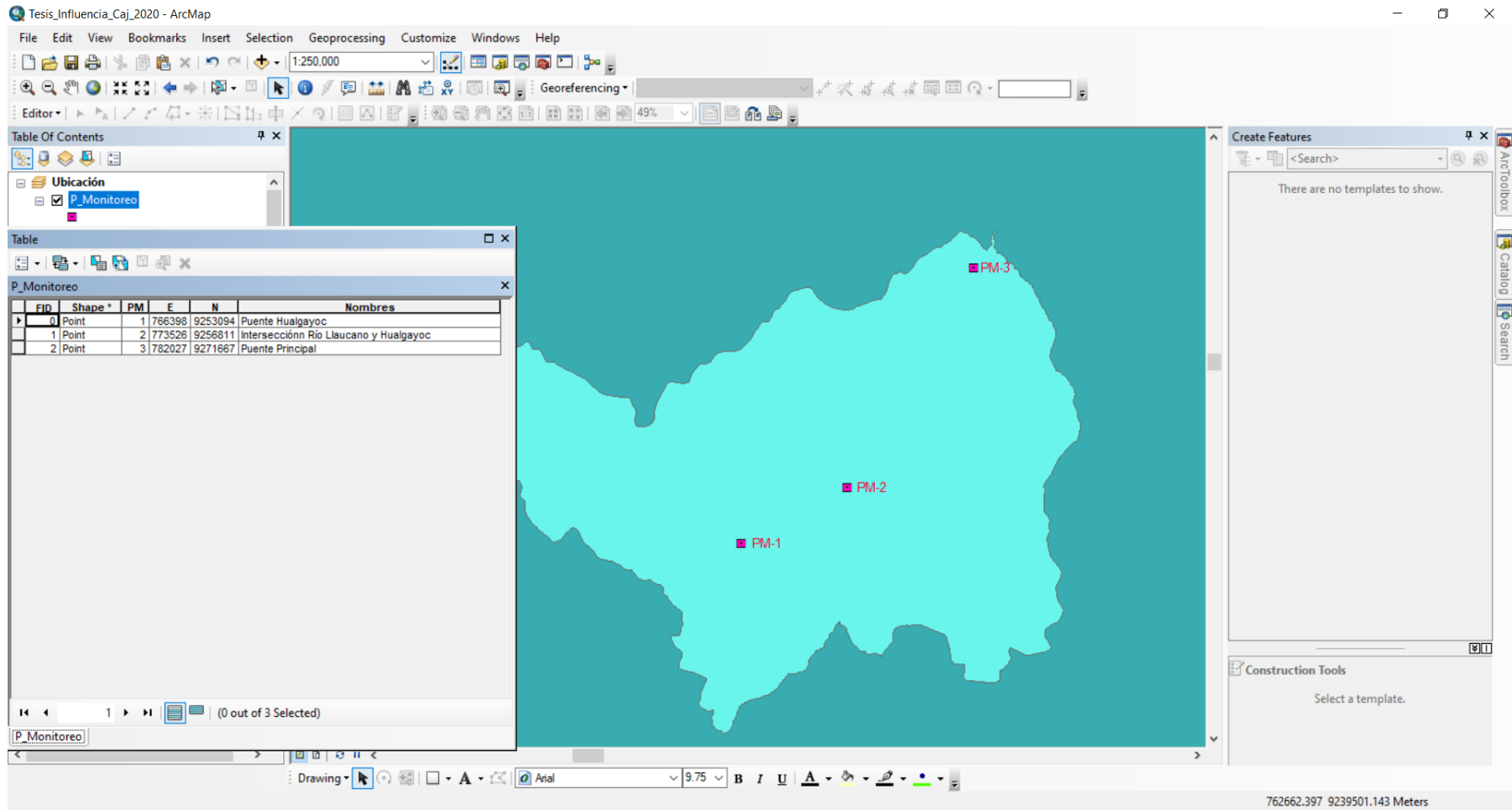
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE RIESGOS

ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) - DS N° 004-2017-MINAM						D.S. Nº 010-2010-MINAM	
PARAMETRO	Unidad	ECA AGUA: CATEGORIA 1		ECA AGUA: CATEGORIA 3		LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLES (LMP) PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES	
		A2	D1	D1	D2	Límite en cualquier Momento	Límite para el Promedio Anual
		Potabilizadas con tratamiento convencional	Riego de vegetales	Bebida de Animales			
Físicos y Químicos							
Bicarbonatos	mg/L	No indica	518	**			
Aceites y Grasas	mg/L	1.70	5.0	10		20	16
Calcio	mg/L	No indica	No Indica	No Indica			
Carbonatos	mg/L	No indica	No Indica	No Indica			
Cianuro Libre	mg/L	0.2 (nuevo)	No Indica	No Indica			
Cianuro Wad	mg/L	No indica	0.1	0.1			
Cianuro Total	mg/L	No Aplica	No Indica	No Indica		1	0.8
Cloruro	mg/L	250	500	**			
Color (b)	Color verdadero escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	100 (a)			
Conductividad	us/cm	1600	2500	5000			
DBO ₅	mg/L	5	15	15			
DQO	mg/L	20	40	40			
Dureza	mg/L	**	No Indica	No Indica			
Detergente(SAAM)	mg/L	No indica	0.2	0.5			
Fenoles	mg/L	**	0.002	0.01			
Fluoruros	mg/L	**	1	**			
Fosfato -P	mg/L	No indica	No Indica	No Indica			
Fosforo Total	mg/L	0.15	No Indica	No Indica			
Mat. Flotantes		Ausencia de Material Flotante de Origen antrópico		No Indica	No Indica		
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	No indica	100	100			
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L N	11.29	No Indica	No Indica			
Nitratos (NO ₃)	mg/L	50	No Indica	No Indica			
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L N	0.915	10	10			
Nitritos (NO ₂)	mg/L	3	No Indica	No Indica			
Nitrogeno Amoniacal	mg/L N	No indica	No Indica	No Indica			
Amoniacaco - N	mg/L	1.5	No Indica	No Indica			
Olor		No indica	No Indica	No Indica			
Oxigeno Dissuelto	mg/L	>=5	>=4	>=5			
pH	Unidad de pH	5.5 -9.0	6.5-8.5	6.5-8.4		6 - 9	6 - 9
Sodio	mg/L	No indica	No Indica	No Indica			
Solidos Totales Diss. (TDS)	mg/L	1000	No Indica	No Indica			
Solidos Suspendidos (TSS)	mg/L	No indica	No Indica	No Indica		50	25
Sulfatos	mg/L	500	1000	1000			
Sulfuros	mg/L	No indica	No Indica	No Indica			
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3			
Turbiedad	UNT	100	No Indica	No Indica			
Inorganicos							
Aluminio	mg/L	5.0	5	5			
Antimonio	mg/L	0.02	No indica	No Indica			
Arsénico	mg/L	0.01	0.10	0.2		0.1	0.08
Bario	mg/L	1.0	0.7	**			
Berilio	mg/L	0.04	0.1	0.1			
Boro	mg/L	2.4	1	5			
Cadmio	mg/L	0.005	0.01	0.05		0.05	0.04
Cobre	mg/L	2.0	0.20	0.5		0.5	0.4
Cobalto	mg/L	No Indica	0.05	1			
Cromo Hexavalente	mg/L	No Indica	No Indica	No Indica		0.1	0.08
Cromo Total	mg/L	0.05	0.1	1			
Cromo VI	mg/L	No Indica	No Indica	No Indica			
Hierro	mg/L	1	5	**		(Disuelto) 2	(Disuelto) 1.6
Litio	mg/L	No Indica	2.5	2.5			
Magnesio	mg/L	No Indica	**	250			
Manganeso	mg/L	0.4	0.2	0.2			
Mercurio	mg/L	0.002	0.001	0.01		0.002	0.0016
Molibdeno	mg/L	**	No indica	No Indica			
Niquel	mg/L	**	0.2	1.0			
Plata	mg/L	No Indica	No Indica	No Indica			
Plomo	mg/L	0.05	0.05	0.05		0.2	0.16
Selenio	mg/L	0.04	0.02	0.05			
Uranio	mg/L	0.02	No Indica	No Indica			
Vanadio	mg/L	No Indica	No Indica	No Indica			
Zinc	mg/L	5	2	24		1.5	1.2

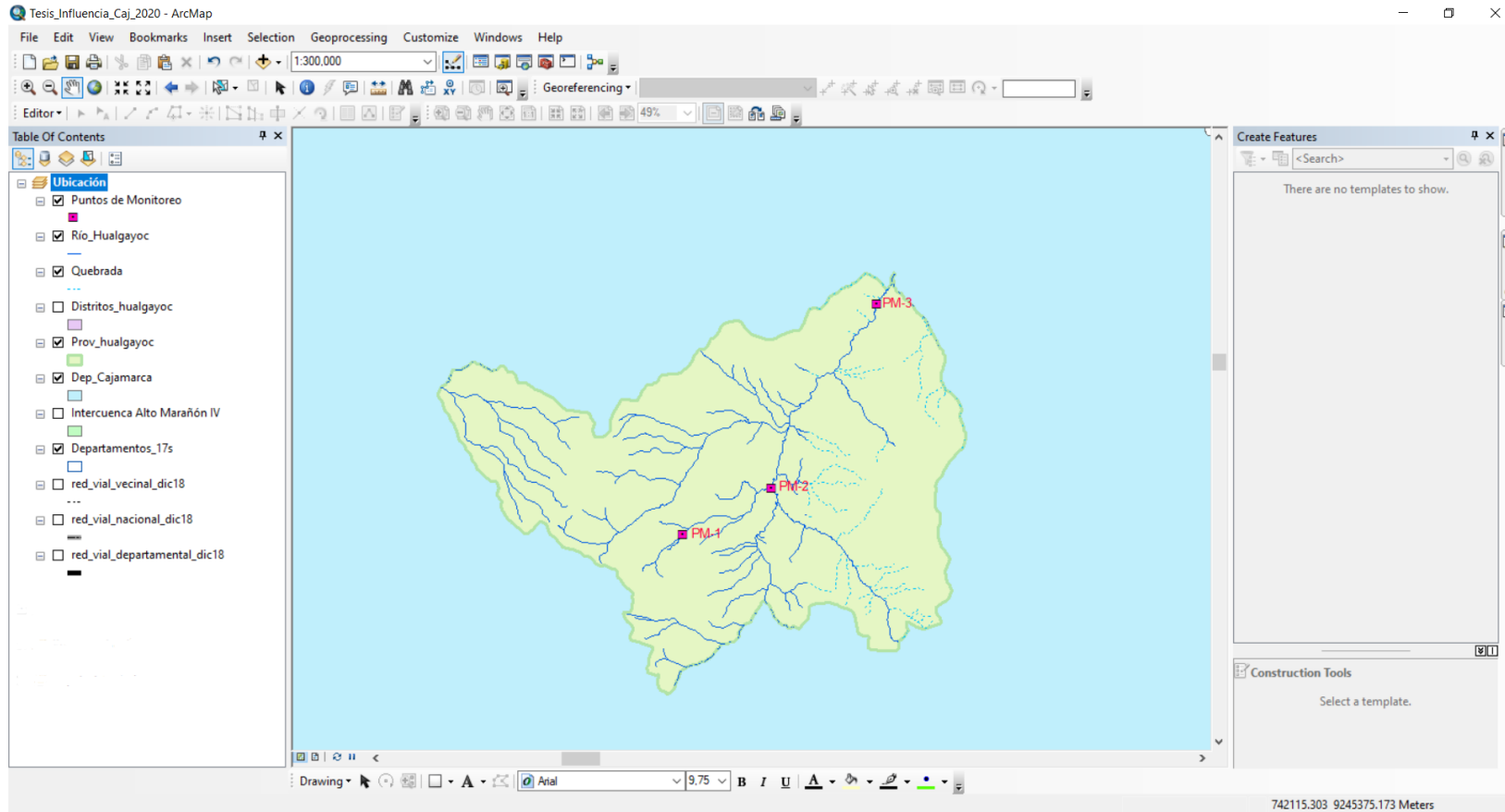
Fuente: MINAM

ANEXO B: DIAGRAMA DE FLUJO

ANEXO C: Monitoreos tomados en los 3 puntos



ANEXO D: Límites de Unidades Hidrogeográficas



Fuente: Elaboración propia

ANEXO E:

Calibración de Instrumentos: (pH metro, balanza electrónica y analítica; Oxímetro, Turbidímetro, Multiparámetro)



